

# Le lapin

## De la biologie à l'élevage

Thierry Gidenne, coordinateur







# Le lapin

De la biologie à l'élevage

Thierry Gidenne, coordinateur

## Collection *Savoir-faire*

Résidus de pesticides dans les céréales alimentaires

Origine, devenir et gestion raisonnée

F. Fleurat-Lessard

2015, 160 p.

Présures et coagulants de substitution

Comment faire le bon choix ?

2015, 200 p.

Pesticides

Des impacts aux changements de pratiques

E. Charbonnier, A. Ronceaux, A.-S. Carpentier, H. Soubelet, E. Barriuso, coord.

2015, 400 p.

Les coques

Biologie et exploitation

L. Dabouineau, A. Ponsero, A. Sturbois, F. Delisle

2015, 88 p.

Faut-il travailler le sol ?

Acquis et innovations pour une agriculture durable

F. Laurent, J. Roger-Estrade, J. Labreuche

2014, 192 p.

Les clémentiniers et autres petits agrumes

C. Jacquemond, F. Curk, M. Heuzet

2014, 368 p.

Éditions Quæ

RD 10

78026 Versailles Cedex, France

© Éditions Quæ, 2015

ISBN : 978-2-7592-2417-3

ISSN : 1952-1251

Le Code de la propriété intellectuelle interdit la photocopie à usage collectif sans autorisation des ayants droit. Le non-respect de cette disposition met en danger l'édition, notamment scientifique, et est sanctionné pénalement. Toute reproduction, même partielle, du présent ouvrage est interdite sans autorisation du Centre français d'exploitation du droit de copie (CFC), 20 rue des Grands-Augustins, Paris 6<sup>e</sup>.

# Sommaire

---

<b>Préface</b> .....	9
<b>Avant-propos</b> .....	11
<b>Chapitre 1. Anatomie, taxonomie, origine, évolution et domestication</b> .....	13
Anatomie .....	14
Morphologie générale, squelette, dentition, musculature .....	14
Anatomie de l'appareil reproducteur.....	16
Anatomie digestive.....	19
Taxonomie .....	22
Origine, évolution et domestication .....	23
Origine et diffusion .....	23
Apparition de l'élevage et de la domestication .....	24
Races et lignées de lapins.....	25
Pour en savoir plus .....	31
<b>Chapitre 2. Physiologie</b> .....	33
Physiologie générale .....	33
Respiration.....	33
Thermorégulation.....	34
Immunité.....	37
Organes des sens et perceptions sensorielles.....	41
Excrétion urinaire.....	43
Physiologie circulatoire et paramètres sanguins.....	45
Physiologie digestive.....	46
Digestion enzymatique.....	47
Microbiote digestif et activité microbienne cœcale .....	48

Transit digestif et motricité particulière du côlon proximal.....	52
Cæcotrophie et excrétion de fèces.....	53
Physiologie de la reproduction.....	55
La puberté.....	55
La gamétogénèse .....	56
Le cycle œstral.....	64
L'accouplement .....	64
L'ovulation .....	64
La pseudogestation.....	66
La fécondation .....	67
Le développement embryonnaire et la gestation .....	68
La mise-bas .....	70
La lactation .....	72
Pour en savoir plus .....	75
<b>Chapitre 3. Reproduction</b> .....	77
Conduite de la reproduction .....	77
Âge des reproducteurs (mâle et femelle).....	77
Mode de reproduction.....	77
Préparation de la future reproductrice .....	78
Système de conduite et rythmes de reproduction.....	80
Insémination artificielle .....	82
Intérêts de l'insémination artificielle.....	82
Technique .....	83
Facteurs de réussite de l'insémination artificielle liés à la femelle.....	86
Facteurs de réussite de l'insémination artificielle liés au mâle .....	89
Facteurs de réussite de l'insémination liés à la technologie de la semence .....	92
Autres facteurs intervenant sur la réussite de l'insémination artificielle .....	93
Méthodes d'induction de la réceptivité sexuelle des lapines au moment de l'insémination .....	93
Biotechnologies de la reproduction et cuniculture .....	100
Congélation de la semence .....	100
Collecte et transfert d'embryons.....	101
Sexage des spermatozoïdes.....	103
Production d'embryons <i>in vitro</i> .....	103

Transfert de gènes.....	104
Clonage.....	104
Pour en savoir plus .....	105
<b>Chapitre 4. Habitat et comportement .....</b>	<b>107</b>
Habitat naturel et hébergement en élevage .....	107
En nature .....	107
En conditions d'élevages professionnels (France et Union européenne) .....	110
Socialité.....	114
En nature .....	114
En conditions d'élevage.....	116
Comportement maternel et relations mère-jeunes .....	118
Nid et parturition.....	118
Rythme de visite au nid et allaitement.....	120
Reconnaissance des jeunes par la mère/adoptions, sevrage .....	123
Comportement du jeune .....	125
Développement sensoriel et comportemental .....	125
Interaction avec la mère et comportement de tétée .....	126
Émergence et comportements associés.....	132
Pour en savoir plus .....	134
<b>Chapitre 5. Nutrition et alimentation .....</b>	<b>137</b>
Comportement alimentaire et ingestion de nutriments.....	137
Une alimentation lactée quasi-exclusive jusqu'à trois semaines d'âge....	138
Avant le sevrage : transition du lait vers l'aliment solide.....	138
Alimentation solide chez le lapin en croissance et l'adulte.....	140
Choix alimentaires « libres » du lapin : intérêts et risques.....	143
Nutriments et spécificités pour le lapin.....	144
Principes généraux de nutrition cunicole .....	144
Nutriments pour la croissance et la santé digestive.....	146
Nourrir la jeune femelle future reproductrice .....	150
Nourrir la femelle en reproduction .....	152
Nourrir le mâle reproducteur .....	157
Besoins en minéraux et en vitamines .....	158
Apports en minéraux et oligoéléments.....	158
Apports en vitamines.....	160

Qualité des aliments .....	162
Éléments de formulation d'un aliment composé équilibré .....	162
Choix des matières premières : qualités nutritionnelle et hygiénique.....	162
Qualités physiques des aliments .....	166
Abreuvement : quantité et qualité.....	167
Stratégies d'alimentation : le bon aliment au bon moment .....	168
Stratégies pour alimenter la femelle et sa portée (18 jours-sevrage) .....	168
Conduire l'alimentation de la lapine en production et celle de la femelle future reproductrice.....	169
Le lapin en croissance.....	170
Stratégies de limitation de l'ingestion après le sevrage : intérêts et limites .....	171
Choisir une alimentation adaptée à l'environnement du lapin .....	173
Alimentation du lapin : au pâturage, ou avec des fourrages et divers produits végétaux.....	175
Alimentation du lapin domestique à base de fourrages .....	175
Comportement alimentaire du lapin sauvage.....	177
Nourrir le lapin adulte non producteur de viande.....	178
Nourrir le lapin producteur de poils ou de fourrure.....	178
Alimenter un lapin de compagnie ou des lapins de race.....	179
Le lapin de laboratoire.....	180
Pour en savoir plus .....	180
<b>Chapitre 6. Santé et prévention des maladies .....</b>	<b>183</b>
Maladies de l'appareil respiratoire chez le lapin.....	183
Les différentes pathologies respiratoires .....	184
Démarche diagnostique des maladies respiratoires du lapin .....	190
Stratégies de traitements des maladies respiratoires .....	194
Maladies digestives du lapin .....	195
Infections virales .....	196
Infections bactériennes .....	197
Infections parasitaires .....	203
Entéropathie épizootique du lapin (EEL) .....	205
Maladies abcédatives du lapin.....	207
Staphylococcie.....	208
Pasteurellose .....	209
Autres maladies abcédatives .....	210
RHD : maladie hémorragique virale, rappels et nouveautés .....	213
Définition et importance.....	213



La maladie et sa nouvelle forme RHD2.....	214
Prévention et surveillance.....	215
Maladies parasitaires.....	216
Parasites externes.....	216
Parasites internes.....	218
Mesures préventives non-thérapeutiques.....	219
Principe de la biosécurité.....	219
Nettoyage et désinfection.....	221
Qualité de l'eau.....	223
Pour en savoir plus.....	224
<b>Chapitre 7. Génétique et sélection.....</b>	<b>227</b>
Amélioration génétique du lapin.....	227
Principes de l'amélioration génétique.....	227
Consanguinité et croisement.....	233
Amélioration des caractères maternels.....	235
Amélioration des caractères de production.....	237
Amélioration des caractères de fourrure et de fibres.....	238
Amélioration de la résistance aux maladies.....	240
Schémas de sélection et lignées commerciales actuels.....	241
Organisation de la sélection.....	241
Principales lignées commerciales.....	242
Diffusion du progrès génétique.....	245
Développement des outils moléculaires et de leurs applications.....	248
Cartes génétiques et séquençage du génome.....	248
Prospectives pour la sélection assistée par gènes et la sélection génomique.....	249
Pour en savoir plus.....	250
<b>Glossaire.....</b>	<b>253</b>
<b>Abréviations et acronymes.....</b>	<b>259</b>
<b>Index.....</b>	<b>261</b>
<b>Liste des auteurs.....</b>	<b>269</b>



# Préface

---

Le lapin fait partie de l'imaginaire populaire associé à l'animal gambadant dans les prés, à l'espiègle Bugs Bunny ou enfin à la peluche de notre enfance. Le lapin est élevé par de plus en plus de personnes dans le monde, pour des motifs divers, le premier restant la nécessité de se nourrir. Avec l'Espagne, sa région d'origine, la France possède une des plus anciennes traditions d'élevage du lapin, qui a pris racine dans nos monastères, et s'est répandue à partir du XVII<sup>e</sup> siècle dans toutes les familles rurales et dans les milieux ouvriers urbains. À l'état naturel, le lapin de garenne a été longtemps considéré comme un animal nuisible dans le code rural. Mais l'arrivée en Europe de la trop célèbre myxomatose, en 1952, a mis fin à cette funeste réputation.

Le lapin est un animal rustique, présent à l'état sauvage dans les cinq continents et sous toutes les latitudes. Certaines de ses caractéristiques sont bien connues, telles ses remarquables capacités à se reproduire, si bien imaginées par Marcel Pagnol dans *Jean de Florette*. De même, on sait que le lapin ronge de nombreux matériaux, et pourtant il n'est pas classé parmi les rongeurs comme les souris ! Ces caractéristiques et bien d'autres sont l'objet de cet ouvrage consacré à la biologie de cette espèce.

La connaissance de la biologie de l'espèce, de ses exigences alimentaires, de ses pathologies est en effet une des clés pour conduire un élevage productif, économiquement performant, respectueux de l'environnement et du bien-être animal. Mais ceci est tout aussi important pour entretenir un lapin en tant qu'animal de compagnie.

Dans les exploitations agricoles françaises, nos lapins sont maintenant de moins en moins élevés en clapier. Les professionnels utilisent des installations modernes où l'ambiance d'élevage est mieux contrôlée, l'alimentation parfaitement maîtrisée, et permettent à l'animal d'exprimer son potentiel productif, à hauteur de sa valeur génétique. Ces élevages assurent également le meilleur état sanitaire possible, gage de productivité et de bien-être animal. La finalité première est de très loin la production de viande, même s'il y a eu des travaux remarquables sur la production de fourrure grâce à l'Orylag®, dont le succès reposait largement sur la maîtrise des conditions d'élevage.

L'idée de cet ouvrage est d'abord née d'une sollicitation de la direction générale agriculture de l'Inra pour que les compétences et l'expertise collective rassemblées dans les groupes filières (associant chercheurs de différentes disciplines et professionnels) aboutissent à la conception d'ouvrages de synthèse. Il est en effet essentiel de diffuser les nombreux acquis de la recherche et de la recherche appliquée, et d'assurer le « porter à connaissance ». Ce transfert est au cœur du processus d'innovation et constitue une des missions de l'Inra.

Dès 2012, le groupe filière « production cunicole » a cherché à répondre à cette sollicitation. En effet, il n'existe pas de manuel en français qui, en un seul volume, rassemble les connaissances actuelles sur la biologie du lapin. Dès le départ, le groupe de travail a réuni un collège de chercheurs, d'enseignants et de professionnels dont les compétences et l'expertise sont reconnues en cuniculture. Il a pris le parti original de concevoir un ouvrage alliant la biologie à la pratique concrète de l'élevage, tant familial que professionnel.

Nous espérons ainsi que cet ouvrage apportera à un public le plus large possible les informations qu'il recherche sur le lapin. De même, les auteurs et l'Inra souhaitent que cet ouvrage soit accessible au plus grand nombre, y compris dans les pays en développement où l'information scientifique et technique fait souvent défaut et freine le développement de cette activité économique souvent essentielle aux exploitations agricoles.

Christian Huyghe  
Directeur scientifique adjoint Agriculture Inra

# Avant-propos

---

Le lapin est apparu il y a plus de 6 millions d'années dans le pourtour méditerranéen. Présent à l'état sauvage sur les cinq continents, il a été d'abord élevé par les peuples de cultures latines avant de se développer à l'échelle mondiale, particulièrement en Asie (la Chine en est le premier producteur avec environ 850 000 t de carcasses/an), mais aussi en Afrique. L'Europe de l'Ouest, avec l'Espagne, la France et l'Italie, est la seconde zone mondiale de cuniculture (environ 400 000 t de carcasses/an). La cuniculture, ou élevage du lapin, a principalement pour objectif la production de viande, mais aussi la production de poils angora, de fourrures ou de lapins de compagnie. Il existe également de très nombreux cuniculteurs amateurs qui sont à la base de la conservation et de la diversité des races de lapins.

Le lapin fait l'objet d'un intérêt scientifique croissant comme le prouve l'augmentation du nombre de publications utilisant cette espèce comme modèle d'étude dans des disciplines diverses (génétique, physiologie, éthologie, neurosciences, médecine, etc.). Les travaux conduits sur cette espèce sont parfois directement comparables et généralisables à d'autres espèces animales, voire à l'Homme. Ils permettent donc une meilleure compréhension du vivant. Depuis plusieurs années, le lapin fait également l'objet de travaux visant à améliorer son bien-être en élevage.

Ainsi, durant les trente dernières années, la cuniculture s'est fortement professionnalisée en Europe, et plus récemment en Asie. Comme les autres élevages, elle est confrontée aux exigences de compétitivité inscrites dans le fonctionnement des marchés. L'évolution de la production s'est accompagnée d'une plus grande spécialisation des élevages, bien que la diversité persiste. Sur le long terme, ceci se traduit par une nécessité de réduction des coûts de production, mais il subsiste encore de fortes variations entre exploitations. Cette évolution a été possible grâce à l'amélioration de tous les paramètres d'élevage : logement, alimentation, génétique, pathologie ou conduite des animaux.

L'élevage cunicole présente divers atouts qui lui permettent d'être présent tout autant en agriculture familiale que professionnelle. Ainsi, dans de nombreux pays, cet élevage est à taille humaine (une personne ou une famille) et générateur d'emploi. Par exemple en France, un troupeau de 700 lapines conduites de manière conventionnelle, génère un emploi à temps plein. L'animal est lui-même à taille « humaine » : facilement manipulable, sans risques ni efforts physiques trop importants, pouvant être élevé autant par des femmes que par des hommes. Enfin, dans un contexte environnemental préoccupant, où la compétition avec l'alimentation humaine s'accroît, soulignons que le lapin est un monogastrique et un herbivore. Contrairement aux porcs ou aux volailles, il peut être nourri avec des produits ou coproduits végétaux, riches en fibres et impropres à l'Homme (luzerne, tourteaux divers, etc.), aussi bien qu'avec des fourrages, ou même en étant mis au pâturage.

De plus, l'émission de gaz à effets de serre (tel que le méthane) est très réduite en cuniculture. Enfin, la viande de lapin possède des qualités nutritionnelles (non détaillées dans notre ouvrage) qui la classent dans les aliments diététiques : riche en protéines et pauvre en lipides (peu de cholestérol), riche en minéraux mais pauvre en sodium, reconnue comme une source d'oméga 3, et présentant un faible ratio oméga 3/oméga 6 (de 4 à 6).

En Europe, les exploitations professionnelles cunicoles pour la production de viande sont majoritairement familiales (1 à 2 personnes), basées sur le modèle naisseur-engraisseur, et avec une taille de 250 à 1 000 lapines reproductrices. Pour ces élevages, l'utilisation de l'insémination artificielle associée à une conduite en bande (synchronisation des stades physiologiques des animaux) est largement majoritaire (plus de 90 %). Ceci permet une meilleure organisation du travail, une gestion plus aisée de l'alimentation et de la santé des animaux, un respect plus facile des principes de biosécurité en élevage. Le système d'un élevage en bande unique avec un vide sanitaire régulier devient même majoritaire, avec des salles d'élevage à l'ambiance entièrement contrôlée en termes de température et de ventilation. Les femelles reproductrices sont en général achetées à des élevages de sélection, et sont donc très majoritairement issues de croisements (Néo-Zélandais Blanc × Californien). Dans ces conditions, la productivité d'un élevage peut être relativement élevée, puisqu'une lapine peut réaliser 6 à 8 mises-bas par an, et sevrer ainsi de 40 à 60 lapereaux. C'est à partir de ce type d'élevage cunicole qu'ont été réalisées la plupart des études récentes en Europe, produisant l'essentiel des connaissances sur les diverses composantes biologiques du lapin.

Cet ouvrage synthétise ces connaissances, et apporte des recommandations concrètes pour conduire un élevage cunicole, que ce soit à l'échelle familiale ou professionnelle, ou encore pour le lapin de compagnie. Centré sur la biologie de l'espèce, il ne remplace pas les nombreux livres professionnels centrés sur la pratique de la cuniculture. Ainsi, il ne traite pas de façon détaillée de divers sujets importants tels que la diversité des types de logements, les techniques de production (viande, fourrure, poils), la qualité des produits issus de l'élevage, la gestion économique d'un élevage, les modalités administratives d'une nouvelle installation en lien avec la réglementation, etc.

Au fil des chapitres, cet ouvrage abordera l'anatomie et la physiologie du lapin, sa reproduction, son habitat et son comportement, son alimentation, les maladies les plus fréquentes et la génétique. Le lecteur approfondira ainsi ses connaissances, et comprendra pourquoi les caractéristiques biologiques du lapin en font un modèle d'étude pertinent et de choix, et comment ces caractéristiques peuvent être prises en compte pour son élevage. Le chercheur aussi bien que le professionnel pourront identifier, chacun selon leurs compétences, des espaces de progrès en cuniculture. Nous espérons donc que cet ouvrage contribuera au développement de méthodes d'élevage du lapin plus durables, c'est-à-dire économiquement viables et rétribuant le travail, tout en respectant l'environnement, et en bénéficiant d'une bonne acceptation sociale, et qu'il saura attirer le regard d'étudiants et des enseignants sur ce remarquable modèle d'étude biologique.



# Anatomie, taxonomie, origine, évolution et domestication

Hervé Garreau, Michèle Theau-Clément, Thierry Gidenne

Le lapin, de par son anatomie dentaire (voir p. 19), est classé dans l'ordre des lagomorphes (voir p. 22). Ce n'est donc pas un rongeur, même si son comportement alimentaire l'identifie comme un grignoteur, avec une belle capacité à « ronger » de nombreux matériaux. Comme d'autres espèces de lagomorphes, le lapin présente deux particularités anatomiques bien connues : la taille importante des oreilles (équivalente à la taille de la tête) et le développement important des membres postérieurs. Dans la nature, le lapin est une proie, et ces deux particularités sont probablement des avantages évolutifs pour échapper aux prédateurs (audition, fuite). L'anatomie « interne » et sa physiologie présentent également deux éléments particuliers que sont : la pratique de la cæcotrophie (voir p. 19), en lien avec le statut d'herbivore, et de monogastrique ; et chez la femelle, une ovulation provoquée par l'accouplement (voir p. 64) conduisant à des portées de trois à dix lapereaux. Le lapin est donc un mammifère polytoque, dont la reproduction se caractérise par une production de nombreux lapereaux en saison d'abondance alimentaire (du printemps jusqu'au début de l'été) : les lapereaux naissent éventuellement de portées successives, avec parfois un accouplement le jour de la mise-bas, ce qui lui permet de valoriser au mieux les ressources alimentaires. Ces caractéristiques reproductives sont bien connues et utilisées en élevage (voir chapitre 2).

Sauf indication contraire, les descriptions qui suivent concernent des lapins de race dite « moyenne », c'est-à-dire pesant 4 à 5 kg adulte, et dont le « prototype » est le lapin de race « Néo-Zélandais ». Mais rappelons que le poids adulte des lapins peut varier de 1 kg chez les lapins nains, comme le Polonais, à plus de 8 kg chez les lapins de race dites « lourdes », comme le Géant des Flandres (voir chapitre 7). Le choix d'une race de taille moyenne comme support des descriptions est dicté par l'usage majoritaire de ce type de lapin pour la production de viande dans de nombreux pays.

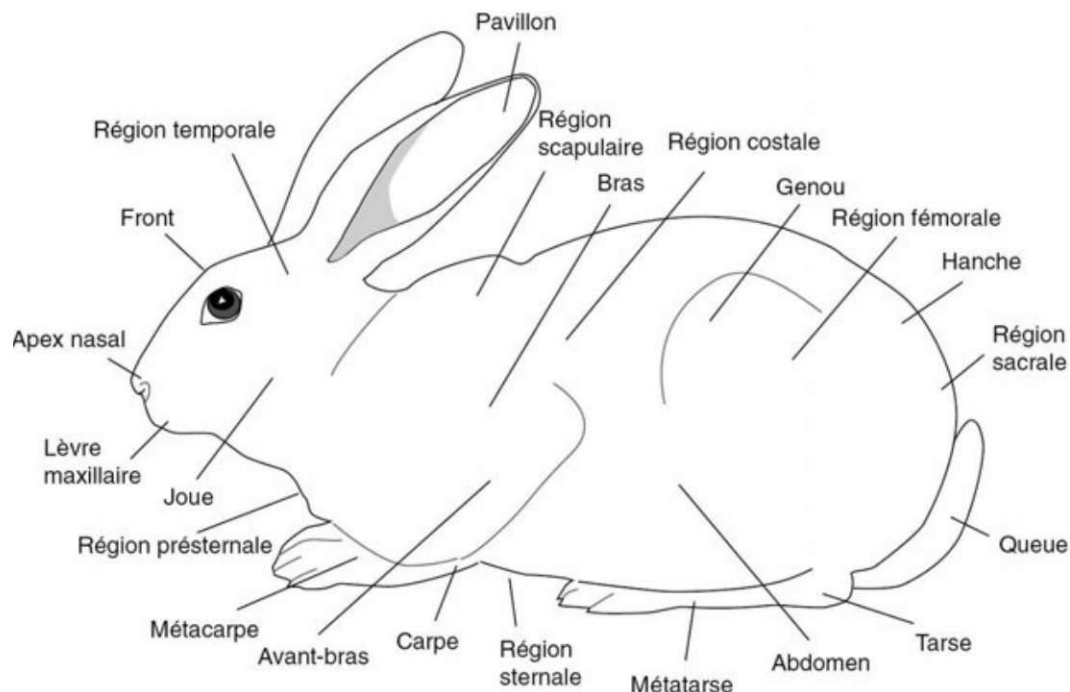
## Anatomie

Les principaux éléments de l'anatomie de l'appareil reproducteur et digestif sont donnés ci-après car ils présentent des caractéristiques spécifiques du lapin.

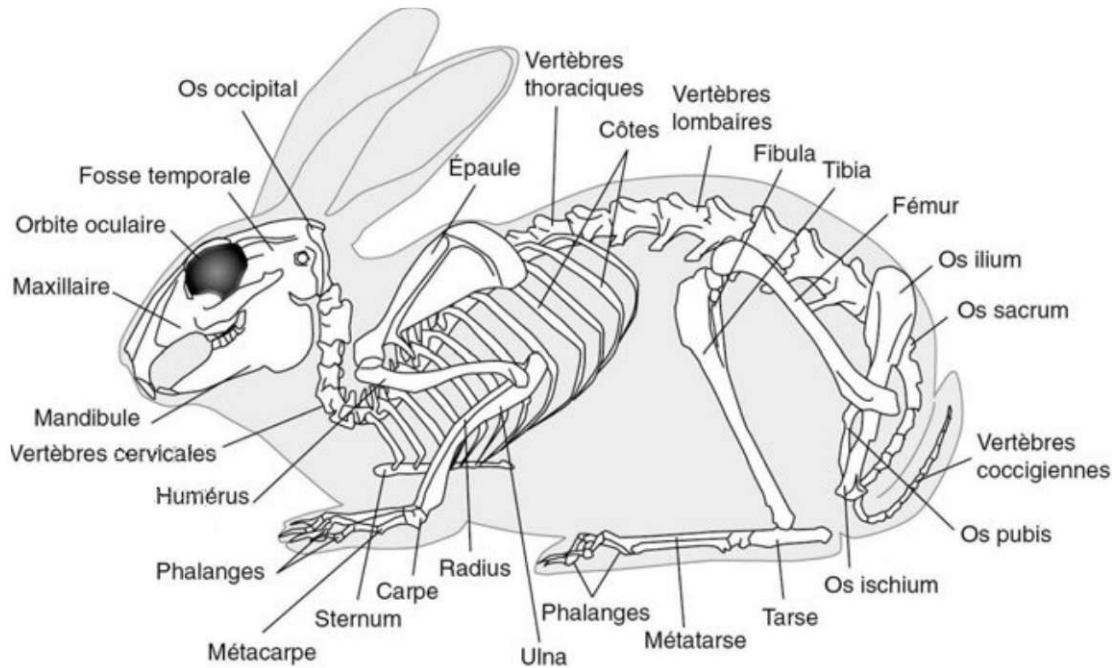
### Morphologie générale, squelette, dentition, musculature

Un lapin adulte de race « moyenne » pèse environ 5 kg et la longueur du corps (bout du museau à la queue) en position de repos (figure 1.1) sera d'environ 50 cm. Cette relative petite taille permet une manipulation assez aisée.

Les principaux os du squelette sont illustrés sur la figure 1.2. On remarque le fort développement des membres postérieurs. Les membres supérieurs ne sont pas articulés sur le squelette, l'omoplate (*scapula*) étant seulement rattachée par des muscles. Dans le membre antérieur, le radius et le cubitus (appelé aussi *ulna*, le plus long des deux os de l'avant-bras) sont au contact l'un de l'autre mais sans fusion. Dans le membre postérieur, le tibia et le péroné (*fibula*) ont en revanche presque totalement fusionné dans leur partie distale. Pour la tête, soulignons l'ampleur des sinus nasaux qui occupent près du tiers du volume intérieur du crâne. Enfin, mentionnons la relative fragilité de la liaison entre le bassin et la colonne vertébrale, ce qui impose une bonne technique de manipulation du lapin (éviter les « coups de rein » de l'animal pouvant aboutir à une « liaison » brisée et une paralysie). Des descriptions détaillées du squelette et de la musculature ont fait l'objet d'ouvrages spécialisés comme l'*Atlas d'anatomie du lapin* (Barone *et al.*, 1973).



**Figure 1.1.** Le lapin domestique adulte (adapté de Barone *et al.*, 1973).

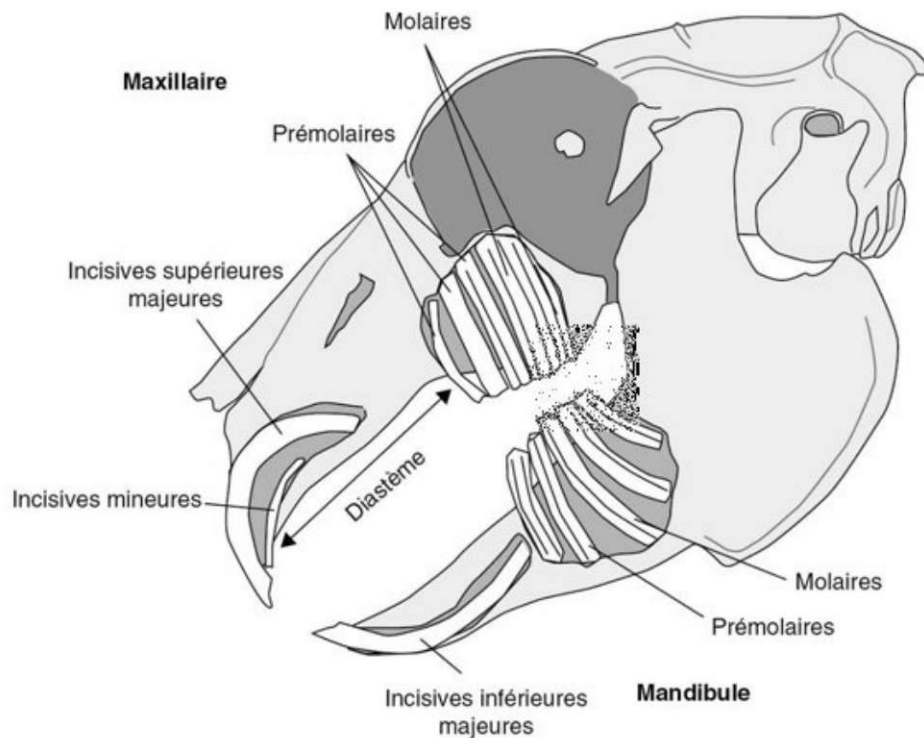


**Figure 1.2.** Le squelette du lapin (adapté de Barone *et al.*, 1973).

Comme les dents de tous les lagomorphes, celles du lapin sont profondément insérées dans les mâchoires mais sans racine. En effet, la croissance de toutes les dents est continue durant toute la vie de l'animal. Une mesure de la vitesse de croissance des incisives a donné une valeur de 2 mm par semaine pour la mâchoire supérieure et de 2,4 mm pour la mâchoire inférieure. La dentition de lait, présente à la naissance des lapereaux (incisives et prémolaires), tombe à environ 18 jours d'âge, et elle est presque immédiatement remplacée par la dentition définitive.

Un adulte possède 28 dents dont 26 seulement ont un rôle fonctionnel. Sa formule dentaire est : I : 2/1 - C : 0/0 - P : 3/2 - M : 3/3. Il n'y a pas de canines et un diastème assez long sépare les incisives des prémolaires (3 + 2 paires) et des molaires (3 + 3 paires). L'implantation des incisives (figure 1.3) est particulière : deux paires d'incisives à la mâchoire supérieure et une seule à la mâchoire inférieure. Ceci a permis aux zoologistes de différencier les lagomorphes (dont les lapins) des rongeurs (rats, souris, etc.) qui n'ont qu'une seule paire d'incisives à chaque mâchoire. Chez le lapin, la deuxième paire est de petite taille, placée derrière la première qui la cache totalement. Les incisives sont entièrement revêtues d'une couche d'émail qui est plus mince en arrière qu'en avant de la dent, et leur face antérieure porte un sillon longitudinal. Le lapin use (et affûte) ses dents, dont les incisives, quand il mastique par frottement de celles du haut contre celles du bas.

Les masses musculaires quantitativement les plus importantes sont celles de la partie arrière du corps du lapin : râble et cuisses. Du point de vue « boucher », le muscle ayant la masse la plus importante est le muscle *longissimus dorsi*. Au plan anatomique, cette masse musculaire correspond à une succession de muscles différents : le long dorsal, le long épineux et le muscle multifide dorsolombaire (*longissimus lumborum*).



**Figure 1.3.** Mâchoires du lapin (adapté de Barone *et al.*, 1973).

## Anatomie de l'appareil reproducteur

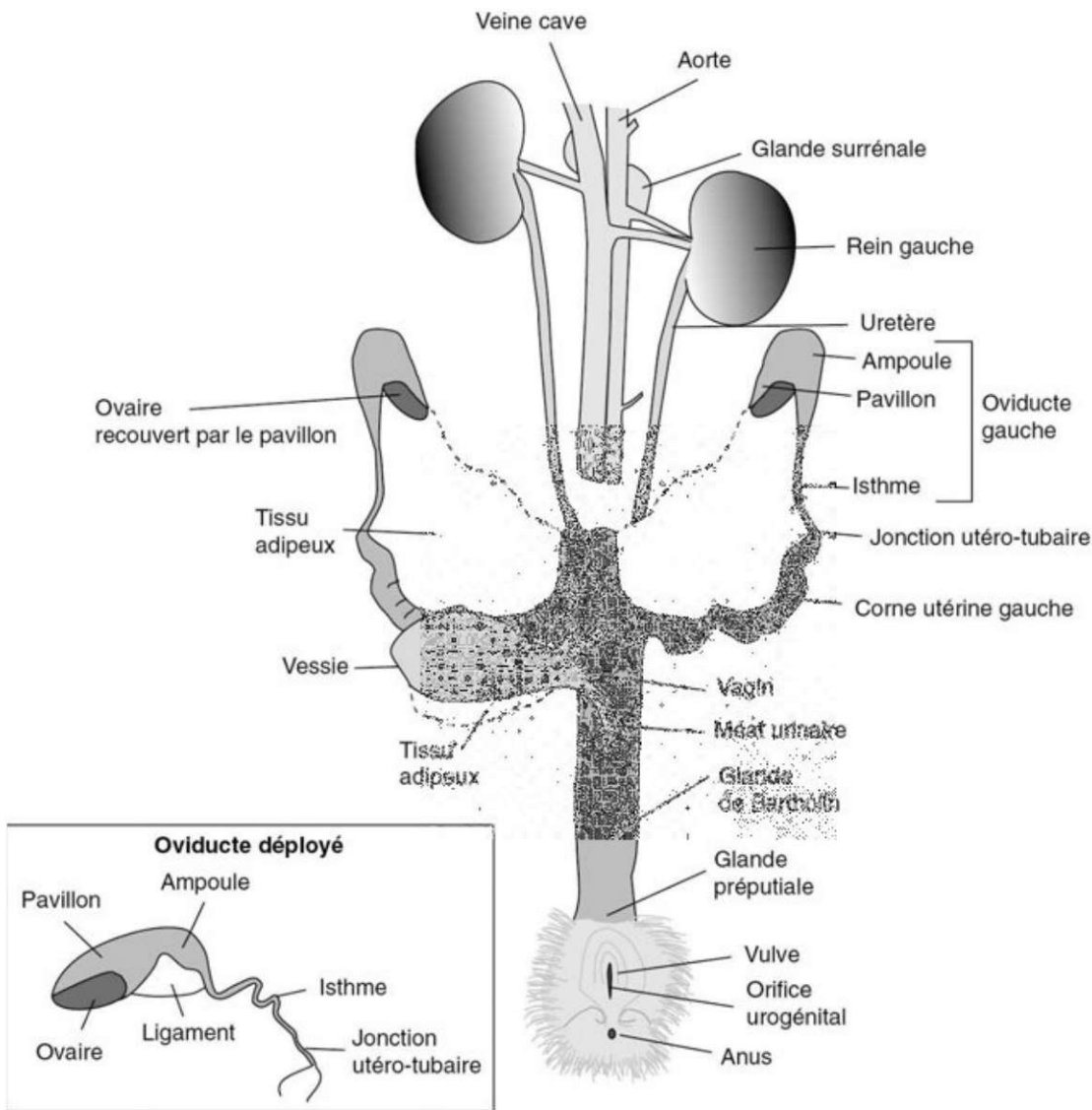
L'organisation générale de l'appareil génital est voisine de celle des autres mammifères.

### *Appareil génital de la femelle*

Les deux ovaires sont oblongs, ils atteignent 1 à 2 cm dans leur plus grande dimension (figure 1.4). Les ovaires, siège de l'ovogénèse, sont situés dans la cavité abdominale de chaque côté de la région lombaire. Les oviductes, de 10 à 16 cm de longueur, sont constitués de trois parties :

- le pavillon s'ouvre dans la cavité péritonéale, il recouvre l'ovaire pour recevoir l'ovocyte au moment de l'ovulation ;
- l'ampoule est le lieu de la fécondation. La lumière de ce tube comporte de nombreuses cellules ciliées contribuant à l'acheminement des gamètes ;
- l'isthme débouche dans la corne utérine au niveau de la jonction utéro-tubaire.

Les cornes utérines sont cylindriques ; chez les nullipares, elles mesurent de 10 à 12 cm. Les œufs fécondés s'implantent dans la muqueuse utérine. Les deux cornes utérines sont réunies en un seul corps. En effet, la lapine présente deux cols utérins distincts (ou cervix) longs d'environ 2 cm. Ils s'ouvrent dans le vagin qui est plat et mesure de 4 à 8 cm. Le méat urinaire qui prolonge la vessie s'ouvre dans la partie antérieure au niveau du premier tiers. Lors d'un accouplement ou d'une insémination artificielle, la semence est déposée dans le vagin. Le vestibule vaginal, long de 2 à 3 cm, fait suite au vagin. C'est à ce niveau que se situent les glandes de Bartholin et les glandes préputiales femelles. Il se poursuit par la vulve et les



**Figure 1.4.** Appareil génital de la femelle (adapté de Barone *et al.*, 1973).

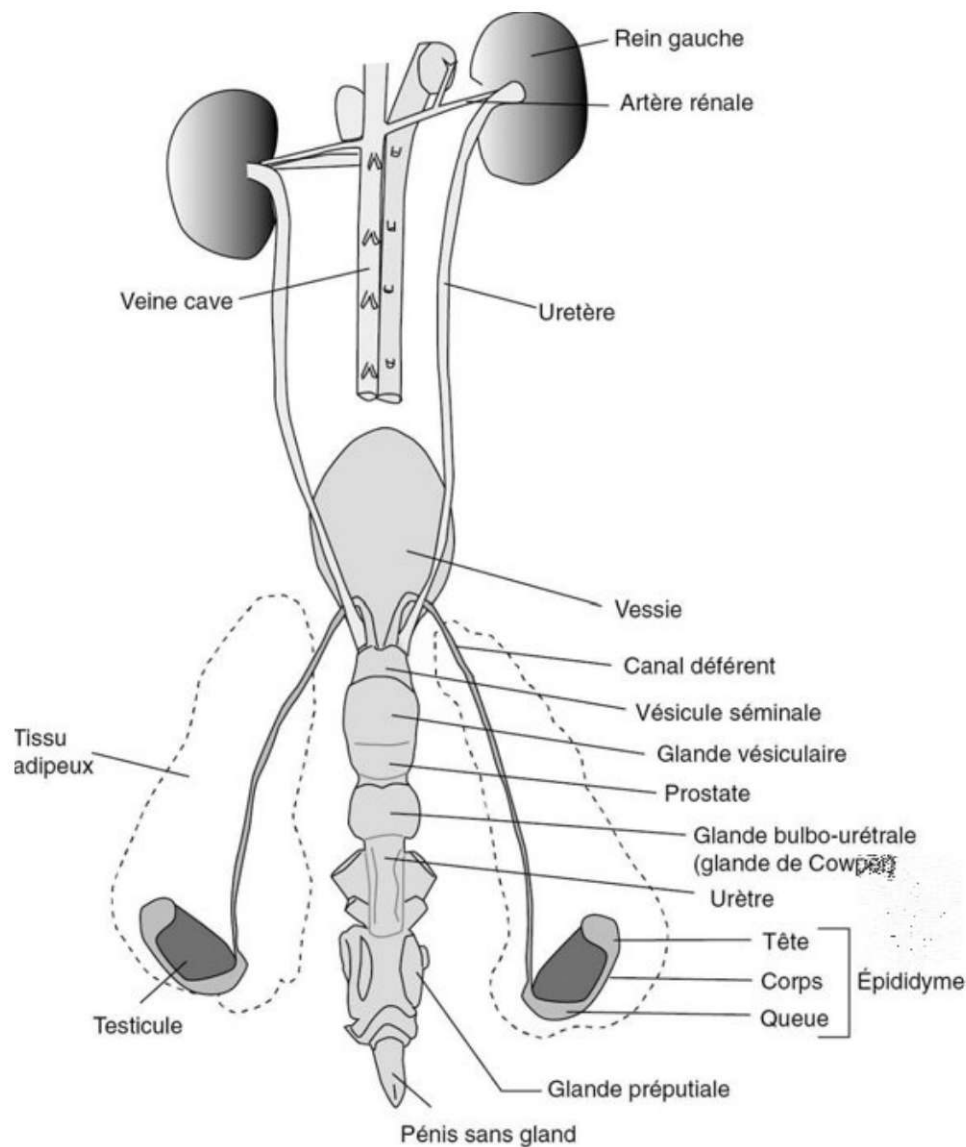
lèvres vulvaires dont l'aspect varie en fonction de l'état physiologique de la lapine. Le clitoris est très développé (2 à 3 cm) lorsqu'il sort de la commissure inférieure de la vulve.

### **Appareil génital du mâle**

Les testicules sont contenus dans le scrotum, paroi externe et duveteuse des bourses (figure 1.5). Au nombre de deux, ils sont le siège de la spermatogénèse. Ils sont positionnés dans la cavité abdominale. Ils descendent dans les sacs scrotaux à l'âge de deux mois environ. Chez l'adulte, ils sont volumineux et ovoïdes. Les testicules peuvent monter dans la cavité abdominale et redescendre dans les bourses grâce à un tissu musculaire : le crémaster.

L'épididyme recouvre chaque testicule. Il est constitué de trois parties : la tête, le corps et la queue. La tête volumineuse coiffe le pôle antérieur du testicule. Le corps est également accolé au testicule jusqu'à la partie postérieure. La queue de l'épididyme est le lieu de stockage des spermatozoïdes. L'épididyme permet le

transport et la maturation des spermatozoïdes. L'épididyme se poursuit par le canal déférent qui traverse un renflement fusiforme, l'ampoule déférentielle couchée au-dessus de la vessie, contenant les glandes annexes. Elles ont pour rôle de sécréter les constituants du plasma séminal au moment de l'éjaculation. Il s'agit de la vésicule séminale bilobée, placée entre le rectum et la vessie, dont la partie terminale fusionne avec les ampoules déférentielles pour former le canal éjaculateur qui s'ouvre dorsalement dans l'urètre. La glande vésiculaire s'ouvre dans l'urètre par deux canaux excréteurs. La prostate, oblongue et volumineuse, est située sous la glande vésiculaire. Les glandes paraprostatiques recouvrent en partie les ampoules déférentielles et, parfois, la vésicule séminale. Enfin, la glande de Cowper, bilobée, est située postérieurement à la prostate. Le pénis, dépourvu de gland, est enfermé dans un repli tégumentaire, le fourreau. Il mesure de 3 à 5 cm. Deux glandes préputiales, sécrétant une substance très odorante, sont situées en arrière du pénis. Elles jouent un rôle dans le déclenchement de l'ovulation de la femelle en stimulant le réflexe ovulatoire.



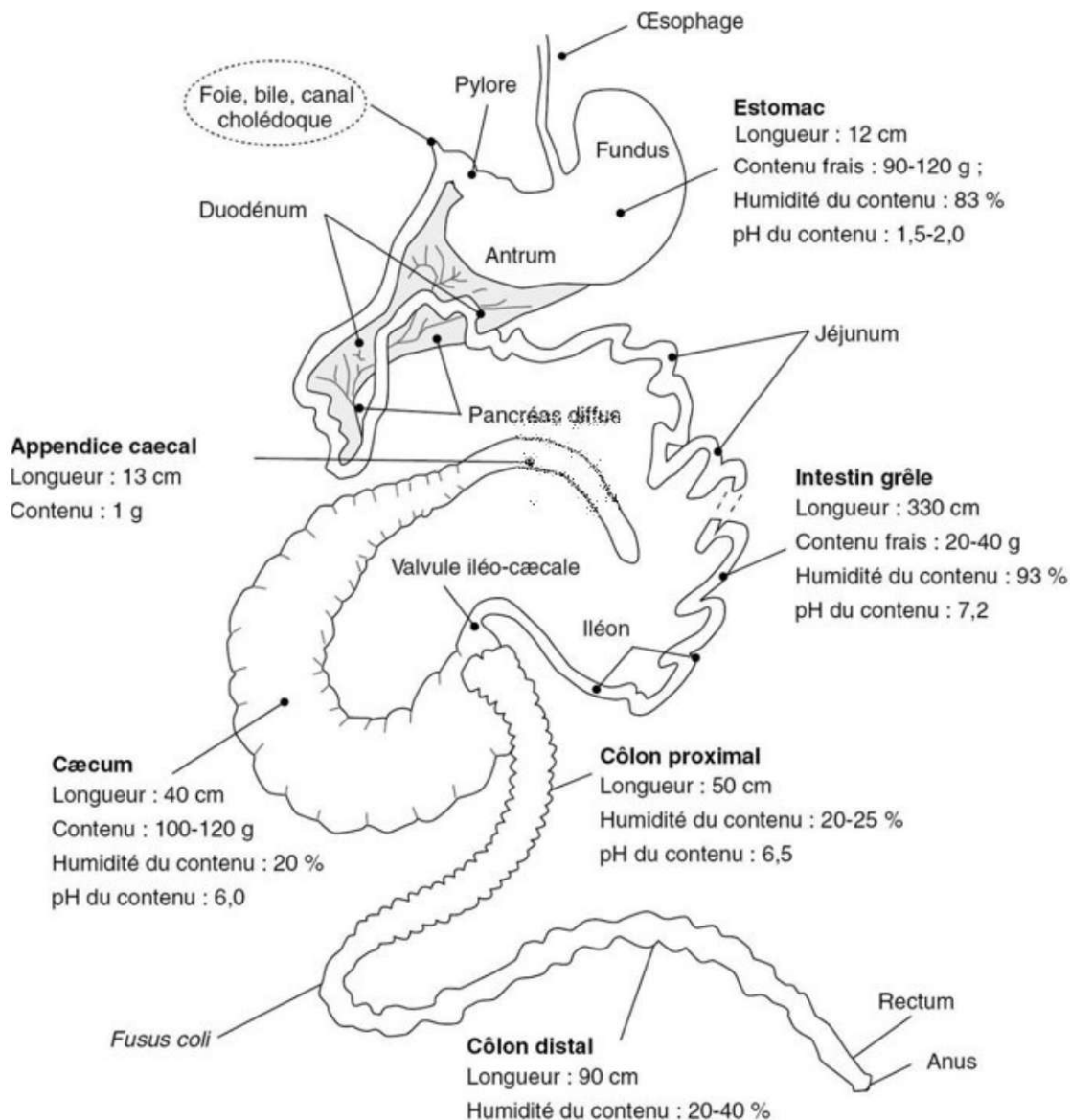
**Figure 1.5.** Appareil génital du mâle (adapté de Barone *et al.*, 1973).



## Anatomie digestive

Chez un lapin adulte (4 à 5 kg) ou subadulte (2,5 à 3 kg), le tube digestif a une longueur totale de 5 à 7,5 mètres. L'organisation des segments digestifs et leurs caractéristiques principales sont décrites sur la figure 1.6.

Dans la bouche, les dents ont un rôle masticateur modéré. Les glandes salivaires (parotide, mandibulaire, sublinguale et zygomatique) produisent une salive contenant une faible quantité d'amylase (25  $\mu$ moles de maltose produites à partir de l'amidon, par mg de protéine salivaire/min, contre 250 à 450 pour le suc pancréatique). L'œsophage est placé entre la trachée et la colonne vertébrale. Il mesure de 12 à 14 cm de long sur 1 cm de large dans le cou (plus étroit dans le thorax). Il ne permet de mouvement du bol alimentaire que dans la direction de l'estomac. Il n'y a jamais de reflux de l'estomac vers la bouche, même de manière accidentelle : un lapin ne vomit pas. L'œsophage s'abouche avec l'estomac par le cardia.



**Figure 1.6.** Tube digestif du lapin (adapté de Lebas *et al.*, 1996).

L'estomac est une poche allongée en forme de graine de haricot au revêtement muqueux. La partie « aveugle » de l'estomac correspond au fundus et la zone opposée est l'antrum. Le fundus est le lieu exclusif du « stockage » des cæcotrophes ingérés, en lien probablement avec une motricité particulière de l'estomac. L'antrum se termine par la région du pylore, qui est muni d'un sphincter puissant et qui régule les sorties d'aliment en direction de l'intestin grêle. En situation physiologique, l'estomac d'un lapin n'est jamais vide. Son contenu, composé d'aliments et/ou de cæcotrophes, représente 90 à 120 g de matière fraîche chez un lapin de 9 semaines, en fonction de l'heure de la journée. Sa teneur en matière sèche varie de 16 à 21 %. La paroi de l'estomac sécrète principalement de l'acide chlorhydrique, de la pepsine et des minéraux (Ca, K, Mg et Na). Le pH stomacal, toujours fortement acide, varie assez sensiblement au cours de la journée, principalement dans la zone fundique : en présence de cæcotrophes, en début de journée, le pH du fundus peut atteindre 3,5 ; alors que le pH de l'antrum est toujours entre 1,5 et 2,0. La sécrétion de pepsine et d'électrolytes varie principalement en fonction du rythme d'ingestion des cæcotrophes.

L'intestin grêle mesure de 3,2 à 4,5 m de longueur pour un diamètre d'environ 0,8 à 1 cm, et il est appendu à la voûte vertébrale par un mésentère très lâche. Il est classiquement divisé en duodénum, jéjunum et iléon. Le canal cholédoque, qui apporte la bile en provenance du foie, débouche au début du duodénum, immédiatement après le pylore. Son ouverture dans le duodénum est régulée par le sphincter d'Oddi. Chez le lapin, la bile est sécrétée pratiquement en continu par le foie, puis stockée dans la vésicule biliaire. Le canal pancréatique débouche vers la fin du duodénum à environ 40 cm du pylore. Sur la paroi, on observe de place en place des plaques de tissu lymphoïde d'environ 1 à 2 cm de diamètre. Il s'agit des plaques de Peyer qui ont une fonction immunitaire. Les multiples glandes présentes dans la paroi de l'intestin grêle sécrètent de nombreuses enzymes digestives (carboxypeptidases, disaccharidases, etc.) qui viennent compléter celles sécrétées par le pancréas (lipase, amylase, trypsine, chymotrypsine, etc.). Le contenu de l'intestin grêle est liquide (5 à 12 % de MS), surtout dans le duodénum. En outre, il est normal de trouver des portions d'une dizaine de centimètres vides de tout contenu. Le pH est légèrement alcalin dans la première partie (pH 7,2-7,5) et s'acidifie progressivement pour atteindre 6,2-6,5 dans l'iléon. L'iléon mesure 15 à 20 cm et s'engage au niveau du *sacculus rotundus* entre la partie initiale du côlon et le cæcum. Il est uni au cæcum par un pli iléo-cæcal long et étroit, et au côlon par un pli cæco-colique encore plus étroit. Le tout s'enroule sur un tour et demi. L'ampoule iléale (dilatation d'une partie de l'iléon) est un tissu particulier à la paroi épaisse occupée par de nombreux nodules lymphatiques, comme pour l'appendice cæcal. Très près de l'ampoule iléale, c'est-à-dire de « l'entrée » du cæcum, se trouve aussi le départ du côlon proximal. De ce fait, le cæcum apparaît comme une impasse anatomique branchée en diverticule sur l'axe intestin grêle-côlon. Les études de physiologie montrent que cette impasse/réservoir est un lieu de passage obligé ; à partir de l'iléon, les digesta circulent de la base vers la pointe du cæcum, en passant au centre du cæcum. Puis, ils reviennent vers la base, le long de la paroi, avec une action de brassage. Il n'y a donc pas de passage direct des digesta de l'iléon vers le côlon proximal.

Le cæcum, 40-45 cm de long pour un diamètre de 3 à 4 cm, est le réservoir le plus important du tube digestif, puisque son contenu (100 à 120 g) correspond à environ 50 % du contenu digestif total. Son contenu est pâteux (20 à 23 % de MS) et homogène, avec un pH proche de 6. La paroi du cæcum s'invagine selon une spirale qui fait 22 à 25 tours ou spires (typique des lagomorphes), augmentant ainsi la surface de muqueuse au contact du contenu cæcal. Il est le lieu d'une intense activité bactérienne à l'origine de l'hydrolyse et de la fermentation des fibres alimentaires. À son extrémité, l'appendice cæcal (10-12 cm) a un diamètre nettement plus faible. Sa paroi épaisse est constituée de tissu lymphoïde.

La longueur totale du côlon est d'environ 1,5 m. Il est d'abord caractérisé par la présence d'*haustra* (petits renflements en forme de poche) sur environ 50 cm, c'est le côlon proximal. Après une zone d'environ 1 à 1,5 cm, portant les seuls muscles striés du tube digestif et appelée *Fusus coli*, la paroi devient lisse dans sa partie terminale ; cette partie est appelée côlon distal. Sa dernière partie est appelée rectum et se termine à l'anus. Le rectum est allongé avec une ampoule rectale peu distincte. Il se prolonge dorsalement aux organes génitaux, jusque sous la quatrième ou cinquième vertèbre coccygienne. De chaque côté, se trouve un volumineux amas de glandes anales constituant la glande paraproctale (15 mm sur 8 mm). Elle déverse une sécrétion huileuse dans le canal anal juste sur la ligne ano-rectale.

Le foie est de teinte brun-rouge, il pèse de 80 à 120 g (soit 3 à 4 % du poids vif « PV ») et possède deux lobes principaux (droit et gauche) et un lobe caudé. La vésicule biliaire (2 à 3 cm de longueur et 8 à 10 mm de largeur) est enfouie dans sa fosse à laquelle elle adhère sur le lobe crânial droit ; elle peut être dilatée quand le lapin est entre deux repas. Le pancréas n'est pas une glande unique mais un tissu diffus de couleur rosâtre. Il est composé de nombreux petits lobules difficiles à discerner du tissu graisseux auquel ils sont mêlés. Il est situé dans toute l'étendue du méso-duodénum qui est lui-même très ample et flottant.

Le développement du tube digestif est marqué, jusqu'à l'âge de trois semaines, par l'importance des segments antérieurs (estomac et intestin grêle). Cette importance décroît entre trois et cinq semaines d'âge, tandis que celle des segments postérieurs s'accroît. Par exemple, le poids du cæcum plein est de 0,5 % du poids vif à deux semaines d'âge, et il se stabilise à 6 % dès sept semaines d'âge. Après cet âge, l'ensemble des segments du tube digestif a un développement moins rapide que celui du poids global du lapin. Chez la lapine adulte, l'importance du tube digestif est

### Encadré 1.1. Développement digestif et corporel : conséquences sur le rendement à l'abattage.

Compte tenu du développement de la masse digestive et de la relative proportionnalité existant entre le poids de l'organe et celui de son contenu, le rendement à l'abattage (poids de la carcasse/poids vif) s'améliore avec l'âge, du moins chez les lapins de plus de six semaines. En effet, le poids de la peau, autre élément important du rendement à l'abattage, ne varie que de 14,5 à 15,1 % du PV entre 50 et 150 jours, alors que la masse digestive passe de près de 23 % du PV à 50 jours à moins de 15 % à 150 jours. Sachant que l'efficacité alimentaire diminue avec l'âge, surtout après neuf semaines d'âge chez le lapin (en élevage professionnel européen), aux alentours de onze semaines d'âge, le rendement à l'abattage est d'environ 56 %, alors que l'efficacité alimentaire du lapin est encore assez élevée (environ 30 %).

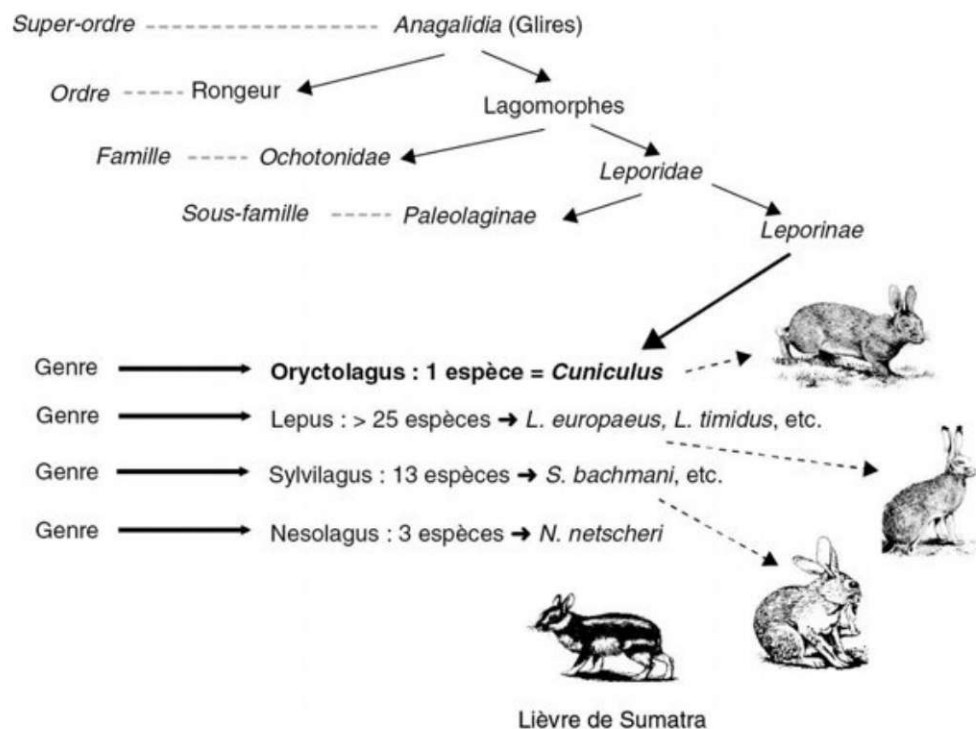
réduite en fin de gestation, mais elle augmente fortement au cours de la lactation pour retrouver des valeurs relatives similaires à celles observées chez un jeune de cinq à sept semaines, ce qui démontre la plasticité du tube digestif.

## Taxonomie

Le lapin (*Oryctolagus cuniculus*) appartient à l'ordre des lagomorphes, à la famille des *Leporidae* et à la sous-famille des *Leporinae* (figure 1.7). L'ordre des lagomorphes (littéralement : ceux qui ressemblent au lièvre) se distingue de celui des rongeurs, en particulier par l'existence d'une deuxième paire d'incisives à la mâchoire supérieure.

La sous-famille des *Leporinae* compte une soixantaine d'espèces réparties en une douzaine de genres, dont *Lepus* (les lièvres) et *Sylvilagus* (les lapins américains), comprenant respectivement une trentaine et une quinzaine d'espèces. Le lapin européen, ou encore lapin domestique (ou, à l'état sauvage, le lapin de garenne), est la seule espèce (*Cuniculus*) de son genre (*Oryctolagus*) et ne peut donc se croiser avec aucun autre lagomorphe. Il n'existe donc aucun hybride vrai entre l'espèce lapin et une autre espèce « voisine ».

Le mot *Oryctolagus* a été proposé par Lilljeborg en 1874 et vient du grec *oruktês*, qui signifie fouisseur, et *lagôs*, qui signifie lièvre. Par contre, le nom d'espèce *cuniculus* est le nom latin du lapin, directement dérivé de l'Ibère et initialement transcrit en *ko(n)niklos* par l'historien gréco-romain Polybe, environ 150 ans avant J.-C.



**Figure 1.7.** Position du lapin *Oryctolagus cuniculus* dans la taxonomie des lagomorphes.

## Origine, évolution et domestication

### Origine et diffusion

*Oryctolagus cuniculus* est le seul mammifère domestiqué dont l'origine paléontologique se situe en Europe de l'Ouest. Les restes fossiles les plus anciens du genre sont datés d'environ 6,5 millions d'années et ont été retrouvés en Andalousie. Deux sous-espèces du genre naissent il y a environ 2 millions d'années : *O. c. algirus* dans le sud-ouest de la péninsule ibérique et *O. c. cuniculus* dans le nord-est. Les deux sous-espèces demeurent aujourd'hui différenciées mais des échanges réciproques de gènes sont intervenus au cours des périodes interglaciaires et depuis la fin de la dernière glaciation (Callou, 2003 ; Carneiro *et al.*, 2011). *O. c. algirus* est un lapin de petite taille (1 kg environ) et de pelage très sombre. *O. c. cuniculus* présente des dimensions plus grandes, un poids plus élevé (2 kg environ) et un pelage de type agouti.

La sous-espèce *O. c. cuniculus* est à l'origine des populations ouest-européennes du nord des Pyrénées. La France est ainsi colonisée au Pléistocène moyen (–800 000/–128 000 ans). Du Pléistocène supérieur (–100 000 ans) au Néolithique (–3 300 ans), l'aire de répartition de l'espèce correspond seulement à l'ensemble de la péninsule ibérique, au sud de la France, et, vers la fin de la période, à la partie ouest de l'Afrique du Nord. Le lapin est un gibier de prédilection pour l'Homme de la fin du Paléolithique et du Mésolithique dans la péninsule ibérique, le Sud de la France et l'Ouest de l'Italie. Le lapin représentait même l'essentiel de l'alimentation carnée des hommes vivant en Provence en 7 000 à 8 000 ans avant J.-C. De l'âge de bronze (2 000 ans avant J.-C.) au <sup>v</sup><sup>e</sup> siècle après J.-C., la répartition d'*Oryctolagus cuniculus* change peu. Par contre, au cours de cette période, l'espèce est introduite par l'Homme sur certaines des îles de l'ouest de la Méditerranée (Baléares, île de Zembra au large de la Tunisie, etc.).

Les Phéniciens découvrent le lapin en Espagne vers 1 000 ans avant J.-C. L'origine du mot « Espagne » leur est attribuée. Ils auraient ainsi confondu le lapin avec les damans de leur pays, qui vivent également en colonies et creusent des terriers, et appelèrent la contrée « le pays des damans », *I-Saphan-Im*. Cette dénomination latinisée plus tard donnera le nom Hispania (Rougeot, 1981).

Alors qu'un certain statisme est observé pendant plusieurs dizaines de millénaires, la répartition du lapin va connaître un profond bouleversement à partir du Moyen Âge. On assiste alors à un éclatement des limites géographiques de cette espèce, initialement inféodée aux régions au climat et à la végétation méditerranéenne ou aquitaine. Dès le <sup>ix</sup><sup>e</sup> siècle, la limite naturelle que constitue la Loire est franchie. L'espèce se répand alors dans toutes les directions. La diffusion, d'abord lente (de l'ordre de 500 m/an), s'accélère par la suite pour atteindre environ 4 km/an (vers l'Europe du Nord) et jusqu'à 8 km/an (passage de l'espèce en Angleterre, fin <sup>x</sup><sup>e</sup>-début <sup>xii</sup><sup>e</sup> siècle). La diffusion rapide du lapin rapportée à l'échelle de son histoire ne peut se concevoir sans une intervention humaine, indispensable pour franchir les grands fleuves et la Manche.



## Apparition de l'élevage et de la domestication

Les premiers écrits mentionnant l'élevage du lapin sont ceux de Varon (116-27 av. J.-C.). Il préconise de garder les lapins dans des *leporaria*, parcs murés dans lesquels on conservait aussi des lièvres et autres gibiers afin d'en faciliter la chasse. À cette même époque, les Romains ont adopté la coutume des Ibères consistant à consommer des « laurices », c'est-à-dire des lapereaux nouveau-nés (ou des fœtus). Une exploitation intense du lapin a été décelée dans un site gallo-romain du premier siècle de notre ère aux environs de Montpellier. Les restes de très nombreux lapins, principalement des jeunes de moins de 6 mois, ont été conservés dans trois puits. Comme pour les autres animaux dont on a retrouvé le squelette entier (équidés, bovins et chiens), il semble bien qu'il s'agisse d'animaux élevés puis morts en ville, et dont on s'est débarrassé sur place.

À la fin du V<sup>e</sup> siècle de notre ère, Grégoire de Tours mentionne le lapin dans son histoire des Francs. Il reprochait aux moines de consommer des laurices en temps de carême, ce mets étant autorisé parce que « d'origine aquatique », au même titre que le castor, la loutre et les mammifères marins. On peut penser avec Zeuner (1963) que le souhait d'obtenir facilement des laurices aurait conduit les moines à imaginer de maintenir les lapines en captivité pour accéder plus aisément aux nouveau-nés. Effectivement, l'élevage des lapins en claustration devient l'apanage des couvents à cette époque. On trouve en effet des écrits attestant d'échanges de couples de lapins entre couvents au milieu du XII<sup>e</sup> siècle.

En dehors des monastères, les lapins sont entretenus dans des « garennes », héritières des *leporaria*, à l'initiative de la noblesse détentrice du droit de chasse. Les garennes sont des espaces ouverts délimités par des fossés, des levées de terre surmontées d'une palissade ou d'une haie. Ces structures, simples au départ, seront progressivement aménagées avec la création de mottes ou de tertres destinés à favoriser le creusement de galeries souterraines. Plusieurs ordonnances des rois de France réglementent le développement des garennes au XIV<sup>e</sup> et XV<sup>e</sup> siècles en raison des dégâts occasionnés par les lapins qui s'en échappent. La gestion des populations de lapins dans les garennes s'est poursuivie jusqu'au XVI<sup>e</sup> siècle, ce qui constitue les prémices d'un élevage, mais on parlera plutôt de cynégétisation que de domestication (Callou, 2003). Les moines sont souvent présentés comme les précurseurs de la domestication du lapin en raison de leur goût pour les laurices et pour la fabrication de nids artificiels pour les obtenir, créant ainsi les conditions pour fixer les caractères domestiques. Cependant, même si des lapins ont été effectivement maintenus en captivité sur une longue période, cette pratique est certainement restée exceptionnelle puisque limitée à une coutume particulière et peu répandue (Callou, 2003). Il faut rappeler que le processus de domestication affecte souvent une espèce de manière transitoire et réversible, avant qu'elle ne l'affecte de manière généralisée et durable (Digard, 1990). Parallèlement à la gestion des garennes, les documents historiques font de plus en plus fréquemment référence à l'usage de structures comme les clapiers qui permettent un élevage contrôlé à l'extérieur de la garenne par l'isolement de certains individus, notamment des femelles (Callou, 2003).



Au XVI<sup>e</sup> siècle, Agricola mentionne l'existence de lapins blancs, noirs, pies (noir et blanc par grandes taches) ou gris cendré, et, de son côté, Aldrovandi s'émerveille de voir à Vérone des lapins domestiques quatre fois plus gros que les lapins sauvages. Dans son ouvrage de référence sur les techniques agricoles, Olivier de Serres (1605) distingue trois sortes de lapins : les lapins sauvages (les plus goûteux), les lapins de garenne (agréables au goût) et les lapins de clapier (à la chair plus fade). Les caractéristiques de ces trois types de lapins sont reliées par l'auteur à leur nourriture et à l'exercice qu'ils pratiquent plutôt qu'à leur génétique. Dans cet ouvrage, pas moins de 13 pages sont consacrées à la construction et à la conduite des garennes et des clapiers. Il y est par exemple conseillé de ne conserver qu'un mâle adulte pour vingt à trente femelles dans les garennes et de castrer les jeunes mâles pour améliorer la qualité de leur viande. Pour la reproduction des lapins élevés en clapier, il est conseillé de porter la femelle dans la cage du mâle et il est recommandé de pratiquer cet accouplement immédiatement après la mise-bas, de le surveiller, puis de ramener immédiatement la lapine avec ses petits. Autrement dit, Olivier de Serres conseillait déjà il y a 400 ans la pratique des saillies *post-partum*.

## Races et lignées de lapins

La race est, au sein d'une espèce, une collection d'individus ayant en commun un certain nombre de caractères morphologiques et physiologiques qu'ils perpétuent lorsqu'ils se reproduisent entre eux. L'apparition des races de lapins est intimement liée à l'utilisation de cet animal par l'Homme, pour sa chair mais également pour sa fourrure, dont les particularités résultent souvent de mutations mendéliennes apparues spontanément dans les populations d'élevage.

### *Génétique de la coloration et structure du pelage chez les races de lapins*

Les races peuvent être classées selon la couleur et la structure du pelage. Les variations sont gouvernées par six mutations de coloration, deux mutations de tacheté du pelage et quatre mutations de structure du pelage. Trois types de poils forment le pelage : les jarres, poils les plus longs, recteurs, raides à leur base ; les barbes, poils tecteurs de longueur intermédiaire, 3 à 4 fois plus nombreux ; les duvets, poils plus courts et très nombreux, qui partagent un follicule pileux avec les barbes et qui constituent la sous-fourrure. On dénombre 25 à 50 duvets pour un poil de jarre.

Le lapin de coloration de type sauvage, dite « agouti », possède une fourrure dorsale grise avec une surface ventrale beaucoup plus claire ou blanche. Les jarres sont noires sur toute leur longueur, mais apparaissent d'un noir foncé à leur extrémité et s'éclaircissent en bleuté vers leur base. Les barbes sont zonées, noires aux extrémités, traversées en leur milieu par une bande de couleur jaune. Les fibres de sous-fourrure sont bleutées à leur base et frangées de jaune à leurs extrémités. Six mutations à plusieurs *locus* modifient cette coloration.

*Locus A*, agouti. La mutation non agouti *a* donne des animaux qui n'ont pas de poils zonés par la bande jaune et n'ont pas de surface ventrale plus claire. Leur coloration est donc uniforme. *A* est dominant par rapport à *a*.

*Locus B*, pigment noir. Lorsque les deux allèles récessifs *b* sont portés, le noir est remplacé par un pigment brun chocolat dans la fourrure de type sauvage

*Locus C*. L'allèle *C* est nécessaire au développement des pigments dans la fourrure, la peau, les yeux. L'allèle récessif *c* inhibe l'expression de la coloration conduisant à l'albinisme chez les homozygotes récessifs (race néo-zélandaise par exemple). Plusieurs allèles ont été identifiés à ce *locus* :

- *C* : expression complète de la coloration ;
- *c<sup>ch</sup>* : chinchilla, suppression de la coloration dans la bande zonée intermédiaire du poil ;
- *c<sup>h</sup>* : himalayan, les extrémités du poil sont colorées en noir ou brun, si la température ambiante est inférieure à 30 °C environ ; l'expression de ce gène dépend de la température ambiante (races Petit Russe et Grand Russe, Californien ; voir encadré 2.1).
- *c* : albinisme. Le *locus* de l'albinisme est épistatique sur les autres *loci* de coloration. Le génotype *cc* masque l'expression des gènes de coloration (race néo-zélandaise).

*Locus D*, dilution. L'allèle récessif *d* affecte l'intensité de la pigmentation en causant une dilution des granules de pigments. L'allèle dominant *D* apporte une densité normale de la pigmentation. L'homozygote récessif *dd* présente une coloration de type bleu (noir dilué en bleu) ou beige (jaune dilué en beige). La mutation causale du gène de dilution a été récemment identifiée (Fontanesi *et al.*, 2014). Il s'agit d'une délétion d'une base nucléotidique dans l'exon 5 (g.549853delG) du gène *MLPH*.

*Locus E*, extension. L'allèle récessif *e* provoque une extension du pigment jaune dans le poil, qui remplace plus ou moins le pigment noir ou marron. Les races de couleur grise, noire ou marron portent l'allèle *E*. Les races jaune ou rouge sont homozygotes récessives *ee*.

*Locus V*, Blanc de Vienne. Les lapins de la race Blanc de Vienne ont une fourrure complètement non pigmentée, mais ils ont les yeux colorés en bleu. Ils sont homozygotes récessifs *vv*. Les croisements entre des lapins Blanc de Vienne et des lapins albinos donnent des descendants colorés.

Il existe deux mutations donnant un pelage tacheté.

*Locus En*, *English* (ou papillon en français). Le lapin Papillon a le génotype hétérozygote *En en*. L'allèle *En* est incomplètement dominant. Les homozygotes *En En* sont plus blancs que les hétérozygotes. Les homozygotes récessifs sont plus noirs.

*Locus Du*, Dutch. Le génotype *du du* donne la ceinture blanche du lapin Hollandais (Dutch).

Quatre mutations sont connues pour leur rôle sur la structure du pelage.

*Locus L*, angora. Les homozygotes récessifs *ll* ont un poil trois fois plus long que les lapins normaux en raison d'un allongement de la durée de croissance du poil, sans modification de la composition et de la structure du poil. Les animaux angora sont élevés pour la production de fibres textiles.

*Locus R*, rex. La fourrure du lapin Rex homozygote *rr* se caractérise par une diminution du nombre et de la longueur des jarres, donnant à la fourrure des poils plus courts, plus compacts et plus doux. La mutation causale de ce caractère a été

récemment identifiée (Diribarne *et al.*, 2011). Il s'agit d'une délétion d'une base nucléotidique dans l'exon 9 (1362delA) du gène LIPH se traduisant par une protéine LIPH tronquée. La protéine LIPH est une enzyme qui catalyse la production d'acide 2-acyl lysophosphatidique (LPA), qui est un médiateur lipidique avec diverses propriétés biologiques, qui incluent l'agrégation plaquettaire, la contraction des muscles lisses et la stimulation de la prolifération cellulaire. Le niveau d'expression de LIPH dans la peau et le follicule pileux est trois fois plus faible chez les rex que chez le lapin commun.

*Locus Sa*, satin. Les lapins Satin ont une fourrure brillante et lisse, plus douce et soyeuse que celle d'un lapin commun. Le cortex, le bulbe et la cuticule des poils de lapins Satin sont en effet plus minces que chez un lapin commun. Ce caractère est dû à une mutation récessive observée pour la première fois en 1930.

*Locus furless*. La fourrure de ces lapins se caractérise par une diminution importante du nombre de duvets dans le pelage. Il s'agit d'un caractère à pénétrance incomplète. Dans les cas extrêmes, les animaux sont presque nus. Ce caractère, quelquefois décrit comme létal, a été identifié pour la première fois en 1928.

### Création des races

Le lapin Argenté Anglais est une des races les plus anciennement connues. Le commerce de la fourrure de lapin connaît un fort développement à partir du XVI<sup>e</sup> siècle. Certains variants de couleur, résultant de mutations spontanées, sont très prisés par les pelletiers, particulièrement les lapins Argentés (mélange de poils blancs sur un fond uniforme noir). À la fin du Moyen Âge, certaines garennes se sont donc spécialisées dans l'élevage du lapin Argenté (ou lapin riche) pour la qualité et la valeur très élevée de leur peau.

Une dizaine de races étaient répertoriées au milieu du XIX<sup>e</sup> siècle, notamment le Bélier (à oreilles tombantes), l'Angora, le Blanc de Chine (aussi appelé Russe ou Himalayan), le Nicard (ancêtre possible des lapins nains) et le Géant, en Belgique (Le Gall, communication personnelle). Dans la deuxième moitié du XIX<sup>e</sup> siècle, en France, mais également en Angleterre, où les éleveurs amateurs multiplient les souches d'agrément, le nombre de races nouvelles ne cesse de s'accroître, à partir des quelques races citées précédemment et de leurs croisements entre elles ou avec des populations fermières. Il faudra attendre la fin du XIX<sup>e</sup> siècle pour disposer des données les plus complètes sur les races de lapins, leurs origines et leur description détaillée avec notamment les ouvrages de Darwin (1879), Knight (1881), Cornevin (1897) et Meslay (1900).

### Principales races et création de lignées

Les races de lapin sont généralement décrites dans des recueils ou standards nationaux, et ce dans la majorité des pays européens. Le recueil français, géré par la Fédération française de cuniculiculture (<http://www.ffc.asso.fr/ffc>), fait référence dans le monde entier pour les races françaises. Les animaux de races ne sont en général élevés qu'en troupeaux de très petits effectifs par des éleveurs amateurs qui recherchent les animaux les plus conformes au standard pour les faire concourir à des expositions agricoles.

La plupart des lapins utilisés pour la production commerciale de viande appartiennent à des lignées hybrides, provenant de croisements entre plusieurs races, et issues de schéma de sélection. Ils peuvent ressembler à telle ou telle race sans nécessairement répondre aux critères d'origine et de standard. La race la plus utilisée est sans conteste la race néo-zélandaise, ou du moins des populations de lapins albinos fortement apparentés à cette race.

Une lignée de lapin, ou souche, correspond à un ensemble relativement homogène d'animaux soumis à une sélection continue et dirigée dans une orientation précisée à l'avance, dans un milieu donné et en troupeau fermé. Les lignées sont caractérisées par l'origine raciale et le nombre des reproducteurs, l'année et le mode de constitution, les critères de sélection et un certain niveau de performances. Certaines de ces lignées ont été créées et entretenues par des laboratoires de recherche publique. Ainsi, dès 1961, le ministère français de l'Agriculture a missionné l'Inra de Toulouse pour sélectionner et diffuser des souches à forte prolificité (de Rochambeau, 1998). Six souches ont ainsi été créées à partir d'animaux de races pures provenant de France et des États-Unis. Une expérience de croisement réalisée entre 1970 et 1972 a abouti au choix de deux d'entre elles pour les utiliser en croisement afin de produire une femelle parentale métisse : la souche A1077, d'origine néo-zélandaise blanche et la souche A2066 d'origine grand-russe et californienne. Ce programme public de diffusion (arrêté en 2008 puis transféré aux professionnels) a remporté un franc succès puisque la Fédération nationale des éleveurs de lapins de chair (Fenalap) estimait en effet à 66 % la proportion de femelles issues du croisement entre les deux lignées Inra élevées en élevage de production (soit environ 800 000 lapines). Des programmes similaires ont été également développés en Espagne à l'Université polytechnique de Valence, ainsi qu'en Hongrie à l'université de Kaposvar, pour créer à leur tour d'autres lignées spécialisées pour la production de lapin de chair.

En Europe, la très grande majorité des éleveurs professionnels utilise des animaux issus du croisement entre lignées spécialisées maternelles, principalement sélectionnées pour des caractères de reproduction, et paternelles, essentiellement sélectionnées pour des caractères de croissance et de qualité de carcasse. La femelle parentale est le plus souvent issue d'un croisement entre deux lignées maternelles qui permet de bénéficier des effets d'hétérosis sur les caractères de reproduction (voir chapitre 7). Pour produire des lapereaux de chair, la femelle parentale est ensuite accouplée (ou le plus souvent inséminée) avec un mâle issu d'une lignée paternelle, ou un mâle hybride issu du croisement entre deux lignées paternelles. Des entreprises de sélection proposent des lignées dont les critères de sélection sont choisis pour l'amélioration des performances techniques et économiques des lapins utilisés en croisement. L'amélioration génétique du lapin et les principales lignées utilisées par les professionnels sont évoquées dans le chapitre 7 de cet ouvrage.

Il existe quatre types de races de lapins :

- les races primitives ou primaires, ou encore géographiques, à partir desquelles se sont différenciées toutes les autres. Elles sont directement issues des lapins sauvages (ou lapins de garenne) ;



- les races obtenues par sélection artificielle à partir des précédentes, exemple : Fauve de Bourgogne, Néo-Zélandais Blanc, Argenté de Champagne (figure 1.8, planche 1) ;
- les races synthétiques obtenues par croisement raisonné de plusieurs races, exemple : Géant Blanc du Bouscat, Californien ;
- les races mendéliennes, obtenues par fixation d'un caractère nouveau, à détermination génétique simple, apparu par mutation, exemple : Castorrex, Satin, Japonais, Angora (figure 1.8, planche 1).

Les races peuvent être classées en fonction de leur taille adulte. De plus, celle-ci est souvent en rapport avec des caractères de production : précocité, prolificité, vitesse de croissance, vitesse d'atteinte de l'état adulte.

### *Les races lourdes*

Le poids adulte dépasse 5 kilogrammes. La fécondité est généralement faible. Le fort potentiel de croissance des races lourdes est par contre de plus en plus souvent exploité dans les croisements commerciaux. Citons le Bélier Français, le Géant Blanc du Bouscat, le Géant Papillon Français, le Géant Espagnol et le plus grand de tous, le Géant des Flandres (7 à 8 kg).

### *Les races moyennes*

Le poids adulte varie de 3,5 à 5 kilogrammes. Les races moyennes sont à la base des populations ou lignées ou races de lapins utilisées pour la production intensive de viande dans les conditions de l'Europe occidentale. Elles sont les plus nombreuses. Nous en donnons ci-après quelques exemples.

L'Argenté de Champagne est un exemple, comme le Fauve de Bourgogne, d'une race sélectionnée depuis très longtemps à partir d'une population régionale (de la Champagne). Ce lapin est connu, outre pour les caractéristiques de sa fourrure autrefois appréciée, pour ses aptitudes de production : prolificité élevée, forte croissance, bon développement musculaire, et qualité de la viande appréciée. Il est élevé en France de façon fermière, exclusivement sur litière.

Le Fauve de Bourgogne est également une race française d'origine régionale (la Bourgogne), qui s'est largement répandue en France et dans d'autres pays européens (Italie, Belgique, Suisse).

Le Californien est une race synthétique américaine présentée pour la première fois en 1928 en Californie par son obtenteur. Celui-ci a cherché à obtenir un lapin de chair avec une très bonne fourrure. Le poids adulte de cette race est de 3,6 à 4 kilogrammes.

Le Néo-Zélandais Blanc est une race originaire des États-Unis. Il descend de lapins colorés dont il est l'albinos. Il a été sélectionné dès le départ, dans de grands élevages producteurs de viande de Californie, sur des qualités zootechniques : prolificité, aptitudes maternelles des femelles, vitesse de croissance et précocité de développement corporel pour un abattage à l'âge de 56 jours visant à produire une carcasse légère. Le poids adulte est de l'ordre de 4 kg, un peu supérieur à celui du Californien. Cette race s'est largement répandue en Europe occidentale et dans le monde, depuis 1960, avec l'adoption de l'élevage sur grillage.

Le lapin Grand Chinchilla est d'origine allemande. Son poids moyen adulte est de 4,5 kilogrammes. Il peut être sélectionné pour la viande et la fourrure.

### *Les races légères*

Ce sont des races dont le poids adulte se situe entre 2,5 et 3 kg. Elles ont en général un développement corporel très précoce et parfois d'excellentes aptitudes maternelles. En voici quelques exemples : Russe, Petit Chinchilla, Hollandais, Papillon Anglais. Le lapin Russe est aussi appelé lapin Himalayan. Comme le lapin Californien, ce lapin blanc aux extrémités noires porte l'allèle *ch* au *locus C* (coloré).

### *Les races petites ou naines*

Celles-ci ont des poids adultes de l'ordre de 1 kg. Elles sont représentées principalement par le lapin Polonais et les multiples nains de couleur. La sélection sur la petitesse de la taille a conduit dans ces races à une très faible prolificité. Elles sont principalement utilisées pour produire des lapins « de compagnie ».

## *Étude génétique des populations et de la domestication*

Différents marqueurs génétiques ont été utilisés récemment pour caractériser les populations sauvages et domestiques. Les marqueurs sont des régions de l'ADN qui présentent des variations dans la séquence des bases azotées qui le composent. Les marqueurs microsatellites présentent des variations dans le nombre de répétitions d'une séquence. La séquence peut également présenter des différences pour une seule base. On parle alors de SNP (*Single Nucleotid Polymorphism*). Les études génétiques ont montré l'existence de deux lignées fortement divergentes, appelées A et B, qui s'apparentent en partie aux sous-espèces *O. c. algirus* et *O. c. cuniculus* (Biju-Duval, 1992 ; Rogel-Gaillard *et al.*, 2009). Ces deux lignées partagent un ancêtre commun remontant à 2 millions d'années. Les deux lignées sont encore aujourd'hui séparées géographiquement : les populations sauvages du Sud-Ouest de la péninsule ibérique appartiennent au groupe A, tandis que celles du Nord de l'Espagne, de France et de Tunisie sont du groupe B, comme le sont également toutes les races domestiques. La chaîne des Pyrénées semble avoir constitué une barrière génétique importante puisque la migration du nord de l'Espagne vers le nord des Pyrénées s'est traduite par une perte de variabilité de l'ordre de 12 % (Carneiro *et al.*, 2011).

Les études génétiques les plus récentes confirment que toutes les races domestiques de lapin sont issues de la domestication de lapins sauvages de la sous-espèce *O. c. cuniculus* présente en France au Moyen Âge. Bien que la variabilité génétique des races de lapins reste élevée en comparaison d'autres mammifères domestiques, le processus de domestication et la création des races se sont accompagnés d'un nouvel appauvrissement génétique de l'ordre de 21 %. Dans une étude récente publiée dans la revue *Science*, le génome de six races de lapins domestiques (Néo-Zélandais, Bélier Français, Lièvre Belge, Hollandais, Géant des Flandres et Argenté de Champagne) a été comparé à celui de quatorze lapins sauvages prélevés dans le Sud de la France et la péninsule ibérique (Carneiro *et al.*, 2014). Les scientifiques n'ont identifié aucun gène majeur de domestication, mais ont observé un nombre très élevé de

polymorphismes (variations du génome), répartis sur l'ensemble du génome, qui touchent en particulier les régions de régulation des gènes. Les chercheurs ont également montré que ces polymorphismes affectent notamment des gènes impliqués dans le développement du cerveau et du système nerveux. Contrairement au lapin domestique, le lapin sauvage dispose d'une aptitude à prendre rapidement la fuite face à ses différents prédateurs (rapaces, renards, humains). Cette étude a montré que c'est l'accumulation de variations génétiques, à petits effets mais sur de très nombreux gènes au cours de la domestication, qui a progressivement inhibé cette aptitude, ce qui représente l'un des changements les plus importants dans l'histoire évolutive du lapin et lui confère la notion de domesticité.

## Pour en savoir plus

- Barone R., Pavaux C., Blin P.C., Cuq P., 1973. *Atlas d'anatomie du lapin*, Masson éditions, Paris, 220 p.
- Biju-Duval P., 1992. Diversité de l'ADN mitochondrial chez les lagomorphes, thèse de doctorat, Université Paris VI, Pierre et Marie Curie, Paris, 122 p.
- Callou C., 2003. *De la garenne au clapier : étude archéozoologique du lapin en Europe occidentale*, Muséum national d'histoire naturelle, Paris, 358 p.
- Carneiro M., Afonso S., Geraldès A., Garreau H., Bolet G., Boucher S., Tircazes A., Queney G., Nachman M.W., Ferrand N., 2011. The genetic structure of domestic rabbits. *Molecular Biology and Evolution*, 28, 1801-1816.
- Carneiro M., Rubin C.J., Di Palma F., Albert F.W., Alföldi J., Barrio A.M., Pielberg G., Rafati N., Sayyab S., Turner-Maier J., Younis S., Afonso S., Aken B., Alves J.M., Barré D., Bolet G., Boucher S., Burbano H.A., Campos R., Chang J.L., Duranthon V., Fontanesi L., Garreau H., Heiman D., Johnson J., Mage R.G., Peng Z., Queney G., Rogel Gaillard C., Ruffier M., Searle S., Villafuerte R., Xiong A., Young S., Forsberg-Nilsson K., Good J.M., Lander E.S., Ferrand N., Lindblad-Toh K., Andersson L., 2014. Rabbit genome analysis reveals a polygenic basis for phenotypic change during domestication. *Science*, 345, 1074-1079.
- Cornevin C., 1897. Lapins. In : *Traité de zootechnie spéciale : les petits mammifères de la basse-cour et de la maison*, Baillière et fils publication, Paris, 19-71.
- Darwin C., 1879. *De la variation des animaux et des plantes à l'état domestique*, Reinwald et Cie, Paris, 494 p.
- De Serres O., 1605. *Le théâtre d'agriculture et mesnage des champs*, Slatkine, Genève, 997 p.
- Digard J.P., 1990. *L'homme et les animaux domestiques : anthropologie d'une passion*, Fayard, Paris, 325 p.
- Diribarne M., Mata X., Chantry-Darmon C., Vaiman A., Auvinet G., Bouet S., Deretz S., Cribiu E., De Rochambeau H. de, Allain D., Guérin G., 2011. A deletion in exon 9 of the LIPH gene is responsible for the rex hair coat phenotype in rabbits (*Oryctolagus cuniculus*). *PLoS One*, 6 (4), e19281.
- Fontanesi L., Scotti E., Allain D., Dall'olio S., 2014. A frameshift mutation in the melano-philin gene causes the dilute coat colour in rabbit (*Oryctolagus cuniculus*) breeds. *Animal Genetics*, 45 (2), 248-255.
- Knight K.W., 1881. *The Book of The Rabbit*. The Bazaar Office, Londres, 447 p.
- Lebas F., Coudert P., Rouvier R., Rochambeau H. de, 1996. *Le lapin, élevage et pathologie*, collection FAO Production et santé animales, FAO, Rome, 227 p.



- Meslay E., 1900. *Les races de lapins*, Freccourt, Flers de l'Orne, France, 320 p.
- Rochambeau H. de, 1998. La femelle parentale issue des souches expérimentales de l'Inra : évolution génétique et perspective. In : *7<sup>e</sup> journées de la recherche cunicole*, 13-14 mai 1998, Inra-Itavi, Lyon, France, 3-14, Itavi, Paris.
- Rogel-Gaillard C., Ferrand N., Hayes H., 2009. Rabbit. In : *Genome Mapping and Genomics in Domestic Animals* (N.E. Cockett C.K., eds), Springer Berlin Heidelberg, 165-230.
- Rougeot J., 1981. Origine et histoire du lapin. *Ethnozootechnie*, 27, 1-9.
- Zeuner F.E., 1963. *A History of Domesticated Animals*, Hutchinson, Londres, 560 p.

Argenté de Champagne (© G. Gomez).



Angora Blanc (© J.J. Ménigoz).



Rex Castor (© E. Mayeur).



Lapin Nain Russe (© E. Mayeur).



Fauve de Bourgogne (© A. Raulain).



Bélier Français (© J.P. Gollin).



Lapin de la lignée Inra 1777 créée à partir de Néo-Zélandais américains (© E. Balmiss).



Géant Blanc du Bouscat (© E. Mayeur).

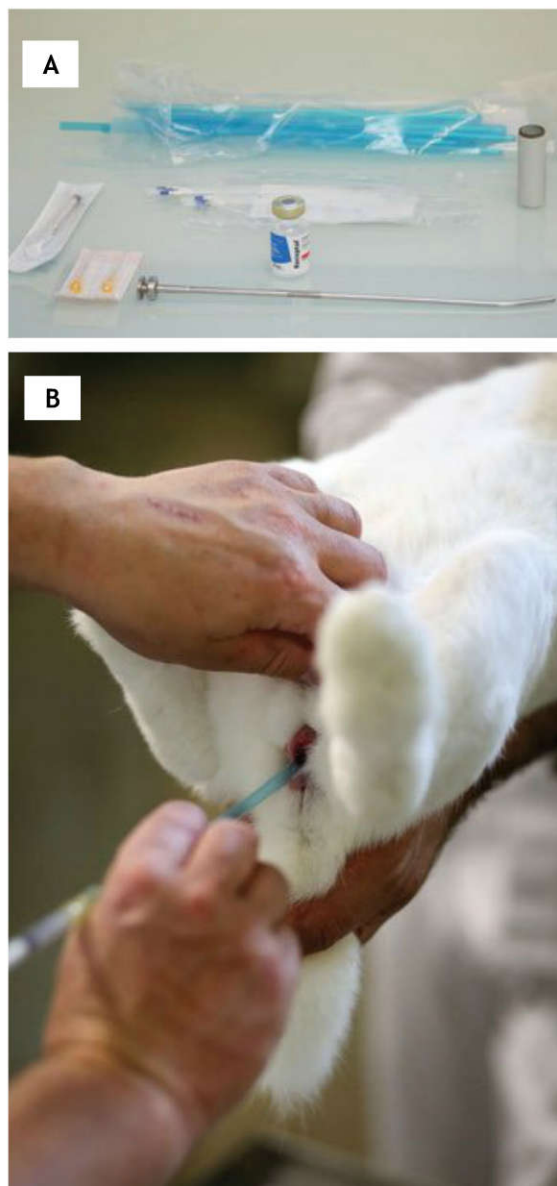


Figure 1.8. Principales races de lapin.

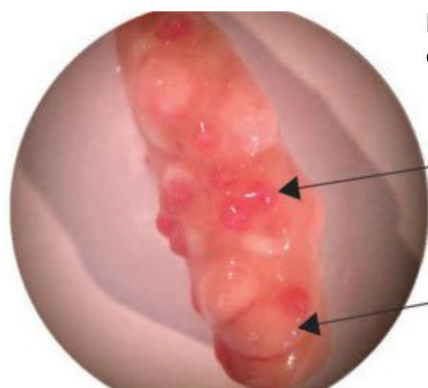
**Figure 3.2.**  
Vagin artificiel (A, © G. Cattiau),  
prélèvement (B, © C. Crié)  
et éjaculat (C).



**Figure 3.3.** Exemple de matériel  
d'insémination (A)  
et insémination artificielle (B, © C. Crié).







**Figure 3.5.** Ovaire de lapine comportant deux générations de corps jaunes

Corps jaune récent

Corps jaune ancien



**Figure 4.2.** Posture couchée étirée (© Dr B. Le Normand).



**Figure 4.3.** Lapins dans une cage aménagée à plate-forme (à gauche) ou dans une cage standard (à droite) (© Dr B. Le Normand).



**Figure 4.4.** Nid de lapine en conditions d'élevage : en préparation avant mise-bas (à gauche) contenant des poils de la femelle mêlés aux copeaux de bois, puis (à droite) après délivrance d'une portée de 7 lapereaux, ici à J3 (© G. Coureaud).

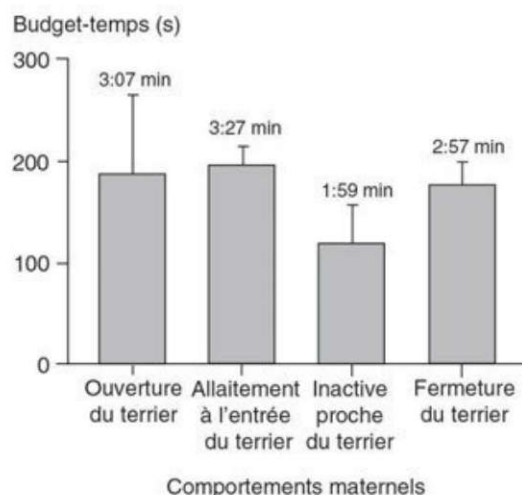


**Figure 4.5.** Lapine allaitant sa portée de nouveau-nés dans la boîte-à-nid (à gauche) ou dans sa cage (à droite) lorsque les lapereaux ont un âge plus avancé (J24) (© G. Coureaud).

A



B

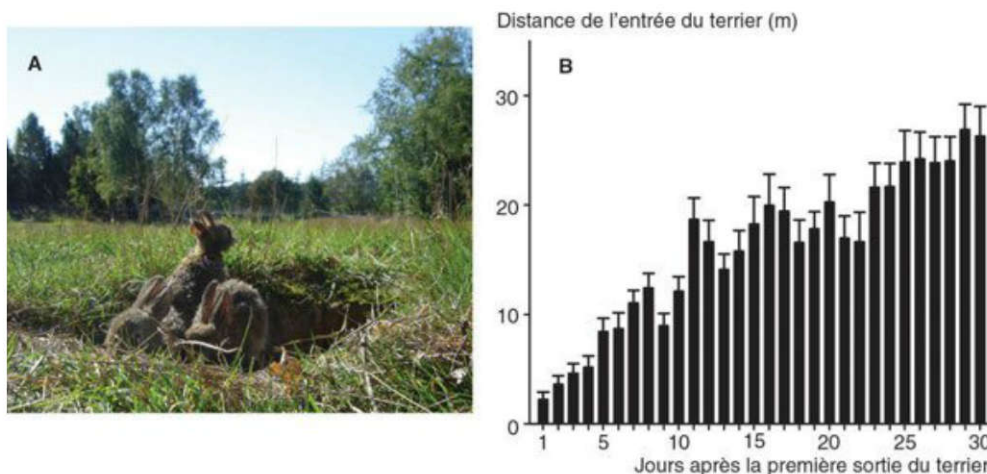
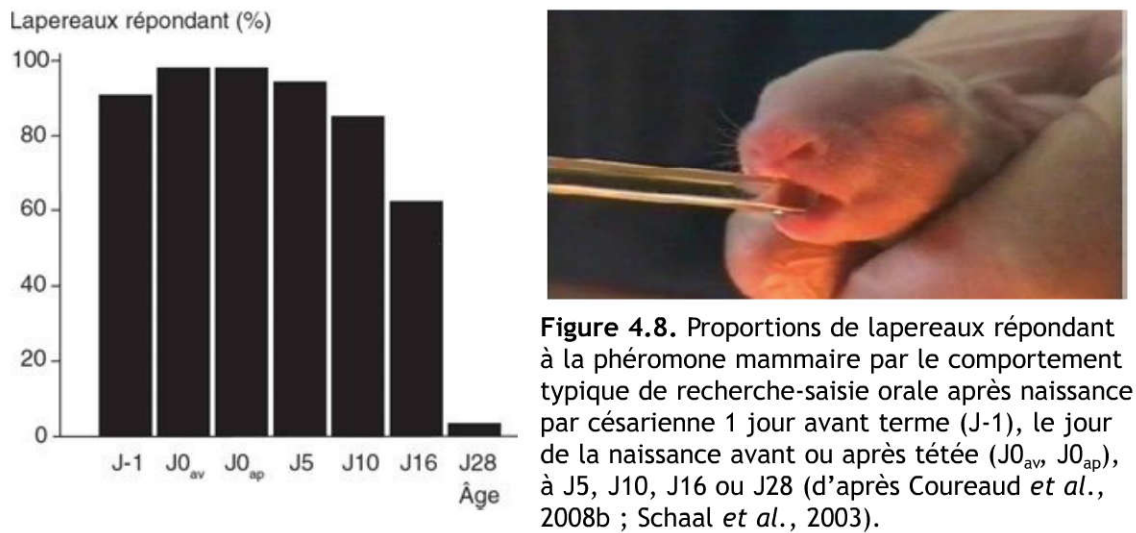


**Figure 4.6. A.** Lapine sauvage (bague à l'oreille pour permettre un suivi individuel) occupée au rebouchage de l'entrée de son nid, ce dernier étant situé sous terre sur la gauche. **B.** Temps consacré (moyenne + SEM) à différents items du comportement maternel composant une séquence d'allaitement chez la lapine sauvage. Les données résultent d'analyses vidéo portant sur 5 femelles allaitant des jeunes de 16-18 jours d'âge postnatal en conditions semi-naturelles (voir Rödel *et al.*, 2013 pour plus de détails). (© H.G. Rödel).



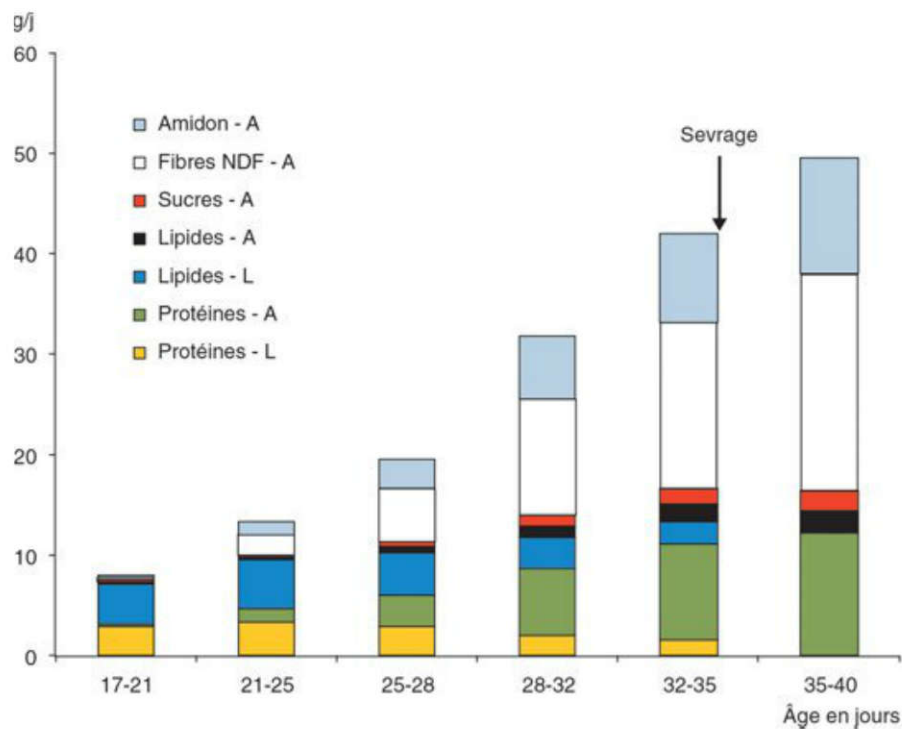


**Figure 4.7.** A. Lapereau de 3 jours victime d'infanticide (morsure et griffures au niveau du cou et de l'abdomen) par une femelle adulte non familière en conditions semi-naturelles (© H.G. Rödel). B. Occurrence d'infanticide dans une population de lapins européens vivant en conditions semi-naturelles dans un large enclos (d'après Rödel *et al.*, 2008a).



**Figure 4.11.** A. Lapereaux juvéniles d'environ 20 jours d'âge postnatal à l'entrée d'un terrier (nid) en conditions semi-naturelles (© H.G. Rödel). B. Distance moyenne (+ SEM) d'exploration par rapport à l'entrée du terrier après la première émergence hors du nid souterrain (adapté de Rödel *et al.*, 2015).

## PLANCHE 6



**Figure 5.2.** Profil d'ingestion de nutriments chez le lapereau : fournis par le lait (L) et par l'aliment solide (A).

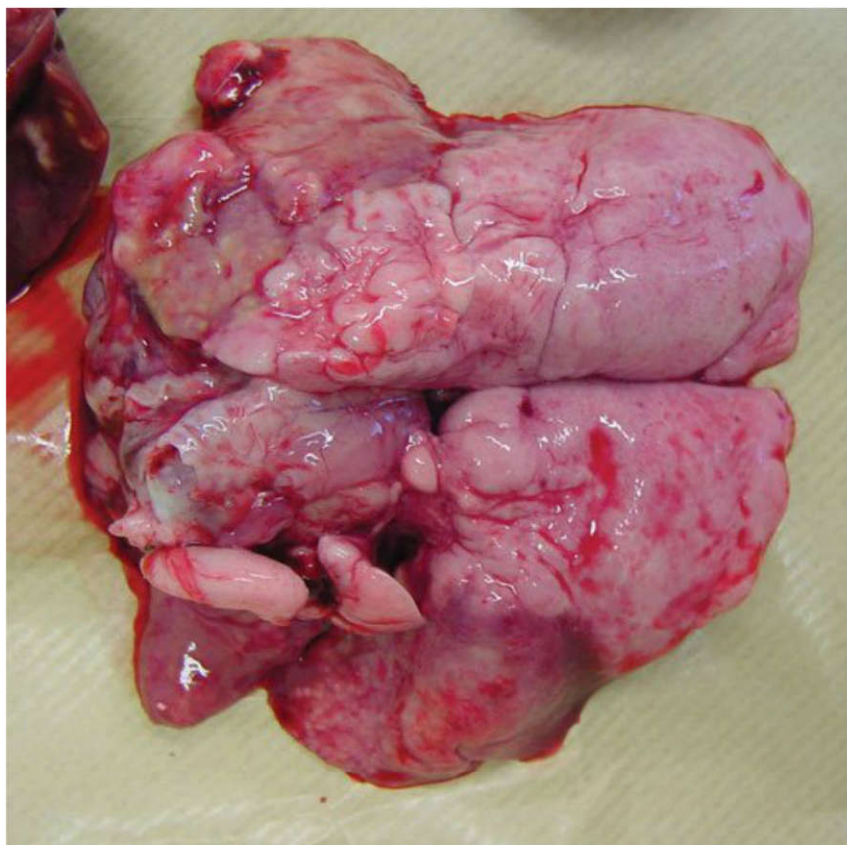


**Figure 6.1.** Jetage léger séro-muqueux (gauche) et muco-purulent obstructif (droite) (© Dr B. Le Normand).



**Figure 6.2.** Coupe sagittale de cornet nasaux normaux (gauche) et lors de rhinite atrophique (infection à *Pasteurella*, droite) (© Dr B. Le Normand).

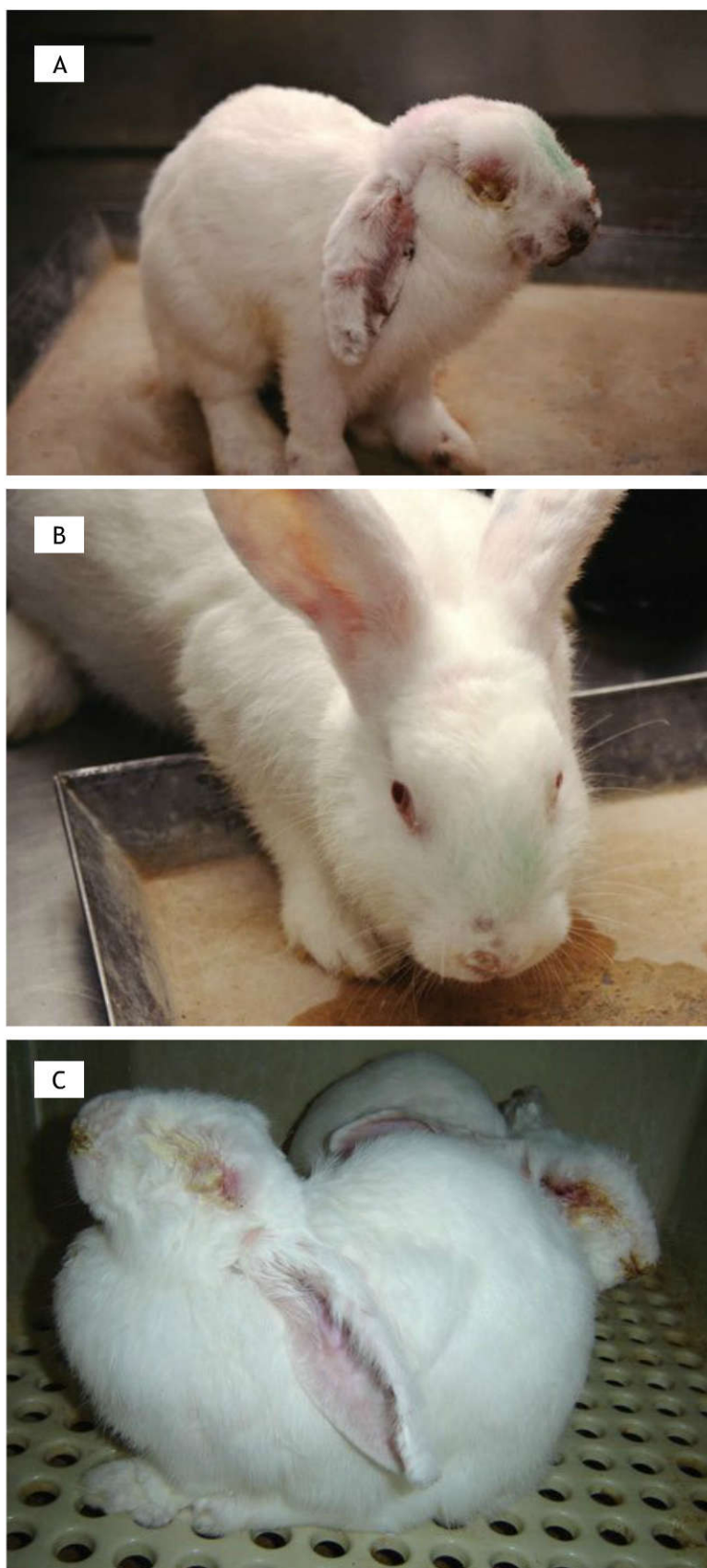




**Figure 6.3.** Pleuropneumonie (© Dr B. Le Normand).



**Figure 6.4.** Pneumonie-péricardite crayeuse à *Staphylococcus aureus* (gauche), abcès pulmonaires à *Staphylococcus aureus* (droite) (© Dr B. Le Normand).



**Figure 6.5.** Lapins domestiques atteints de myxomatose : infection par la souche Toulouse 1 (grade 1) 10 jours post-inoculation (A), par une souche atténuée (isolat de terrain) (grade 5) (B), par une souche amyxomateuse (isolat de terrain) 20 jours post-inoculation (C) (© INP-ENVT).





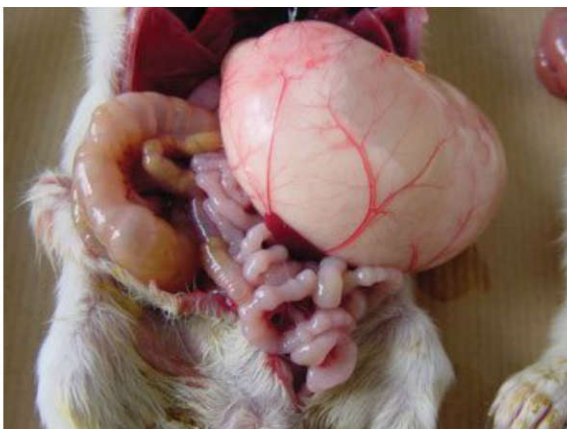
**Figure 6.6.** Signes cliniques de myxomatose en élevage : œdème vulvaire sur lapine reproductrice (A), tous les lapins en croissance expriment la myxomatose dans cette cage (B) (© Dr B. Le Normand).



**Figure 6.7.** Myxomatose sous la forme « maladie des boutons rouges », lésions dermo-nécrotiques multiples sur la peau d'une lapine (© Dr S. Boucher).



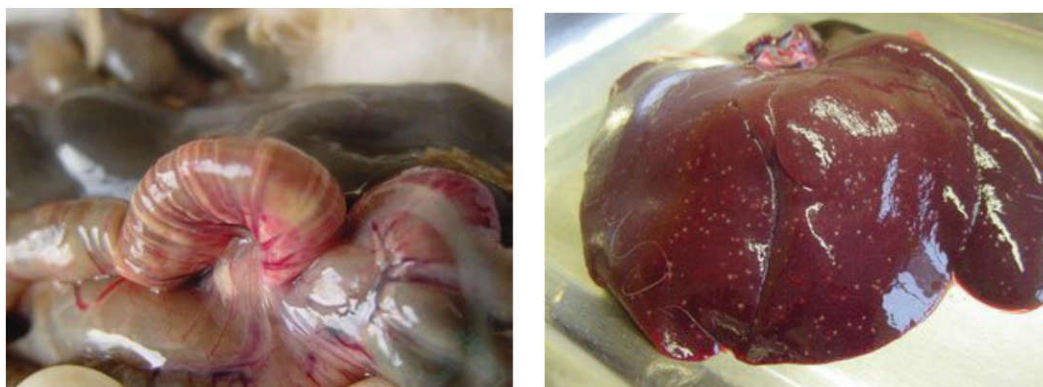
**Figure 6.8.** Présence de poils collés sur une patte (© Dr B. Le Normand).



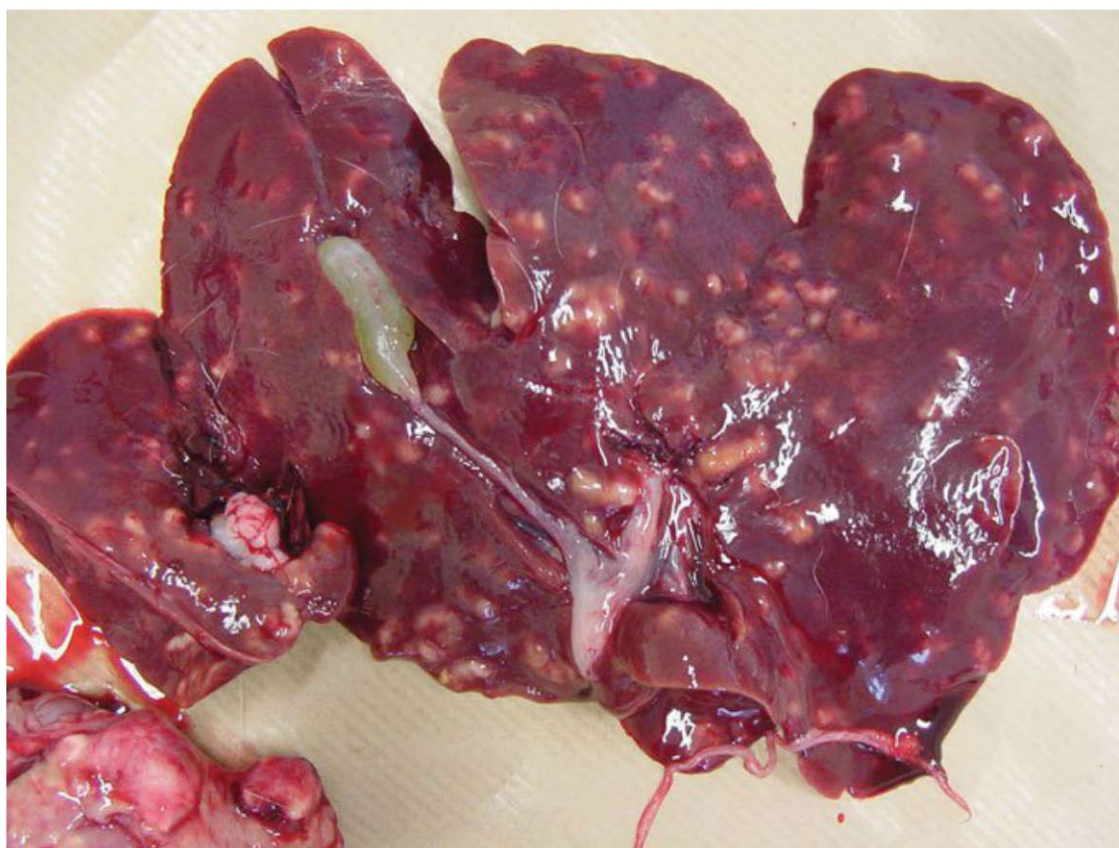
**Figure 6.9.** Colibacillose au nid (*E. coli* O103) (© Dr B. Le Normand).



**Figure 6.10.** Lésions d'entérotoxémie (cæcum) : typhlite avec contenu liquide et forte présence de gaz (© Dr B. Le Normand).

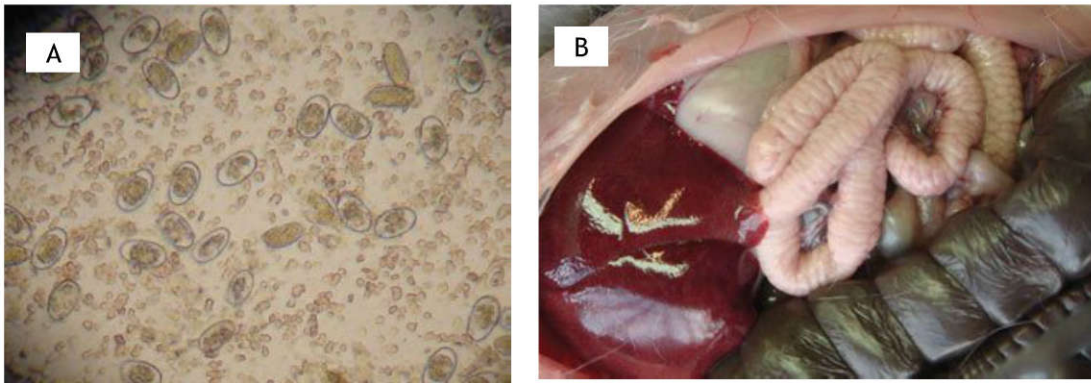


**Figure 6.11.** Nécrose en anneau de l'intestin grêle (gauche) et nécrose hépatique (droite) lors de maladie de Tyzzer (© Dr B. Le Normand).



**Figure 6.12.** Lésions de coccidiose hépatique (© Dr B. Le Normand).





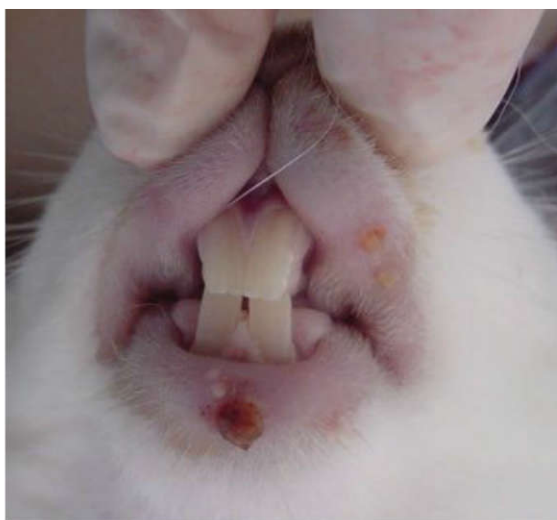
**Figure 6.13.**

A. Observation d'oocystes (*E. stiedae*) en microscopie (© Dr B. Le Normand).

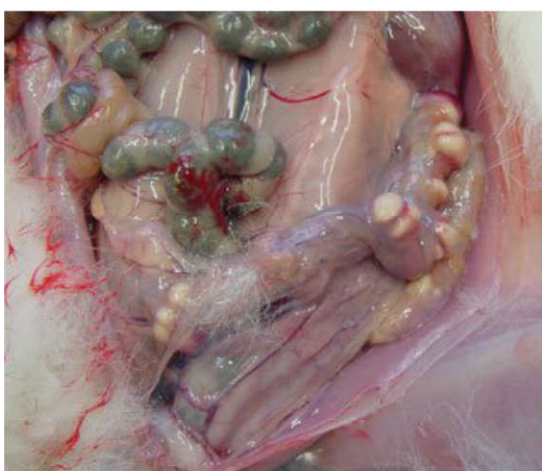
B. Lésions digestives de coccidiose à *E. intestinalis* avec aspect cérébroïde de l'intestin grêle (© Dr S. Boucher).



**Figure 6.14.** Lésions de ballonnement du tube digestif lors d'EEL. Noter la présence de mucus dans certaines anses intestinales (© Dr B. Le Normand).



**Figure 6.15.** Abscès staphylococciques (sous mandibulaire et lèvres) et pododermatite de stade IV (© Dr B. Le Normand).

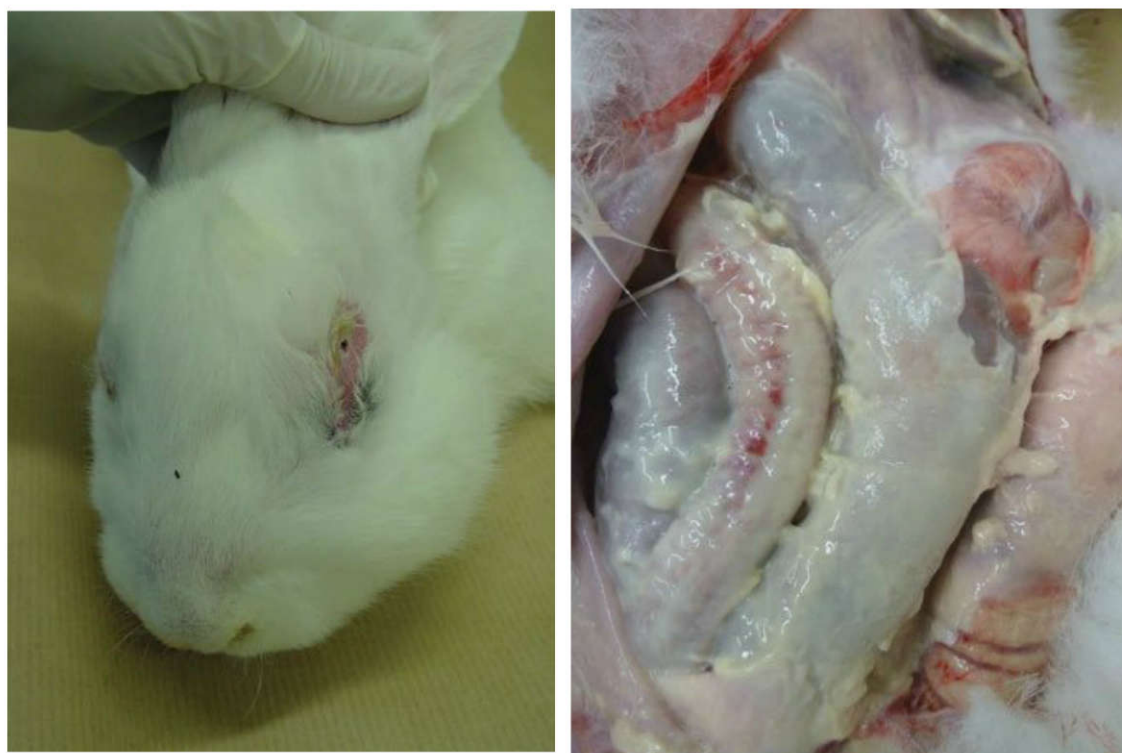


**Figure 6.16.** Lésions abcédatives lors d'infection à *Staphylococcus aureus* (de haut en bas : abcès hépatique et sur épiploon, utérus, rein) (© Dr B. Le Normand).

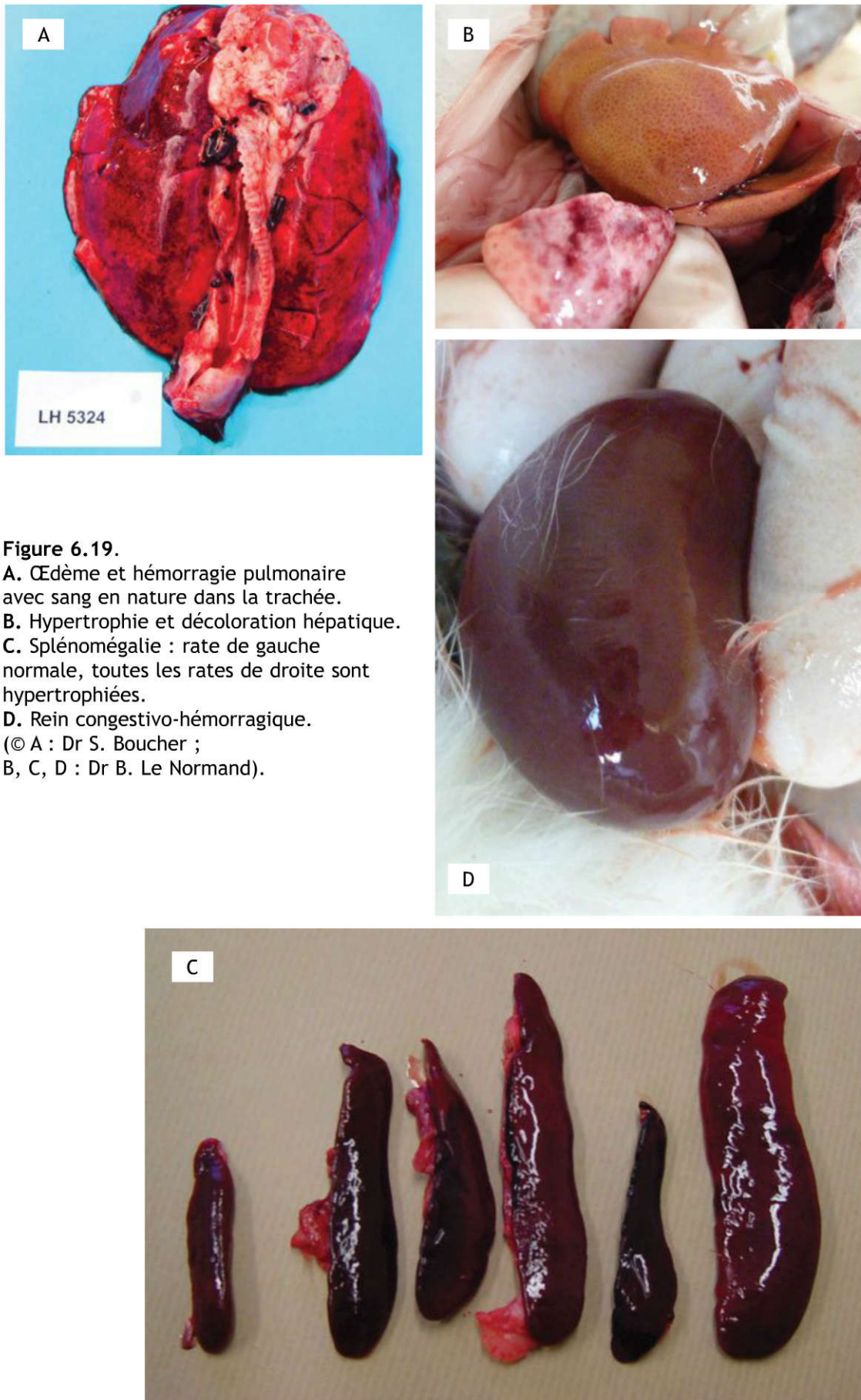




**Figure 6.17.** Lésions lors d'infection à *Pasteurella multocida* (gauche : nécrose du pavillon auriculaire ; droite : phlegmon sous-cutané) (© Dr B. Le Normand).



**Figure 6.18.** Lésions lors d'infection à *Pasteurella multocida* (gauche : conjonctivite purulente ; droite : péritonite et métrite) (© Dr B. Le Normand).



**Figure 6.19.**

A. Œdème et hémorragie pulmonaire avec sang en nature dans la trachée.  
 B. Hypertrophie et décoloration hépatique.  
 C. Splénomégalie : rate de gauche normale, toutes les rates de droite sont hypertrophiées.  
 D. Rein congestivo-hémorragique.  
 (© A : Dr S. Boucher ;  
 B, C, D : Dr B. Le Normand).





**Figure 6.20.** Gale des oreilles avec accumulation de dépôts jaune-brunâtres dans le conduit auditif (© Dr S. Boucher).



**Figure 6.21.** A. Lésion de teigne (dépilation sur la paupière supérieure) (© Dr B. Le Normand), B. Culture de *M. canis* à J+14 sur poils de lapin atteint de teigne (© Dr S. Boucher).



**Figure 6.22.** Nombreux oxyures dans le cæcum  
(© Dr B. Le Normand).



**Figure 6.23.** Oxyures dans les matières fécales de lapin après filtration  
et lavage des contenus digestif (© Dr S. Boucher).



**Figure 6.24.** Enceinte close autour des bâtiments d'élevage  
(© Dr B. Le Normand).

# 2

## Physiologie

Laurence Fortun-Lamothe, Michèle Theau-Clément, Sylvie Combes, Daniel Allain,  
François Lebas, Bernadette Le Normand, Thierry Gidenne

### Physiologie générale

#### Respiration

Comme chez tous les mammifères, l'appareil respiratoire du lapin comporte le nez et les fosses nasales qui forment la partie supérieure. *Via* le pharynx (jonction avec le tube digestif), le larynx et la trachée, l'air est ensuite conduit dans les poumons où il est réparti par les bronches et les bronchioles vers les très nombreuses alvéoles pulmonaires où se font les échanges gazeux. Les poumons constituent la partie profonde des voies respiratoires.

Chez le lapin, l'originalité de l'appareil respiratoire est l'importance relative de la partie supérieure. Les sinus ou cornets nasaux offrent une très grande surface de contact avec l'air qui entre puis ressort des poumons. Le lapin, comme le cheval, ne respire que par le nez. Le maintien de l'intégrité des cornets nasaux est donc particulièrement important dans cette espèce.

En effet, le lapin ne peut pas respirer par la bouche. Si les narines sont congestionnées, l'animal peut même décéder par insuffisance respiratoire. L'épithélium cilié sécrète du mucus. Ce dernier a pour fonction, sur le plan respiratoire, l'arrêt des poussières présentes dans l'air destiné aux poumons, puis les petits poils de la paroi rejettent l'ensemble vers l'extérieur. S'il y a trop de poussières dans l'air respiré, la capacité d'arrêt-rejet est dépassée et l'animal développe un coryza d'origine mécanique. Compte tenu de sa grande surface, l'épithélium joue aussi un rôle dans les échanges thermiques, en particulier par vaporisation d'eau. À chaque inspiration « normale », un lapin adulte de 4 kg inspire environ 21 ml d'air (de 19 à 24 ml selon les individus). Compte tenu d'un rythme respiratoire moyen de 90 respirations par minute, le volume inspiré puis expiré par un lapin représente environ 1,8 à 2,0 litres d'air par minute. Cet air permet d'exporter environ 2 litres de CO<sub>2</sub> par heure et d'évaporer 3 à 4 grammes d'eau. Ainsi, au cours d'une journée de 24 heures, un lapin exporte par voie respiratoire environ 26 g de carbone sous forme de CO<sub>2</sub>, correspondant à la métabolisation de 64 g d'hydrates de carbone (amidon, sucres simples...) et évapore environ 90 à 100 g d'eau.



Lorsque la température ambiante s'élève, le rythme respiratoire s'accélère ce qui permet au lapin d'évaporer plus d'eau. En effet, le lapin est quasiment dépourvu de glandes sudoripares et ne transpire pas. Par exemple, lorsque la température ambiante passe de 18 °C à 30 °C, le rythme respiratoire est multiplié par deux, alors que le rythme cardiaque n'est multiplié que par 1,10 pour le même écart de température. Cette accélération du rythme respiratoire permet de faire passer la quantité d'eau évaporée en 24 heures de 95 à 150 ml, ce qui participe largement à la thermorégulation du lapin.

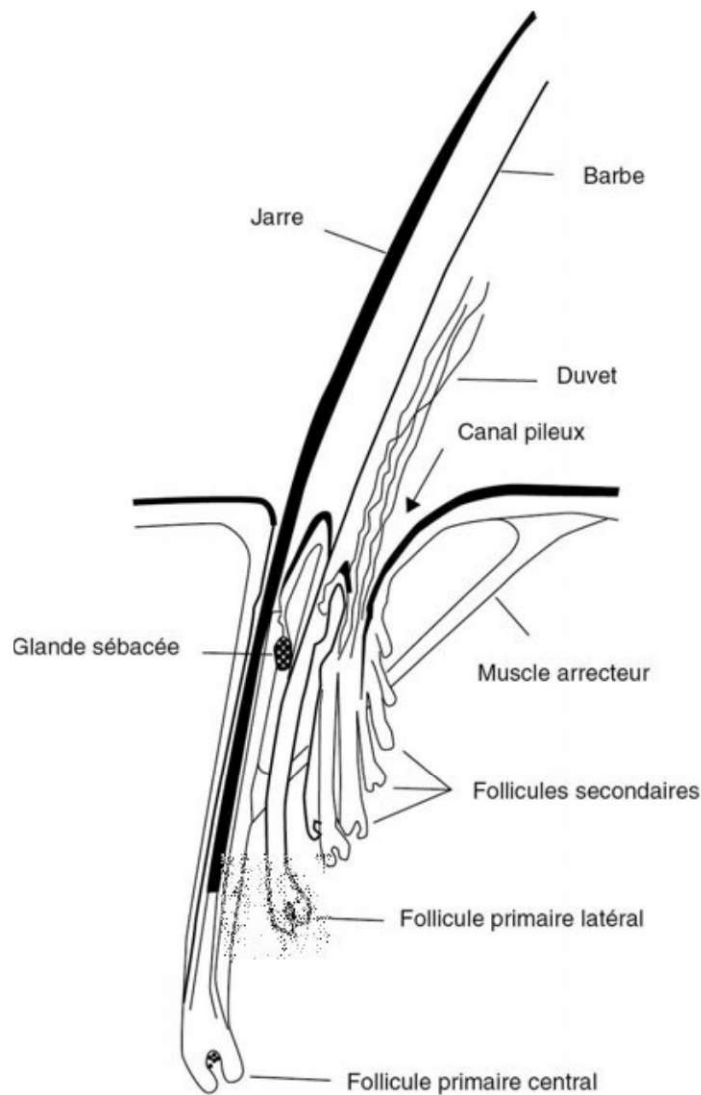
Lorsque l'air est chargé en ammoniac, le rythme respiratoire du lapin est réduit. Par exemple, une teneur en ammoniac de 30-50 ppm réduit d'un tiers le nombre de respirations par minute par rapport à une teneur acceptable de 3-5 ppm. La conséquence est une élévation de la teneur du sang en CO<sub>2</sub> et en azote uréique ; autrement dit, les lapins commencent à s'intoxiquer. En outre, ils ne peuvent plus évaporer autant d'eau en cas de forte température ambiante.

## Thermorégulation

Le lapin est une espèce nidicole (voir chapitre 4), c'est-à-dire que les nouveau-nés se développent dans un nid dans lequel ils naissent quasiment nus (sans poils apparents), donc sans capacité thermorégulatrice autonome. Le pelage se met alors en place progressivement au cours des deux premières semaines postnatales. Principal organe de protection du lapin, le pelage est composé de trois types de poils : les jarres ou poils de garde, les barbes ou poils intermédiaires, et les duvets. La composition et la structure du pelage, et les différentes propriétés de ces poils jouent un rôle dans cette protection. Les poils longs et grossiers du pelage externe (poils de gardes et poils intermédiaires) en contact avec le milieu externe protègent la peau ; et les duvets plus courts, plus fins et plus nombreux du pelage interne assurent l'isolation thermique.

## Structure et composition du pelage

La répartition des poils et des follicules pileux qui les produisent au niveau de la peau n'est pas déterminée au hasard. Ils sont assemblés dans des unités fonctionnelles homogènes, appelées groupes folliculaires (figure 2.1). Certains follicules pileux sont spécialisés dans la fabrication de jarres, tandis que d'autres fournissent les duvets. Le type de poil produit est déterminé par la position du follicule pileux au sein de son groupe. L'âge auquel un follicule est formé détermine sa place dans le groupe. Si le lapereau naît nu, les premiers follicules pileux apparaissent vers le 18<sup>e</sup> jour de gestation. Ce sont les follicules primaires centraux régulièrement répartis. Par la suite, deux à quatre follicules primaires latéraux apparaissent de part et d'autre de chaque follicule primaire central. Ces follicules primaires produiront les poils du pelage externe. Les follicules secondaires qui produiront les duvets apparaissent par la suite au sein de la zone précédemment définie à partir du 26<sup>e</sup> jour de gestation. On distingue deux types de follicules pileux secondaires : ceux provenant directement de l'épiderme primitif (formés jusqu'au 28<sup>e</sup> jour de gestation) et ceux formés par ramification des follicules épidermiques préexistants (après la naissance).



**Figure 2.1.** Le pelage du lapin.

À la naissance, seuls les follicules primaires centraux produisent des poils mais ils sont en fait à peine visibles à la surface de la peau. Les autres follicules pileux deviennent progressivement fonctionnels après la naissance. Le pelage se met en place progressivement avec la multiplication des follicules pileux secondaires pour assurer une couverture pileuse suffisante chez l'animal en croissance. Le pelage devient visible vers 5 à 6 jours d'âge. La multiplication des follicules secondaires se poursuit chez l'animal en croissance jusqu'à ce qu'il ait atteint environ 50 % de son poids adulte. À la naissance, on dénombre 6 à 10 follicules pileux/groupe folliculaire contre 25 à 50 chez le lapin adulte.

Les follicules secondaires jouent un rôle important dans l'efficacité de la couverture pileuse et de la protection thermique. Ils permettent à l'animal de s'adapter à son environnement par le biais des mues infantiles successives chez le jeune en croissance, et en modifiant la structure et la composition du pelage en fonction des changements climatiques durant les périodes de mue saisonnières chez l'animal adulte.

### *Période de mue et croissance des poils*

La durée de croissance des poils est de 4 à 6 semaines chez le lapin à pelage standard ou commun, quels que soient l'âge de l'animal et le type de poils. Les poils sont donc renouvelés périodiquement grâce aux mues.

Au cours du développement, on observe trois types de pelage : le pelage du très jeune lapereau qui s'arrête lorsque l'animal pèse environ 0,4 kg (pour une race de taille moyenne), le pelage du jeune lapereau qui est mature à environ 8-10 semaines d'âge lorsque l'animal atteint environ 50 % de son poids adulte, et enfin le pelage final qui est mature vers 4,5 à 5 mois d'âge. Ensuite, chez l'adulte, il existe des mues régulières qui sont régies par les variations saisonnières de la durée d'éclairement et se produisent au printemps et en automne. En l'absence de variations de la durée d'éclairement, le pelage se renouvelle périodiquement selon un rythme endogène propre.

### *Rôle et importance du pelage dans la thermorégulation*

À la naissance et au cours des dix premiers jours de vie, en l'absence de pelage, le lapereau est très sensible à la température de son environnement. Pour gérer sa température corporelle, il dispose de fortes réserves lipidiques sous forme de tissu adipeux brun réservé exclusivement à sa thermorégulation. Mais les pertes thermiques par la peau sont importantes si la température ambiante dans le nid est inférieure à la température corporelle (35 °C chez le lapereau contre 38-39 °C chez l'adulte) et la réserve de tissus bruns est insuffisante pour assurer la thermorégulation jusqu'à la mise en place suffisante du pelage.

La protection thermique est donc complétée par les poils de la mère qui entrent dans la constitution du nid et par le comportement des jeunes qui se blottissent plus ou moins les uns contre les autres, ce qui limite la surface de déperdition thermique (voir chapitre 4).

### *Variants génétiques du pelage*

Différentes mutations autosomales récessives déterminant la structure et la composition du pelage ont été identifiées chez le lapin (voir chapitre 1) :

- la mutation *angora* qui agit sur la durée de croissance de poils et produit des poils très longs (2 à 3 fois la longueur du pelage standard) ;
- la mutation *rex* qui altère ou supprime le développement des poils longs et grossiers du pelage externe, ce qui produit un pelage composé presque exclusivement de duvets ;
- la mutation *satin* qui produit une fourrure brillante et soyeuse ;
- les mutations *furless* et/ou *hairless* qui suppriment partiellement et/ou totalement le développement des duvets.

Les mutations *angora* et *rex* sont exploitées respectivement pour la production de fibres textiles et de fourrure. Certaines mutations *furless* (réduction partielle du nombre de duvets) peuvent présenter un intérêt pour l'élevage du lapin en région chaude.

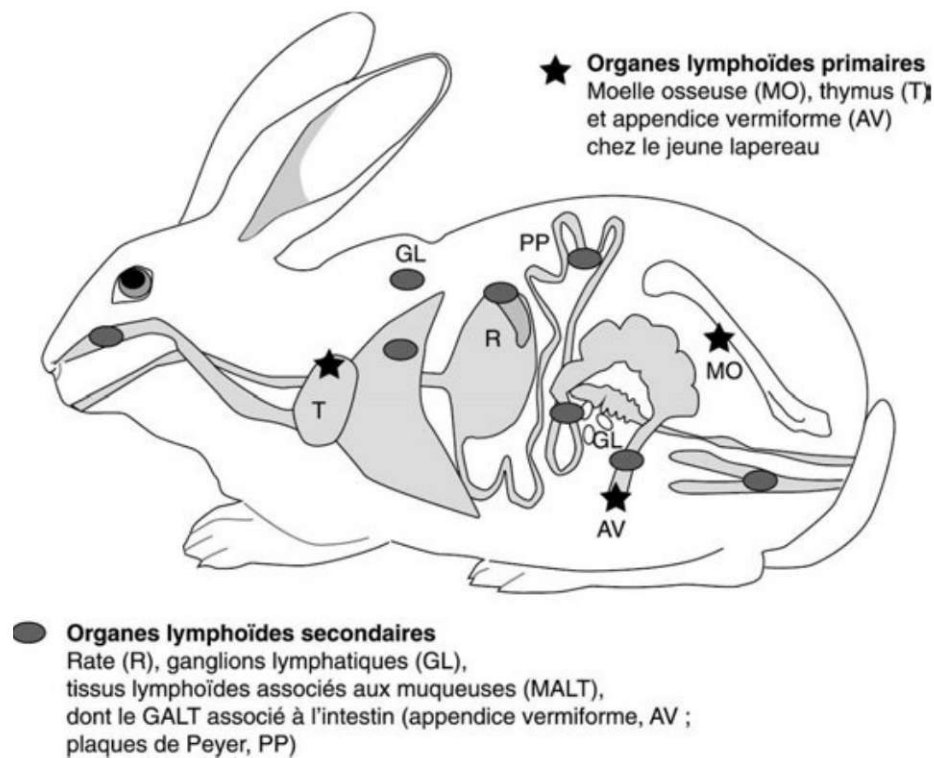
### Encadré 2.1. Lapins Himalayens : un indicateur de la température en élevage.

La couleur sombre du pelage du lapin est due à la présence de mélanine dans le poil. La mélanine vient de la transformation d'un acide aminé (la tyrosine) par une enzyme (la tyrosinase). Le gène de la tyrosinase possède deux allèles (un dit « normal » et l'autre dit « Himalaya »), qui produisent des enzymes n'ayant pas la même efficacité de transformation de la tyrosine en mélanine. L'expression de ce gène est sensible à la température. Ainsi, l'activité de la tyrosinase est rapide à 30 °C et très lente à 36 °C. Or les extrémités du corps du lapin sont plus froides que celle du reste du corps. Les lapins qui possèdent l'allèle « Himalaya » et qui ont été exposés au froid (conduisant à une température des extrémités < 30 °C) ont les extrémités du corps (pattes, oreilles, museau) foncées. En cas de présence de lapins ayant le gène Himalaya, l'apparition de cette coloration foncée aux extrémités peut être un indicateur d'une ambiance thermique froide dans le bâtiment d'élevage et/ou d'une médiocre qualité des nids.

## Immunité

### Organisation générale du système immunitaire

Le système lymphoïde, qui correspond aux organes qui produisent ou qui permettent la maturation des cellules impliquées dans la réponse immunitaire, est organisé globalement de la même façon chez le lapin que chez les autres mammifères. On distingue les organes lymphoïdes primaires et les organes lymphoïdes secondaires (figure 2.2). Les cellules lymphoïdes circulent entre ces organes *via* les vaisseaux sanguins et lymphatiques.



**Figure 2.2.** Distribution des organes lymphoïdes primaires et secondaires (Drouet-Viard et Fortun-Lamothe, 2001).

### Origine des cellules du système immunitaire

Toutes les cellules du système immunitaire prennent naissance dans la moelle osseuse à partir des cellules-souches hématopoïétiques. Ces cellules sont à l'origine de trois lignées cellulaires. Une lignée aboutit à la formation des hématies (globules rouges) et des plaquettes sanguines. Les cellules de la lignée myéloïde se différencient en leucocytes sanguins (globules blancs), à l'exception des lymphocytes, dont certains peuvent migrer vers les tissus pour devenir des mastocytes et des macrophages assurant la capture et la destruction (phagocytose) de certains agents pathogènes. La lignée lymphoïde donne naissance aux lymphocytes B et T, et aux grands lymphocytes nommés *Natural killers* (NK). Les lymphocytes B et T se distinguent par la façon dont ils assurent la protection de l'organisme contre les agresseurs. Les lymphocytes B produisent les anticorps ou immunoglobulines. Les lymphocytes T agissent en détruisant les cellules infectées en coopérant avec les autres cellules immunitaires.

### Organes lymphoïdes primaires et secondaires

Dans les organes lymphoïdes primaires, moelle osseuse et thymus, les cellules de la lignée lymphoïde se différencient et deviennent matures. Une particularité du lapin est que l'appendice vermiforme, organe lymphoïde appartenant à l'intestin et situé à l'extrémité du cæcum, intervient en tant qu'organe lymphoïde primaire dans la production et la maturation des lymphocytes B au cours des premières semaines de la vie. Après différenciation, les lymphocytes migrent des organes lymphoïdes primaires vers les organes lymphoïdes secondaires, la rate, les ganglions lymphatiques (ou nœuds lymphatiques) et le tissu lymphoïde associé aux muqueuses (*Mucosa Associated Lymphoid Tissue* ou MALT), dans lesquels les cellules lymphoïdes sont stimulées et prolifèrent.

Toutes les muqueuses de l'organisme possèdent un tissu lymphoïde associé, le MALT, dont le rôle premier est d'assurer la défense de l'hôte contre les pathogènes et d'assurer la protection des muqueuses en régulant la réponse inflammatoire. Au sein du MALT on distingue notamment le NALT (*Nasal Associated Lymphoid Tissue*), associé au tractus respiratoire supérieur, le BALT (*Bronchoalveolar Associated Lymphoid Tissue*), associé au tractus respiratoire profond, et le GALT (*Gut Associated Lymphoid Tissue*), associé aux tractus gastro-intestinal et urogénital.

Les tissus lymphoïdes associés à l'intestin sont particulièrement nombreux chez le lapin. En plus des plaques de Peyer, similaires à celles des autres mammifères, le lapin possède deux organes lymphoïdes spécifiques : le *sacculus rotondus* à la jonction iléo-cæcale et l'appendice vermiforme, partie finale du cæcum. Par ailleurs, des follicules lymphoïdes isolés, ressemblant à de microscopiques plaques de Peyer, sont disséminés dans la paroi de l'intestin grêle et du gros intestin. L'appendice vermiforme a un rôle très important : c'est un organe lymphoïde primaire chez le jeune lapereau, mais il fonctionne en tant qu'organe lymphoïde secondaire chez l'animal en croissance et intervient donc dans l'induction de la réponse immunitaire spécifique. Les lymphocytes B, qui se sont différenciés dans l'appendice au contact du microbiote, migrent secondairement dans le reste de l'intestin, en particulier dans les plaques de Peyer.



## La réaction immunitaire

Elle se déroule comme chez les autres espèces. Il faut distinguer la réaction immunitaire primaire « innée » ou « naturelle » non spécifique, représentant la première réaction de défense face à une infection quelle qu'en soit l'origine, de la réaction immunitaire adaptative ou acquise qui est dirigée spécifiquement contre un élément particulier étranger à l'organisme.

La réponse non spécifique débute le plus souvent par une réaction inflammatoire aiguë. Les cellules phagocytaires, monocytes/macrophages et polynucléaires neutrophiles sanguins, viennent alors s'accumuler sur le site d'agression. Des molécules présentes dans le sérum, les protéines de la phase aiguë, comme la protéine C réactive (CRP), et les protéines du système du complément (une vingtaine de protéines agissant en cascade), ainsi que les cellules NK, sont alors activées. Ces réactions sont dites non spécifiques car elles ne nécessitent pas la formation de complexe antigène-anticorps pour être initiées.

La réaction spécifique, appelée aussi immunité acquise ou active, passe par une reconnaissance préalable de l'élément étranger qu'il soit présent dans les cellules de l'hôte (virus, bactéries ou parasites intracellulaires) ou dans les liquides extracellulaires, ce qui nécessite la formation d'un complexe antigène-anticorps. On distingue deux types de réaction immunitaire spécifique : la réponse humorale et la réponse cellulaire. Dans la réponse immune humorale, les lymphocytes B stimulés se multiplient et se transforment en plasmocytes sécrétant des anticorps : les immunoglobulines (IgM, IgG, IgA, IgE ou IgD). La réponse immune cellulaire est principalement induite par les lymphocytes T et fait intervenir des interactions entre cellules par la sécrétion de cytokines. Les lymphocytes T détruisent ensuite les agents pathogènes eux-mêmes (T cytotoxiques) ou coopèrent avec d'autres cellules (cellules phagocytaires ou lymphocytes T ou B) pour les détruire. L'immunité spécifique est fondamentale pour un animal car elle lui permet d'acquérir une « mémoire immunitaire » par les lymphocytes stimulés lors du premier contact, ce qui lui permettra de se défendre très efficacement en cas de contact ultérieur avec le même agent pathogène. Elle sert de base à la vaccination (cf. encadré 2.4).

## La mise en place de l'immunité

### *Immunité passive transmise par la mère*

Le lapereau naît avec un équipement important d'immunoglobulines transmises par la mère au cours de la gestation. À la naissance, sa concentration d'IgM sériques représente 48 % de celle d'un sérum de lapin adulte. Après la naissance, le colostrum et le lait maternel viennent compléter ce pool d'anticorps. Chez le lapin, le colostrum a un taux de 30 à 40 mg/ml d'IgA (immunoglobulines sécrétoires), contre 5 mg/ml dans le lait. Toutefois, le rôle du colostrum pour l'immunité est moins déterminant que pour certaines espèces telles que le cheval, le porc, les bovins ou les ovins qui naissent quasiment dépourvus d'anticorps.

Outre sa richesse en nutriments hautement énergétiques et en facteurs de croissance, le colostrum contient de nombreux anticorps mais également des cellules impliquées dans la défense immunitaire, telles que des macrophages, des cellules

polynucléaires et des lymphocytes B et T. Ces macrophages sont capables de produire du lysozyme, des composants du complément et des interférons. Le lait maternel transmet aussi ce type de cellules et des anticorps. Toutefois, si le profil des immunoglobulines mammaires est bien identifié chez la vache et la truie, celui de la lapine reste relativement méconnu : le colostrum et le lait de lapine contiendraient surtout des IgA et un peu d'IgG. De nombreux facteurs antimicrobiens non spécifiques sont également transmis par le lait maternel : les acides gras à chaînes moyennes (C8 et C10), les caséines, des glycolipides et des oligosaccharides.

### *Développement de l'immunité active*

À la naissance, le développement du système immunitaire humoral du lapin n'est pas achevé. Les structures histologiques des tissus lymphoïdes périphériques sont immatures et la production d'anticorps n'a pas encore débuté. Dans le tube digestif, le premier organe lymphoïde à se développer est l'appendice vermiforme, avec un début de colonisation par les lymphocytes à environ 1 semaine d'âge. Les follicules lymphoïdes se développent alors jusqu'à 5-6 semaines. Les immunoglobulines sont détectables dans le sérum et l'appendice cæcal dès 1 à 2 semaines après la naissance, mais la réponse humorale aux antigènes reste minimale jusqu'à 2 ou 3 semaines d'âge.

### **Encadré 2.2. Antibiotiques, hygiène et immunité.**

Chez le lapin, la flore commensale digestive ou microbiote stimule l'immunité, notamment au travers de la diversification du répertoire des anticorps. L'utilisation d'antibiotiques chez le jeune lapereau peut modifier la mise en place et la composition du microbiote digestif, et être néfaste à la maturation de son système immunitaire. De manière expérimentale, il a ainsi été montré que la ligature de l'appendice vermiforme chez le lapereau à la naissance empêche son contact avec les micro-organismes du cæcum et entraîne une absence presque totale de diversification du répertoire des anticorps à 12 semaines d'âge.

De même, il a été montré que des lapereaux élevés dans des environnements axéniques (sans micro-organismes) ont des densités de cellules lymphoïdes faibles, des petites structures folliculaires et des concentrations circulantes d'immunoglobulines dans le sang très faibles. Après colonisation microbienne, le nombre de lymphocytes intra-épithéliaux et de la *lamina propria* augmente, ainsi que les concentrations d'immunoglobulines. Le microbiote digestif est également nécessaire à la mise en place du phénomène de tolérance orale (capacité décroissante de la stimulation d'une réponse immunitaire systémique en réponse à des antigènes rencontrés antérieurement dans l'intestin). Si l'hygiène en élevage est importante pour éviter la dissémination d'agents pathogènes, il n'est pas non plus souhaitable d'élever les animaux dans un milieu trop aseptisé.

Parallèlement au développement de la capacité des lapereaux à synthétiser des immunoglobulines, le répertoire des anticorps doit se diversifier afin de reconnaître un très grand nombre d'antigènes de l'environnement. Cette diversification est réalisée en trois étapes. Le premier répertoire est dit néonatal. Puis, entre 3 et 8 semaines d'âge, une diversification importante a lieu dans le tube digestif, notamment dans l'appendice cæcal : c'est le répertoire primaire. Chez le lapin, cette diversification possède deux particularités : i) elle est tardive (3 à 8 semaines d'âge) alors que chez les autres espèces elle est amorcée avant la naissance ; ii) elle est régulée par le microbiote. Ce répertoire primaire confère au

lapin une collection diversifiée d'anticorps qui peuvent interagir avec des agents infectieux potentiels. Ensuite, ce répertoire peut encore être modifié en cas de réponse immunitaire spécifique à une stimulation antigénique. On parle alors de répertoire d'anticorps secondaire.

### Encadré 2.3. Évaluation du statut immunitaire des animaux.

Étant donné la complexité du système immunitaire des vertébrés, le nombre de populations cellulaires impliquées, et le nombre de molécules intermédiaires ou effectrices sollicitées au cours de la réponse immune, il n'existe pas un critère unique pour caractériser globalement le statut immunitaire d'une population ou d'un individu et prédire sa résistance à une infection. Toutefois, différents tests permettent d'appréhender la réponse immunitaire humorale et/ou cellulaire, systémique et/ou locale (mucosale par exemple) d'un individu (ou de groupes d'individus très homogènes sur le plan du CMH) vis-à-vis d'un agent pathogène donné.

Le premier examen à effectuer est la numération des leucocytes sanguins et l'évaluation de la proportion de chaque catégorie de cellules (formule sanguine). Il est accessible et peu cher. D'autres tests, plus informatifs, ont été développés dans les laboratoires de recherches mais ne sont pas disponibles en routine pour les éleveurs. On peut citer ainsi la quantification des antigènes (réaction de précipitation, technique d'immunodiffusion double), l'identification des populations cellulaires spécifiques (immunofluorescence, cytométrie de flux), les tests fonctionnels sur les lymphocytes et l'expression des gènes de l'immunité (*microarray*).

### Encadré 2.4. Les vaccins.

Rappelons que la vaccination consiste à mettre en contact l'organisme avec des micro-organismes atténués ou inactivés, de manière à induire une réaction immunitaire ciblée. L'organisme va donc « apprendre » à se défendre contre cet agent pathogène. Il pourra mettre en œuvre une réponse spécifique et rapide lors d'un contact ultérieur. En effet, lors du premier contact avec les antigènes cibles, l'organisme va réagir en spécialisant certaines cellules pour produire des anticorps spécifiques. Ces cellules « mémoires » seront stockées pendant des années dans le corps et réactivées rapidement après certains contacts avec le pathogène. Cela permettra à l'organisme d'éliminer rapidement l'agent pathogène avant qu'il ne se multiplie, évitant ainsi la maladie.

Cet apprentissage nécessite parfois plusieurs injections et un programme vaccinal ne peut se concevoir qu'en termes de population : tous les animaux sensibles doivent être vaccinés. Si certains animaux sont déficients immunitairement, le fait de vacciner l'ensemble des animaux va empêcher l'agent pathogène de circuler. On parle de vaccination « de troupeau ». Il est important de respecter le nombre d'injections de primovaccination et les rythmes des rappels (selon les maladies, les répétitions de vaccins permettent à l'immunité de mieux « se souvenir »). Pour que l'immunité soit optimale, il est nécessaire de vacciner des animaux en bonne santé et dépourvus de parasites, notamment digestifs. Chez le lapin, les vaccins les plus usuels sont ceux qui protègent contre la myxomatose et la VHD. Des autovaccins bactériens sont également utilisés (staphylocoques de haute virulence, colibacilles pathogènes, voir chapitre 6).

## Organes des sens et perceptions sensorielles

Ainsi qu'annoncé page 34, le lapin est une espèce nidicole dont les petits sont très immatures à la naissance. Ils s'aventurent hors du nid à partir de 10 à 12 jours d'âge, quand ils sont capables de mouvements coordonnés et de maintenir leur température corporelle constante grâce à un pelage suffisant.

## La vue

Les yeux des lapereaux commencent à s'ouvrir vers 9-10 jours d'âge. Placés sur les côtés de la tête, ils permettent une vision très large mais empêchent une bonne vision frontale à moins d'un mètre. Le champ de chaque œil est de 192°, c'est-à-dire plus d'un demi-cercle. Au repos, le lapin a une vision binoculaire couvrant 24° devant lui, 30° au-dessus de la tête, et son champ total de vision s'étend sur 360° autour de la tête (180° chez l'Homme). Les oreilles sont la principale gêne au champ de vision du lapin. Toutefois, compte tenu de la position des yeux, il y a aussi un angle mort d'une dizaine de centimètres devant le nez. Dans cet espace rapproché, le lapin se sert de ses longues vibrisses pour déterminer la position de ce qui est devant lui (nourriture, paroi, congénère, etc.). Du fait de leur vision latérale, et non frontale, les lapins ont du mal à évaluer les distances et les profondeurs.

Quand le lapin est au repos, chaque œil travaille indépendamment de l'autre et fournit au cerveau deux images correspondant l'une à l'espace situé à droite et l'autre à celui situé à gauche de la tête. En cas d'alerte, l'animal cherche à avoir une image binoculaire lui donnant la possibilité d'évaluer la profondeur de champ et la distance à laquelle se trouve la source de danger, qu'elle soit devant, derrière ou au-dessus de lui. Compte tenu d'une relativement faible densité des cellules sensibles à la lumière sur la rétine, l'image créée reste floue. Le lapin est plus sensible au mouvement des objets qu'à leur forme. Ceci est probablement un caractère adaptatif : un objet parfaitement immobile n'est en principe pas dangereux pour lui, alors qu'un objet en mouvement peut représenter un danger. Le lapin a donc une vision panoramique mais qui n'est pas très précise.

Le lapin a besoin de 6 à 7 fois moins de lumière que l'Homme pour commencer à y voir dans la pénombre, en raison d'un nombre beaucoup plus grand de cellules en bâtonnet par mm<sup>2</sup> sur la rétine, mais il ne voit rien dans l'obscurité absolue.

## L'audition

Les oreilles deviennent fonctionnelles vers 12 jours d'âge. Le lapin a une bonne sensibilité auditive, c'est-à-dire qu'il est capable d'entendre des bruits de faible intensité. Concernant le spectre auditif, le lapin perçoit les sons entre 360 et 42 000 Hz, alors que l'Homme entend entre 20 et 20 000 Hz. Les lapins n'entendent donc pas les sons très graves, mais ils sont sensibles à une très large gamme d'ultrasons. Ils ont par ailleurs du mal à localiser avec précision l'origine d'un son : ils ne le localisent qu'à 20-30° près contre 0,5 à 1° pour l'Homme. Pourtant, ils peuvent bouger et orienter leurs oreilles vers la source de bruit pour améliorer la détection. On peut noter que, chez le lapin, les oreilles, qui sont très irriguées et moins poilues que le reste du corps, participent aussi à la thermorégulation.

## L'odorat et le goût

L'odorat du lapin est hautement développé. Il dispose de 50 à 100 millions de récepteurs sur sa muqueuse olfactive (contre 10 millions pour l'Homme et 1 à 3 milliards pour le chien). La surface importante des cornets nasaux explique cette présence de nombreux récepteurs. L'odorat est hautement fonctionnel dès la vie fœtale et à la naissance. Il permet au nouveau-né de détecter l'arrivée de la



femelle dans le nid et de localiser très rapidement les télines *via* la perception de différents signaux odorants, dont la phéromone mammaire émise par toute lapine allaitante (voir chapitre 4). Les affections respiratoires hautes (coryza, rhinites) altèrent très fortement les capacités olfactives du lapin.

La langue du lapin est tapissée d'environ 17 000 cellules gustatives qui lui permettent de distinguer les saveurs salé, sucré, acide et amer. Le lapin marque une préférence pour le sucré et l'amer, sans pour autant rejeter les aliments porteurs d'autres saveurs, surtout s'il n'a pas le choix.

### **Le toucher**

De nombreux poils spécialisés, longs, épais et semi-rigides, appelés vibrisses, sont présents au niveau de la lèvre supérieure et de la partie antérieure de la joue, ainsi qu'au-dessus des yeux et au niveau de la région temporale. Ils ont un rôle essentiel dans la perception du toucher. En effet, le lapin ne pouvant pas voir ce qui se trouve à proximité immédiate du nez, ce sont les lèvres et les vibrisses qui, sur le plan tactile, le guident et l'informent sur l'environnement proche et sa nourriture.

## **Excrétion urinaire**

### **Origine et fonction de l'excrétion urinaire**

L'excrétion urinaire a plusieurs fonctions : une fonction d'élimination des déchets solubles de l'organisme (urée, acide urique, créatinine, glucose), une fonction d'élimination des matières minérales pour maintenir constante la composition ionique du plasma, une fonction de maintien de l'équilibre acido-basique interne en éliminant les acides issus du métabolisme cellulaire et une fonction de maintien de l'équilibre hydrique afin d'éviter la déshydratation ou l'hypovolémie.

L'urine est formée dans les reins qui filtrent le sang. Le débit sanguin rénal est stable et la totalité du sang du lapin passe régulièrement par les reins pour y être filtré. Les néphrons filtrent le sang dans les glomérules de Malpighi pour former l'urine primitive ou filtrat glomérulaire. Il y a ensuite réabsorption d'une partie des éléments filtrés dans les tubules pour former l'urine définitive. Le reste est excrété par l'uretère dans la vessie. Cette réabsorption permet d'assurer l'homéostasie de l'animal. Par exemple, les reins n'excrètent, *via* les tubes urinifères, que 30 à 40 % du calcium filtré et seulement 1 à 2 % du phosphore. En conséquence, toute altération de l'intégrité rénale risque d'hypothéquer le maintien de l'homéostasie.

### **Quantités excrétées et caractéristiques de l'urine**

Chez un lapin adulte de 3 à 4 kg, la production urinaire est de 160 à 170 ml par jour. Cette quantité est très fortement corrélée à la consommation d'eau ( $r = 0,99$ ), elle-même fortement influencée par la température ambiante.

L'urine de lapin est alcaline (pH 8,0-8,4). La teneur en matière sèche de l'urine est de l'ordre de 5 %, mais celle-ci peut varier de 3 % à plus de 9 %. Sa densité moyenne est de 1,015 à 1,025. Elle est généralement translucide de couleur jaune paille, mais peut devenir opaque et crémeuse, en fonction de la charge en calcium. Elle peut même parfois prendre une couleur jaune orangé. Cette couleur

peut être d'origine alimentaire – certaines matières premières telles que la luzerne pouvant apporter des pigments – ou d'origine pathologique lorsqu'une altération des reins entraîne le passage de pigments sanguins dans l'urine. L'urine de lapin est « collante », c'est-à-dire qu'elle s'écoule mal et adhère fortement aux matériaux tels les parois des cages.

### Composition de l'urine

L'élément principal excrété dans l'urine est l'urée, élément ultime du catabolisme azoté (tableau 2.1). Toutefois, un peu moins de 50 % de l'urée synthétisée dans l'organisme se retrouve dans l'urine. Il existe en effet un catabolisme endogène de l'urée par le microbiote cæcal. L'excrétion d'azote urinaire dépend des apports azotés d'origine alimentaire et du stade physiologique de l'animal.

Les autres éléments importants sont les minéraux, tout particulièrement le calcium. En effet, le lapin a une position originale au sein des espèces animales : d'une part, l'absorption du calcium alimentaire se fait par diffusion passive et n'est pas régulée par la vitamine D si la teneur alimentaire en calcium est suffisante, d'autre part, le lapin excrète par voie urinaire la majeure partie du calcium alimentaire (50 à 75 % selon la composition de l'aliment), alors que, pour les autres espèces, le rejet urinaire de calcium ne dépasse généralement pas 5 % de l'ingéré. De manière similaire, les lapins rejettent par voie urinaire 30 à 40 % du magnésium ingéré, alors que la proportion n'est que de 5 à 10 % pour le phosphore. En conséquence, chez le lapin, plus la concentration calcique de l'aliment est élevée, plus la concentration urinaire en calcium est élevée.

**Tableau 2.1.** Excrétion urinaire quotidienne de divers éléments chez un lapin adulte sain.

Paramètres	Moyenne	Amplitude
Azote total (g)	0,9	0,2-1,8
Azote uréique (g)	0,8	0,2-1,7
Créatinine (mg)	110	100-120
Azote alpha-aminé (mg)	2	2-3
Taurine (mg)	15	5-30
Hydroxyproline (µmol.)	50	16-85
Calcium (mg)	300	100-1 400
Phosphore total (mg)	10	4-20
Magnésium (mg)	170	20-250
Sodium (mg)	90	50-400
Potassium (mg)	370	250-450
Chlore (mg)	100	50-250
Énergie (kcal)	10	6-16

Le calcium est présent principalement sous forme de carbonate, de phosphate de calcium et d'oxalate. Sans que cela puisse être considéré comme une anomalie, il est fréquent de trouver dans la vessie l'urine séparée en deux phases distinctes : un surnageant translucide de couleur jaune clair et un précipité blanc crémeux composé à 65 % par du carbonate de calcium.

## Physiologie circulatoire et paramètres sanguins

### Volumes et débits sanguins

Chez le lapin, le volume sanguin total est de 45 à 70 ml de sang par kg de poids vif. Cette proportion est relativement stable, y compris chez la lapine reproductrice chez laquelle l'augmentation de la masse sanguine au cours de la gestation et de la lactation est proportionnelle au poids vif.

Chez un lapin adulte de 3,5 à 4,0 kg, le débit cardiaque est de 500 à 600 ml par minute. Le sang est pulsé à raison de 250 battements par minute (de 130 à 325). Chez la lapine en gestation, le débit cardiaque augmente de 20 à 40 % en fonction du stade de gestation avec un maximum (325 battements par minute) au début du dernier tiers de la gestation. Le flux sanguin irriguant l'utérus chez une lapine en fin de 4<sup>e</sup> semaine de gestation se répartit à raison de 60 % pour les placentas, 27 % pour les deux cornes utérines et 13 % pour le vagin. Le débit sanguin par placenta est plus élevé pour l'embryon situé le plus près de l'ovaire que pour la moyenne générale, ce qui explique qu'à la naissance le lapereau qui était le plus proche de l'ovaire *in utero* soit plus gros que les autres. En fin de gestation, 7 % du débit cardiaque est destiné à l'utérus et 5 % est dirigé vers les glandes mammaires.

### Composition du sang

La composition cellulaire du sang de lapin est variable en fonction de l'âge et du statut physiologique (tableau 2.2). Ainsi, le nombre de globules rouges passe de 2,4 millions par mm<sup>3</sup> de sang à 28 jours d'âge fœtal à 5,2 millions par mm<sup>3</sup> à l'âge l'adulte. De même, le nombre de leucocytes passe de 400/mm<sup>3</sup> chez le fœtus à 3 800/mm<sup>3</sup> chez la lapine en fin de gestation. Chez une lapine adulte non gestante, ce sont les lymphocytes qui représentent la part la plus importante des globules blancs (50 %), suivis des neutrophiles (44,5 %), des éosinophiles (2 %), des basophiles (2 %) et des monocytes (1,5 %). Ces proportions évoluent au cours du cycle de reproduction avec notamment une augmentation de la proportion relative des lymphocytes (jusqu'à 70 % en fin de gestation) et une évolution inverse des neutrophiles.

**Tableau 2.2.** Les constantes hématologiques usuelles chez le lapin.

Paramètres et unité	Valeurs usuelles
Hématies ( $\times 10^{12}/l$ )	3,8-7,9
Hémoglobine (g/dl)	9,5-17,0
Hématocrite (%)	30-50
Thrombocytes ( $\times 10^9/l$ )	200-1 000
Leucocytes ( $\times 10^9/l$ )	7,5-13,5
Neutrophiles ( $\times 10^9/l$ )	1,5-10,0 (20-75 %)
Éosinophiles ( $\times 10^9/l$ )	0-0,5 (0-4 %)
Basophiles ( $\times 10^9/l$ )	0,1-1,4 (2-10 %)
Lymphocytes ( $\times 10^9/l$ )	2,2-11,5 (30-85 %)
Monocytes ( $\times 10^9/l$ )	0,1-0,5 (1-4 %)

En revanche la composition chimique du sang est plus stable au cours du développement de l'animal (tableau 2.3), même si elle varie largement au cours de la période postprandiale.

**Tableau 2.3.** Les constantes biochimiques usuelles chez le lapin.

Paramètres et unité	Valeurs usuelles
Glucose (g/l)	0,5-1,6
Protéines totales (g/l)	54-80
Alanine aminotransférase (UI/l)	20-80
Phosphatase alcaline (UI/l)	4-16
Bilirubine totale (mg/l)	2-7
Aspartate aminotransférase (U/l)	15-22
Lactate déshydrogénase (UI/l)	200-250
Albumine (g/l)	24-46
Cholestérol (g/l)	0,1-0,8
Urée (g/l)	0,15-0,30
Créatinine (mg/l)	5-25
Triglycérides (mmol/l)	0,75 ± 0,04
Calcium (mg/l)	55-125
Potassium (mmol/l)	3,7-10

## Physiologie digestive

En tant qu'herbivore et monogastrique, le lapin a la capacité de se nourrir d'aliments très divers allant des graines de céréales à l'herbe ou des fourrages plus pauvres. La digestion dans les segments antérieurs du tube digestif (estomac et intestin grêle) est réalisée par les enzymes propres du lapin, et concerne la fraction la plus digeste de l'aliment (amidon, protéines, sucres, lipides). Les éléments non digérés (fibres, produits endogènes, etc.) passent ensuite dans les segments postérieurs du tube digestif (cæcum et côlon proximal), où ils sont hydrolysés et fermentés par le microbiote. Les digesta transitent ensuite dans le côlon distal (voir figure 1.6). Selon l'heure de la journée, ils seront excrétés soit sous forme de crottes dures rejetées au sol, soit sous forme de cæcotrophes qui seront ingérés en totalité par le lapin. Cette dualité de l'excrétion des digesta associée à la pratique de la cæcotrophie est particulière aux lagomorphes (voir chapitre 1) et sera détaillée un peu plus loin (voir p. 53).

Ainsi, le lapin tire parti de la symbiose avec le microbiote cæco-colique par deux voies. D'une part, comme chez tous les herbivores, la dégradation par les micro-organismes des substrats entrant dans le cæcum conduit à une production importante d'acides gras volatils (AGV) qui, après leur absorption par la paroi cæcale, constituent une source d'énergie appréciable (voir p. 50). D'autre part, grâce à la cæcotrophie, le lapin recycle une partie du contenu cæcal, riche en protéines et vitamines bactériennes.



## Digestion enzymatique

### *Des enzymes spécifiques pour chaque nutriment*

Chaque type de nutriment est hydrolysé par une ou des enzymes spécifiques. Ainsi, les protéines sont hydrolysées par des peptidases (ou protéases ou enzymes protéolytiques) qui brisent les liaisons peptidiques des protéines pour former des polypeptides. Par exemple, la pepsine et la rénine sont sécrétées par la muqueuse gastrique. Le pancréas sécrète également de nombreuses enzymes protéolytiques : trypsinogène, chymotrypsinogène, procarbopeptidases et proélastases, collagénases, nucléases. Le trypsinogène et le chymotrypsinogène sont inactifs et doivent être hydrolysés en trypsine et chymotrypsine pour devenir actifs. Les polypeptides continuent à être hydrolysés dans l'intestin grêle en acides aminés par des carboxypeptidases, des aminopeptidases et des dipeptidases sécrétées par les cellules de l'intestin grêle.

Les lipases sont les enzymes qui hydrolysent les fonctions esters et sont spécialisées dans la transformation des triglycérides en glycérol et en acides gras. Elles hydrolysent donc la fraction lipidique de la ration. Chez le lapin, la majorité des lipases est produite par le pancréas sous une forme inactive (zymogène) qui est activée dans l'intestin grêle par la trypsine. Mais il existe également une production de lipase au niveau salivaire et gastrique.

L'amidon est hydrolysé par l'amylase. Cette enzyme est sécrétée majoritairement par le pancréas, et en moindre quantité par les glandes salivaires et les cellules de l'intestin grêle. L'amylase brise les liaisons glycosidiques de l'amidon pour donner des molécules de maltose (disaccharides de glucose). Ces molécules, ainsi que les autres saccharides sont ensuite hydrolysées par d'autres enzymes : la maltase, la sucrase, la dextrinase, la glucosidase ou l'invertase produites par les cellules de l'épithélium digestif.

Les enzymes sécrétées par le pancréas sont contenues dans le suc pancréatique déversé dans l'intestin grêle *via* le canal pancréatique.

Lorsque les grosses molécules contenues dans la ration ont été réduites en petites molécules sous l'action de la digestion enzymatique (protéines en acides aminés, amidon en sucres simples, lipides en glycérol et acides gras), celles-ci passent la barrière intestinale pour aller vers le sang et être distribuées au reste de l'organisme pour assurer les fonctions vitales.

### *Facteurs de variation de la digestion enzymatique avec l'âge*

Le développement de l'équipement enzymatique des lapereaux nécessaire à la digestion des aliments dépend principalement de deux types de facteurs : les facteurs ontogéniques, c'est-à-dire liés à l'âge et à la croissance de l'individu, et les facteurs environnementaux, plus particulièrement les facteurs nutritionnels.

La capacité à digérer les protéines existe dès la naissance aux niveaux stomacal et pancréatique. Ainsi, la paroi stomacale sécrète une endopeptidase (la rénine ou chymosine avec un pH optimal vers 1,8-2,4) dès la première semaine d'âge, responsable de la coagulation du lait dans l'estomac par dégradation de la caséine (rupture

de la chaîne de kappa-caséine), protéine majeure du lait. Mais cette enzyme n'est plus décelable chez le lapin de 45 ou 60 jours. La pepsine, également d'origine stomacale, est présente de façon précoce, mais sa sécrétion ne devient quantitativement importante qu'à partir de l'âge de 30 jours environ. L'activité trypsique et chymotrypsique du pancréas croît linéairement entre 25 et 52 jours d'âge, et semble surtout dépendre de facteurs ontogéniques.

La capacité des lapereaux à digérer les lipides est bien développée dès la naissance, car les lipides du lait (10-25 % du poids frais selon le stade de lactation) représentent leur principale source énergétique. La production de la lipase gastrique, sécrétée par une petite zone de la paroi stomacale autour du cardia, est maximale chez le lapereau de 30 jours, puis elle décroît rapidement entre 30 et 60 jours et n'est plus mesurable chez l'adulte (180 jours).

L'activité spécifique de la lipase pancréatique serait maximale à 15 jours d'âge, puis diminuerait jusqu'au sevrage (à 42 jours). L'activité lipasique intestinale intraluminale totale serait modulée par les conditions d'alimentation. Ainsi, une substitution partielle de l'amidon de l'aliment (-10,8 points d'amidon) par des fibres (+7 points de NDF) et des matières grasses (4,9 % contre 2,7 %) stimule l'activité intraluminale totale de la lipase (+58 % au sevrage à 32 jours d'âge).

Le développement de la capacité à digérer l'amidon semble surtout dépendre de facteurs ontogéniques et serait peu modifié par les facteurs alimentaires, comme la précocité à ingérer l'aliment, la composition de l'aliment, l'âge au sevrage. L'activité de l'amylase pancréatique est quasi nulle à 25 jours d'âge, puis s'élève de 200 à 700 UI/kg poids vif entre 32 et 42 jours d'âge. Parallèlement, l'activité enzymatique intraluminale totale, pouvant provenir aussi de l'amylase salivaire et de l'amylase intestinale, est faible (23 UI/kg) à 25 jours, puis est multipliée par 5 dans la semaine qui suit. À l'inverse, l'activité de la lactase dépend essentiellement de facteurs alimentaires : présente chez le jeune lapereau dès la naissance, elle disparaît progressivement, parallèlement à son substrat, pour s'annuler après le sevrage. Lors d'un sevrage à 30-35 jours, l'équipement enzymatique du lapereau n'a donc pas encore atteint son plein développement puisque les capacités digestives de type adulte sont atteintes seulement vers l'âge de 45 à 50 jours.

### Microbiote digestif et activité microbienne cœcale

L'écosystème digestif, très développé dans le cæcum du lapin, joue un rôle clé pour la nutrition puisqu'il est responsable de la digestion des fibres (activité fibrolytique) et permet donc une alimentation de type « herbivore ». De plus, cet écosystème intervient dans la santé de l'animal, avec une action « flore barrière » face aux bactéries pathogènes et une action indirecte sur le développement des organes de l'immunité (voir p. 37). Comprendre cet écosystème et maintenir sa stabilité sont donc essentiels pour gérer l'alimentation et maintenir la santé digestive du lapin.

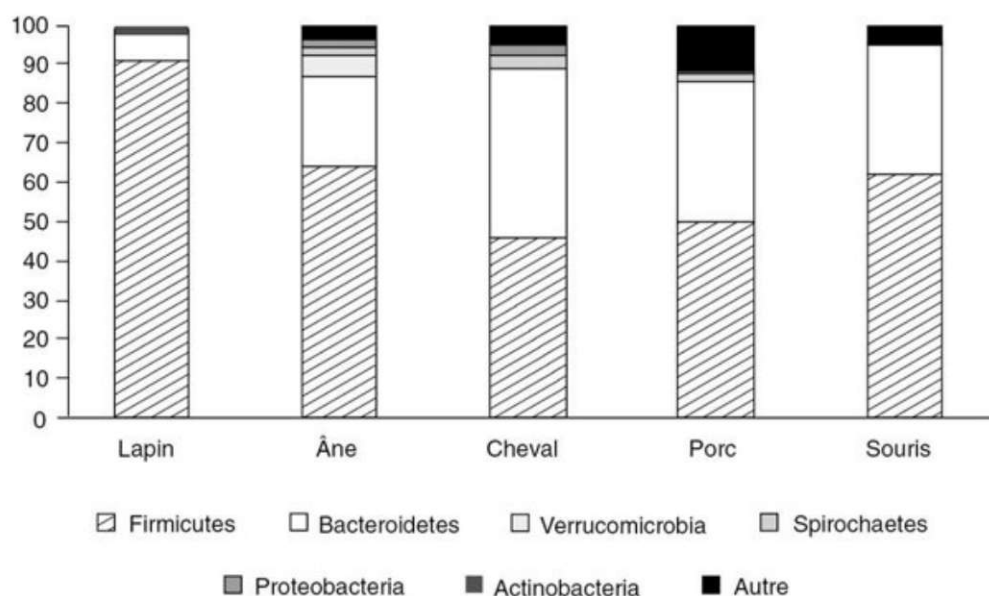
### Composition de la communauté microbienne

Le tractus digestif du lapin héberge une abondante communauté bactérienne. La densité la plus forte est observée dans l'ensemble cæcum-côlon ( $10^{11}$  à  $10^{12}$  bactéries/g),

les cæcotrophes et les fèces ( $10^{10}$  à  $10^{11}$  bactéries/g). Il existe aussi une population d'archées qui est estimée à  $10^7$  par g de contenu. En ce qui concerne les eucaryotes, l'écosystème digestif cæcal du lapin semble dépourvu de champignons anaérobies et de protozoaires. La présence de levures est inconstante et variable selon les études.

Les études basées sur l'aspect fonctionnel des micro-organismes et leur capacité à se développer sur des substrats définis ont permis de montrer que le lapin adulte héberge  $10^7$  bactéries cellulolytiques par g de contenu cæcal. Les populations de bactéries xylanolytiques et pectinolytiques s'établissent quant à elles entre  $10^9$  et  $10^{10}$  bactéries par g dans le cæcum et le colon proximal. Les espèces cultivables les plus fréquemment identifiées sont *Eubacterium cellulosolvens* pour les bactéries cellulolytiques et *Bacteroides ruminicola* pour les bactéries pectinolytiques et xylanolytiques. Par ailleurs, la fraction cultivable du microbiote digestif du lapin adulte sain se caractérise par la prédominance des *Bacteroides*, et l'absence ou la faible densité de *Lactobacillus*, *Streptococcus* et *Escherichia coli*.

Les techniques de cultures *in vitro* permettent *a priori* l'étude de 10 à 20 % du microbiote digestif. Les techniques modernes de microbiologie moléculaire, basées sur l'analyse de l'ADN des micro-organismes, permettent *a priori* d'étudier la quasi totalité des bactéries présentes. Elles permettent des progrès importants dans la connaissance de la diversité microbienne des écosystèmes digestifs. Ainsi, la composition taxonomique de l'écosystème digestif cæcal du lapin est très spécifique : les bactéries identifiées ne sont que partiellement retrouvées dans les écosystèmes digestifs d'autres espèces. Le microbiote cæcal se caractérise par une prédominance du phylum des *Firmicutes* (90 %), tandis que les autres phyla, classiquement retrouvés dans les écosystèmes digestifs des mammifères, sont minoritaires (10 %, figure 2.3). Les *Lachnospiraceae* et *Ruminococcaceae* constituent les familles majoritaires de l'écosystème cæcal (40 et 30 %) suivies des *Bacteroidaceae* et des *Rikenellaceae* (moins de 3 %).



**Figure 2.3.** Comparaison de la composition des écosystèmes digestifs de plusieurs espèces de mammifères.

Bien que la communauté bactérienne soit majoritaire dans l'écosystème cæcal, un intérêt particulier a été porté aux archées. Les archées du tractus digestif sont toutes méthanogènes et strictement anaérobies. Intégrées en fin de la chaîne trophique, elles permettent l'élimination de l'hydrogène issu des fermentations sous forme de méthane. Le méthane issu de leur activité est un puissant gaz à effet de serre (23 fois plus réchauffant que le CO<sub>2</sub>) et représente également une perte de 6 à 8 % de l'énergie et du carbone ingérés par l'animal. Contrairement aux ruminants, la réduction de l'émission de gaz à effets de serre n'est pas un enjeu majeur chez le lapin puisqu'il produit peu de méthane. À l'instar des autres écosystèmes digestifs de mammifères, c'est l'ordre des *Methanobacteriales* et le genre *Methanobrevibacter* qui prédominent chez le lapin. La densité des archées a été évaluée à 10<sup>7</sup> à 10<sup>8</sup> copies d'ADNr 16S/g de contenu cæcal.

### Mise en place de la communauté microbienne digestive

*In utero*, le tube digestif du lapereau est stérile. Sa colonisation débute dès la naissance, au contact de la mère et de l'environnement immédiat (filière génitale lors de la naissance, contact avec les poils de la mère lors de la tétée et matériaux du nid). Dès 2 jours d'âge, la densité bactérienne est élevée dans le cæcum (10<sup>9</sup> copies d'ADNr 16S/g) puis atteint son maximum à 21 jours d'âge (10<sup>11</sup> à 10<sup>12</sup> copies d'ADNr 16S/g). À ce dernier stade, le lapereau est encore allaité, mais a déjà débuté sa consommation d'aliment solide. Lors des premières semaines de vie, la communauté bactérienne du cæcum se compose à parts égales de bactéries anaérobies strictes et facultatives, puis l'abondance de ces dernières diminue fortement jusqu'à disparaître après sevrage chez certains individus. Ainsi, les bactéries du groupe des *Bacteroides Prevotella* (Gram négatives et anaérobies strictes) ont pu être détectées dès 2 à 3 jours d'âge. Par ailleurs, 7 jours après la naissance, les archées sont présentes dans le cæcum à un niveau significatif (10<sup>5</sup> copies d'ADNr 16S/g). L'implantation des archées semble moins précoce que celle des bactéries puisqu'elle n'atteint sa densité maximum qu'à 35 jours d'âge.

La communauté bactérienne cæcale évolue progressivement avec une modification importante en termes de composition et d'abondance relative des espèces et semble atteindre son état final (climacique) vers 70 jours d'âge. Cette évolution se traduit par une remarquable inversion du ratio des phyla *Bacteroidetes/Firmicutes* (0,5 à 14 jours contre 35 à 80 jours). Le genre *Bacteroides* domine chez le jeune puis est progressivement remplacé par des espèces non connues appartenant à des familles se classant dans l'ordre des *Clostridiales* et proches des *Lachnospiraceae* et des *Ruminococcaceae*.

### Activité microbienne et paramètres physico chimiques dans le cæcum

La dégradation des nutriments par le microbiote digestif aboutit à la production de nombreux composés, dont les principaux sont des gaz (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>), des acides gras volatils (AGV) et de l'ammoniac (NH<sub>3</sub>). Ces deux derniers composés sont absorbés en quasi-totalité par la paroi cæcale. Ainsi, les AGV peuvent couvrir de 30 à 50 % des besoins énergétiques d'entretien du lapin adulte.

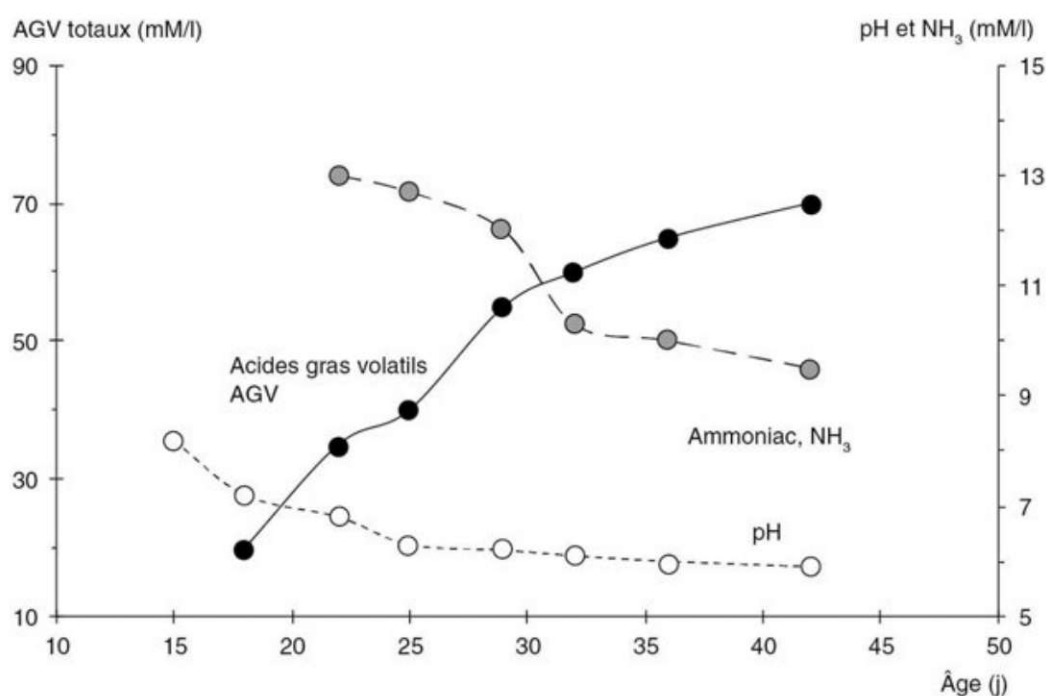
La production des composés fermentaires (AGV, NH<sub>3</sub>) n'est possible que si les nutriments complexes (fibres, protéines, etc.) sont hydrolysés en éléments plus



simples par les enzymes bactériennes. Ainsi, les activités pectinolytiques et xylanolytiques sont présentes dès 21 jours et triplent entre 21 et 35 jours (sevrage), tandis que l'activité cellulolytique est plus faible et reste stable. Cette hiérarchie de l'importance relative de l'activité des enzymes fibrolytiques (pectinase > xylanase > cellulase) est cohérente avec l'efficacité de la digestion des différentes fractions fibreuses (pectines > hémicelluloses > cellulose) de l'aliment. Le microbiote hydrolyse de nombreux autres substrats, tels que l'urée ou les produits non digérés dans l'intestin grêle : protéines, lipides, amidon, etc.

Bien que le microbiote cœcal soit présent dès les premiers jours de vie, son activité demeure très réduite jusqu'à 3 semaines d'âge. C'est-à-dire que les produits de la fermentation (AGV,  $\text{NH}_3$ ) ne sont présents qu'en faible concentration dans le cœcum (figure 2.4). En effet jusqu'à 15 jours d'âge, le lapereau ne consomme que du lait, digéré en quasi totalité dans l'intestin grêle, d'où un très faible flux de digesta entrant dans le cœcum, et donc une très faible quantité de nutriments utilisables pour le microbiote. Ainsi, le volume cœcal est limité jusqu'à 2 semaines d'âge (0,5 % du poids vif) puis s'accroît rapidement à partir de 3 semaines d'âge au moment où débute l'ingestion d'aliment solide, pour se stabiliser à environ 6 % du poids vif dès 6 semaines d'âge. C'est alors le plus grand compartiment digestif (40 % du volume digestif total), et il héberge un microbiote dense et actif. À 7 semaines d'âge, l'activité microbienne est stabilisée, avec une concentration en AGV d'environ 80 à 100 mM/L (comparable à celle du rumen d'une vache) et un pH cœcal légèrement acide de 6 à 6,5 (figure 2.4).

Entre 3 et 7 semaines d'âge, la qualité des fermentations évolue : la concentration en butyrate double (5 à 12 %), tandis que celle du propionate passe de 15 à 7 % et celle de l'acétate reste globalement stable. Le ratio propionate/butyrate devient



**Figure 2.4.** Cinétique d'installation de l'activité microbienne cœcale chez le lapin en croissance.

donc inférieur à 1 après 25-30 jours d'âge. Chez l'adulte, le profil fermentaire est dominé par l'acétate ( $C_2 = 60$  à  $80\%$ ), suivi du butyrate ( $C_4 = 8$  à  $20\%$ ) et enfin du propionate ( $C_3 = 3$  à  $10\%$ ). Ainsi, contrairement à la plupart des herbivores d'élevage, chez le lapin, le ratio  $C_3/C_4$  est inférieur à 1, en raison des caractéristiques propres de son microbiote cæcal.

Concernant les gaz de fermentations, on estime que l'activité méthanogénique est quasi-nulle jusqu'à 28 jours, puis qu'elle augmenterait modérément ensuite. Contrairement aux ruminants, le lapin serait donc un faible producteur de méthane.

Au final, l'activité microbienne cæcale permet une digestion des fibres (voir chapitre 5) avec une efficacité qui dépend de la facilité d'accès pour les enzymes microbiennes aux polysaccharides de la paroi des cellules végétales. Globalement, pour un aliment granulé complet équilibré, 40 à 60 % des fibres (critère TDF) contenues dans l'aliment sont digérées. Les polysaccharides pariétaux les plus accessibles et fermentescibles, telles que les pectines et les fibres solubles dans l'eau, présentent la digestibilité la plus élevée (60 à 80 %). En revanche, la cellulose est un polysaccharide avec une structure cristalline et sa digestibilité est moindre (15 à 30 %). L'efficacité du microbiote cæco-colique pour hydrolyser et fermenter les fibres est moindre chez le lapin que chez les ruminants. L'une des raisons principale est le temps de séjour relativement limité dans le cæcum et le côlon (voir ci-après) qui ne donne pas suffisamment de temps aux enzymes bactériennes pour une hydrolyse complète des parois des cellules végétales.

### Transit digestif et motricité particulière du côlon proximal

La capacité du lapin à digérer les aliments dépend non seulement des activités enzymatiques endogènes et de l'activité de son microbiote digestif, mais aussi de la vitesse de passage (ou temps de séjour) des aliments dans les différents segments du tube digestif. Les valeurs de temps de transit données ci-après sont des estimations assez larges du fait d'une grande variabilité des réponses en fonction de la méthode utilisée, tel que le type de marqueur pour étudier le transit des particules ou de la phase liquide des digesta. Dans l'estomac, le temps de séjour des particules est estimé entre 2 et 5 heures. Il est plus long s'il s'agit des cæcotrophes (5 à 7 heures). Les digesta séjournent très peu dans l'intestin grêle (1 à 2 heures pour les particules). En revanche, les digesta séjournent plus longtemps dans le cæcum et le côlon proximal (6 à 12 heures).

La particularité digestive des lagomorphes se situe dans le fonctionnement dual du côlon proximal, régulé à la base par le cycle lumineux nyctéméral. Si le contenu cæcal se déverse dans le côlon en fin de nuit ou en début de journée, il subit peu de changements biochimiques : les digesta progressent vers le rectum sous l'action du péristaltisme de la paroi colique et sont progressivement enrobés de mucus dans le côlon distal. Les digesta prennent alors la forme d'agglomérats de boulettes molles ( $n = 10$  à  $300$ ), nommés cæcotrophes. En fin de journée ou dans la nuit, lorsque les digesta passent du cæcum au côlon proximal, ils progressent dans le côlon sous l'action d'un double péristaltisme dans des directions opposées (successivement vers le cæcum puis vers le rectum). Les contractions de la paroi du côlon proximal ont pour effet de presser le contenu digestif (comme on presserait une éponge). Cette

compression envoie la partie liquide, accompagnée des petites particules ( $< 0,1$  mm) et des éléments solubles, en périphérie de la lumière intestinale et la fait remonter vers le cæcum (contractions antipéristaltiques). Dans le même temps, les particules plus grosses ( $> 0,3$  mm) sont maintenues au centre de la lumière intestinale puis évacuées par des contractions péristaltiques vers le rectum sous forme de crottes dures. Leur composition chimique diffère notablement de celle des cæcotrophes, ces dernières étant plus riches en protéines et plus pauvres en fibres.

Si on s'intéresse au transit des fines particules ( $< 0,3$  mm) et de la phase liquide des digesta, leur temps de séjour est plus long. En effet, en phase d'excrétion de crottes dures, le côlon proximal a une activité motrice double : celle de faire avancer vers le rectum les particules grossières ( $> 0,3$  mm) et celle de refouler vers le cæcum les particules fines ( $< 0,1$  mm) et les solutés. Il en résulte un temps de séjour moyen des fines particules de 20 et 40 heures entre la bouche et le rectum, et d'environ 15 à 30 heures du cæcum au rectum.

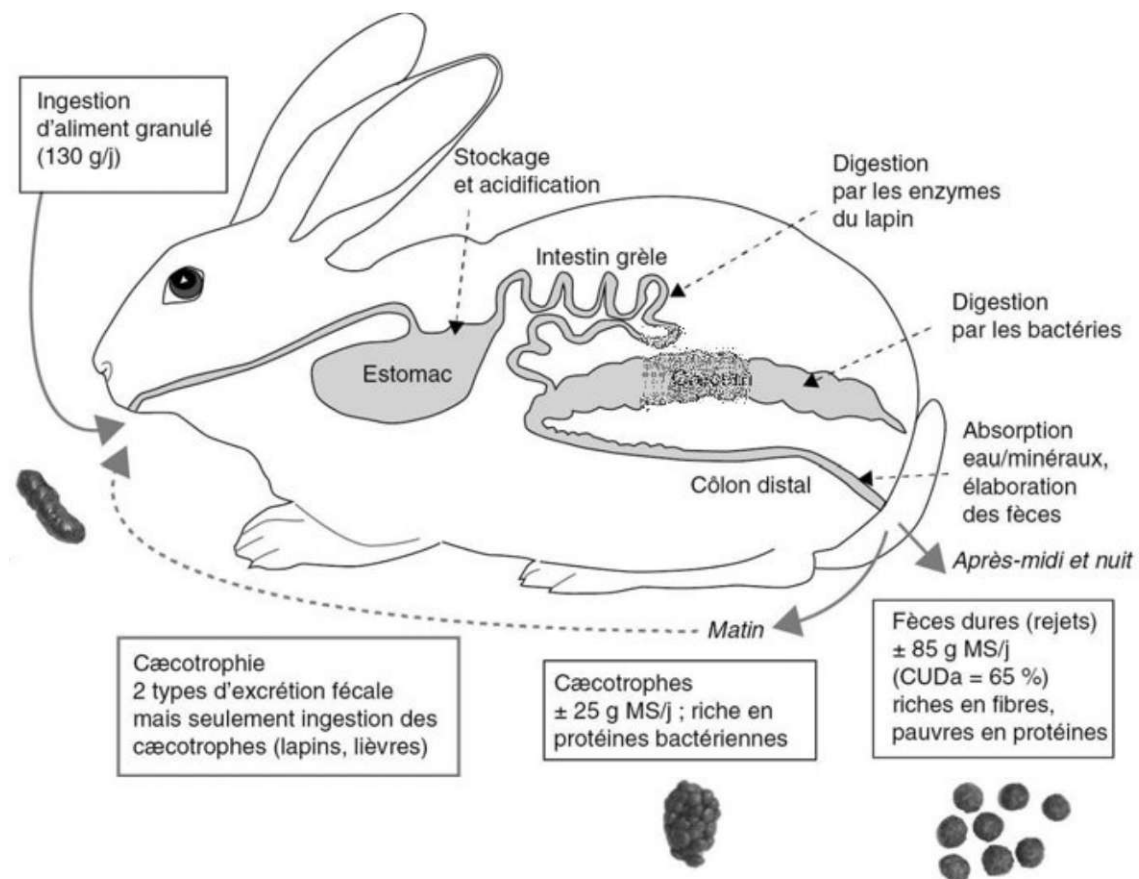
Si on prive le lapin de cæcotrophie, il en résulte un transit moyen des particules plus rapide d'environ 5 à 7 heures. De même, la réduction du niveau d'ingestion, par exemple en appliquant une restriction alimentaire de 25 à 40 %, entraîne à un allongement du temps de séjour des digesta d'environ 15 à 30 %. À l'inverse, l'accroissement du niveau d'ingestion, par exemple en ajoutant des fibres dans l'aliment, stimule le transit et réduit le temps de séjour.

## Cæcotrophie et excrétion de fèces

Le comportement de cæcotrophie consiste en la production de deux types distincts de fèces : les crottes dures sont rejetées dans la litière et, à l'inverse, les cæcotrophes sont intégralement ingérées par l'animal dès leur émission à l'anus (figure 2.6). À cet effet, lors de l'émission des cæcotrophes, au cours d'une opération globale de toilettage, le lapin se plie sur lui-même, met la bouche à l'anus (figure 2.5) et les aspire littéralement dès qu'elles sortent. Il les avale ensuite sans les mâcher.



**Figure 2.5.** Lapin pratiquant la cæcotrophie.



**Figure 2.6.** Digestion, excrétion fécale et cæcotrophie chez le lapin.

En situation normale, durant la matinée, on retrouve les cæcotrophes intacts en grand nombre dans le fundus de l'estomac, où ils peuvent représenter jusqu'à 70 % du contenu sec. Le fait que les cæcotrophes soient stockés seulement dans le fundus, et pas dans l'antrum, provient probablement d'une motricité particulière de l'estomac durant la cæcotrophie. La cæcotrophie se distingue totalement de la coprophagie, classiquement observée chez de nombreux animaux (rat, porc, etc.) et qui consiste en la production d'un seul type de fèces, partiellement ingéré (et non en totalité comme pour les cæcotrophes).

Les cæcotrophes ont une composition chimique similaire à celle du cæcum, puisqu'ils proviennent d'une vidange partielle (environ un tiers) du contenu cæcal, transitant dans le côlon avec de faibles modifications. Ils sont ainsi constitués pour moitié par des corps bactériens et pour l'autre moitié par des résidus alimentaires non totalement dégradés, ainsi que par des restes de sécrétions du tube digestif. Les corps bactériens représentent un apport appréciable de protéines de haute valeur biologique (riches en lysine et méthionine), ainsi que des vitamines hydrosolubles. La cæcotrophie présente donc un réel intérêt nutritionnel, puisqu'elle fournit de 15 à 25 % des protéines ingérées et la totalité du besoin quotidien en vitamines B et C. La quantité de cæcotrophes est plus importante si le lapin a un régime herbivore riche en fibres.



### Encadré 2.5. La cæcotrophie - une adaptation nutritionnelle à un régime herbivore.

La cæcotrophie est un comportement pratiqué par le lapin lorsqu'il est au calme. Le lapin peut, sans aucun inconvénient, ingérer ses cæcotrophes, même s'il est élevé sur un plancher grillagé. À l'inverse, il est anormal de trouver régulièrement des cæcotrophes sur le sol (litière ou grillage) : il s'agira alors de veiller à la santé de l'animal *via* une bonne alimentation et le maintien d'une ambiance calme. La cæcotrophie est une adaptation évolutive au régime herbivore qui permet au lapin de valoriser d'un point de vue nutritionnel l'activité du microbiote. Un lapin qui ne pratique pas la cæcotrophie présente des carences en certains acides aminés et en vitamines B et C.

La régulation de la cæcotrophie est dépendante de l'intégrité du microbiote digestif et soumise au rythme d'ingestion. L'ingestion des cæcotrophes est observée dans un délai de 8 à 12 heures, soit après le début de la distribution de la ration unique chez les lapins rationnés, soit après le pic d'ingestion (environ 1 heure avant l'extinction de la lumière) chez les animaux nourris à volonté. Chez ces derniers, le rythme d'ingestion, et par voie de conséquence celui de la cæcotrophie, est directement corrélé au rythme lumineux. La cæcotrophie est également sous la dépendance de régulations internes selon des mécanismes encore mal déterminés. Ainsi, l'ablation des glandes surrénales entraîne son arrêt, et des injections de cortisone aux animaux surrénalectomisés permettent de restituer un comportement normal. Enfin, le comportement de cæcotrophie apparaît chez le jeune lapin, lorsqu'il commence à manger de l'aliment solide (voir chapitre 5), soit entre 22 et 28 jours d'âge.

## Physiologie de la reproduction

### La puberté

Chez le mâle, les premières manifestations de comportement sexuel peuvent apparaître vers 60-70 jours. Le lapin commence alors des tentatives de chevauchement. La puberté, définie comme le moment où les organes reproducteurs du mâle sont capables de produire de façon constante des spermatozoïdes féconds, est atteinte vers 4 ou 5 mois, peu après la descente des testicules dans le *scrotum*. En période de repos, les testicules peuvent remonter en position abdominale. L'âge à la puberté varie avec la race et les conditions d'élevage, notamment l'alimentation. Généralement, les jeunes mâles sont mis à la reproduction à l'âge de 5 mois. La maturité sexuelle, définie comme le moment où la production journalière de sperme n'augmente plus, serait atteinte vers 7,5-8 mois pour la race néo-zélandaise en climat tempéré. Ensuite, la production de sperme récolté reste stable ou décroît légèrement. La production quotidienne, dépendante de nombreux facteurs, est de l'ordre de  $2 \cdot 10^7$  spermatozoïdes.

Chez la femelle, le comportement sexuel (acceptation de l'accouplement) apparaît bien avant l'aptitude à ovuler et à conduire une gestation. Ainsi, une lapine peut accepter l'accouplement précocement vers 10-12 semaines, mais il n'est généralement pas suivi de l'ovulation. L'âge à la puberté, qui est le moment où la fonction de reproduction est acquise, dépend de la race et du développement

corporel. Généralement, la précocité sexuelle est meilleure chez les races de petit ou moyen format (4 à 6 mois), que chez les races de grand format (5 à 8 mois). Il est généralement conseillé de mettre les lapines à la reproduction lorsque les femelles du groupe atteignent 80 % du poids adulte de la race ou de la lignée. Une mise à la reproduction plus précoce est possible à condition que l'alimentation soit équilibrée. Dans les élevages européens professionnels utilisant des lignées sélectionnées sur les aptitudes maternelles, les lapines sont généralement mises à la reproduction entre 18 et 20 semaines d'âge.

## La gamétogénèse

### *Chez le mâle*

#### *La différenciation sexuelle*

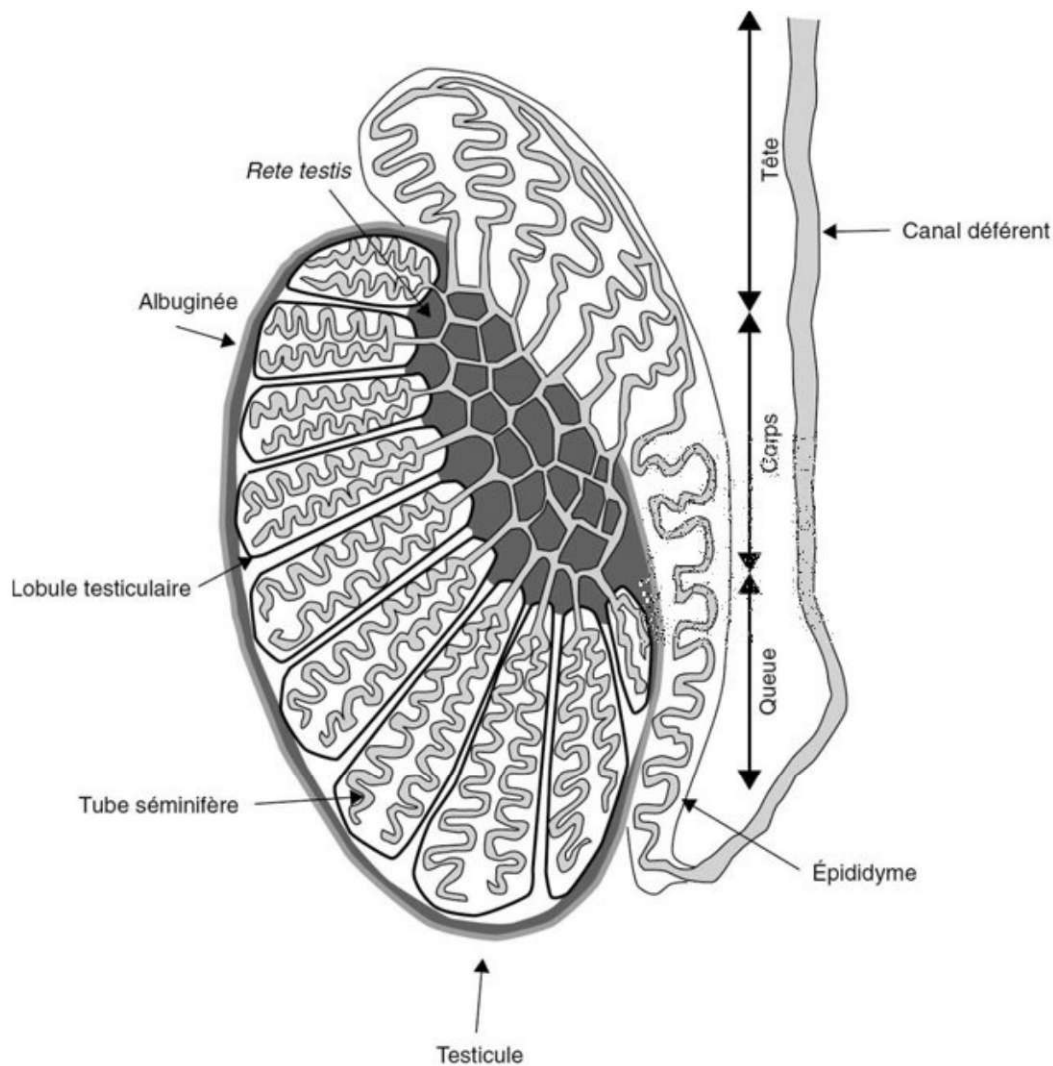
La différenciation des gonades commence le 16<sup>e</sup> jour suivant la fécondation et la production d'hormones androgènes dès le 19<sup>e</sup> jour de la gestation. À la naissance, le lapereau a déjà un stock de spermatogonies constitué. Vers 1,5 mois, les premières divisions cellulaires ont lieu et la spermatogénèse commence. Vers 3 à 4 mois, apparaissent les premiers spermatozoïdes, le jeune lapin cherche à s'accoupler, cependant la qualité de la semence est encore faible.

#### *La spermatogénèse*

La spermatogénèse désigne l'ensemble des divisions et des différenciations cellulaires qui conduisent, à partir d'une cellule sexuelle de base (ou cellule-souche ou spermatogonie), à la production des spermatozoïdes. La spermatogénèse se compose de deux étapes, la phase d'élaboration proprement dite (ou cycle spermatogénétique) dans les tubes séminifères et la phase de maturation au niveau de l'épididyme.

Le *cycle spermatogénétique* est un processus complexe qui conduit à la réduction chromatique (chez le lapin  $2n = 44$  chromosomes) et implique la réorganisation des composants nucléaires et cytoplasmiques. Les spermatogonies (cellules germinales) sont transformées en spermatocytes I ( $2n$  chromosomes), puis après méiose en spermatocytes II ( $n$  chromosomes). Chaque spermatocyte II donne deux spermatides. Au cours d'une métamorphose complexe, la spermiogénèse, chaque spermatide se transforme en spermatozoïde. En effet, la spermatide, de forme encore arrondie, s'allonge, le cytoplasme glisse le long du noyau vers la zone des centrosomes et s'étire le long du flagelle naissant pour former la gouttelette cytoplasmique. Le spermatozoïde compte essentiellement trois parties : une tête ovale contenant le noyau, la pièce intermédiaire au niveau de laquelle les mitochondries se condensent autour du filament flagellaire, le flagelle assurant le déplacement du spermatozoïde.

La spermatogénèse se déroule dans le testicule, à l'intérieur des tubes séminifères, de la périphérie du tube séminifère vers la lumière, en suivant une courbe hélicoïdale (figure 2.7). Elle dure de 42 à 48 jours et est continue à partir de la puberté.



**Figure 2.7.** Organisation du testicule et de l'épididyme.

*La maturation des spermatozoïdes.* Les spermatozoïdes qui sont dans la lumière des tubes séminifères sont ensuite acheminés au travers du *rete testis* vers l'épididyme qui recouvre le testicule (figure 2.7). L'épididyme est un tube long de 2 à 2,5 m, replié sur lui même. Il est composé d'une partie renflée, la tête, qui coiffe le pôle antérieur du testicule, une partie plus mince, le corps, et une partie plus dilatée, la queue de l'épididyme. Les spermatozoïdes prélevés directement au niveau des tubes séminifères sont pratiquement immobiles. Leur motilité ne se manifeste qu'à la fin du transit épididymaire dans la queue de l'épididyme. Ainsi, prélevés au niveau des tubes séminifères et même au début de l'épididyme, les spermatozoïdes ne sont pas encore féconds. En effet, des travaux anciens montrent que seuls les spermatozoïdes présents dans la queue de l'épididyme sont susceptibles d'être féconds (fertilité  $\geq 90\%$ ). La queue de l'épididyme contient aussi le stock des spermatozoïdes qui peuvent se trouver affectés par la fréquence de saillies ou de collectes.

En résumé, le transit épididymaire permet le transport (contractions), le stockage (queue de l'épididyme) et l'acquisition de la motilité des spermatozoïdes. Chez le lapin, la durée de la maturation épididymaire varie de 8 à 11 jours.

## Encadré 2.6. Conséquences d'un stress sur la production spermatique.

Chez le lapin, l'intervalle entre le début de la spermatogénèse et la fin de la maturation épидидymaire varie de 50 à 60 jours. Les conséquences d'un stress ne peuvent donc apparaître que 2 mois après. Ainsi, par exemple, sous les latitudes européennes, l'effet dépressif des chaleurs estivales n'est souvent mis en évidence qu'au mois d'octobre.

### *L'acquisition du pouvoir fécondant chez la femelle : la capacitation*

La maturation des spermatozoïdes se poursuit encore dans les voies génitales de la lapine, ce phénomène appelé « capacitation » permet aux spermatozoïdes d'acquérir le pouvoir fécondant. En effet, si on met en présence de la semence éjaculée avec un ovocyte, la fertilité est faible. Le transit des spermatozoïdes dans l'utérus et l'oviducte permet, au niveau de l'acrosome, la libération de macromolécules entraînant la réaction acrosomiale. Celle-ci permettra la libération d'enzymes nécessaires à la digestion des enveloppes de l'ovule, étape indispensable de la fécondation.

### *La semence*

La semence est composée de spermatozoïdes, produits dans le testicule, et du plasma séminal composé des sécrétions de l'épididyme et des glandes annexes, le mélange se produisant pendant l'éjaculation. Le plasma séminal fournit notamment des substrats énergétiques aux spermatozoïdes.

Le tableau 2.4 donne quelques caractéristiques de la semence de mâles d'une souche commerciale prélevés un jour par semaine à raison de deux éjaculats à 15 minutes d'intervalle pendant 52 semaines. Les facteurs de variation de la production spermatique sont présentés dans le chapitre 3.

**Tableau 2.4.** Quelques caractéristiques de la semence de lapins (Bencheikh, 1993).

Caractéristique	
Couleur	Aspect blanc crémeux
Volume (ml)	0,8
pH	6,9
Cellules motiles (%)	83
Concentration (spermatozoïdes/ml)	575 10 <sup>6</sup>

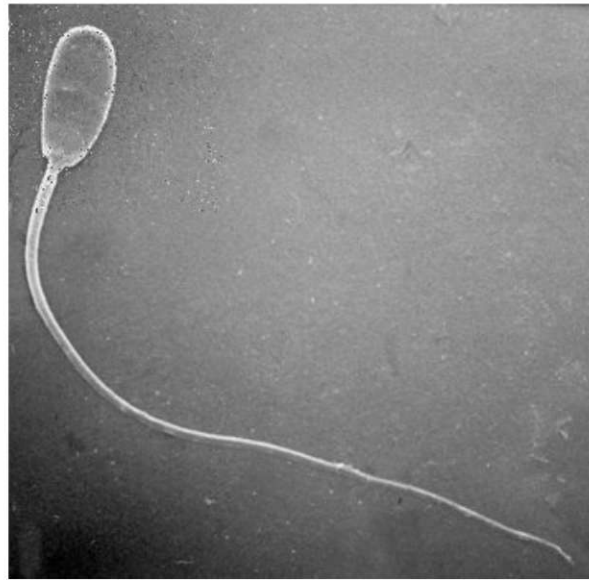
### *Le spermatozoïde*

Le spermatozoïde (figure 2.8) se compose essentiellement de :

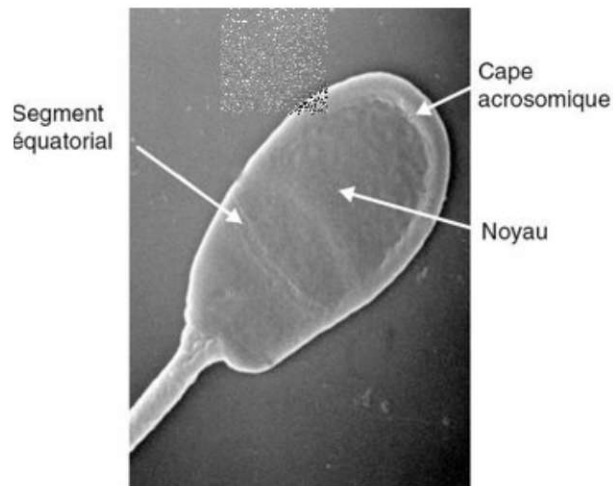
- la tête, de forme ovoïde ( $7 \times 4 \times 0,5 \mu$ ) qui comprend notamment le noyau contenant les chromosomes et l'acrosome ;
- la pièce intermédiaire, qui contient la gaine mitochondriale, l'essentiel des mitochondries de la cellule. Elle est le siège de la production énergétique nécessaire au mouvement ;
- le flagelle, qui mesure de 45 à 55  $\mu$ , est l'organe moteur responsable du déplacement.



A



B



**Figure 2.8.** A. Spermatozoïde de lapin ( $\times 2\,600$ ). B. Ultrastructure du spermatozoïde de lapin ( $\times 10\,000$ ). Photos Rinieri et Castellini.

La gouttelette cytoplasmique est éliminée progressivement durant le transit épидidymaire ou au contact des sécrétions séminales.

### *Durée de vie et sénescence*

La vie sexuelle du lapin peut durer 5 à 6 ans. Elle dépend de la race, de l'individu, des conditions d'entretien et de la fréquence de reproduction. Dans les élevages ou les centres d'IA, les mâles sont renouvelés en moyenne vers 18 mois, souvent du fait d'une ardeur sexuelle ou d'une production spermatique insuffisantes.

### Encadré 2.7. Importance du milieu utérin et oviductaire sur le pouvoir fécondant des spermatozoïdes.

Des travaux anciens ont permis d'estimer que, lors d'une saillie naturelle, si  $200 \times 10^6$  spermatozoïdes sont déposés dans la partie supérieure du vagin, seulement 1/100 passent la barrière des cervix et seulement 0,000025 % (soit 5 000) atteignent l'oviducte. Cependant, dans le vagin, des mouvements musculaires peuvent favoriser le passage du cervix. Dans l'utérus, les spermatozoïdes sont en contact avec les sécrétions utérines favorables à leur progression si la lapine est en œstrus, les contractions musculaires participent aussi à la remontée des gamètes, en particulier pour le passage de la jonction utéro-tubaire. L'acheminement vers le lieu de fécondation est assuré par la motilité propre des spermatozoïdes, par les contractions de l'oviducte et par les battements ciliaires. De plus, les œstrogènes favorisent la remontée des spermatozoïdes dans l'utérus, la progestérone, au contraire, inhibe leur passage à travers le cervix. En effet, le fluide utérin d'une lapine qui a ovulé est en mesure de capaciter *in vitro* les spermatozoïdes. On comprend donc ici l'importance du milieu offert aux spermatozoïdes pour leur remontée sur le lieu de fécondation. Le stade physiologique, l'état sanitaire et les taux d'hormones circulants de la lapine conditionnent donc directement la réussite de la fécondation.

#### La régulation hormonale

La reproduction est régulée par un système hormonal complexe dans lequel l'hypothalamus et l'hypophyse (régions du cerveau) ont un rôle essentiel. L'élaboration et la maturation des spermatozoïdes sont sous la dépendance étroite des hormones gonadotropes et des androgènes (figure 2.9). L'hypophyse est une petite glande située sous le cerveau. Elle sécrète :

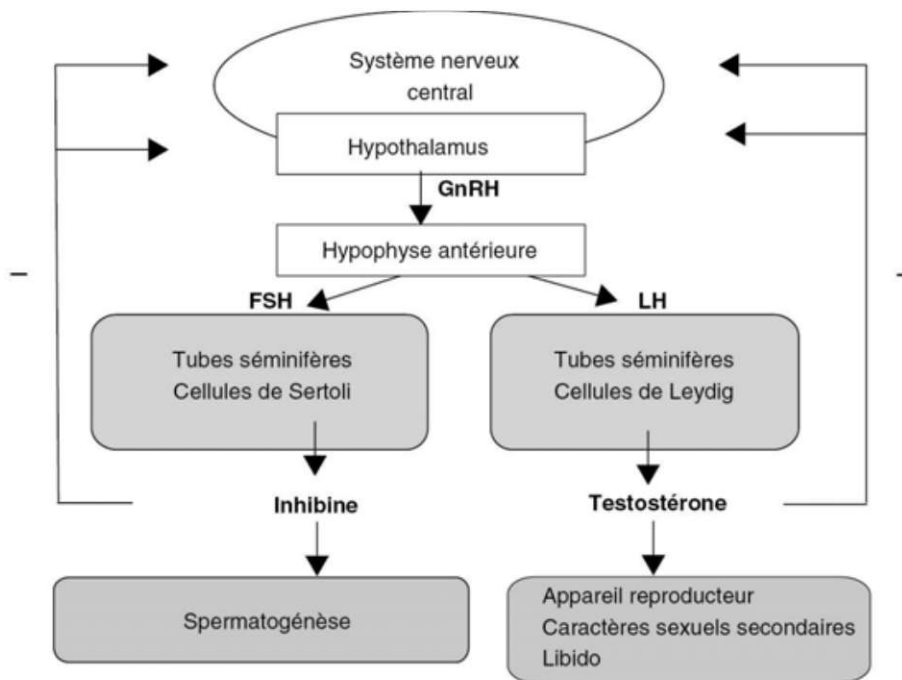
- la FSH (*Follicle Stimulating Hormone*) qui agit sur les tubes séminifères et les cellules de Sertoli (cellules nourricières) ;
- l'ICSH (*Interstitial Cell Stimulating Hormone*), équivalent de la LH (*Luteinizing Hormone*), qui induit la sécrétion d'androgènes stéroïdiens par les cellules de Leydig au niveau du testicule.

Ces hormones régulent la spermatogénèse par effet direct et par un effet de rétro-contrôle négatif vers le cortex hypothalamique, auquel s'associe éventuellement la sécrétion d'inhibine (lors d'un stress par exemple). Les androgènes agissent sur le développement des caractères sexuels secondaires, stimulent le fonctionnement des glandes annexes et développent l'instinct sexuel. Des rétrocontrôles modulent ces sécrétions.

Les prostaglandines accélèrent la fabrication des spermatozoïdes ( $PGE_1$ ) et participent au transport des spermatozoïdes à travers l'appareil génital ( $PGF2\alpha$ ).

L'éjaculation se produit sous contrôle d'une hormone voisine de l'ocytocine libérée au niveau de l'hypophyse par stimulation de la sphère génitale.

La fonction sexuelle est donc contrôlée par les hormones gonadotropes. Les facteurs d'environnement, le climat, la température, la photopériode ou le stress peuvent modifier l'expression de cette fonction en agissant sur le système nerveux central et l'hypothalamus (voir chapitre 3).



**Figure 2.9.** Régulation hormonale de la reproduction chez le mâle.

## Chez la femelle

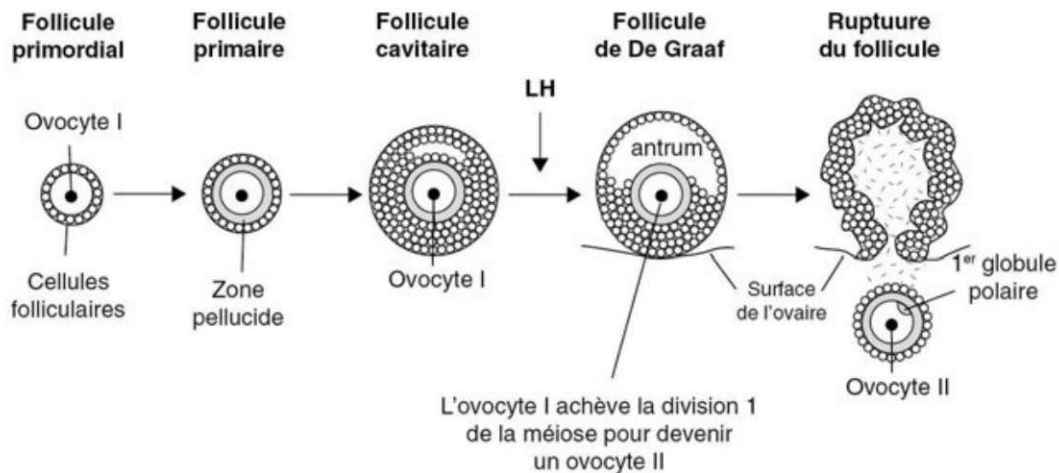
### La différenciation sexuelle

Chez la lapine, la différenciation des gonades commence le 16<sup>e</sup> jour suivant la fécondation et les premières divisions ovogoniales sont observées 10 jours avant la naissance. Contrairement à la plupart des mammifères (brebis, vache...), le stock de follicules primordiaux chez la lapine, comme chez la rate, n'est pas déterminé pendant la vie fœtale mais s'établit pendant la période néonatale, lors des premières semaines qui suivent la naissance. On considère qu'à 14 jours la taille de la réserve folliculaire est déterminée. Elle diminuera progressivement au cours de la vie de l'animal, principalement par atrophie (> 99,9 % des follicules) ou par évolution en ovocyte au stade Métaphase II.

### L'ovogénèse

L'ovogénèse se définit par la succession des phases qui permet de passer d'une cellule-souche (l'ovogonie chez la femelle) à un gamète femelle (l'ovocyte II) prêt à être fécondé.

L'ovogénèse débute par une phase de divisions intenses des cellules de la lignée germinale pour donner le stock d'ovogonies souches. Celles-ci se différencient pour donner les ovocytes I. On assiste ensuite à une phase d'accroissement : les ovocytes I augmentent de volume et s'entourent de cellules nourricières aplaties, ou cellules folliculaires, pour donner des follicules primordiaux à partir du 14<sup>e</sup> jour. Le follicule croît progressivement et son diamètre se stabilise (200 µm) vers 2,5 mois. Vers 10 semaines, les follicules primordiaux évoluent en follicules cavitaires suite à la sécrétion du liquide folliculaire. Ce moment correspond à l'accroissement de la taille des ovaires et de l'utérus.



**Figure 2.10.** La folliculogénèse.

C'est à la puberté que le follicule cavitaire évolue en follicule à antrum ou follicule de De Graaf, à la suite d'un accouplement ou d'une injection d'hormone à effet LH provoquant l'ovulation. L'ovocyte I, contenu dans le follicule, termine sa division méiotique pour donner un ovocyte II, entouré de cellules folliculaires et contenant le premier globule polaire. En cas de fécondation, la phase de maturation s'achève pour donner l'ovule qui contient le deuxième globule polaire.

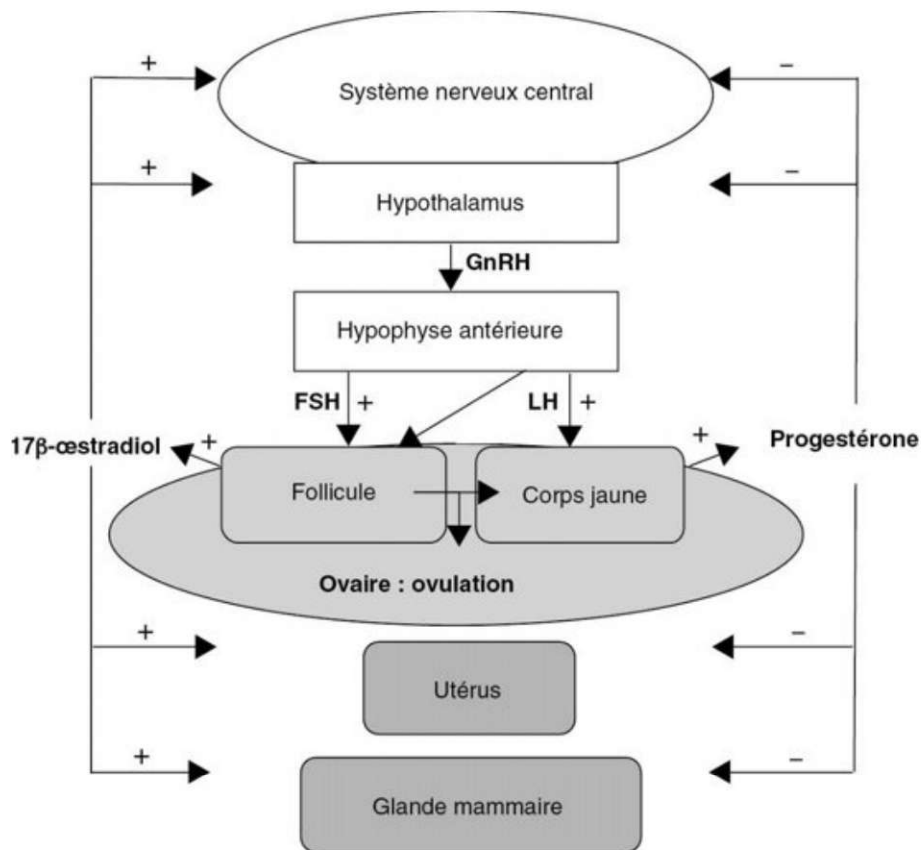
L'ovule est une cellule hautement spécialisée dont la fonction est de générer un individu après fécondation. C'est une grosse cellule sphérique qui stocke des réserves nutritives dans le cytoplasme. L'ovule est entouré d'une membrane glycoprotéique : la zone pellucide. Elle protège l'œuf des agressions mécaniques et intervient dans le mécanisme de la fécondation (figure 2.10).

### La régulation hormonale

L'hypothalamus, à l'intersection entre le système nerveux central et l'appareil endocrinien, contrôle le système hormonal. Cette petite glande, localisée à la base du cerveau, contrôle l'hypophyse. Placée sous l'hypothalamus, l'hypophyse se compose d'un lobe antérieur et d'un lobe postérieur. Ces deux lobes diffèrent par leur origine embryonnaire, leur morphologie et leur fonction.

La GnRH (*Gonadotrophin Releasing Hormone*) est une hormone protéique (décapeptide) sécrétée par l'hypothalamus. Elle est capable de stimuler simultanément la synthèse et la sécrétion de deux gonadotropines : la FSH (*Follicle Stimulating Hormone*) et la LH (*Luteinizing Hormone*) au niveau du lobe antérieur de l'hypophyse. Ces hormones glycoprotéiques jouent un rôle central dans la régulation de la fonction de reproduction chez la femelle ; elles sont en effet les intermédiaires essentiels du système nerveux central pour ce qui concerne les activités endocrines et gamétogénétiques des gonades. Elles agissent sur l'ovaire : la FSH est principalement responsable de la croissance folliculaire, et la LH contrôle la maturation folliculaire finale et induit l'ovulation des follicules pré-ovulatoires (figure 2.11). On distingue les hormones sécrétées par le complexe hypothalamo-hypophysaire et les hormones sécrétées par les ovaires.





**Figure 2.11.** Régulation hormonale de la reproduction chez la lapine.

Au niveau de l'ovaire, les œstrogènes ( $17\beta$ -œstradiol) sont sécrétés notamment par les cellules de la thèque interne des follicules. Leur taux circulant dépend donc du développement folliculaire. Après l'ovulation, le corps jaune se met en place par une transformation morphologique et fonctionnelle des cellules de la thèque interne et de la granulosa. Ces cellules s'hypertrophient et sécrètent la progestérone. L'augmentation très importante de la sécrétion de progestérone s'accompagne de la disparition des sécrétions d'androgènes. Chez la plupart des espèces, y compris le lapin, les hormones ovariennes stéroïdes (œstrogènes et progestérone) semblent exercer alternativement un rétrocontrôle positif et négatif, respectivement pour les œstrogènes et la progestérone, sur la sécrétion de GnRH, de FSH et de LH par l'axe hypothalamo-hypophysaire. Tout ce système régule l'activité sexuelle des lapines. De plus, des mécanismes complexes interfèrent avec l'axe hypothalamo-hypophysaire-ovarien, impliquant la participation des opiacées endogènes, telles que les endorphines, les catécholamines (Dopa, norépinéphrine), CRH (*Corticotrophin Releasing Hormone*), ACTH (*Adrenocorticotropin Hormone*) et le cortisol. Par exemple, pendant la tétée, la sécrétion des peptides opiacés endogènes est stimulée. Comme pour le mâle, chez la lapine, la fonction de reproduction est sous l'influence de modifications environnementales. En effet, la durée d'éclairement, la température, l'alimentation, un stress, des stimulations auditives ou olfactives peuvent modifier la balance endocrinienne et stimuler ou affecter cette fonction.

## Le cycle œstral

La lapine a des périodes d'acceptation de l'accouplement (œstrus) et des périodes de refus du mâle (dioœstrus) alternées, dont les durées sont très variables entre animaux. La lapine n'a donc pas de cycle œstrien régulier. Une lapine est dite « réceptive » lorsqu'elle manifeste un comportement d'acceptation de l'accouplement en présence d'un mâle. Il est possible de tester la réceptivité sexuelle en plaçant, préalablement à l'insémination, chaque lapine dans la cage d'un mâle et en observant si elle a un comportement d'acceptation de l'accouplement (position de lordose). La femelle est retirée de la cage avant la saillie. Cependant, ce test réalisé en station expérimentale est trop fastidieux pour être envisagé en élevage de production. L'observation de la couleur et de la turgescence de la vulve au moment de l'insémination est un indicateur de la réceptivité sexuelle des lapines. En effet, seulement 26 % des lapines ayant une vulve blanche acceptent l'accouplement. Par contre, 76 % des lapines à vulve rose, rouge, violette et turgescence acceptent l'accouplement et sont considérées réceptives.

Au cours d'un cycle de production, la lapine exprime une réceptivité sexuelle élevée dans les 24 heures suivant la mise-bas, du fait de l'inversion du rapport progestérone/œstrogènes. En effet, la diminution de sécrétion de la progestérone permet la reprise de la croissance folliculaire et donc la sécrétion d'œstrogènes à l'origine du comportement sexuel.

## L'accouplement

Chez le lapin, l'accouplement est très rapide. Si la lapine présentée est réceptive, la saillie proprement dite commence en général quelques secondes après son introduction dans la cage du mâle. Immédiatement après l'éjaculation, le mâle se jette en arrière ou sur le côté et, le plus souvent, émet un cri caractéristique. Si on laisse ensemble une lapine réceptive et un mâle actif, un nouvel accouplement peut avoir lieu dans les minutes qui suivent. Il a été observé jusqu'à vingt accouplements consécutifs, mais la qualité et la quantité de semence diminuent alors rapidement.

## L'ovulation

Chez la plupart des espèces de mammifères, comme chez la femme, la vache ou la brebis, l'ovulation intervient de façon spontanée au cours du cycle de reproduction. À l'inverse, chez la lapine (comme chez la chatte, la furette, la chamelle...), l'ovulation n'est pas spontanée mais provoquée par l'accouplement. Induite par les *stimuli* associés au coït, l'ovulation a lieu en moyenne 10 à 12 heures après la saillie. La stimulation du système nerveux central entraîne la sécrétion, au niveau de l'hypothalamus, de neurohormones (GnRH, *Gonadotrophin Releasing Hormone*) en terminaison des axones. Dans la région ventrale de l'hypothalamus, les vaisseaux du système porte traversent l'hypophyse ; la GnRH stimule alors simultanément la synthèse et la sécrétion de deux gonadotropines FSH (*Follicle Stimulating Hormone*) et LH (*Luteinizing Hormone*) au niveau du lobe antérieur de l'hypophyse. Ces gonadotropines provoquent la maturation folliculaire finale. Les follicules mûrs atteignent un diamètre de 1,2 à 1,5 mm.

L'accouplement entraîne donc une forte sécrétion de LH, appelée pic de LH (environ 4 heures après l'accouplement), qui est à l'origine de la rupture du follicule de De Graaf, libérant ainsi l'ovocyte II qui vient d'éliminer son premier globule polaire. En effet, 20 à 30 minutes avant l'ovulation, on peut observer un engorgement sanguin au sommet du follicule pré-ovulatoire et il se forme un cône secondaire sur le follicule lui-même. L'ovulation intervient environ 10 heures après la décharge de GnRH. Le pic de LH a pour conséquence de libérer l'ovocyte II apte à être fécondé : c'est l'ovulation. La cause primaire de la rupture folliculaire est la rapide distension du follicule sous l'effet d'une augmentation de son activité sécrétoire qui entraîne une augmentation de la pression du liquide folliculaire sous l'influence de la dégradation enzymatique de ses mucopolysaccharides par la hyaluronidase ou l'hydrolyse enzymatique des cellules épithéliales par leurs lysosomes.

Au final, l'expulsion de l'ovule après la rupture folliculaire est sous l'influence de la contraction des fibres musculaires lisses de la thèque externe au moment de l'ovulation. Des procédés cinématographiques ont pu démontrer la nature relativement explosive du phénomène ovulatoire puisque l'expulsion du contenu folliculaire ne dure que 30 à 60 secondes. Après l'ovulation, les cellules de la granulosa et de la thèque interne du follicule pré-ovulatoire s'hypertrophient et se transforment pour donner le corps jaune, responsable de la sécrétion de progestérone qui prépare l'utérus à la nidation et au développement embryonnaire. On observe deux pics de FSH (environ 5 heures et 16-22 heures après le coït). Ce deuxième pic permet de stimuler la formation de nouveaux follicules à antrum susceptibles d'ovuler par la suite.

Le taux d'ovulation correspond au nombre d'ovules émis au moment de l'ovulation. Il est très variable d'un individu à l'autre, et est sous forte influence des facteurs externes (environnement au sens large, y compris le statut nutritionnel) et internes (âge des animaux, race). Le nombre d'ovules émis varie généralement entre 10 et 15 mais peut aller jusqu'à 20.

### Encadré 2.8. Ovulation provoquée par l'accouplement : conséquences en élevage.

Le fait que la lapine n'ait pas de cycle œstrien régulier, et que l'ovulation ne soit pas spontanée mais provoquée par l'accouplement, a des conséquences très intéressantes pour la gestion de la reproduction en élevage. En effet, l'éleveur ne consacre pas de temps de surveillance pour la détection des chaleurs, comme cela peut être le cas dans d'autres systèmes d'élevage, celui des bovins par exemple. En conséquence, c'est l'éleveur qui décide du rythme de reproduction qu'il impose à son troupeau de femelles. Ainsi, les saillies (ou les inséminations artificielles) peuvent être planifiées et réalisées à jour fixe et programmées à l'avance pour tout le troupeau. Cela entraîne un regroupement des mises-bas, qui se déroulent sur 2 à 3 jours pour un troupeau. De même, le sevrage et la commercialisation des animaux peuvent alors être regroupés sur un seul jour. Cette particularité biologique, lorsqu'elle est mise à profit en élevage par le regroupement des saillies, permet une planification et donc une organisation favorable du travail en élevage. Celui-ci est alors cadencé par quatre temps forts : les saillies (ou inséminations), les mises-bas, le sevrage et la vente.

### Encadré 2.9. L'induction de l'ovulation lors de l'insémination artificielle.

L'insémination artificielle de la lapine a fait son apparition dans les élevages cunicoles français à la fin des années 1980. Les modalités, intérêts et limites de cette pratique sont détaillés dans le chapitre 3. Lors d'une insémination artificielle, la semence du mâle est introduite dans le vagin de la lapine à l'aide d'un dispositif adapté. L'introduction du matériel d'insémination dans le vagin ne permet pas une stimulation suffisante pour provoquer l'ovulation. Lorsque l'on pratique l'insémination artificielle chez la lapine, il est donc nécessaire de déclencher artificiellement l'ovulation. Ceci est généralement réalisé par une injection intramusculaire de GnRH (naturelle ou de synthèse) au moment de l'insémination. Du fait de son faible poids moléculaire (10 acides aminés), elle est peu immunogène et son utilisation répétée est possible sans réduction de son efficacité.

### La pseudogestation

La pseudogestation est le résultat d'une ovulation non suivie de fécondation. L'absence de fécondation peut être liée à des chevauchements entre femelles ou autre stimulation sans dépôt de semence, à un défaut de fécondation lié à un mâle stérile, trop jeune ou de qualité de semence insuffisante, ou à une mortalité embryonnaire totale et précoce. Les follicules de De Graaf se transforment en quelques heures en corps jaunes progestatifs qui se maintiennent de 15 à 18 jours. La sécrétion de progestérone augmente durant les 10-12 jours après l'accouplement et provoque des modifications de l'utérus identiques à celles d'une lapine gestante. Un comportement maternel avec construction d'un nid est observé en fin de pseudogestation. Sous l'influence d'un facteur lutéolytique sécrété par l'utérus, la prostaglandine PGF2 $\alpha$ , les corps jaunes régressent, entraînant une baisse de la sécrétion de progestérone à partir du 10-12<sup>e</sup> jour pour atteindre le niveau basal vers 17-18 jours.

Si une lapine pseudogestante est mise à la reproduction, cet état n'empêche pas une nouvelle ponte ovulaire. Par contre, la pseudogestation déprime l'expression de la réceptivité sexuelle et la fertilité est souvent compromise (voir chapitre 3).

### Encadré 2.10. La pseudogestation : origine et conséquences en élevage.

La pseudogestation est gênante dans un élevage, car les lapines sont peu réceptives et en conséquence peu fertiles. En saillie naturelle, la fréquence d'ovulation est plus faible que suite à une injection de GnRH pratiquée lors de l'insémination (66 % contre > 82 % respectivement). La pseudogestation est donc plus rare lors d'une conduite en saillie naturelle qu'en insémination artificielle. Elle peut toutefois survenir lorsque plusieurs lapines pubères sont élevées ensemble (avant la première mise à la reproduction par exemple) ou se côtoient momentanément (regroupement dans une caisse au moment d'un changement de bâtiment par exemple). En effet, si une femelle très réceptive chevauche une autre lapine, le chevauchement peut induire une ovulation et donc une pseudogestation. En revanche, en insémination artificielle, la fréquence d'ovulation étant plus importante qu'en saillie naturelle, une lapine palpée vide peut avoir ovulé et donc être plus fréquemment pseudogestante.

Les jeunes lapines futures reproductrices doivent donc être placées en cages individuelles au moins trois semaines avant la date prévue de leur mise à la reproduction.

Si la pseudogestation est repérée à temps, une injection de prostaglandine PGF2 $\alpha$  au 10-11<sup>e</sup> jour de pseudogestation provoque la lutéolyse et permet une nouvelle insémination 14 jours après la précédente. Sans injection de PGF2 $\alpha$ , l'insémination suivante doit être faite trois semaines après la précédente pour s'affranchir de l'activité des corps jaunes.



## La fécondation

La fécondation correspond à la fusion entre un spermatozoïde (à  $n$  chromosomes) et un ovule (à  $n$  chromosomes) pour donner une cellule unique, l'œuf (à  $2n$  chromosomes) qui sera à l'origine de l'embryon, du fœtus, puis du lapereau.

Lors de l'accouplement, le sperme du mâle est déposé dans le vagin. Il s'écoule environ 3 à 6 heures entre l'éjaculation et l'entrée des spermatozoïdes dans l'utérus puis dans l'oviducte. La remontée des spermatozoïdes dans le tractus génital femelle est rapide, ceux-ci pouvant atteindre le lieu de fécondation (partie distale de l'ampoule, près de l'isthme) trente minutes après le coït. Dans les minutes qui suivent l'accouplement, le taux d'ocytocine sanguin s'accroît. Cette décharge aurait pour fonction de permettre aux spermatozoïdes de franchir les cols utérins et de migrer dans l'utérus.

Après l'ovulation, l'ovocyte II libéré est entouré par les cellules de la granulosa devenues partiellement mucilagineuses ; l'ensemble de ces cellules constitue la *corona radiata*, sous laquelle se trouve la zone pellucide assez épaisse. L'ovule est capté et englobé dans les franges du pavillon, dans la partie supérieure de la trompe de Fallope. Il commence alors la descente oviductaire. Le transport de l'œuf dans l'oviducte est assuré par les contractions, les cellules ciliées et un rapport œstro-gènes/progestérone très strict. Toute modification de ce rapport accélère ou retarde la migration de l'œuf. La progestérone est essentielle à la nidation et au maintien du développement embryonnaire de la lapine.

Au moment de la fécondation, plusieurs spermatozoïdes se fixent à la zone pellucide des ovules. Le second globule polaire est émis peu de temps après le contact spermatique. Au niveau de la tête des spermatozoïdes, l'acrosome secrète des enzymes permettant l'hydrolyse des constituants de la zone pellucide, c'est la réaction acrosomiale. L'un d'entre eux peut alors pénétrer dans la zone pellucide, puis l'ovule. Dans les minutes qui suivent, les deux pronucléi vont à la rencontre l'un de l'autre et arrivent en contact environ 22 heures après l'accouplement, soit environ 11 heures après l'ovulation, c'est l'amphimixie, résultat de la fusion des gamètes pour former l'œuf à  $2n$  chromosomes. La fécondation active l'ovule qui reprend son activité métabolique et bloque la polyspermie, afin d'éviter la pénétration des spermatozoïdes supplémentaires, par une réorganisation des protéines de la membrane pellucide. L'activation de l'œuf permet de déclencher le développement embryonnaire.

La quasi-totalité des ovules sont fécondés 2 heures après l'ovulation. Les œufs non fécondés dans un délai de 8 heures après ovulation ne le seront plus en raison de la mise en place d'une enveloppe de mucine appelée manteau muqueux. Toutefois, les ovules restent viables 8 à 9 heures après ovulation. Dès le début du transit dans l'oviducte, l'œuf commence à se diviser (1<sup>re</sup> division environ 22 heures après l'accouplement). L'œuf fécondé met en moyenne 3-4 jours pour atteindre la corne utérine.

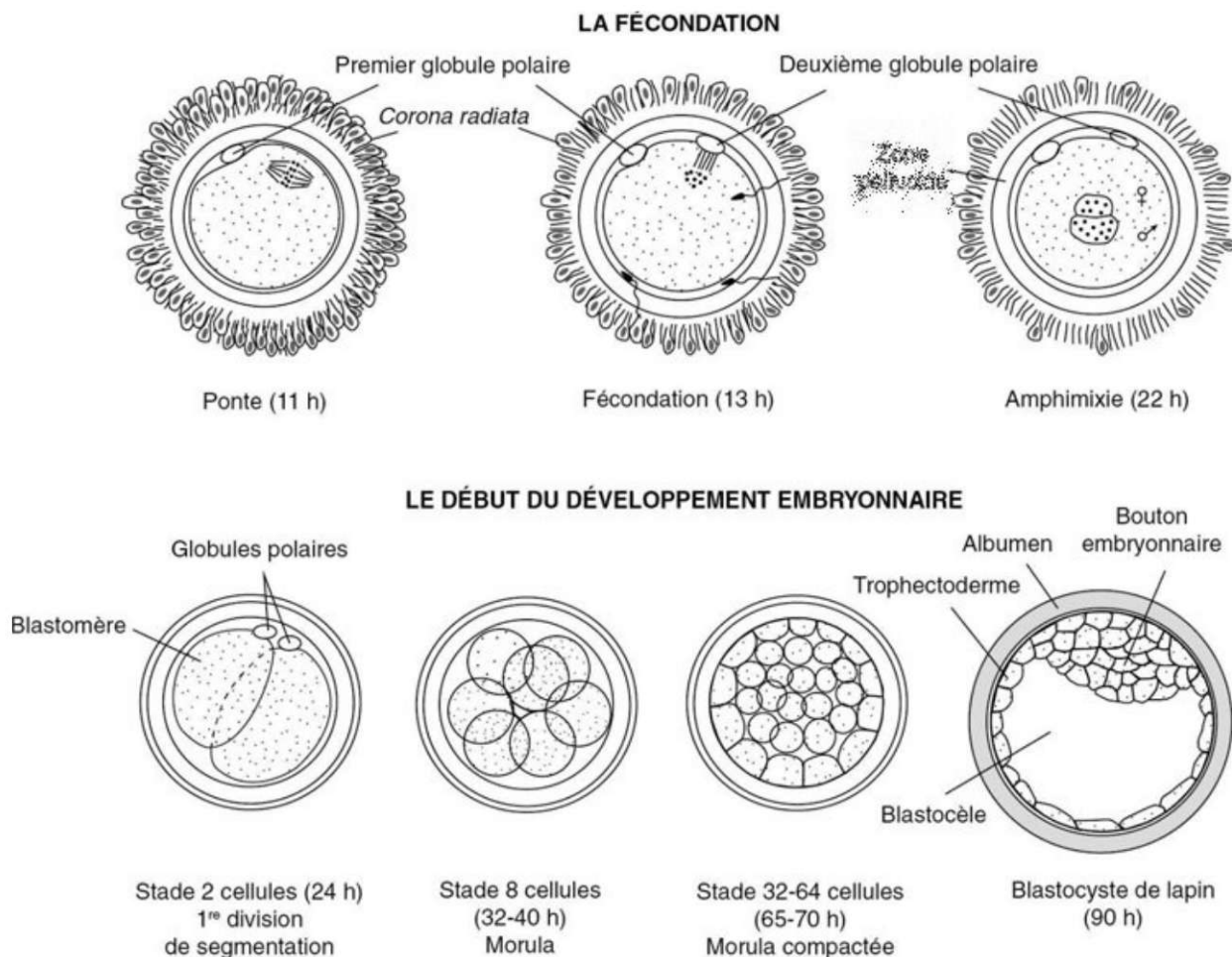
## Le développement embryonnaire et la gestation

### Le développement embryonnaire

Comme chez les autres mammifères, on distingue trois étapes de développement embryonnaire : la segmentation, la gastrulation et l'organogénèse.

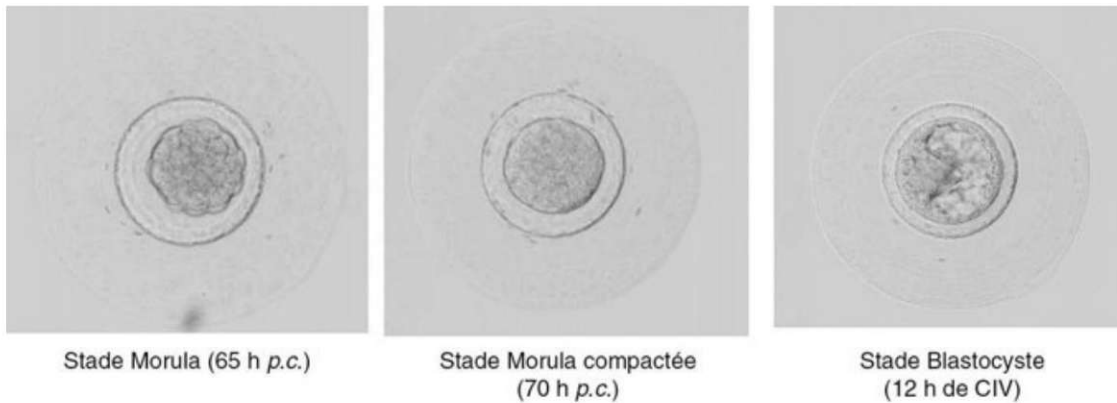
Après la fécondation, marquée par l'activation et l'amphimixie, l'œuf subit la première division de segmentation pour donner deux cellules filles appelées *blastomères* (24 heures *post coïtum* « p.c. », figure 2.12). L'œuf se divise en un grand nombre de blastomères, sans que son volume augmente de façon appréciable. Il prend ensuite l'aspect d'une petite mûre ou *morula*. En effet, de 65 à 70 h p.c., il est au stade 32-64 cellules.

Alors qu'il vient de franchir la jonction utéro-tubaire (71-75 h p.c.), l'œuf se creuse d'une cavité centrale appelée le blastocèle et est alors nommé blastocyste (figure 2.13). Des cellules vont s'aplatir et migrer à la périphérie pour former le trophectoderme, alors que d'autres vont former un amas cellulaire appelé le bouton embryonnaire. Le trophectoderme sera à l'origine des structures extra-embryonnaires comme le placenta ou le cordon ombilical, alors que le bouton embryonnaire deviendra l'embryon. Le blastocyste, jusqu'alors libre dans l'utérus, va s'implanter vers les 6-7<sup>e</sup> jours après l'accouplement dans la paroi utérine.



**Figure 2.12.** La fécondation et le début du développement embryonnaire (adapté de Houillon, 1967).

CIV, culture *in vitro*.



**Figure 2.13.** Embryons aux stades morula et blastocyste (Photos T. Joly).

Après l'implantation, l'embryon se nourrit à partir des nutriments apportés par le sang maternel au travers du placenta. Chez la lapine, le placenta est de type hémochorial et de forme discoïde. C'est un placenta invasif dans lequel une partie de la paroi utérine (l'endomètre, le mésenchyme et, par endroits, l'endothélium vasculaire) est lysée. L'épithélium trophoblastique de l'embryon est ainsi en contact direct avec le sang maternel au niveau des lacs sanguins. Une substance donnée n'a plus que trois couches cellulaires à traverser pour passer de la circulation maternelle à la circulation fœtale. Il est décidu, c'est-à-dire que les interdigitations fœto-maternelles sont profondes et ramifiées. Il y a hémorragie et perte de tissu maternel à la naissance.

La gastrulation est l'ensemble de mouvements cellulaires qui aboutissent à la mise en place des trois feuillets fondamentaux : le feuillet externe ou ectoblaste, le feuillet intermédiaire ou mésoblaste, et le feuillet interne ou endoblaste. L'ectoblaste sera à l'origine du système nerveux, des organes sensoriels, de l'épiderme et des phanères. Le mésoblaste formera les muscles squelettiques, les vertèbres, les cavités, les membres et les cellules sanguines. L'endoblaste sera à l'origine du tube digestif, des glandes associées (foie, pancréas, intestin, etc.), de l'appareil pulmonaire, de la thyroïde... Le système nerveux commence à se mettre en place à 8 jours, les premiers battements cardiaques sont observés vers 9 jours. À 11 jours, on distingue la tête ainsi que les bourgeons des membres, et l'allantoïde, une poche destinée à accumuler les déchets de l'embryon, se met en place.

L'organogénèse commence vers le 16<sup>e</sup> jour, notamment avec la mise en place du système urogénital. Le stade fœtal est alors atteint. Le 19<sup>e</sup> jour, les membres sont formés, le museau s'allonge. Le fœtus ressemble au lapereau vers le 22<sup>e</sup> jour et sa croissance pondérale augmente alors très rapidement.

### La gestation

Chez la lapine, la durée de gestation est de 30-31 jours, exceptionnellement jusqu'à 33 jours.

La dentelle utérine apparaît entre 5 et 8 jours après l'accouplement pour permettre l'implantation de l'œuf qui s'effectue 7 jours après l'accouplement (stade

blastocyste). Avant l'implantation, l'embryon se nourrit par imbibition (absorption des éléments nutritifs de son milieu environnant). Il n'établira de véritables échanges nutritifs directs avec sa mère, par l'intermédiaire du placenta, qu'ultérieurement. La qualité de la nidation conditionne en grande partie l'évolution de la gestation, notamment le développement placentaire, et en conséquence la survie et la croissance fœtale.

Au niveau hormonal, la présence des corps jaunes sur l'ovaire sécrétant la progestérone est indispensable jusqu'à la fin de la gestation. En effet, une ablation de l'ovaire entraîne l'avortement. Du 3<sup>e</sup> au 12<sup>e</sup> jour suivant l'accouplement, le taux de progestérone ne cesse d'augmenter, il reste relativement stationnaire pour diminuer rapidement dans les quelques jours précédant la mise-bas. C'est l'inversion du rapport progestérone/oestrogènes qui induit la mise-bas.

Environ 30 % des œufs fécondés ne donnent pas naissance à des lapereaux vivants. On distingue les pertes embryonnaires, qui ont lieu avant l'implantation (10 %), et les pertes fœtales, qui ont lieu entre l'implantation et la mise-bas (20 %). C'est après l'implantation que se situe la phase critique de survie : 66 % des embryons qui dégénèrent disparaissent entre J8 et J17. Les pertes augmentent avec l'âge des lapines et sont plus importantes si la lapine allaite pendant la gestation.

La taille des fœtus est directement influencée par leur position dans l'utérus, ceux qui sont les plus proches de l'ovaire étant les plus développés. Du fait de la présence de deux cervix, il n'est pas possible pour un embryon, contrairement à d'autres espèces, de changer de corne utérine au cours de la gestation.

### Encadré 2.11. Le diagnostic de gestation en élevage.

Vers 12-14 jours de gestation, les embryons et leurs annexes forment des structures rondes d'environ 2,5-3 cm de diamètre réparties dans les cornes utérines : cela prend la forme d'un chapelet, qui est détectable par une palpation de l'abdomen de la femelle par un manipulateur entraîné. Cette manipulation permet de détecter si la lapine est gestante après une saillie ou une insémination. En cas de diagnostic négatif, la lapine sera alors éventuellement remise à la reproduction. Toutefois, une manipulation trop brutale ou trop appuyée peut provoquer un avortement. Il convient donc de s'entraîner ou de s'abstenir, et d'attendre la date de mise-bas présumée pour connaître le résultat de la saillie.

Au moment de la palpation, l'animal est saisi par la peau au-dessus des reins afin de soulever l'arrière-train avec une main. L'autre main passe doucement sous l'abdomen au niveau du bas-ventre avec un mouvement de va-et-vient, afin de repérer les vésicules embryonnaires présentes sous forme de petites boules souples et glissantes au toucher, en cas de gestation. Ces embryons ne doivent pas être confondus avec des crottes du tractus digestif qui sont beaucoup plus petites (1-2 cm) et plus dures au toucher.

La palpation chez la lapine peut se faire aisément entre le 12<sup>e</sup> et le 14<sup>e</sup> jour après la saillie (à partir du 10<sup>e</sup> jour pour les éleveurs très expérimentés). Une palpation plus tardive est plus risquée (avortements) et une palpation plus précoce est beaucoup plus difficile car les fœtus ne sont pas encore assez développés pour être détectés.

### La mise-bas

Bien que la sécrétion de progestérone soit maintenue pendant toute la gestation, la régression fonctionnelle des corps jaunes commence à partir du 17<sup>e</sup> jour de gestation.



La lapine construit un nid dans la dernière semaine de gestation avec les matériaux dont elle dispose et des poils qu'elle arrache de son propre corps (voir chapitre 4). Ce comportement est lié à une augmentation du rapport œstrogènes/progesterone et à la sécrétion de prolactine en fin de gestation. La mise-bas, ou parturition, survient au 31 ou 32<sup>e</sup> jour de gestation, le plus souvent le matin. Quatre jours avant la mise-bas, on note une diminution de la consommation alimentaire d'environ 30 %, qui peut même s'annuler le jour précédent. La mise-bas proprement dite est brève (< 30 voire 15 minutes), sans relation nette avec l'effectif de la portée. Toutefois, elle se déroule parfois (1 à 3 % des cas) en deux temps séparés de 8 à 12 heures. Le nombre de lapereaux nés varie généralement de 3 à 12. Dans les élevages français qui utilisent des animaux sélectionnés, la taille moyenne de la portée est d'environ 11 lapereaux nés, dont 10 vivants.

## Encadré 2.12. La préparation et la gestion de la boîte-à-nid en élevage.

En maternité, un environnement thermique garantissant le maintien d'une température élevée (> 18 °C) et constante est nécessaire pour les jeunes lapereaux qui naissent dépourvus de poils et sont très sensibles au froid. Dans les élevages où les animaux sont élevés dans des cages grillagées, il est nécessaire d'ajouter dans la cage une zone spéciale à fond plein pour permettre aux femelles de réaliser un nid et de mettre bas dans de bonnes conditions. L'éleveur ajoute généralement une boîte-à-nid, d'environ 40-50 cm de longueur, 25-30 cm de largeur et 15-25 cm de profondeur avec une ouverture d'environ 15 cm, ronde ou carrée. La boîte-à-nid peut être ouverte ou fermée de façon partielle ou totale au-dessus. Le fond de la boîte doit être « drainant » pour éviter l'humidité générée par l'urine des lapereaux. On peut pour cela utiliser un nid à fond perforé, à fond en bambou ou en planches ajourées. La boîte-à-nid est installée 3 à 5 jours avant la mise-bas. Le fond doit être garni d'une couche généreuse (plusieurs centimètres) de copeaux ou de paille secs.

On peut noter que la paille est de moins en moins utilisée en élevage professionnel européen car elle constitue un intrant peu maîtrisable vis-à-vis de la biosécurité : elle peut être - plus que les copeaux dépoussiérés - un vecteur potentiel d'agents pathogènes issus de lapins de garenne ou de chiens (virus de VHD, de myxomatose, cysticerques, etc.). Malgré cet inconvénient, elle semble présenter l'avantage d'induire un comportement maternel supérieur. Si la litière est souillée ou humide, il convient de la changer. L'adjonction de poudre asséchante est aussi une pratique courante en élevage professionnel : cette pratique, si elle est réalisée avec des produits de mauvaise qualité, peut parfois provoquer des abandons de nid. Toutefois, la sélection génétique sur les qualités maternelles des souches de lapins de chair a permis de créer des lignées qui tolèrent grandement que l'éleveur trie les petits ou nettoie le nid. Les abandons de nid sont aujourd'hui peu fréquents.

Pour un confort d'observation des nids, certains éleveurs enlèvent les poils déposés par la lapine ; pourtant la présence de ces poils contribue fortement au confort thermique des lapereaux qui naissent quasiment nus, cela n'est donc pas recommandé. À l'inverse, d'autres éleveurs mettent des poils pris sur une lapine dans un autre nid que le sien lorsqu'ils jugent la quantité de poils insuffisante. Cette pratique peut transmettre des agents pathogènes comme des staphylocoques ou les dermatophytes. Enfin, certains éleveurs saupoudrent les nids de poudres contenant des antibiotiques afin de limiter la contamination bactérienne des nids. Cette pratique est à éviter car elle peut limiter la maturation du système immunitaire et contribuer à l'émergence de gènes d'antibiorésistance.

Proposer l'accès au nid garni 3 à 5 jours avant la mise-bas semble faire diminuer le taux de mise-bas en dehors du nid, et ce notamment chez les nullipares qui montrent parfois un désintérêt pour le nid. Afin d'éviter que ces femelles ne mettent bas sur le sol grillagé, les éleveurs peuvent les habituer à y entrer (15 minutes par jour les 5 jours précédant la mise-bas) en les enfermant dans la boîte-à-nid.

Les mécanismes physiologiques impliqués dans le déclenchement et le déroulement de la parturition sont assez mal connus. Il semble toutefois que le niveau de corticostéroïdes sécrété par les surrénales des lapereaux *in utero*, qui augmente avec leur croissance, joue un rôle dans ce déclenchement, comme c'est le cas pour d'autres espèces. Les prostaglandines type PGF2 $\alpha$ , sécrétées par l'utérus maternel en fin de gestation, jouent également un rôle. L'augmentation de la sécrétion de PGF2 $\alpha$  serait reliée à la diminution des niveaux circulants de progestérone, dépendant de la régression des corps jaunes. *In fine*, c'est l'inversion du rapport œstrogènes/progestérone qui déclenche la mise-bas.

Après la mise-bas, l'utérus régresse très rapidement et perd plus de la moitié de son poids en moins de 48 heures. Rapidement après la naissance, la lapine nettoie ses petits des résidus d'enveloppes foetales qui peuvent rester sur leur corps, par léchage. Elle consomme aussi les placentas (voir chapitre 4).

## La lactation

La lactation est la phase finale du cycle de reproduction des lapins. Synthétisé et sécrété par la mamelle, le lait est adapté aux besoins et aux capacités digestives des lapereaux. Le lait est essentiel à leur survie par ses apports nutritifs mais également parce qu'il leur apporte des anticorps maternels protecteurs contre certaines infections. C'est le cas notamment du lait qui est sécrété au cours des tout premiers jours de lactation. Ce liquide, qui a une composition particulière, est appelé colostrum. Le colostrum apporte au nouveau-né des immunoglobulines même si l'essentiel de ces molécules de défense de l'organisme est transmis *in utero* (voir p. 37) ; le colostrum procure aussi au lapereau des éléments nutritifs indispensables à sa survie. La composition nutritionnelle du colostrum de lapine est peu renseignée. Il a été montré qu'il est plus riche en matière sèche, en matières grasses et en protéines que le lait. Chez les autres espèces, il a été montré que le colostrum diffère aussi du lait par des teneurs en vitamine A, en calcium et en fer plus élevées, et son ingestion favorise la sécrétion du méconium (contenu digestif du nouveau-né constitué par ingurgitation du liquide amniotique pendant la gestation). Toutefois, ces données restent à démontrer chez le lapin.

La lapine a un comportement maternel parcimonieux l'amenant à visiter son nid et à n'allaiter qu'une seule fois par jour pendant quelques minutes (voir chapitre 4).

La lapine possède 4 à 5 (plus rarement 6) paires de mamelles. Le nombre de mamelles fonctionnelles peut ne pas être réparti de façon totalement symétrique et/ou présenter un nombre impair (9 ou plus rarement 11 tétines). On distingue les mamelles pectorales (1 paire), ventrales (2 à 3 paires) et inguinales (1 paire). À chaque tétine, reliée à 5-6 canaux galactophores, correspond une glande mammaire séparée. Le tissu mammaire est disposé entre la peau et les muscles sous-jacents, auxquels elle est attachée par du tissu conjonctif.

## Développement de la glande mammaire et mise en place de la production laitière

La phase de production et de sécrétion du lait, appelée galactopoïèse, est précédée de trois étapes : le développement mammaire, la mammogénèse et la lactogénèse.

Le développement mammaire débute par une étape de prolifération cellulaire, avec croissance de l'épithélium mammaire, et de différenciation structurale du tissu mammaire avec apparition puis ramification des canaux. Elle commence dès le stade fœtal pour s'achever à la puberté (11-14 semaines). La croissance est d'abord isométrique (c'est-à-dire effectuée à la même vitesse que le reste du corps) de la naissance à la pré-puberté, puis allométrique (l'organe se développe plus rapidement que le reste du corps) au cours de la période pubertaire. La mammogénèse a lieu pendant la gestation, surtout au cours de sa première moitié. Le volume de la glande mammaire augmente, le compartiment épithélial s'étend, les acini bourgeonnent, le tissu conjonctif et la vascularisation se développent. Au cours de la lactogénèse, les cellules épithéliales mammaires se différencient et acquièrent la capacité de synthèse et de sécrétion du lait. Les cellules se polarisent et s'hypertrophient quelques jours avant la parturition, ce qui conduit à une activité sécrétoire intense.

### *Contrôle hormonal de la lactation*

La lactogénèse est sous la dépendance de la prolactine (hormone peptidique d'environ 200 acides aminés). Pendant la gestation, sa sécrétion est inhibée par les œstrogènes et la progestérone. À la parturition, une diminution rapide de la teneur en progestérone est observée, ainsi qu'une libération d'ocytocine. La prolactine peut ainsi exercer son action, permettant la montée laiteuse dans une glande dont le développement se poursuit en début de lactation.

Lorsque la lapine allaite, les *stimuli* créés par la tétée provoquent la sécrétion immédiate d'ocytocine (nonapeptide). Celle-ci provoque une contraction des cellules myoépithéliales qui aboutit à l'éjection du lait. Le taux d'ocytocine ne reste élevé que 3 à 5 minutes. La concentration plasmatique d'ocytocine s'accroît de 40 pg/ml de plasma deux jours après la mise-bas, à 250 et 490 pg/ml au milieu puis en fin de lactation, sachant qu'un taux minimum de 20 à 25 pg/ml est nécessaire au déclenchement de l'éjection du lait.

Une à cinq minutes après la fin de la tétée, intervient une décharge de prolactine (70 à 75 ng/ml de sang) dont le taux reste élevé pendant 2 à 3 heures. La prolactine stimule la galactopoïèse. L'ampleur de la décharge quotidienne de prolactine décroît spontanément à partir du 25<sup>e</sup> jour d'allaitement. La prolactine stimule la galactopoïèse.

### *Production laitière*

La production laitière d'une lapine dépend de sa parité, de la taille de la portée et de la durée de la lactation. Globalement, une lapine de lignée commerciale, avec une portée d'au moins 7 petits, peut produire, durant une lactation de 35 jours, entre 5 et 7 kg de lait, soit de l'ordre de 200 g/j. La production quotidienne de lait augmente pendant les premiers jours de lactation (30 à 50 g/j) pour aboutir à un pic en fin de 3<sup>e</sup> semaine de lactation (200 à 250 g/j voire 300 g/jour pour les lignées les plus laitières). Puis la production laitière décroît plus ou moins rapidement selon le statut physiologique de la lapine et les apports nutritionnels. Ainsi, si la nourriture est suffisante et si la lapine n'est pas de nouveau fécondée,

### Encadré 2.13. Estimer la production laitière en élevage.

L'estimation de la production laitière peut être intéressante (recherche, sélection génétique, test de pratiques ou d'alimentation innovantes...). Il est possible de mesurer cette production laitière de différentes manières. On peut peser la mère ou sa portée juste avant puis juste après la tétée. La production laitière journalière individuelle est alors la différence entre ces deux mesures. Il convient pour cela de fermer la boîte-à-nid la veille de la mesure. Toutefois, cette méthode se révèle assez lourde en main-d'œuvre. On peut noter que la mesure du poids de la femelle offre des valeurs plus justes que la mesure de poids de la portée. En effet, les jeunes lapereaux urinent fréquemment dans les minutes qui suivent la tétée, ce qui peut fausser les mesures.

On peut également estimer la production laitière globale à partir de la croissance des lapereaux. En effet, jusqu'à l'âge de trois semaines environ, les lapereaux se nourrissent exclusivement de lait (la contribution de l'ingestion d'aliment sec avant cet âge est négligeable). En conséquence, la croissance des lapereaux est très corrélée avec leur ingestion de lait (corrélation : 0,82). Pour connaître la production laitière de la femelle, il convient de multiplier le gain de poids de la portée par 1,60, 2,04 ou 1,82 suivant que la période considérée s'étend entre les 0-11<sup>e</sup> jour de lactation, 11-21<sup>e</sup> jour de lactation et 0-21<sup>e</sup> jour de lactation, respectivement. Il convient donc de peser la portée au début et à la fin de chaque période et de multiplier le gain de poids obtenu par ces index. Ces calculs doivent être réalisés sur des portées qui n'ont pas subi de perte (mortalité) au cours de la période. Sinon, il est nécessaire d'intégrer le poids du (des) lapereau(x) mort(s) dans la valeur du gain de poids.

la production laitière peut durer jusqu'à 6 à 7 semaines. Toutefois, si la lapine est fécondée, alors la production laitière s'arrête spontanément trois jours avant la mise-bas suivante.

La composition de l'alimentation joue un rôle important sur la quantité de lait produit. Une augmentation de la teneur en protéines ou en lipides de la ration stimule la production laitière.

### Composition nutritionnelle du lait

Le lait de lapine est très concentré, comparativement aux autres espèces domestiques, avec une teneur en matière sèche d'environ 30 %. Seul le lactose est présent à une concentration très faible dans le lait de lapine par rapport aux autres espèces domestiques (tableau 2.5). Les composants majeurs sont les matières grasses et protéiques, qui représentent chacune de 40 à 50 % de la matière sèche. Les sucres (principalement le lactose) sont très minoritaires dans la composition du lait. À partir de la 4<sup>e</sup> semaine de lactation, le lait s'enrichit sensiblement en protéines et surtout en lipides. En revanche, sa teneur en lactose, déjà très faible, diminue encore pour devenir quasi nulle au-delà du 30<sup>e</sup> jour de lactation.

Les protéines du lait sont composées majoritairement de caséines ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\kappa$ ) et de protéines sériques, incluant l' $\alpha$ -lactalbumine et la transferrine. La composition en acides aminés des protéines du lait de lapine semble relativement stable au cours de la lactation, et les principaux acides aminés sont l'acide glutamique (18 %), la leucine (11 %), la lysine, la sérine et la proline (6 % chacun), l'isoleucine, la thréonine, l'acide aspartique et la valine (5 % chacun).

Les matières grasses du lait sont composées principalement de triglycérides, mais contiennent aussi de faibles quantités d'acides gras libres, de phospholipides et de



**Tableau 2.5.** Composition comparée du lait de vache, de chèvre, de brebis et de lapine

Paramètres en g/kg de lait	Vache	Chèvre	Brebis	Lapine
Matière sèche	129	114	184	284
Lactose	48	43	44	6
Matières grasses	40	33	73	133
Protéines	33	29	58	153
Cendres	7	8	9	24
Calcium	1,25	1,30	1,90	5,60
Phosphore	0,95	0,90	1,50	3,38
Magnésium	0,12	0,12	0,16	0,37
Potassium	1,50	2,00	1,25	2,00
Sodium	0,50	0,40	0,45	1,02

cholestérol. Le lait contient surtout des acides gras à chaîne moyenne (25 à 55 % des acides gras), acide caprylique (C8:0) et caprique (C10:0), ainsi qu'une proportion élevée d'acides gras insaturés à 18 atomes de carbone (C18:1, C18:2 et C18:3). Les acides gras à chaîne moyenne ont montré une forte activité bactériostatique *in vitro*. Le profil des acides gras du lait varie en fonction de la qualité de l'aliment, et il reflète en partie la qualité des lipides alimentaires.

Les teneurs en calcium et en phosphore du lait tendent à s'accroître tout au long de la lactation. Celles du potassium et du sodium évoluent en symétrie, tendant à maintenir la somme sodium plus potassium constante. Pour les autres minéraux, les teneurs moyennes sont de 30 à 50 ppm pour le zinc, 2 à 4 ppm pour le fer, 1 à 2 ppm pour le cuivre et 0,1 à 0,3 ppm pour le manganèse.

La race et le statut physiologique (gestation simultanée ou non) semblent avoir peu d'influence sur la composition du lait de lapine. En revanche, celle-ci varie au cours de la lactation. Le lait tend à se concentrer (augmentation du taux de matière sèche) avec l'avancement de la lactation. Le lactose en faible concentration au début de lactation (< 1 %) tend à disparaître vers la fin.

## Pour en savoir plus

Carabaño R., Piquer J., Menoyo D., Badiola I., 2010. The digestive system of the rabbit. In : *Nutrition of the rabbit* (De Blas C., Wiseman J., eds), CABI, Wallingford, UK, 1-18.

Combes S., Fortun-Lamothe L., Cauquil L., Gidenne T., 2013. Engineering the rabbit digestive ecosystem to improve digestive health and efficacy. *Animal*, 7 (9), 1429-1439.

Drouet-Viard F., Fortun-Lamothe L., 2002. Review: I-The organisation and functioning of the immune system: particular features of the rabbit. *World Rabbit Science*, 10 (1), 15-24.

Fortun-Lamothe L., Gidenne T., 2003. Besoins nutritionnels du lapereau et stratégies d'alimentation autour du sevrage. *Inra Productions Animales*, 16, 39-47.

Fortun-Lamothe L., Boullier S., 2007. A review on the interactions between gut microflora and digestive mucosal immunity. Possible ways to improve the health of rabbits. *Livestock Science*, 107, 1-18.

Gallouin F., 1983. Le comportement de cœcotrophie chez le lapin. *Cuni-Sci.*, 1, 1-30.

Gidenne T., Combes S., Licois D., Carabano R., Badiola I., Garcia J., 2008. Écosystème cæcal et nutrition du lapin : interactions avec la santé digestive. *Inra Productions Animales*, 21 (3), 239-249.

Houillon C., 1967. *Embryologie*, Hermann, Paris, 183 p.

Laplace J.P., 1978. Le transit digestif chez les monogastriques III. Comportement (prise de nourriture, cæcotrophie), motricité et transit digestif et pathogénie des diarrhées chez le lapin. *Annales de zootechnie*, 27, 225-265.

McNitt J.I., Lukefahr S.D., Cheeke P.R., Patton N.M., 2013. *Rabbit Production*, 9<sup>e</sup> édition, CABI, Wallingford.

Maertens L., Coudert P., 2006. *Recent Advances in Rabbit Sciences. In the frame Work of Cost 848: "Multi-facetted Research in Rabbits: A Model to Develop a Healthy and Safe Production in Respect with Animal Welfare"*, ILVO, Melle, Belgique, 300 p.

Maertens L., Lebas F., Szendrő Z., 2006. Rabbit milk: a review of quantity, quality and non-dietary affectating factors. *World Rabbit Science*, 14, 205-230.

Michelland R., Combes S., Monteils V., Bayourthe C., Cauquil L., Enjalbert F., Julien C., Kimsé M., Troegeler-Meynadier A., Zened A., Gidenne T., Fortun-Lamothe L., 2012. Fonctionnement et capacité de résistance aux perturbations des écosystèmes digestifs d'herbivores : analyse comparée du rumen de la vache et du cæcum du lapin. *Inra Productions Animales*, 25, 395-406.

Richardson V.C.G., 2000. *Rabbits, Husbandry and Diseases*. Blackwell Science Ltd., Oxford, UK, 182 p.

Thébault G., Rochambeau H. de, 1989. Le lapin angora : production et amélioration. *Inra Productions Animales*, 2, 145-154.

# 3

## Reproduction

Michèle Theau-Clément, Davi Savietto, Angélique Travel, Laurence Fortun-Lamothe

### Conduite de la reproduction

#### Âge des reproducteurs (mâle et femelle)

L'âge à la puberté varie avec la race et les conditions d'élevage, notamment l'alimentation. Bien souvent, les jeunes mâles sont mis à la reproduction à l'âge de 5 mois. Il est conseillé de mettre les lapines à la reproduction lorsqu'elles ont atteint 80 % de leur poids adulte. Une mise à la reproduction plus précoce est possible à condition que l'alimentation soit très bien équilibrée. Dans les élevages européens professionnels utilisant des souches sélectionnées sur les aptitudes maternelles, les lapines sont généralement mises à la reproduction entre 18 et 20 semaines d'âge.

#### Mode de reproduction

En Europe, jusqu'à la fin des années 1980, les lapines étaient saillies naturellement. Les opérations de saillie prenaient beaucoup de temps, une lapine qui refusait l'accouplement était présentée à nouveau le lendemain et/ou la semaine suivante. À chaque semaine, correspondait une mosaïque d'opérations (saillies, palpations, mises-bas, sevrages, transferts en engraissement, commercialisation) qui nécessitaient des interventions quotidiennes. On distingue généralement la conduite individuelle, pour laquelle les saillies sont réalisées plusieurs jours par semaine, de la conduite en bande, pratiquée dans les élevages professionnels, qui permet une meilleure organisation du travail pour gérer des troupeaux de taille plus importante (plusieurs centaines de reproductrices), pour laquelle une même opération d'élevage revient à intervalles réguliers.

Actuellement, en cuniculture professionnelle, la conduite en bande unique est très largement utilisée en France (96 % des élevages enquêtés en 2013 par l'Itavi) : toutes les femelles présentes dans l'unité de production sont mises à la reproduction le même jour. Dans ces systèmes, ayant en moyenne 500 à 700 lapines, la pratique de l'insémination artificielle (IA) devient incontournable car le nombre de saillies à effectuer le même jour est important et le nombre de mâles insuffisant. Alors qu'en

1988 l'utilisation de l'insémination n'en est qu'à ses débuts, aujourd'hui, plusieurs millions d'inséminations sont réalisées chaque année dans les élevages européens. Généralement, les éleveurs achètent la semence (mélanges hétérospérmiqes) à un centre de production de semences et pratiquent eux-mêmes les inséminations. En France en 2015, plus de 90 % des élevages sont conduits en bande unique avec un intervalle de 42 jours entre deux inséminations, et la vente des lapins est faite une fois toutes les six semaines. Seuls 1,7 % des élevages sont en conduite individuelle et tous utilisent la saillie naturelle, souvent pour permettre une vente hebdomadaire des lapins (circuits courts). La productivité moyenne des élevages conduits en bande en insémination artificielle est de 54 lapins produits par femelle et par an, ce qui est supérieur à celle des élevages conduits de façon individuelle en saillie naturelle : 41 lapins produits par femelle et par an (Réseau de fermes de références cunicoles, programme Cunimieux, campagne 2012-2013, Itavi).

### Préparation de la future reproductrice

La future reproductrice candidate est identifiée au sevrage (généralement à 35 jours), au moment du tri des jeunes femelles sur des critères de poids et d'état sanitaire. Cependant, c'est avant la naissance (durant la gestation) et pendant l'allaitement que les potentialités de reproduction des jeunes femelles s'établissent puisque c'est à ce moment que la réserve de follicules primaires se constitue. En effet, chez la lapine, à l'inverse d'autres espèces (par exemple primates et ruminants), la réserve folliculaire continue à se développer pendant les premiers jours de vie. Chaque décision que prend l'éleveur au cours de cette période peut donc influencer les potentialités de reproduction. Un autre facteur très important à prendre en considération est un bon développement corporel jusqu'au début de sa vie reproductive.

Les lapines des lignées les plus utilisées dans les élevages commerciaux (croisements entre les races néo-zélandaise et californienne) sont généralement pubères vers 14-16 semaines de vie. Cependant, le développement corporel (fin de la croissance osseuse) n'est pas finalisé avant 20 semaines.

À la lumière de ces connaissances, quelques recommandations pratiques peuvent être faites. Lorsque le renouvellement s'effectue par adoption de lapines âgées d'un jour au sein de l'élevage où elles feront leur carrière de reproduction, il est important que les lapereaux aient tété avant le transport. La taille de portée de la mère adoptive qui va élever la future reproductrice est aussi un facteur important, car le développement pendant l'allaitement est étroitement lié à la production laitière de la femelle adoptive et à la compétition intra-portée. De même, l'éleveur qui produit ses futures reproductrices sera très attentif à la phase pré-sevrage.

Après sevrage (30 à 35 jours d'âge), les futures reproductrices sont souvent élevées dans la même unité que les animaux destinés à la vente. Entre le sevrage et la vente (10 à 11 semaines), le développement des organes thoraciques, du foie, des reins et des organes digestifs sont plus importants. Aujourd'hui, la pratique de la restriction alimentaire pendant la phase de croissance (entre sevrage et vente) pour limiter les problèmes digestifs est largement utilisée. Cependant, il a été démontré qu'une restriction alimentaire retarde le développement de ces organes. Il conviendrait donc de vérifier que cette pratique ne détériore pas la future vie reproductive des lapines.



### Encadré 3.1. Préparer la future lapine reproductrice : une diversité de pratiques dans les élevages professionnels français.

Les facteurs de réussite de la préparation des jeunes lapines reproductrices sont encore mal connus, ce qui induit une grande diversité de pratiques d'élevage. En élevage professionnel européen, les jeunes femelles sont généralement fournies à l'éleveur entre 1 et 4 jours d'âge. Elles sont triées au sevrage (35 jours) sur des critères de poids et d'état sanitaire. Ensuite, elles sont soit transférées dans l'unité « engraissement » (comme les autres lapereaux), soit elles restent dans la même salle que les mères, soit elles sont placées en salle de pré-cheptel. Après leur sevrage et jusqu'à leur mise en place en cage de pré-cheptel individuelle (11 à 12 semaines d'âge), les stratégies d'alimentation varient beaucoup selon les élevages, mais les lapines sont souvent rationnées et nourries avec des aliments de type engraissement ou maternité.

La majorité des éleveurs pratique un *flushing* lumineux (stimulation lumineuse par augmentation de la durée quotidienne d'éclairement, par exemple de 8 heures à 16 heures d'éclairement par jour) associé ou non à un *flushing* alimentaire quelques jours avant la mise-bas (alimentation à volonté après une période de restriction alimentaire, voir encadré 3.6). Les éleveurs qui pratiquent le *flushing* alimentaire rationnent à nouveau les femelles après leur 1<sup>re</sup> IA et jusqu'à leur transfert en cage maternité (6 à 7 jours avant la mise-bas). Le niveau de restriction diffère beaucoup selon les élevages, la lignée et le type d'aliment. Pendant cette phase, la jeune femelle est nourrie soit avec un aliment maternité, soit avec un aliment dit « péri-sevrage » (moins énergétique), soit de type « engraissement » ou « pré-cheptel ». La première insémination est généralement réalisée à 19,5 semaines d'âge. Les portées sont équilibrées les jours qui suivent la mise-bas. On laisse 8 à 9 lapereaux par nid à la première mise-bas, 9 à 10 pour la seconde, puis 10 à 11 lapereaux pour les suivantes. Afin de limiter la mortalité au nid, les éleveurs pratiquent souvent l'allaitement contrôlé pendant 8 à 9 jours avec des variations extrêmes allant de 2 à 15 jours, et la durée d'ouverture des nids est très variable (quelques minutes à plusieurs heures).

Le taux de mise-bas élevé (IA1 : 90 %, IA2 : 87 %, IA3 : 86 %) est à relier à la fonte importante du cheptel en début de carrière : environ 20 % de pertes de lapines (mortes ou réformées) entre 12 semaines et la 2<sup>e</sup> mise-bas.

Entre 10 et 11 semaines, avant la commercialisation des lapereaux, les futures reproductrices sont à nouveau triées sur des critères de poids et d'état sanitaire afin d'obtenir un lot homogène. Elles sont logées, soit en cages pré-cheptel, soit en cages individuelles, dans l'unité de maternité jusqu'à leur première insémination. De 11 semaines d'âge à la première insémination, différents programmes alimentaires peuvent être utilisés. Une restriction alimentaire suivie d'un *flushing* alimentaire (alimentation à volonté) d'environ une semaine peut être réalisée avant la première insémination artificielle (voir encadré 3.1). Une autre stratégie d'alimentation est l'utilisation d'un aliment riche en fibres distribué *ad libitum* aux femelles (voir chapitre 5). Cette stratégie, plus simple à mettre en œuvre (pas de contrôle de l'ingéré), présente l'avantage d'augmenter la capacité d'ingestion au cours de la première lactation, mais elle oblige l'éleveur à disposer d'un aliment spécifique supplémentaire, sauf si cet aliment est aussi distribué aux lapins en croissance. Afin de garantir non seulement une bonne maturité sexuelle mais aussi une bonne maturité physiologique de la lapine avant l'entrée dans la phase reproductive, l'éleveur doit adapter le programme alimentaire à la conduite choisie (rythme de reproduction, âge au sevrage). Pour garantir une préparation correcte de la future reproductrice, à défaut de connaissance de la composition corporelle, ce programme alimentaire doit être réalisé en fonction de la vitesse de croissance de la lignée et selon une stratégie proposée par le sélectionneur. Rappelons qu'il

est nécessaire que la lapine atteigne 80 % de son poids adulte au début de sa carrière reproductive (1<sup>re</sup> IA).

## Système de conduite et rythmes de reproduction

La lapine est en œstrus aussitôt après la parturition. En conditions naturelles, la lapine peut être saillie à la sortie du terrier immédiatement après la mise-bas. Ainsi, lorsque les conditions sont favorables, comme au printemps quand les ressources alimentaires sont abondantes et la photopériode croissante, les lapines sont fréquemment gestantes et allaitantes. En revanche, si les conditions deviennent moins favorables (automne, hiver), la lapine rentre en période de repos sexuel.

En élevage, les rythmes de reproduction (intervalle entre deux inséminations ou deux saillies) pratiqués ont beaucoup évolué depuis 40 ans, pour des raisons économiques et techniques, mais aussi avec l'évolution des connaissances de la biologie de la lapine (voir p. 89).

En saillie naturelle, la conduite est « individuelle ». La femelle est placée dans la cage du mâle et, si elle est réceptive, elle accepte la saillie. L'éleveur peut pratiquer un diagnostic de gestation par palpation de l'abdomen deux semaines plus tard (voir encadré 2.11). Si la femelle se révèle non gestante, l'éleveur peut alors re-présenter la lapine au mâle. Si la lapine est non réceptive, l'éleveur organise un accouplement quelques jours plus tard jusqu'à obtention d'une saillie. En cas de plusieurs refus successifs, la femelle est alors le plus souvent réformée.

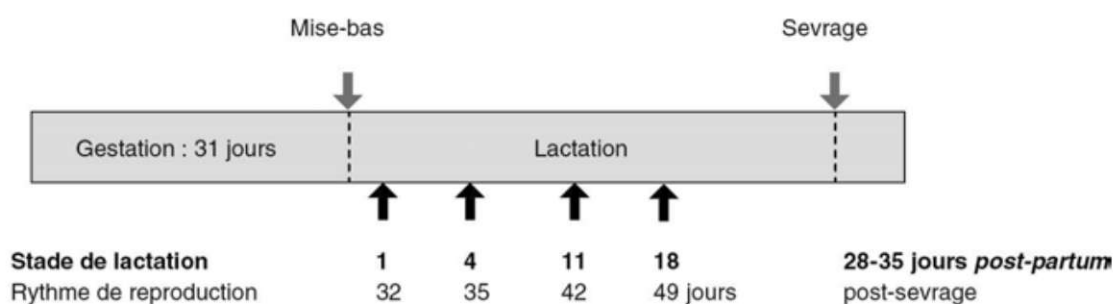
En saillie naturelle, l'accouplement peut être proposé après le sevrage, le rythme est alors dit « extensif ». Le rythme est dit « intensif » si la saillie est réalisée dans les 48 heures qui suivent la mise-bas, ou « semi intensif » si la saillie est réalisée au cours de la lactation. Avec la conduite individuelle, le troupeau de lapines reproductrices est constitué de femelles qui sont à différents stades physiologiques. Cette conduite permet d'adapter le rythme de reproduction aux potentialités de la femelle ou à la demande du marché. Elle permet aussi de réduire le nombre de mâles au minimum, chaque mâle pouvant être mis à contribution régulièrement en fonction des besoins de l'élevage. Cependant, cette conduite présente l'inconvénient de devoir effectuer tout au long de l'année les diverses tâches liées à la reproduction (saillie, palpation, préparation des boîtes-à-nid, gestion des mises-bas). C'est pour limiter cet inconvénient organisationnel que la conduite dite « à la semaine » a vu le jour : chaque semaine (ou toutes les 2 ou 3 semaines) à jour fixe (par exemple le vendredi), une partie des femelles du troupeau est mise à l'accouplement. Une femelle non gestante (palpation abdominale) pourra être de nouveau mise à la reproduction la semaine suivante. Cette conduite permet d'améliorer l'organisation du travail en élevage. Les différentes étapes de la reproduction sont alors en effet programmées à jours fixes. Toutefois, avec cette conduite, il est nécessaire de trouver le meilleur compromis entre l'intervalle des saillies et le nombre de mâles présents dans l'élevage. En effet, pour préserver l'ardeur sexuelle et la qualité de la semence, il est préférable qu'un mâle ne réalise pas plus de six saillies par jour. Si les opérations d'accouplement sont trop espacées, de nombreuses femelles seront mises à la reproduction le même jour, et le nombre de mâles devra être suffisant. Avec une conduite en saillie naturelle et la réalisation des accouplements toutes

les deux semaines, un ratio de un mâle pour cinq femelles dans l'élevage est jugé satisfaisant.

En saillie naturelle, la réussite de l'accouplement est conditionnée par la réceptivité de la femelle. C'est pourquoi, le rythme « intensif » (dit aussi *post-partum*) a été très utilisé au cours des années 1980, car la réceptivité de la lapine est très élevée dans les heures qui suivent la mise-bas (figure 3.1). Ce rythme permet également d'augmenter la productivité des femelles par unité de temps. Toutefois, il a été abandonné car il entraînait un taux de mortalité et/ou de réforme important. En effet, ce rythme n'est observé en conditions naturelles que de façon restreinte pendant l'année, c'est-à-dire durant les mois où les conditions sont les plus favorables. En élevage, même si l'aliment est disponible à volonté, ce rythme entraîne une trop forte sollicitation nutritionnelle des femelles qui peut conduire à une issue létale ou à une infertilité (arrêt provisoire de la fonction de reproduction).

Dans les années 1980, les femelles étaient couramment mises à la reproduction 3-4 jours après la mise-bas. Ce rythme, dit « à 35 jours », permet une organisation du travail à la semaine avec des mises-bas toutes les 5 semaines. Toutefois, il a progressivement été abandonné car les études ont montré qu'à ce stade, la réceptivité sexuelle des femelles est faible. À partir des années 1990, c'est donc un rythme « semi intensif », avec une saillie 11 jours après la mise-bas, qui a été majoritairement utilisé (rythme dit « à 42 jours »). Il permet en effet une bonne organisation du travail (les mêmes opérations d'élevage sont répétées, à dates fixes, toutes les 6 semaines) et d'obtenir un bon compromis entre sollicitation nutritionnelle des femelles et productivité. À cette même période, alors que la taille des élevages augmentait et rendait plus difficile l'organisation des saillies, l'insémination artificielle s'est développée en Europe.

Avec l'insémination artificielle, contrairement à la saillie naturelle, les lapines sont mises à la reproduction quelle que soit leur réceptivité sexuelle. Pour des raisons pratiques et économiques (frais de transport de la semence), un grand nombre de femelles est inséminé le même jour, voir toutes les femelles pour une conduite en bande unique. Forts des connaissances acquises avec la pratique de la saillie naturelle, les éleveurs ont adopté le rythme « semi intensif » (rythme à 42 jours). Le troupeau de femelles peut aussi être scindé en deux bandes, conduites chacune avec un rythme à 42 jours mais espacées entre elles de 3 semaines (conduite en 2 bandes). Cette situation autorise des femelles non gestantes à être inséminées 3 semaines plus tard au moment de l'IA de l'autre bande. Cette pratique permet



**Figure 3.1.** Les rythmes de reproduction en élevage cunicole.

de limiter la période infertile d'une femelle, mais oblige au suivi individuel des lapines, et éventuellement à un changement de salle ou de bâtiment si les deux bandes sont séparées physiquement.

Ces échanges d'animaux entre bandes peuvent générer des transferts de germes pathogènes, voire déséquilibrer le microbisme de la bande. Tant pour des raisons d'organisation que pour des raisons sanitaires (nettoyage complet entre chaque vente de lapins), la conduite en bande unique (toutes les femelles d'un élevage sont conduites ensemble) avec un « rythme à 42 jours » s'est majoritairement développée en France. De plus, lorsque la taille du troupeau est très importante (> 500 femelles), le diagnostic de gestation n'est pas toujours réalisé. La conduite en bande unique présente l'avantage d'une très forte rationalité dans l'organisation du travail avec des étapes d'élevage cadencées toutes les 6 semaines alternant avec des périodes de plus faible activité. La bande unique permet également de regrouper les stades physiologiques et donc de pouvoir offrir aux animaux un aliment qui évolue au fur et à mesure de leurs besoins nutritionnels, de pouvoir mieux gérer les stades critiques, de pouvoir appliquer des programmes lumineux en salle unique, etc. Cette conduite présente toutefois les inconvénients d'entraîner une période improductive de 6 semaines en cas de non-fécondation et d'avoir tous les animaux de l'élevage au même stade physiologique au même moment, ce qui peut être favorable à l'émergence des maladies (tous les animaux sont sensibles au même moment).

D'autres rythmes de reproduction ont également été étudiés. Par exemple, le « rythme à 49 jours » diminue la durée de superposition entre la gestation et la lactation et donc la sollicitation nutritionnelle des femelles. Cela permet de préserver leur état corporel et améliore leur fertilité. Toutefois, cela diminue la productivité par unité de temps.

## Insémination artificielle

### Intérêts de l'insémination artificielle

Comme pour toutes les espèces d'intérêt zootechnique, l'insémination artificielle (IA) permet, par la dilution et le fractionnement de la semence, d'augmenter la diffusion des meilleurs mâles. Une saillie naturelle conduit au mieux à une portée, l'insémination permet, elle, de multiplier le nombre de portées à partir d'un même éjaculat : 1 ml de semence diluée 10 fois permet l'insémination de 20 lapines, soit environ 15 portées. La congélation de la semence de lapin réduit son pouvoir fécondant (voir p. 100 et 102). Aussi, l'insémination est classiquement réalisée avec une semence fraîche pour atteindre un bon niveau de fécondation (> 80 %).

L'insémination permet en outre de diminuer le nombre de mâles voire de les supprimer si l'éleveur choisit d'acheter de la semence auprès d'un centre de production. Il peut alors libérer des cages pour les reproductrices. L'utilisation de semence provenant des centres d'IA permet une bonne valorisation des capacités de production de semence des mâles : 2 à 3 éjaculats par semaine, contre seulement 2-3 éjaculats consécutifs tous les 42 jours pour un élevage conduit en bande unique.



L'insémination artificielle permet aussi une meilleure maîtrise sanitaire du troupeau, en éliminant les contacts physiques entre mâles et femelles, et l'observation minutieuse de l'état général des lapines au moment de l'insémination. D'autre part, l'IA permet le renouvellement des reproducteurs de l'élevage sans introduction de lapins extérieurs, simplement par transfert de semence. De plus, en système de conduite en bande unique, les lapines sont au même stade physiologique, en associant l'insémination artificielle avec la conduite « tout plein-tout vide ». En fin de bande, la cellule d'élevage est systématiquement vidée et désinfectée. Pour le sélectionneur, la possibilité de regrouper les accouplements permet d'obtenir plus d'animaux contemporains à partir d'un même nombre de mâles et d'augmenter ainsi l'intensité de sélection. Enfin, *via* la technique de congélation de la semence (ou d'embryons), on peut conserver les potentialités génétiques d'une lignée (voir p. 102).

## Technique

### *Préparation du matériel*

La veille des collectes, les vagins artificiels sont préparés et une capote de latex est introduite dans le corps du vagin (figure 3.2, planche 2). Ils sont ensuite remplis d'eau et déposés dans une étuve à la température de 49 °C. Aujourd'hui, il existe des vagins artificiels à réglage automatique de la température. La capote est remplacée par un cône qui est changé et désinfecté après chaque utilisation.

### *Récolte de la semence*

Une lapine stimulant la monte du mâle, dite lapine « boute-en-train », est introduite dans la cage du mâle. Quand le mâle s'intéresse à la femelle, le vagin artificiel, muni d'un tube de récolte, est placé et maintenu entre les pattes postérieures de la lapine (figure 3.2, planche 2). L'éjaculation a généralement lieu immédiatement après la présentation de la femelle (figure 3.2, planche 2). La semence étant très sensible aux chocs thermiques, le tube de récolte est protégé par un fourreau de polystyrène. Dès la récolte, la semence est déposée dans un bain-marie à 37 °C.

### *Analyse de la semence*

Les contrôles biologiques de la semence, réalisés dès la récolte, permettent de sélectionner les éjaculats. Le bouchon vaginal, gel éventuellement présent dans le tube de collecte, est immédiatement retiré. La couleur (présence éventuelle d'urine) et le volume de la semence sont notés. Une goutte de sperme pur est ensuite observée au microscope. Elle permet de noter l'intensité des mouvements d'ensemble (motilité : notation de 0 à 9 selon l'échelle de Petitjean, 1965) adaptée au sperme de lapin (tableau 3.1). Généralement, les semences contenant de l'urine, un volume faible (< 0,3 ml) et/ou une motilité inférieure à 6 sont éliminées. L'observation d'une goutte de semence diluée dans du sérum physiologique permet de préciser le type de trajectoires et le pourcentage de cellules vivantes.

**Tableau 3.1.** Grille de notation de la motilité massale de la semence de lapins.

Note	Observations
0	Pas de spermatozoïdes
1	Spermatozoïdes immobiles
2	Quelques spermatozoïdes agités sans déplacement notable (oscillations sur place)
3	Beaucoup de spermatozoïdes agités sans déplacement notable
4	Quelques spermatozoïdes immobiles, quelques spermatozoïdes agités sur place, quelques spermatozoïdes mobiles : motilité moyenne
5	Semblable à 4. Proportion de spermatozoïdes supérieure à la moyenne, motilité assez bonne
6	La quasi-totalité des spermatozoïdes se déplacent. Motilité bonne et homogène
7	Comme précédemment, amorces de mouvements de vagues lents
8	Comme précédemment, mouvements de vagues lents
9	Vagues se manifestant de façon énergique, aspects de tourbillons, motilité excellente

L'estimation de la concentration des éjaculats peut se faire sur hématimètre de Thomas. En effet, comme la semence de lapins contient en quantité variable des « granules » d'origine prostatique très réfringents, la mesure de la densité optique ne permet pas de dénombrer de manière précise les spermatozoïdes. En conséquence, la technique longtemps utilisée en laboratoire médical pour la numération sanguine (comptages sur hématimètre) est la technique de référence. Elle prend cependant beaucoup de temps (environ 10 minutes par échantillon). La numération par le système Nucleocounter SP-100® (principe basé sur la fluorescence de l'iodure de propidium fixé sur l'ADN des noyaux des spermatozoïdes de mammifères) est un outil d'évaluation de la concentration de semence de lapins aussi répétable et juste que la méthode de référence, quelle que soit la concentration de la semence (Theau-Clément et Falières, 2005). De plus, simple et rapide (35 secondes), cette méthode permet aux centres d'IA de généraliser l'évaluation de la concentration spermatique et d'assurer ainsi une meilleure maîtrise quantitative de la dose d'insémination. Mais cette technique est onéreuse.

L'analyse d'image assistée par ordinateur permet d'avoir accès à de nouveaux paramètres de motilité plus objectifs que l'observation visuelle, comme par exemple la vitesse des cellules, le pourcentage de cellules rapides, la linéarité de leur déplacement.

### **Dilution**

Les semences sélectionnées sont diluées de 5 à 20 fois dans un dilueur permettant d'assurer la survie des spermatozoïdes de 24 à 36 heures. Différents dilueurs sont disponibles sur le marché. Ils contiennent notamment des éléments nutritifs, des substances tampons et des antibiotiques.

## Conservation de la semence

La semence est livrée diluée à l'éleveur, généralement dans un délai n'excédant pas 24 heures. Elle est conditionnée soit sous forme de doses individuelles d'insémination (paillettes de 0,5 ml), soit sous forme de flacons (50 à 100 doses). Il s'agit de mélanges hétérospériques (mélange de semences de plusieurs mâles). La température et la durée optimales de conservation de la semence sont indiquées par le fabricant et sont fonction du dilueur utilisé. Pour une conservation de plusieurs heures, il est généralement conseillé de diminuer la température (température ambiante, 15 °C ou 4 °C), afin de ralentir le métabolisme des spermatozoïdes.

## Insémination artificielle

Au moyen d'un pistolet d'insémination recouvert d'une gaine à usage unique, la dose d'insémination est introduite et déposée dans la partie supérieure du vagin de la lapine (figure 3.3, planche 2). En l'absence d'accouplement, l'ovulation est induite par une injection intramusculaire de 0,2 ml de GnRH (facteur hypothalamique ; Gonadoreline) ou d'analogue de GnRH (Busérelina). Il est connu que l'injection de GnRH conduit à une fréquence d'ovulation supérieure aux conditions naturelles, en particulier quand les lapines ne sont pas sexuellement réceptives. De plus, la GnRH est une molécule de petite taille (Gonadoreline : décapeptide, Busérelina : nonapeptide), non exogène et donc peu immunogène.

### Encadré 3.2. Recommandations pour un chantier d'insémination artificielle.

Comme tout visiteur, l'inséminateur doit respecter des mesures de biosécurité strictes pour rentrer dans l'élevage (voir chapitre 6). Si la semence arrive dans une valise thermostatée, elle reste branchée dans le véhicule jusqu'au début du chantier. Les doses conditionnées en flacon sont placées dans une boîte isotherme.

Si la semence arrive par transporteur, dès réception, le colis fermé est déposé dans une pièce dont la température se situe entre 14 et 24 °C. Le colis n'est ouvert qu'au démarrage du chantier d'inséminations.

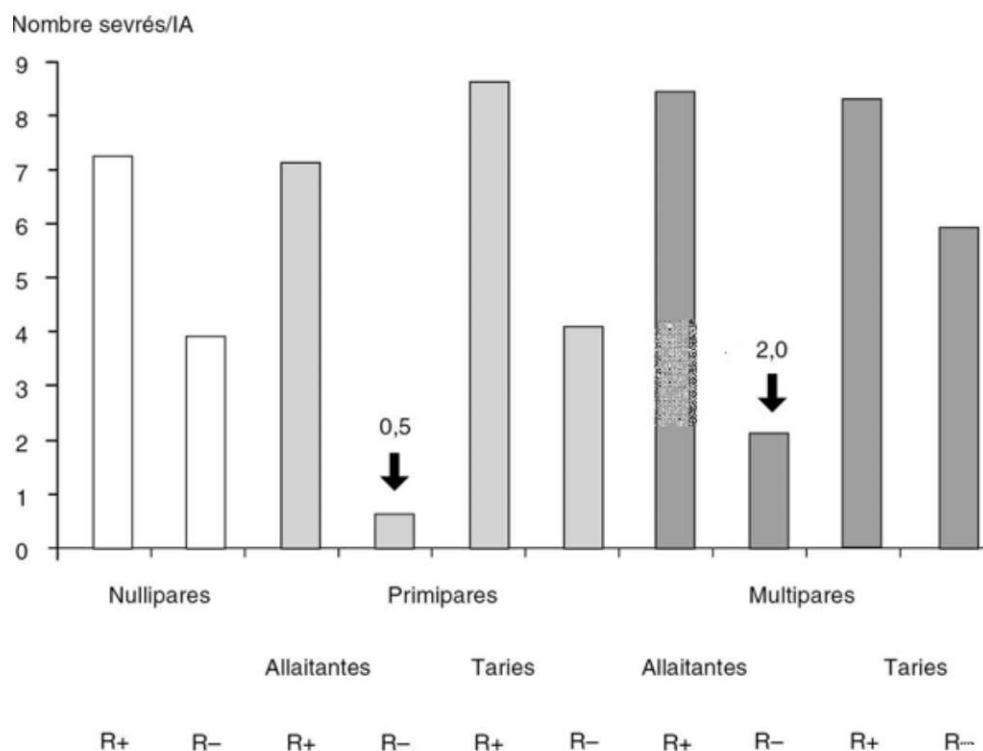
L'éleveur aura préalablement préparé le chantier et mettra à disposition le matériel nettoyé, désinfecté et séché (s'il n'est pas à usage unique) : les seringues à insuline (1 ml) ou la seringue automatique, des aiguilles à usage unique (de taille 16 × 0,8 mm ou 16 × 0,5 mm), du papier absorbant, du désinfectant, une bombe cicatrisante pour traiter d'éventuelles blessures des animaux, un sac-poubelle pour les gaines usagées et un chariot facilement désinfectable permettant de déposer le matériel. Quelle que soit la technique d'insémination utilisée, il est préférable de disposer d'une personne pour la contention des lapines et d'une autre pour l'introduction de la semence. Cependant, certains éleveurs assurent seuls l'intégralité du chantier. Différentes techniques ou matériel d'insémination sont possibles (pistolet d'insémination, pipettes coudées ou non, la semence peut être conditionnée en canules ou en vrac dans des flacons). L'inséminateur et le porteur de la lapine doivent utiliser la technique qui leur convient le mieux (pistolet d'insémination, pipettes coudées ou non, etc.). Toutes les manipulations, du retrait de la lapine de sa cage si nécessaire jusqu'à la fin de l'insémination, doivent être pratiquées avec un maximum de douceur. Une lapine qui refuse d'être inséminée (blocage musculaire) est isolée quelques minutes afin qu'elle se détende. La quantité de GnRH administrée étant très faible, elle doit être mesurée avec précision. L'injection se fait par voie intramusculaire profonde.

À l'entrée de la cellule, à tout moment si nécessaire (manipulation d'un animal présentant des lésions) et à la fin du chantier, le matériel et les mains des manipulateurs sont lavés et désinfectés. Les mesures de biosécurité doivent être également strictement respectées pour la sortie de l'élevage, afin de ne pas diffuser de germes d'un élevage à l'autre.

## Facteurs de réussite de l'insémination artificielle liés à la femelle

Une lapine est fertile si elle est apte à ovuler, à être fécondée et si elle est capable de conduire une gestation jusqu'à son terme. Les composantes de la fertilité sont la fréquence d'ovulation et les défauts de gestation indépendants de l'ovulation (défauts de fécondation et/ou mortalité embryonnaire totale). Les composantes de la prolificité sont l'intensité d'ovulation (nombre de corps jaunes par lapine ayant ovulé), le taux de fécondation (œufs fécondés/nombre de corps jaunes  $\times 100$ ) et la survie embryonnaire au moment de l'observation (embryons ou fœtus vivants/nombre de corps jaunes  $\times 100$ ).

Les performances de reproduction des lapines varient considérablement en fonction de leur parité (rang de portée), du stade physiologique (allaitantes ou non) et de leur réceptivité sexuelle au moment de l'insémination. Aujourd'hui en France, en cuniculture professionnelle, la fertilité moyenne est de 83 %. Cependant, les éleveurs utilisent diverses méthodes pour induire la réceptivité des lapines au moment de l'insémination (voir p. 93). À titre d'exemple, la figure 3.4 présente la productivité moyenne des lapines (nombre de lapereaux sevrés par insémination, mesuré sur 1 200 inséminations) inséminées tous les 42 jours en fonction de ces différents facteurs et sans induction de la réceptivité (voir p. 93). La productivité mesurée au sevrage dépend de la fertilité, de la taille de la portée et de la viabilité des lapereaux, de la naissance au sevrage. Pour cette étude, la réceptivité sexuelle a été mesurée par présentation des lapines à un mâle vasectomisé juste avant l'insémination. Contrairement aux femelles non réceptives (R-), les lapines réceptives (R+) se mettent en position de lordose (arrière-train soulevé, signe d'acceptation de l'accouplement).



**Figure 3.4.** Productivité des lapines en fonction de leur stade physiologique (Theau-Clément *et al.*, 2003, population témoin).

R+, lapine réceptive ; R-, lapine non réceptive.



## *Facteurs subis par l'éleveur*

Les principaux facteurs qui influencent la réussite de l'insémination artificielle sont généralement subis par l'éleveur.

### *La parité*

Les nullipares se caractérisent par une bonne fertilité et une prolificité légèrement plus faible. Les primipares inséminées pendant leur première lactation ont une fertilité plus faible, sans doute en relation avec des déficits énergétiques alors très marqués dus aux besoins élevés pour la lactation, la gestation et la croissance, encore inachevée. Cependant, la taille de portée des lapines primipares est généralement supérieure à celle des nullipares. Enfin, les multipares allaitantes ont une fertilité intermédiaire entre les nullipares et les primipares, alors que leurs tailles de portée sont généralement plus élevées.

### *L'allaitement*

La lapine, espèce polytoque, la vache et la jument, espèces monotoques, sont les seuls animaux d'intérêt zootechnique à gérer en simultanéité une lactation et une gestation. Ainsi, à l'effet de la parité peut s'ajouter l'effet de l'allaitement au moment de l'insémination. La lactation influence négativement la réceptivité sexuelle, l'ovulation (malgré l'injection de facteurs hypothalamiques au moment de l'insémination), la fécondation et/ou la viabilité embryonnaire et, plus généralement, la productivité des lapines. Les écarts de fertilité en fonction de l'état d'allaitement sont systématiques : de 10 à 20 % en faveur des lapines non allaitantes.

### *La réceptivité sexuelle*

L'insémination artificielle conduit à induire une gestation chez certaines femelles qui, en saillie naturelle, auraient refusé l'accouplement. Ainsi, aux effets de parité et d'allaitement, s'ajoute l'effet de la réceptivité sexuelle. La lapine passe par des périodes d'acceptation du mâle (œstrus), en alternance avec des périodes de refus (anœstrus), de durées très variables. La réceptivité sexuelle peut être observée par son comportement quand on la présente à un mâle ou par l'observation de la couleur et la turgescence de la vulve (une vulve rouge et turgescence est signe de réceptivité, une vulve de couleur blanche est signe d'anœstrus). Cependant, cet indicateur de réceptivité reste subjectif et imparfait. Il est donc difficile de détecter la réceptivité des lapines en élevage. Le comportement sexuel est affecté par la lactation, notamment chez des lapines qui allaitent de grosses portées (> 8 lapereaux). Il est de plus fortement déprimé 4 jours après la mise-bas. Comparativement aux non réceptives, les lapines réceptives au moment de l'insémination sont beaucoup plus fertiles (+30 %) et ont des tailles de portée plus importantes. Le pourcentage de lapines réceptives dépend aussi beaucoup de l'état sanitaire du troupeau.

### *L'état physiologique*

Si on définit « l'état physiologique » des lapines au moment de l'insémination artificielle par la combinaison entre l'état de lactation et la réceptivité sexuelle, elles peuvent être allaitantes-réceptives, allaitantes-non-réceptives, non-allaitantes-

réceptives et non-allaitantes-non-réceptives. Un antagonisme partiel a été mis en évidence entre la lactation et la fonction de reproduction chez les lapines non réceptives : les femelles simultanément *allaitantes et non-réceptives* ont une productivité beaucoup plus faible que les autres catégories de lapines (figure 3.4). Il est le reflet d'un antagonisme hormonal entre la prolactine et les hormones gonadotropes.

### *La pseudogestation*

Des corps jaunes fonctionnels (sécrétant de la progestérone) ne devraient pas être présents sur des ovaires de lapine qui n'ont pas été mis à la reproduction, ou dans la période *post-partum*. Cependant, Boiti *et al.* (1996) ont montré que près de 20 % des lapines ont, au moment de l'insémination (11 jours après la mise-bas), des concentrations plasmatiques élevées de progestérone associées à une faible réceptivité sexuelle et une faible fertilité. Cette observation a été confirmée par Theau-Clément *et al.* (2000). En effet, sur les 170 lapines observées 24 heures après l'insémination, 35 d'entre elles présentaient deux générations de corps jaunes (de 11 à 33 corps jaunes) : une première génération de corps jaunes récents (correspondant à l'injection de GnRH, figure 3.5, planche 3) et une seconde génération de corps jaunes plus anciens, irrigués et proéminents.

Ces lapines étaient caractérisées par une faible réceptivité sexuelle (22 %), une faible fertilité (3 %) mais toutes avaient ovulé. Un prélèvement de sang au moment de l'insémination a permis de montrer que ces lapines avaient un niveau élevé de progestérone (9,4 ng/ml), elles étaient donc pseudogestantes. Des dosages systématiques de progestérone réalisés au moment de l'insémination artificielle (11 jours *post-partum*) de différentes expériences (2 000 échantillons) montrent que la fréquence des pseudogestations (concentration plasmatique > 1 ng/ml) dépend de la parité des lapines, il peut être élevé chez les primipares. La dernière injection de GnRH ayant été faite au moins 32 jours auparavant, la lutéolyse correspondante était achevée (fin de la lutéolyse de 15 à 18 jours après l'ovulation). De plus, aucun stress visible, aucune liaison avec la proximité des mâles n'ont été notés.

Tant que l'origine de ces ovulations indépendantes d'une saillie ou d'une injection d'hormones ne sera pas comprise, la pseudogestation restera un facteur subi par l'éleveur.

### *Facteurs non subis par l'éleveur*

Le stade de lactation est directement lié au choix du rythme de reproduction que fait l'éleveur.

Les lapines sont généralement très réceptives dans les 24 heures suivant la mise-bas du fait de l'inversion du rapport œstrogènes/progestérone (rythme *post-partum*) à l'origine de la mise-bas. Elles sont peu réceptives 4 jours après la parturition (rythme à 35 jours) et le redeviennent progressivement jusqu'après le sevrage. Une étude menée sur des lapines primipares inséminées à différents stades de lactation (1, 4, 10, 18 jours *post-partum* et 2 jours après sevrage) a montré que la productivité, mesurée par le nombre d'œufs fécondés le lendemain de l'insémination (à un stade précoce), augmente jusqu'à 11 jours pour atteindre un maximum après le sevrage (respectivement 7, 8, 12, 12 et 13, Theau-Clément *et al.*, 2000). En effet,

le stade de lactation influence l'intensité d'ovulation et les défauts de fécondation. Chez les allaitantes non réceptives inséminées 4 jours après la mise-bas, la productivité après sevrage est 3 à 4 fois plus faible que celle de lapines inséminées 11 jours après la mise-bas (figure 3.4). Ce problème est important pour des systèmes de production intensifs car les lapines sont généralement inséminées alors qu'elles allaitent des lapereaux. Cependant, comme le suggéraient déjà Foxcroft et Hasnain en 1973, le moment de la saillie après la mise-bas (le stade de lactation) a un effet plus important sur les performances de reproduction que l'état d'allaitement proprement dit (rappelons qu'au moment de l'insémination les lapines sont majoritairement allaitantes).

### Encadré 3.3. Les facteurs de réussite de l'insémination artificielle liés à la lapine.

La lactation déprime la fertilité, en particulier le pourcentage de lapines ovulant (malgré l'injection de GnRH), la fécondation et la survie embryonnaire. Le stade 4 jours *post-partum* est particulièrement défavorable pour l'induction de l'ovulation, l'établissement de la gestation et son maintien. L'effet dépressif de la lactation sur la prolificité est étroitement lié au stade de lactation. L'intensité d'ovulation croît quand l'intervalle entre la mise-bas et l'insémination augmente alors que le taux de fécondation fluctue.

Une réceptivité sexuelle élevée des lapines au moment de l'insémination, variable en fonction du stade de lactation, est associée à une meilleure fertilité. Pourvues d'un plus grand nombre de follicules préovulatoires sur l'ovaire et d'une concentration plus élevée d'œstrogènes plasmatiques, les lapines réceptives ovulent plus fréquemment et présentent moins de défauts de gestation indépendants de l'ovulation. De plus, une bonne réceptivité sexuelle au moment de l'insémination est associée à une prolificité plus élevée à la naissance. Ce résultat est la conséquence d'une intensité d'ovulation, d'un taux de fécondation et d'une survie embryonnaire plus élevés chez les lapines réceptives. En conséquence, la productivité des femelles réceptives est trois à quatre fois plus élevée que celle des femelles non réceptives. Cette caractéristique est spécifique à l'utilisation de l'insémination artificielle qui s'applique à des lapines quel que soit leur stade physiologique. En effet, en saillie naturelle, seules les lapines qui acceptent l'accouplement (en œstrus) sont saillies.

La pseudogestation est susceptible de déprimer fortement les performances de reproduction. On ne sait pas aujourd'hui comment des lapines qui n'ont pas été inséminées depuis 42 jours peuvent avoir sur l'ovaire des corps jaunes encore actifs. Des études complémentaires sont nécessaires, d'une part pour caractériser plus précisément les lapines pseudogestantes et le seuil de progestérone au-delà duquel elles sont dans l'incapacité de produire et, d'autre part pour expliquer la cause de ces ovulations.

### Facteurs de réussite de l'insémination artificielle liés au mâle

Au sein d'un élevage de grande taille ou pour un centre de diffusion de semence, on choisira des mâles ardents et aptes à donner, par prélèvement au vagin artificiel, un maximum de semence de qualité.

### Les animaux

Seuls les animaux en bon état sanitaire seront susceptibles de donner un grand volume de semence de bonne qualité. Si la maturité sexuelle est atteinte généralement vers 5 mois, la production et la qualité de la semence augmentent la 1<sup>re</sup> année et diminuent à partir de la fin de la 2<sup>e</sup> année : ainsi de 23 à 43 semaines, le nombre de spermatozoïdes motiles par éjaculat augmente régulièrement de 193 à 300 × 10<sup>6</sup>.

Le génotype des mâles influence la production spermatique et les caractéristiques de la semence. Par exemple, entre des mâles d'origine néo-zélandaise et californienne, on observe des différences très importantes sur les aspects quantitatifs et qualitatifs, conduisant à un nombre de spermatozoïdes récoltés par éjaculat variant du simple au double (tableau 3.2).

**Tableau 3.2.** Caractéristiques de la semence de deux types génétiques de lapins.

	Néo-Zélandais Inra A1077	Californiens Inra A1066	Signification statistique
Volume (ml)	0,7 ± 0,2	0,6 ± 0,2	**
Concentration (spermatozoïdes/ml)	574 ± 260	394 ± 188	**
Nombre spermatozoïdes/éjaculat ( $\times 10^6$ )	321 ± 152	174 ± 98	**
Motilité	7,4 ± 0,9	6,7 ± 1,3	**
Spermatozoïdes vivants (%)	83 ± 11	73 ± 18	**
pH	6,9 ± 0,2	7,0 ± 0,2	**

Moyenne ± écart type (Bencheikh, 1993).

Il existe aussi une grande variabilité des caractéristiques biologiques de la semence des mâles, autant entre mâles, qu'intra-mâle, conduisant généralement à une répétabilité faible (corrélation entre les performances successives d'un mâle) des performances, tant sur les aspects qualitatifs que quantitatifs. La variabilité des caractéristiques de la semence étant parfois plus importante intra-mâles qu'entre mâles, il est difficile de présélectionner les mâles en début de carrière. Cependant, avant de rentrer dans la phase de production, les mâles sont généralement testés pendant 3 à 4 semaines sur leur aptitude à donner de la bonne semence, afin d'écarter ceux qui expriment une libido ou une production spermatique régulièrement faibles.

## La semence

### *Relations entre caractéristiques de la semence et pouvoir fécondant*

Chez le lapin, il est généralement admis que la contribution du mâle à la fertilité après l'insémination d'une semence est faible. De plus, l'utilisation de mélanges hétérospermiques est susceptible de modérer l'effet du mâle et permet d'obtenir une bonne fertilité avec un nombre peu élevé de spermatozoïdes par dose ( $6 \times 10^6$ ). La corrélation entre le pourcentage de spermatozoïdes motiles et la fertilité est de 0,31. Dans une étude réalisée en 2013, utilisant de la semence en homospermie avec une dilution élevée (1/20), la motilité massale et le pourcentage de spermatozoïdes motiles augmentent la productivité des lapines (+1 né vivant/insémination artificielle) quand la semence présente au moins un début de mouvement de vagues ou un pourcentage de spermatozoïdes motiles supérieur à 84 %.

Ce résultat confirme l'importance de l'évaluation de la semence avant l'insémination.

### *Héritabilité des caractéristiques de la semence*

La connaissance des paramètres génétiques de la production quantitative et qualitative de semence est nécessaire pour évaluer la pertinence de mettre en place des



programmes de sélection pour améliorer ces caractères. L'héritabilité est la part de la variabilité d'un caractère liée à des effets génétiques transmissibles et susceptibles d'être améliorée par sélection. Elle varie de 0 à 1 (chapitre 7). Le déterminisme génétique des caractères de la semence a été peu étudié, ou souvent dans des conditions ne permettant pas une estimation précise (effectif faible, méthodes d'évaluation variables et souvent subjectives, semence préalablement congelée, etc.), et rarement analysé conjointement avec le pouvoir fécondant. Le nombre total de spermatozoïdes produits par éjaculat semble être un caractère intéressant à sélectionner. Une étude conduite dans des conditions expérimentales rigoureuses (rythme de collecte strict, évaluation de la semence immédiatement après collecte, mesures objectives) met en évidence que le pourcentage de spermatozoïdes motiles serait le meilleur critère pour sélectionner les mâles (héritabilité : 0,18 ; Brun *et al.*, 2010). Une sélection sur ce critère permettrait de diminuer le pourcentage d'éjaculats éliminés et, en conséquence, d'augmenter le nombre de doses par mâle. Cependant, la corrélation génétique de ce caractère avec le pouvoir fécondant de la semence n'étant pas connue, on ne peut prédire la réponse corrélée avec le pouvoir fécondant.

### ***Les conditions environnementales***

Avec l'insémination, il est possible de dissocier dans l'espace et dans le temps (maximum 36-48 heures en semence fraîche, sans limite de temps quand la semence est congelée) la récolte de la semence de son utilisation. Les mâles pouvant être placés dans des cellules spécifiques, connaître les conditions optimales de production et de récolte doit permettre à terme de disposer d'un plus grand nombre de doses de meilleure qualité.

Chez le lapin sauvage européen, la saison de reproduction correspond aux jours croissants. Ainsi, il est recommandé de placer les mâles sous 16 heures d'éclairement quotidien, par comparaison à un éclairage de 8 heures. En effet, comparé à un éclairage de 8 heures, les mâles produisent +31 % de spermatozoïdes vivants de motilité supérieure. De plus, des températures supérieures à 30 °C dépriment la libido, la concentration du sperme, la motilité et le pourcentage de cellules motiles.

Différents rythmes de collecte ont été comparés, en particulier 1 jour (extensif) *versus* 3 jours de collecte (intensif) par semaine à raison de 2 éjaculats à 15 minutes d'intervalle. Par rapport au rythme intensif, le rythme extensif permet d'obtenir +156 % de spermatozoïdes vivants par éjaculat et +66 % d'éjaculats de motilité supérieure à 8. Un seul jour de récolte hebdomadaire (à raison de 2 prélèvements successifs à 15 minutes d'intervalle) correspond donc à la meilleure adéquation entre le nombre de spermatozoïdes par éjaculat, leur qualité, la production par unité de temps et la gestion rationnelle des chantiers de collecte. Cependant, dans les centres de production de semence, les mâles sont collectés en fonction de la demande.

L'alimentation des mâles est décrite au chapitre 5.

## Facteurs de réussite de l'insémination liés à la technologie de la semence

### *Modalités d'utilisation de la semence*

La semence peut être utilisée en homospermie – la dose d'insémination est alors faite à partir de la semence d'un seul mâle – ou en hétérospermie – les doses sont alors confectionnées à partir d'un mélange d'éjaculats issus de plusieurs mâles. Pour le sélectionneur, l'homospermie est obligatoire pour connaître la généalogie des descendants. En revanche, les producteurs achètent, dans les centres d'insémination, des mélanges hétérospermiques.

Les inséminations de mélanges hétérospermiques donnent des résultats de fertilité comparables, parfois supérieurs, aux inséminations réalisées avec le sperme d'un seul mâle. Le mélange hétérospermique n'exempte pas de l'observation de la semence qui doit contenir une proportion suffisante de spermatozoïdes motiles.

### *Conservation de la semence*

Il est possible de conserver la semence quelques heures (maximum 48 heures) dans un dilueur commercial. Généralement, dans les centres d'insémination, les prélèvements, la dilution et le conditionnement des semences sélectionnées sont réalisés dans la journée, l'expédition en fin de journée rendant disponibles les semences dans l'élevage destinataire le matin du lendemain de la récolte.

### *Dilution et dose optimale d'insémination*

Les travaux, dont l'objet était de définir le nombre minimal de spermatozoïdes à inséminer pour obtenir une fertilité optimale, aboutissent à des conclusions variables (de 4 à 30  $10^6$  spermatozoïdes/dose). Cependant, dans ces divers travaux, l'état physiologique des lapines au moment de l'insémination était très variable (réceptivité, stade physiologique, stade de lactation, parité, etc.), ainsi que le traitement et la durée de conservation de la semence. Dans les conditions courantes d'insémination artificielle (dilueur commercial, fourniture de semence auprès d'un centre de diffusion et inséminations après 24 heures de conservation à 18 °C), l'insémination de 12 millions de spermatozoïdes totaux suffit pour assurer une bonne productivité quels que soient la parité, l'état d'allaitement et la réceptivité des lapines au moment de l'insémination. Néanmoins, sur un troupeau de lapines multipares à réceptivité élevée (utilisation de PMSG ou de biostimulations), l'insémination de seulement 3 millions de spermatozoïdes totaux semble suffire pour assurer une productivité optimale du troupeau. En effet, une lapine en œstrus va offrir un milieu vaginal et utérin favorable qui nécessitera en conséquence moins de spermatozoïdes qu'une lapine non réceptive. Cependant, étant donné la difficulté à estimer la concentration d'un éjaculat, la dilution de la semence est généralement fixe.

### *Conditions de manipulation de la semence*

Outre l'importance du matériel (si possible à usage unique) et de la technique d'insémination, il faut insister sur la nécessité d'une prophylaxie sanitaire très stricte tout au long de la chaîne, de la récolte à l'insémination. La flore microbienne présente dans le sperme de lapins peut être vectrice de germes pathogènes

liés à l'environnement ou à la pathologie d'un mâle. Ainsi, par exemple, *via* la semence, le virus de la myxomatose peut être transmis aux femelles et conduire à leur mort après l'insémination.

## Autres facteurs intervenant sur la réussite de l'insémination artificielle

Peu de travaux ont étudié l'importance des facteurs génétiques dans la réussite de l'insémination artificielle. En saillie naturelle, l'incidence de la lactation et du stade de lactation sur l'aptitude à l'ovulation et le taux de fécondation dépend du type génétique des lapines. Le croisement de lignées complémentaires (par exemple une lignée à bonne viabilité embryonnaire avec une lignée présentant un taux d'ovulation élevé) permet d'améliorer les performances de reproduction. En insémination artificielle, un effet d'hétérosis direct a été montré, en particulier sur le taux de réceptivité sexuelle (10 %). L'étude et l'exploitation de la variabilité génétique de la réceptivité sexuelle des lapines au moment de l'insémination artificielle pourraient être une voie d'amélioration des résultats d'insémination. Des essais préliminaires mettent en évidence la variabilité importante de l'expression de la réceptivité sexuelle. Cependant, une expérience de sélection divergente sur l'aptitude des lapines à exprimer le comportement sexuel n'a pas permis d'estimer l'héritabilité de ce caractère, car les tests nécessaires à son évaluation (présentation à un mâle) induisent des pseudogestations qui interfèrent avec l'expression de la réceptivité.

Bien d'autres facteurs interviennent sur la réussite de l'insémination artificielle, notamment la technicité de l'éleveur et l'état sanitaire des animaux. Tous les facteurs que nous venons d'énumérer interagissent et l'éleveur doit les considérer dans leur globalité pour détecter le ou les facteurs limitants. De plus, comme nous l'avons vu, la garantie sanitaire de cette technique ne sera effective que si des règles sanitaires élémentaires sont strictement respectées : pipettes, gaines, vagins artificiels désinfectés avant chaque utilisation (ou à usage unique), dilueurs commerciaux contenant des antibiotiques à large spectre. Enfin, les résultats de l'IA sont aussi dépendants de l'expérience des personnes qui pratiquent l'insémination et le portage des femelles.

En conclusion, dans un élevage, à un instant donné, la productivité d'un troupeau en bon état sanitaire sera d'autant plus importante et homogène qu'il comprendra une proportion élevée de lapines réceptives et un minimum de lapines allaitantes, non réceptives et/ou pseudogestantes.

## Méthodes d'induction de la réceptivité sexuelle des lapines au moment de l'insémination

Les lapines étant généralement allaitantes au moment de l'insémination, un antagonisme partiel entre la lactation et la reproduction conduit les lapines allaitantes et non réceptives à avoir des performances très faibles. L'amélioration et l'homogénéisation des performances de reproduction dans les élevages sont donc conditionnées par le choix du rythme de reproduction (aujourd'hui généralement à 42 jours) et par l'utilisation de méthodes permettant d'induire et de synchroniser l'œstrus des lapines, en particulier allaitantes. Il s'agit de traitements hormonaux ou de méthodes alternatives à l'utilisation d'hormones appelées « biostimulations ».

### Choix du rythme de reproduction

La productivité optimale d'un élevage est un compromis entre l'intervalle mise-bas-insémination (le plus court possible) et le pourcentage de lapines fécondées (le plus élevé possible). Entre dix et douze jours de lactation, le pourcentage de lapines réceptives et la productivité sont de bon niveau et justifient l'utilisation généralisée du rythme à 42 jours dans les élevages français.

### Traitements hormonaux

Ils ont été très utilisés ces dernières années. Ils consistent à administrer différents types et doses d'hormones 2-3 jours avant l'insémination, afin de stimuler la croissance folliculaire responsable de la sécrétion d'œstrogènes et la réceptivité sexuelle des lapines, améliorant en conséquence la fertilité et la prolificité.

#### Pregnant Mare Serum Gonadotropin (PMSG ou eCG)

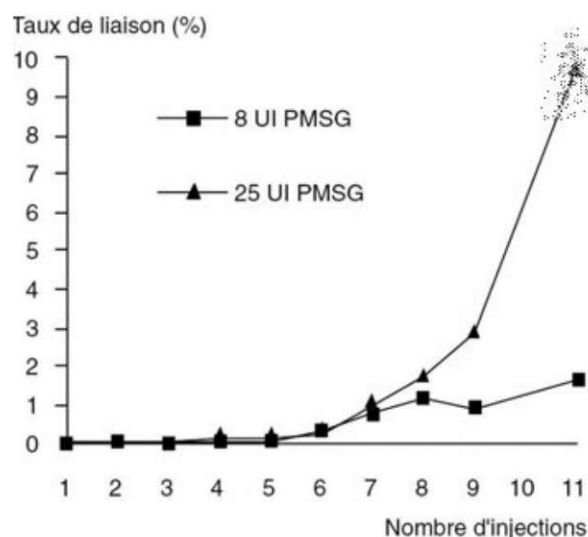
Cette molécule est une glycoprotéine de poids moléculaire estimé entre 45 et 64 kD. Elle est extraite du sérum de jument gravide. Son effet majeur est de mimer celui de la FSH (stimule la croissance folliculaire), et elle est notamment utilisée chez les petits ruminants pour lesquels les traitements hormonaux d'induction et de synchronisation de l'œstrus et de l'ovulation sont une condition préalable à une mise à la reproduction à contre-saison et à l'utilisation de l'insémination artificielle. Cependant, des injections répétées de PMSG sont généralement suivies d'une baisse de la fertilité corrélée, chez les caprins comme chez les ovins, à l'apparition d'anticorps dans le plasma de certaines femelles traitées. La PMSG est utilisée depuis une vingtaine d'années pour induire et synchroniser l'œstrus des lapines. Cependant, sa nature protéique et exogène, associée à son poids moléculaire élevé, a fait craindre un pouvoir immunogène important qui pourrait réduire, chez cette espèce aussi, son efficacité en cas d'usage prolongé. C'est pourquoi, plusieurs études ont été consacrées à cette question.

Sur des lapines allaitantes mises à la reproduction au stade 11 jours *post-partum*, une injection de PMSG 48 heures avant l'insémination permet d'améliorer le pourcentage de lapines réceptives au moment de l'insémination, quelle que soit la dose (de 10 à 40 UI). Cet effet positif est maintenu après plusieurs injections au cours de 7 à 11 cycles de reproduction à la dose de 20-25 UI.

Une injection de PMSG avant l'insémination augmente généralement la fertilité des lapines. Cependant, l'efficacité du traitement dépend de l'état physiologique des lapines au moment de l'insémination artificielle. Ainsi, 20-25 UI de PMSG n'améliorent pas la fertilité des nullipares. À l'inverse, elle augmente généralement la fertilité des lapines primipares et des allaitantes sans effet sur la taille de la portée. L'injection n'est pas justifiée sur des lapines non allaitantes qui ont des potentialités de reproduction élevées.

Chez le lapin, l'immunogénicité de la PMSG a été démontrée suite à l'injection, respectivement, de 20 et 40 UI. La concentration d'anticorps anti-PMSG dépend de l'intervalle entre injections ( $r = -0,51$ ). Elle augmente après la 3<sup>e</sup> injection alors que, simultanément, la fertilité diminue. Ces conclusions confirmant les observations obtenues chez les petits ruminants mériteraient d'être confirmées





**Figure 3.6.** Écart au témoin du taux de liaison en fonction du nombre d'injections de PMSG.

sur une expérience d'envergure. L'évolution du taux d'anticorps, consécutivement à l'administration de 8 ou 25 UI de PMSG à 124 lapines primipares pendant 11 séries d'insémination (intervalle entre injections : 35 jours), a été étudiée. Des anticorps anti-PMSG (mesurés par le taux de liaison, figure 3.6) n'ont pu être détectés qu'après la sixième injection. Mais l'intensité de la réaction immunitaire dépend de la dose administrée. À la fin de l'expérimentation, seulement 15 et 39 % des lapines traitées, respectivement avec 8 ou 25 UI, avaient développé une immunité contre la PMSG (figure 3.6). Cependant, la productivité des lapines allaitantes est indépendante de la réponse immunitaire (hyperimmunes : 6,9 sevrés/insémination artificielle, hypo-immunes : 7,0 sevrés/insémination artificielle). De ce fait, la PMSG est utilisée à ces doses dans les élevages cynicoles sans diminution d'efficacité.

### La prostaglandine $PGF_{2\alpha}$

L'effet lutéolytique des prostaglandines  $PGF_{2\alpha}$  (naturelles ou synthétiques) a été utilisé afin d'induire la régression des corps jaunes de lapines pseudogestantes ou supposées l'être. Différents auteurs ont étudié l'efficacité de la  $PGF_{2\alpha}$  administrée 2-3 jours avant l'insémination pour synchroniser l'œstrus des lapines. Les conclusions sont diverses mais l'amélioration des performances de reproduction

### Encadré 3.4. L'induction de la réceptivité des lapines par les traitements hormonaux.

L'utilisation routinière de PMSG (20-25 UI, 48 heures avant l'insémination par injection sous-cutanée), chez des lapines allaitantes au stade 11 jours *post-partum*, permet d'augmenter de façon durable le pourcentage de lapines réceptives au moment de l'insémination, et en conséquence leur productivité (+47 % de lapereaux sevrés/insémination artificielle), sans risque immunitaire important. Seulement 8 UI de PMSG suffisent pour stimuler efficacement les lapines au stade 4 jours *post-partum*, alors que 25 UI sont nécessaires pour des lapines au 11<sup>e</sup> jour de lactation. Les prostaglandines  $PGF_{2\alpha}$  auraient une action indirecte sur l'induction de la réceptivité des lapines pseudogestantes, alors que la PMSG a une action directe sur l'ovaire (augmentation de la croissance folliculaire). Ces deux hormones pourraient donc être complémentaires sur un troupeau comportant des lapines pseudogestantes.

est parfois observée. On peut donc penser que la  $\text{PGF2}\alpha$  agit sur les lapines pseudogestantes ; elle entraînerait la régression des corps jaunes (levant l'inhibition de la progestérone, notamment sur la sécrétion des œstrogènes), permettant ainsi un nouveau cycle de reproduction.

### **Méthodes non hormonales : les biostimulations**

L'évolution possible de la réglementation européenne sur l'utilisation d'hormones exogènes engage à rechercher des méthodes alternatives, appelées biostimulations, pour améliorer la réceptivité sexuelle des lapines et, en conséquence, leur productivité. Ces méthodes doivent être faciles d'application, peu onéreuses, compatibles avec le bien-être animal et bien adaptées à la conduite en bande. Différentes techniques ont été étudiées telles que la manipulation des animaux, une séparation courte de la mère et de sa portée, des programmes alimentaires, des programmes lumineux et la proximité des mâles. Des modifications environnementales, telles que la durée d'éclairement quotidien, la température, l'alimentation, le stress, des stimulations auditives ou olfactives, peuvent modifier la balance endocrinienne de la lapine et faire varier les performances de reproduction. En effet, l'environnement joue un rôle important dans la régulation de la fonction de reproduction, par l'intermédiaire du système nerveux et de l'axe hypothalamo-hypophysaire.

#### **Manipulation des animaux**

L'efficacité de la manipulation d'animaux – changement de cage ou regroupement des lapines avant l'insémination – reste débattue. De plus, ces méthodes sont difficiles à appliquer dans des élevages de grande taille, notamment pour la gestion des animaux (et leur identification) et la maîtrise sanitaire du troupeau.

#### **Séparation ponctuelle de la mère et sa portée**

Chez la truie en anœstrus de lactation strict, une séparation quotidienne de 6 à 12 heures dans la période *post-partum* améliore l'induction de l'œstrus.

Chez la lapine, cette stimulation doit être effectuée juste avant l'insémination artificielle et celle-ci doit être réalisée immédiatement après le premier allaitement qui suit la remise en présence de la mère et sa portée. Une séparation mère-jeunes de 24 heures (correspondant à la fréquence des visites quotidiennes de la lapine sauvage dans son terrier) s'accompagne parfois d'une amélioration de la réceptivité sexuelle et de la fertilité des lapines allaitantes. Cependant, il faut 36 heures de séparation pour que le pourcentage de lapines réceptives et la fertilité soient systématiquement améliorés (écart de fertilité par rapport au lot témoin : de +11 à +24 %). La séparation ponctuelle de la mère et de sa portée de 24 à 48 heures n'influence pas la taille de portée ; elle n'augmente ni la fréquence des mammites des mères, ni la mortalité des jeunes lapereaux. Même si la plupart des études montrent que la séparation s'accompagne de la diminution du poids individuel au sevrage des jeunes lapereaux, de 36 à 48 heures de séparation améliorent généralement le poids de lapereaux sevrés par insémination (par rapport au lot témoin : de +14 % à +35 %). Il faut cependant préciser que l'effet positif de cette stimulation est net

quand l'allaitement est libre avant et après la stimulation, il l'est moins quand un allaitement contrôlé est appliqué avant et après la stimulation.

L'allaitement contrôlé, qui consiste à fermer les boîtes-à-nid et à ne les ouvrir que quelques minutes tous les jours, est une pratique courante dans les élevages (voir chapitre 4). Un allaitement contrôlé 2 jours avant l'insémination augmente la fertilité (de 15 à 17 %) sans effet dépressif sur la croissance. S'il est poursuivi 3 jours après l'insémination, la productivité est sensiblement améliorée (+25-35 % de poids de lapereaux sevrés/insémination artificielle), en comparaison avec seulement 2 jours d'allaitement contrôlé avant l'insémination.

L'efficacité d'une séparation mère-jeunes dépend de la parité, les primipares étant plus sensibles car moins productives. Par ailleurs, Bonanno *et al.* (2002) ont démontré que, lorsque la séparation est appliquée sur des lapines ayant produit plus de trois portées, la fertilité n'est plus améliorée par rapport au lot témoin. Ce résultat montre que l'effet d'une séparation de la mère et sa portée dépend du nombre de traitements successifs et suggère donc une accoutumance à cette stimulation.

Au niveau physiologique, 48 heures de séparation s'accompagnent d'une diminution de la sécrétion de prolactine 24 heures après le début de la stimulation, alors que la concentration plasmatique de  $17\beta$ -oestradiol augmente le jour de l'insémination artificielle ; de plus, la sécrétion de LH en réponse à l'injection de GnRH est plus élevée. Ce résultat suggère que la diminution de sécrétion de prolactine, due à l'absence d'allaitement, stimule la croissance folliculaire et la stéroïdogénèse, améliorant ainsi la réceptivité et la fertilité des lapines momentanément séparées de leur portée.

### Programmes lumineux

Sous nos latitudes, le lapin sauvage (*Oryctolagus cuniculus*) a un cycle de reproduction saisonnier bien défini : la fertilité est maximale en jours croissants. Les lapines domestiques logées en bâtiment et soumises à 16 heures d'éclairement quotidien sont plus réceptives et les lapereaux ont une meilleure croissance que sous 8 heures d'éclairement.

Une stimulation lumineuse (passage brutal de 8 à 16 heures de lumière par jour), 8 jours avant l'insémination artificielle améliore, par rapport à un éclairage continu de 16 heures/jour, la réceptivité sexuelle et la fertilité, mais les portées sont plus légères au sevrage. C'est pourquoi, le retour à 8 heures de lumière se fait progressivement, à raison de 2 heures d'éclairement en moins pendant 4 jours. Il est vraisemblable que la durée et le moment optimal du retour à 16 heures d'éclairement dépendent de l'âge des lapereaux et donc du rythme de reproduction utilisé. Les études ont également montré que la stimulation lumineuse doit être assez longue : appliquée seulement 5 jours avant l'insémination, le passage brutal de 10 à 16 heures de lumière n'a pas amélioré les performances de reproduction. Une stimulation lumineuse de 8 à 16 heures augmente le pourcentage de lapines réceptives (de 55 à 90 %) 12 jours plus tard, ce dernier restant supérieur à 80 % pendant une semaine.

Le mode d'action de la photopériode est mal connu chez le lapin. Chez les petits ruminants notamment, l'information photopériodique est transmise par la rétine à

la glande pinéale par voie nerveuse. La connaissance des effets de la photopériode sur le système neuroendocrinien et sur la fonction de reproduction des petits ruminants a permis l'application de traitements lumineux pour contrôler l'activité saisonnière de la reproduction.

### *Programmes alimentaires*

Chez la brebis, le poids avant la saillie reflète le statut nutritionnel et a une influence déterminante sur le taux d'ovulation, la fertilité et la prolificité. Ainsi, l'augmentation du poids avant la saillie a un effet positif sur les performances de reproduction. Inversement, un déficit nutritionnel avant la saillie déprime le taux d'ovulation et la viabilité embryonnaire. Ainsi, le *flushing*, qui consiste à augmenter la ration alimentaire (énergie) juste avant la saillie, est couramment pratiqué en élevage ovin.

En cuniculture, un *flushing* alimentaire après une période de restriction améliorerait les performances de reproduction, au moins chez les nullipares. S'il est clairement démontré que des programmes alimentaires sont susceptibles de déprimer, à court ou à long terme, les performances de reproduction, à l'inverse peu d'études scientifiques débouchent sur des recommandations précises de *flushing* alimentaire susceptibles d'améliorer de façon durable les performances de reproduction sans déprimer la croissance des lapereaux.

### *Proximité des mâles*

La présence du mâle peut influencer les sécrétions hormonales et le comportement des femelles chez beaucoup d'espèces. Chez la brebis ou la chèvre en anœstrus saisonnier, l'introduction des mâles (après une période d'isolation) induit et

## Encadré 3.5. L'induction de la réceptivité des lapines par les biostimulations.

**Séparation ponctuelle de la mère et de ses lapereaux.** Pour un rythme de reproduction de 42 jours, quand l'allaitement libre est utilisé dans l'élevage, 2 jours d'allaitement contrôlé par fermeture des boîtes-à-nid permettent d'améliorer la productivité (d'au moins 20 %) sans affecter la croissance des jeunes. Cette méthode permet d'obtenir le même niveau de productivité que 48 heures de séparation ou l'injection préalable de 20 UI de PMSG. Cependant, d'autres questions restent posées, notamment la persistance de l'effet de cette stimulation en relation avec le nombre de traitements successifs et la parité des lapines.

**Programmes lumineux.** La réceptivité sexuelle des lapines est supérieure quand les lapines sont placées sous 16 heures d'éclairement quotidien (vs 8 heures), et une augmentation brutale de l'éclairement de 8 à 16 heures accroît le pourcentage de lapines réceptives de 55 % le jour de la stimulation lumineuse, à 90 % à J12 et reste supérieure à 80 % pendant une semaine. Faciles d'application et peu coûteux, les programmes lumineux seront d'autant plus efficaces que les lapines sont dans le même état physiologique. Ils sont donc parfaitement adaptés à la conduite en bande.

**Recommandations.** L'utilisation d'un luxmètre permet de vérifier que l'intensité de la lumière est de 100 lux minimum au niveau des yeux de la lapine (c'est la rétine qui transmet l'information au complexe hypothalamo-hypophysaire). Il est recommandé de nettoyer régulièrement la protection des néons. Il est généralement conseillé de modifier le programme lumineux de telle sorte que l'heure d'extinction de la lumière change le soir et ne soit pas modifiée le matin. Cependant, ce programme n'a pas été validé scientifiquement.



synchronise l'œstrus. Cet « effet mâle » est utilisé pour contrôler la reproduction, c'est une alternative biologique aux traitements hormonaux, au moins à certaines périodes de l'année. Nous ne savons pas si des mécanismes similaires peuvent être transposés à une espèce telle que le lapin dont l'ovulation est provoquée par l'accouplement. Chez les nullipares, la présence de mâles contribue à augmenter le taux d'acceptation de l'accouplement et améliore la fertilité. Cependant, ni la présence de mâles, ni leur proximité pendant une période de 24 ou 48 heures, 3 ou 4 jours avant l'insémination, n'améliorent la réceptivité et la fertilité des lapines allaitantes. Ces premiers résultats sont décevants. De plus, ces pratiques sont laborieuses et difficilement applicables pour des élevages cunicoles de grande taille.

Cependant, si certaines de ces méthodes améliorent la fertilité, elles sont parfois susceptibles de diminuer la croissance des lapereaux (programmes lumineux, séparation ponctuelle de la mère et de sa portée, etc.). En conséquence, pour une application raisonnée dans les élevages, il est important de considérer des critères de productivité globale et d'étudier la persistance des effets.

### Encadré 3.6. Pratiques de préparation des lapines à l'insémination artificielle : une grande variabilité en cuniculture professionnelle française.

Quelques pratiques sont très répandues dans les élevages professionnels français pour préparer les lapines à l'insémination artificielle. Si la PMSG n'est que rarement administrée aux nullipares, elle est encore très utilisée dans les élevages cunicoles. Cependant, il semble que la dose, la voie d'injection et l'état physiologique des lapines traitées varient en fonction de l'élevage. Par exemple certains élevages injectent la PMSG 60 heures avant l'insémination artificielle. L'intervalle optimal entre l'injection et l'insémination artificielle n'a jamais fait l'objet d'études. Cependant, les quelques résultats d'injection de PMSG 72 heures avant l'insémination artificielle n'ont mis en évidence aucun bénéfice sur les performances de reproduction.

Les éleveurs utilisent des programmes lumineux, associés ou non à un *flushing* alimentaire. Le passage brutal de 12 à 16 heures de lumière par jour (+/- 2 heures), 6-7 jours avant l'insémination artificielle, est pratiqué par modification de l'heure d'extinction ; ce programme lumineux est maintenu durant environ 10-13 jours, avant de revenir de manière progressive au programme lumineux classique (12 h/jour).

Le *flushing* alimentaire est réalisé par trois-quarts des éleveurs, en général 6 jours avant la première insémination artificielle, et ce pendant une durée moyenne de 11 jours. Les lapines sont à nouveau en alimentation restreinte jusqu'au transfert en cage maternité, mais les quantités et les types d'aliment sont très variables. La moitié des éleveurs pratique l'allaitement contrôlé, mais sa durée est très variable (de 2 à 15 jours) ; la durée d'ouverture quotidienne des nids est également très variable. De plus, la pratique du *flushing* alimentaire associé à un programme lumineux peut être complétée par l'apport ponctuel, dans l'eau de boisson, d'un complexe vitaminique et minéral durant les 3 jours précédant l'insémination.

Le contrôle de l'allaitement est souvent pratiqué entre J2 et J7 après la mise-bas. De J7 à J10, les nids sont continuellement ouverts, puis la boîte-à-nid est fermée la veille de l'IA, elle est à nouveau ouverte le lendemain matin, juste avant l'insémination. Malgré l'absence de validation scientifique, certains éleveurs regroupent les lapines deux par deux (après marquage d'une lapine sur deux afin qu'elles réintègrent leur cage) moins de 30 minutes avant l'insémination.

Si des études ont été conduites avec succès pour certaines de ces méthodes, l'effet cumulatif de ces différentes techniques n'a jamais été scientifiquement démontré. La persistance de l'effet de certaines biostimulations est parfois mise en cause et on peut se demander si l'alternance de ces techniques ne serait pas plus efficace que leur cumul.

## Biotechnologies de la reproduction et cuniculture

Ces dernières décennies ont connu un engouement important autour des biotechnologies de la reproduction, en particulier pour la congélation de la semence, la collecte et le transfert d'embryons, le sexage des spermatozoïdes, la production d'embryons *in vitro*, le transfert de gènes et le clonage. Ces avancées ont notamment permis la mise en œuvre de la conservation de ressources génétiques. En effet, pour maintenir la biodiversité d'une espèce, il est indispensable de disposer de techniques de cryoconservation susceptibles de conserver à long terme les ressources génétiques de l'espèce, en préservant les potentialités de reproduction d'une population ou d'un individu. Ainsi, il devient possible de conserver des embryons, des gamètes mâle ou femelle, ou encore des tissus somatiques. De plus, les biotechnologies facilitent les expériences de sélection et présentent un intérêt considérable pour la recherche médicale et l'industrie pharmaceutique.

### Congélation de la semence

La congélation de la semence permet de dissocier, dans le temps et dans l'espace, la collecte de la semence de son utilisation. Elle permet donc de conserver les potentialités génétiques sans qu'il y ait nécessité de conserver les reproducteurs, et d'assurer ainsi la diffusion du progrès génétique ou encore la comparaison contemporaine de mâles de différentes générations. C'est un outil important pour la conservation des ressources génétiques.

La congélation de semence de lapin a fait l'objet de nombreuses études. Les premiers essais de congélation ont été réalisés par Smith et Polge (1950). L'année suivante, un ovule était fécondé avec de la semence de lapins préalablement congelée à  $-79^{\circ}\text{C}$ . Cependant, encore aujourd'hui, la congélation de semence de lapins est peu répandue car les résultats obtenus par les différentes techniques sont très variables et peu reproductibles. Les différentes techniques utilisent des cryoprotecteurs (glycérol, diméthylsulfoxyde, éthylène glycol, acétamides, etc.), des éléments nutritifs (sucres, jaune d'œuf, etc.), et différentes vitesses de refroidissement (lente :  $0,1$  à  $2^{\circ}\text{C}/\text{min}$ , ou rapide :  $2\,500^{\circ}\text{C}/\text{min}$ ) et de réchauffement. Dans le cas de la vitrification, technique souvent utilisée aujourd'hui, la semence est placée dans de petits volumes à forte concentration de cryoprotecteurs suivi d'un refroidissement ultrarapide. La vitrification induit un refroidissement immédiat de l'eau intracellulaire et évite la formation de cristaux pouvant causer des dommages irréversibles aux spermatozoïdes. Aujourd'hui, des efforts de recherche sont faits pour proposer des milieux synthétiques chimiquement définis. Les résultats après insémination de semence préalablement congelée sont très variables, la fertilité avoisine en moyenne  $50\%$  et la taille de portée est fréquemment diminuée de  $1$  à  $2$  lapereaux vivants en moyenne. Cependant, les chances de succès sont plus élevées quand l'insémination est réalisée sur des lapines réceptives au moment de l'insémination (fertilité :  $79\%$  et  $7,9$  nés vivants) que sur des non réceptives (fertilité :  $20\%$ ).

De fait, cette technique est utilisée en recherche mais, à ce stade, son utilisation n'est pas économiquement viable pour l'éleveur.

## Collecte et transfert d'embryons

Le premier transfert réussi d'embryons de mammifères a été réalisé sur la lapine en 1890 par Heape. En association avec la congélation, le transfert d'embryons est un outil de conservation de la diversité génétique. C'est aussi un outil prisé par le généticien pour mesurer le progrès génétique. En effet, il permet de comparer de manière contemporaine des animaux de la génération  $G_0$  (issus d'embryons préalablement congelés) à des animaux de génération  $G_n$ . Cette technique permet donc de s'affranchir de la conduite d'une population témoin.

Le transfert d'embryons nécessite tout d'abord de collecter un grand nombre d'embryons de bonne qualité. C'est le rôle attribué à la lapine qualifiée de « donneuse » d'embryons. Ces embryons sont ensuite sélectionnés puis transférés dans le tractus génital d'une lapine appelée « receveuse » d'embryons.

## Superovulation

La superovulation permet d'obtenir un grand nombre d'ovocytes et d'embryons. Elle implique un traitement hormonal pour amplifier la croissance folliculaire sur les ovaires. Généralement, la FSH ou la PMSG sont utilisées à des doses et intervalles variables, nécessitant des injections répétées. Par exemple, cinq injections de FSH porcine injectée par voie sous-cutanée sur 2,5 jours (total injecté 31,5  $\mu$ g), suivies d'une insémination et d'une injection de GnRH dans l'après-midi, permettent d'obtenir jusqu'à 60 embryons. La réponse à ce type de traitement est en fait très variable : la moyenne des embryons collectés par donneuse fertile varie de 9 à 60. Elle varie aussi fortement selon l'état physiologique des lapines, leur âge, leur poids et, bien sûr, leur type génétique. Les études faites pour homogénéiser la réponse au traitement de superovulation n'ont pas amélioré le niveau de production des embryons (Salveti, 2006) et montrent que les conditions d'environnement des lapines sont plus importantes que la nature des traitements administrés.

## Collecte des embryons

La collecte des embryons s'effectue au cours de la descente oviductaire ou lors des stades qui précèdent l'implantation dans l'utérus, dans la plupart des cas entre 65 et 72 heures après l'induction de l'ovulation. La connaissance précise de l'intervalle de temps entre la collecte et l'insémination permet de déterminer l'âge des embryons (ovulation entre 9,5 et 13 heures après l'injection de GnRH), afin de préparer les lapines receveuses de telle sorte qu'elles soient au même stade physiologique que les donneuses au moment de la collecte. Il existe différentes techniques de collecte d'embryons : par voie chirurgicale, par endoscopie ou après abattage. La première technique peut entraîner des adhérences pouvant compromettre des gestations futures. La deuxième technique est une méthode de choix rapide pour collecter des embryons sur des lapines à haute valeur génétique ; elle demande cependant une technicité importante. Aussi, généralement, les lapines sont sacrifiées en fin de production, après leur dernier sevrage.

Dix à douze heures après la fin du traitement de superovulation, les lapines sont inséminées et l'ovulation est induite après injection de 0,2 à 0,4 ml de GnRH naturelle ou de synthèse. Les lapines donneuses sont euthanasiées 64 à 72 heures après

l'induction de l'ovulation. Les embryons sont alors au stade morula (32 cellules) ou morula compactée. Le tractus génital (oviductes et éventuellement cornes utérines) est alors immédiatement prélevé et perfusé avec 20 ml de liquide de collecte. Les embryons collectés dans une boîte de Pétri sont dénombrés, observés sous une loupe binoculaire ( $\times 10$ ) pour évaluer leur qualité selon les critères morphologiques établis par l'International Embryo Transfer Society. L'évaluation de l'intégrité de la zone pellucide, du manteau muqueux et de l'homogénéité des blastomères permet de distinguer les embryons de bonne qualité. Après collecte, les embryons sélectionnés peuvent être transférés immédiatement dans des lapines receveuses ou congelés pour une utilisation ultérieure.

### **Congélation d'embryons**

Les embryons peuvent être stockés à température ambiante à l'abri de la lumière avant congélation pour une durée n'excédant pas 2 heures. Les embryons de bonne qualité sont placés successivement pendant 5 minutes dans trois bains contenant respectivement 0,5, 1 et 1,5 M de DMSO dans un milieu nutritif. Ils sont alors aspirés dans des paillettes stériles de 0,25 ml scellées par un bouchon stérile. Les paillettes sont identifiées. Elles sont ensuite placées dans un congélateur programmable préalablement équilibré à  $-7^{\circ}\text{C}$ . Après 5 minutes d'équilibration, la cristallisation est induite. Après une deuxième phase d'équilibration de 5 minutes, les paillettes sont alors refroidies jusqu'à  $-30^{\circ}\text{C}$  à la vitesse de  $0,5^{\circ}\text{C}/\text{min}$ . Elles sont ensuite directement plongées dans l'azote liquide pour un stockage d'une durée minimum de 48 heures (Joly *et al.*, 1998).

Les paillettes sont décongelées en les plaçant à température ambiante pendant 10 à 15 secondes avant de les plonger dans un bain-marie à  $20^{\circ}\text{C}$  pendant environ 1 minute. Après réchauffement, les embryons sont incubés pendant 5 minutes dans trois bains successifs contenant des concentrations décroissantes de cryoprotecteurs. Cette étape permet le retrait de DMSO et la réhydratation des embryons. Ils peuvent alors être transférés dans une lapine donneuse.

### **Transfert d'embryons**

La lapine receveuse doit être préparée (induction de l'ovulation) afin d'être à un stade physiologique correspondant à l'âge des embryons. Par exemple l'ovulation d'une receveuse est induite 65 heures avant de recevoir des embryons de 65 heures. Le transfert d'embryons peut être réalisé par voie chirurgicale ou par endoscopie, ce qui est techniquement plus difficile mais plus rapide. Généralement, les lapines sont anesthésiées et une laparotomie ventrale médiane (ou par le flanc) est réalisée pour effectuer le transfert à l'aide d'un capillaire muni d'un cathéter et d'une seringue à insuline.

Après décongélation, les embryons sont rapidement aspirés dans un capillaire de transfert. Les embryons au stade morula ou blastocyste (65 à 72 heures *post coïtum*) sont transférés préférentiellement dans la corne utérine alors que les embryons plus jeunes sont transférés dans l'oviducte. Le rendement espéré est de l'ordre de 45 % (lapereaux nés vivants/embryons transférés). Les lapines sont ensuite déposées dans une salle de réveil avant d'être transférées dans leur cage.



### Encadré 3.7. Un exemple d'application des biotechnologies chez le lapin : la Cryobanque nationale lapins.

Depuis 2003, la Cryobanque patrimoniale cunicole est une réalité concrète qui préserve à la fois une diversité zootechnique et une diversité expérimentale. Contrairement aux autres espèces d'animaux domestiques, pour le lapin, l'embryon est le matériel biologique privilégié de stockage des ressources génétiques, bien que la congélation de semence puisse être aussi utilisée. L'ensemble des populations stockées dans la cryobanque peut être classé en trois catégories : type I pour les races identifiées par rapport à un standard de races ayant un intérêt culturel, type II pour les animaux avec un ou plusieurs caractères originaux présentant un intérêt scientifique et type III pour les populations sélectionnées d'intérêt économique. Actuellement, plus de 55 populations de lapins ont fait l'objet d'opérations de cryoconservation, et près de 20 000 embryons issus de 2 000 lapines donneuses sont stockés dans la cryobanque nationale.

### Sexage des spermatozoïdes

Le déterminisme du sexe est lié, chez les mammifères, à la transmission d'un chromosome X ou Y par les spermatozoïdes du père, les ovocytes étant porteurs de chromosomes X. Les chromosomes Y ont environ 3 % de moins d'ADN intracellulaire. Il est possible de colorer l'ADN des spermatozoïdes avec un marqueur fluorescent spécifique. Le cytomètre en flux permet de séparer la semence en gouttelettes microscopiques, rendant possible la séparation des deux populations de spermatozoïdes. Même si cette technique ne donne pas, chez le lapin, les rendements escomptés (sex-ratio encore peu déséquilibré : 94 % de femelles et 81 % de mâles), elle ouvre des perspectives intéressantes. Cependant, le tri par cytométrie en flux est complexe, onéreux et conduit à une baisse de la viabilité de la semence.

### Production d'embryons *in vitro*

Différentes techniques peuvent être utilisées pour conserver les ressources génétiques d'animaux hypofertiles, elles présentent aussi un intérêt certain pour la recherche biomédicale, cependant les rendements sont encore faibles.

#### *Fécondation in vitro (FIV)*

Il est possible de collecter des ovocytes, par aspiration du liquide folliculaire à la surface des ovaires, et de réaliser une fécondation *in vitro*. Après mise en culture, près de 50 % des ovocytes peuvent être fécondés. Des lapereaux ont été obtenus après transfert d'embryons avec cependant un sex-ratio déséquilibré (28 femelles et 6 mâles). De plus, des ovocytes préalablement congelés ont été fécondés avec succès.

#### *Injection mécanique des spermatozoïdes dans le cytoplasme de l'ovocyte (ICSI)*

Cette technique peut être utile pour des lapins hypofertiles possédant une faible quantité de spermatozoïdes. Une injection intra-cytoplasmique de spermatozoïdes dans un ovocyte mature permet la fécondation en absence de réaction acrosomique et/ou de motilité. Elle consiste à prélever, à l'aide d'une micropipette en verre et sous microscope, un seul spermatozoïde, puis à l'introduire dans le cytoplasme d'un

ovule. L'embryon ainsi formé est alors transplanté chez une lapine receveuse. Le rendement est de l'ordre de 45 % 24 heures après ICSI, le rendement après transfert est de l'ordre de 20 % (lapereaux viables/embryons transplantés). Si l'efficacité de l'ICSI est confirmée avec du sperme congelé, cette technique pourrait être prise en compte dans les stratégies de conservation des ressources génétiques chez le lapin.

## Transfert de gènes

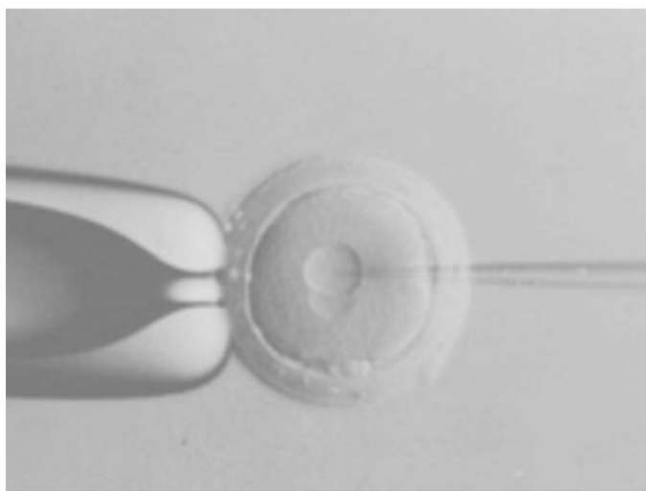
Palmiter et Brinster (1982) ont réussi à produire des souris transgéniques exprimant le gène de l'hormone de croissance du rat. Un transgène peut donc fonctionner chez un hôte et modifier sa physiologie. Le transfert de gènes peut se faire par micro-injection de gènes dans un œuf fécondé, il peut être transféré par l'intermédiaire des blastomères (cellules totipotentes). Une perspective pourrait être de transférer les gamètes.

L'établissement de lignées de cellules-souches embryonnaires (ESCs) de lapins permettrait la création de lapins transgéniques, modèles animaux pour la recherche (étude de maladies humaines), et faciliterait la production de lapins bioréacteurs, c'est-à-dire d'animaux produisant des molécules d'intérêt biologique dans leur lait. Des travaux sont en cours chez le lapin pour étudier si les fibroblastes peuvent produire des cellules-souches pluripotentes induites (ou cellules iPS) à l'instar des cellules-souches embryonnaires.

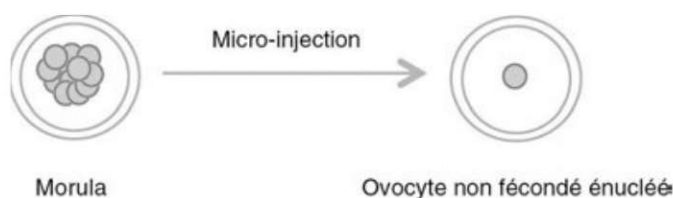
Cette technique intéresse en particulier l'industrie pharmaceutique. Des entreprises de biotechnologies produisent actuellement des protéines thérapeutiques et des vaccins recombinants, notamment dans le lait de lapines transgéniques (figure 3.7).

## Clonage

De vrais jumeaux, monozygotes, sont des clones naturels. Le clonage est une technique de reproduction en laboratoire qui permet d'obtenir un être vivant



**Figure 3.7.** Micro-injection de milliers de copies du transgène dans le pronucleus mâle d'un ovocyte de lapin (le pronucleus femelle est partiellement caché par le pronucleus mâle et les deux globules polaires sont visibles vers le bas de la cellule). Photo P. Chesné, Inra.



**Figure 3.8.** Transplantation nucléaire dans un ovocyte de lapins.

génétiqnement identique à l'original qui a fourni son génome. Un blastomère de morula est injecté dans un ovocyte non fécondé énucléé de lapin (figure 3.8), puis transféré à une lapine receveuse. Le rendement global de clonage, défini à partir du nombre de jeunes nés par rapport au nombre d'embryons reconstitués, est faible, généralement inférieur à 5 % (souris : 3 %, vache : 3 %). Chez le lapin, il est inférieur à 1 %. Six lapins ont été clonés par l'Institut national de la recherche agronomique en 2002 (Chesné *et al.*, 2002).

## Pour en savoir plus

Alvariño J.M.R., 2000. Reproductive performance of male rabbits. *7th World Rabbit Congress*, 4-7 juillet 2000, Valencia, Spain, 13-35.

Bencheikh N., 1993. Production de sperme et fertilité du lapin mâle *Oryctolagus cuniculus*. Effet de la fréquence de collecte et du type génétique, thèse d'État, École nationale agronomique de Toulouse, 142 p.

Bencheikh N., 1993. The effect of frequency of ejaculation on semen characteristics and sperm output the rabbit, *Annales de zootechnie*, 44 (3), 263-279.

Besenfelder U., Haas C., Brem G., 2000. Reproduction technology and gene transfer in rabbits. *7th World Rabbit Congress*, 4-7 juillet 2000, Valencia, Spain, 37-59.

Boiti C., Canali C., Monaci M., Stradaoli G., Verini Supplizi A., Vacca C., Castellini C., Facchin E., 1996. Effect of postpartum progesterone levels on receptivity, ovarian response, embryo quality and development in rabbits. *6th World Rabbit Congress*, 9-12 juillet, 1996, Toulouse, France, vol. 2, 45-50.

Bonanno A., Di Grigoli A., Alabiso M., Boiti C., 2002. Parity and number of repeated doe-litter separation treatments affect differently the reproductive performances of lactating does. *World Rabbit Science*, 10 (2), 63-70.

Brun J.M., Sanchez A., Duzert R., Saleil G., Theau-Clément M., 2010. Genetic parameters of rabbit semen traits. *9th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production*, 1<sup>er</sup>-6 août 2010, Leipzig, Allemagne, ID 262, 4 p.

Castellini C., Scuota S., Cenci T., Lattaioli P., 1994. La myxomatose : implications possibles sur la pratique de l'insémination artificielle. *6<sup>e</sup> journées de la recherche cunicole*, 6-7 décembre, Inra-Itavi, La Rochelle, vol. 1, 9-16, Itavi éd., Paris.

Castellini C., 2008. Semen production and management of rabbit bucks. *9th World Rabbit Congress*, 10-13 juin 2008, Verona, Italy, 265-277.

Chesné P., Adenot P.G., Viglietta C., Baratte M., Boulanger L., Renard J.P., 2002. Cloned rabbits produced by nuclear transfer from adult somatic cells. *Nature Biotechnology*, 20, 366-369.

- Foxcroft G.R., Hasnain H., 1973. Effect of suckling and time to mating after parturition on reproduction in domestic rabbits. *Journal of Reproduction and Fertility*, 33, 367-377.
- Joly T., Rochambeau H. de, Renard J.P., 1998. Établissement d'une cryobanque d'embryons pour la conservation *ex situ* de la diversité génétique chez le lapin : aspects pratiques. *Genetics Selection Evolution*, 30, 259-269.
- Ouhayoun J., 1989. La composition corporelle du lapin. *Inra Productions Animales*, 2, 215-226.
- Palmiter R.D., Brinster R.L., 1982. Dramatic growth of mice that develop from eggs microinjected with metallothionein-growth hormone fusion genes. *Nature*, 300, 611-615.
- Piles M., Tusell L., Lavara R., Baselga M., 2013. Breeding programmes to improve male reproductive performance and efficiency of insemination dose production in paternal lines: feasibility and limitations. *World Rabbit Science*, 21, 61-75.
- Rommers J.M., Kemp O., Meijerhof R., Noordhuizen J.P.T.M., 1999. Rearing management of rabbit does: a review. *World Rabbit Science*, 7, 125-138.
- Rommers J.M., Meijerhof R., Noordhuizen J.P.T.M., Kemp B., 2010. 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 Science*, 9, 101-108.
- Salveti P., 2006. Production d'embryons et cryoconservation des ovocytes chez la lapine : application à la gestion des ressources génétiques, thèse de doctorat, Université Claude Bernard, Lyon, 178 p.
- Smith A.U., Polge C., 1950. Survival of spermatozoa at low temperatures. *Nature*, 166, 668-669.
- Theau-Clément M., Boiti C., Mercier P., Falières J., 2000. Description of the ovarian status and fertilising ability of primiparous rabbit does at different lactation stage. *Proceedings of the 7th World Rabbit Congress*, Valencia, Spain, vol. A, 259-266.
- Theau-Clément M., Delhomme G., Valteau C., Rideaud P., Falières J., Mercier P., 2003. Influence du nombre de spermatozoïdes inséminés sur les performances de reproduction des lapines en fonction de leur état physiologique. *10<sup>e</sup> journées de la recherche cunicole*, 19-20 novembre 2003, Inra-Itavi, Paris, 73-76, Itavi éd., Paris.
- Theau-Clément M., Maertens L., Castellini C., Besenfelder U., Boiti C., 2005. Recommendations and guidelines for applied reproduction trials with rabbit does. *World Rabbit Science*, 13 (3), 147-164.
- Theau-Clément M., 2008. Facteurs de réussite de l'insémination chez la lapine et méthodes d'induction de l'œstrus. *Inra Productions Animales*, 21 (3), 221-230.
- Theau-Clément M., Falières J., 2005. Évaluation de la concentration de semence de lapins selon deux méthodes : hématimètre et nucleocounter SP 100. *11<sup>e</sup> journées de la recherche cunicole*, 29-30 novembre 2005, Inra-Itavi, Paris, 95-98, Itavi éd., Paris.



# 4

## Habitat et comportement

---

Gérard Coureaud, Heiko G. Rödel, Bernadette Le Normand,  
Laurence Fortun-Lamothe, Laure Bignon

Le lapin est une espèce territoriale qui s'organise en groupes sociaux avec un mode de hiérarchie linéaire (un animal en domine un autre qui lui-même domine un troisième individu et ainsi de suite). En milieu naturel, l'espèce fait face à une forte prédation. Au-delà d'adaptations physiologiques évoquées dans les autres chapitres de cet ouvrage, des comportements adaptés permettent aux individus de se développer et de vivre efficacement au sein de l'environnement, d'exprimer leur socialité et de suivre des stratégies reproductives originales utiles à la pérennité de l'espèce, en dépit de la prédation. Par ailleurs, si la domestication et l'élevage ont conduit à limiter les interactions sociales et à faire évoluer certains comportements, d'autres sont demeurés invariants chez le lapin domestique par rapport au lapin sauvage. C'est notamment vrai dans le cas de la relation mère-jeunes et du comportement du lapereau, abordés dans les pages qui suivent.

Nous avertissons le lecteur que, en tant que tels, les comportements reproducteur et alimentaire des lapins adultes ne sont pas décrits ici mais dans les chapitres consacrés à ces thématiques.

### Habitat naturel et hébergement en élevage

#### En nature

##### *Lieu de vie et territorialité*

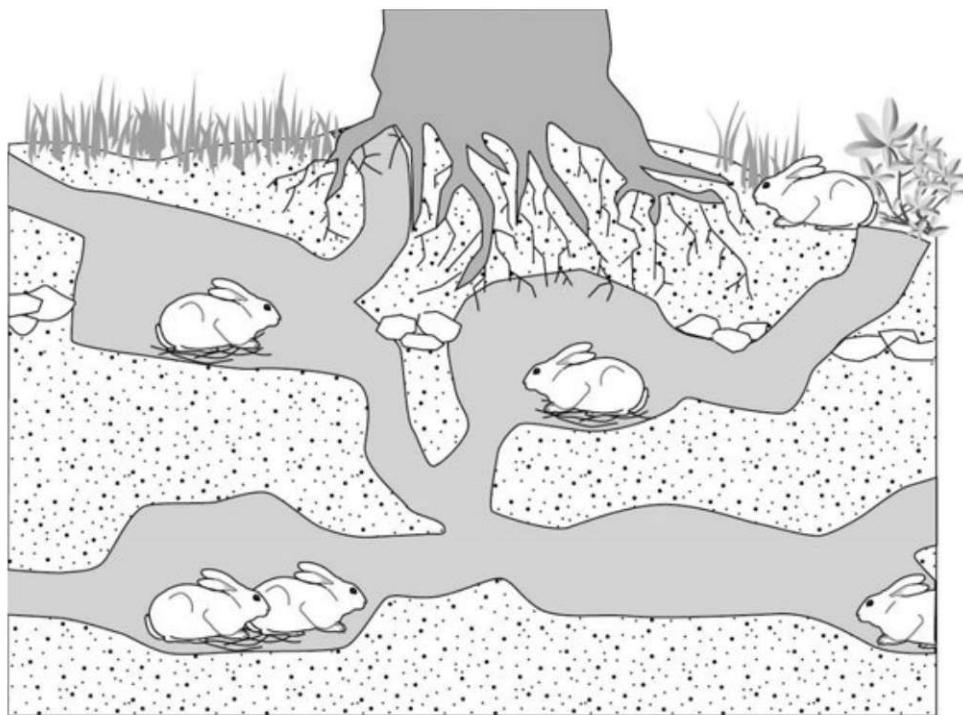
Le lapin apprécie tout type de biotope comme les forêts épaisses, les immenses prairies, les dunes de sable en bord de plage, les garrigues, les clairières, les bosquets... Sa présence est même retrouvée jusqu'à 1 500 m d'altitude. Le lapin s'adapte très bien au monde dit moderne créé par l'Homme et il n'est pas rare de voir des terriers dans les parcs botaniques au cœur des villes ou dans les aéroports. En revanche, le lapin n'apprécie pas les milieux trop humides.

Le domaine vital d'un lapin sauvage varie de 0,4 à 4 ha ; le territoire d'un groupe représente quant à lui 9 à 10 ha. Toutefois, le lapin s'éloigne rarement à plus de

600 m de son terrier. Les lapins, très sédentaires, défendent leur terrier contre d'autres lapins intrus (et occasionnellement, en période de maternage, contre de petits prédateurs). Les animaux délimitent leurs terriers par différentes formes de marquage résultant de dépôts d'urine, de crottes des mâles dominants et/ou de sécrétions des glandes mentonnières. Pour un humain, la présence de lapins se détecte principalement à la présence d'amas de crottes, au grattage de la terre aux limites du territoire et à la maigre végétation (voir p. 114-116).

Le lapin creuse son terrier de préférence sur un talus à l'abri de l'humidité. L'ouverture mesure entre 10 et 50 cm. Il l'utilise essentiellement pour se reproduire, se reposer, se protéger des mauvaises conditions climatiques et s'isoler des prédateurs. Le terrier d'un individu peut être relié à celui de plusieurs autres congénères et le réseau de galeries ainsi formé s'appelle une garenne, d'où le nom donné à l'espèce vivant en milieu naturel de « lapin de garenne » (figure 4.1). La garenne désigne aussi l'espace boisé ou herbeux, potentiellement clôturé (voir chapitre 1), où vivent des lapins sauvages. Habituellement, les lapins vivent en groupes sociaux de deux à dix adultes. Ces groupes sont plus petits et la structure de la garenne plus simple dans les environnements urbains et périurbains que dans les environnements ruraux. Le nombre d'entrées de la garenne est également plus faible en zone urbaine, probablement en lien avec une plus faible pression de prédation. Dans de bonnes conditions, notamment d'abondance alimentaire, ou si la densité de population est forte, les lapins peuvent se rassembler en colonies constituées de plusieurs groupes sociaux, jusqu'à une centaine d'individus.

Lorsque la lapine est gestante, elle élabore un nid souterrain au sein d'un terrier individualisé ou, dans certains cas, à l'intérieur même de la garenne (voir p. 118).



**Figure 4.1.** Dessin illustrant une garenne de lapins.

### Exemples d'expressions comportementales en lien avec l'habitat

Le lapin présente différents modes de locomotion. Le bond est le moyen de déplacement le plus fréquent. L'ampleur des bonds varie selon la vitesse de déplacement de l'animal : de 0,6 m pour un déplacement à 7 km/h à 1,5 m pour un déplacement à 29 km/h. Les lapins peuvent également effectuer des sauts atteignant jusqu'à 1 m de hauteur. Le pas est quant à lui une allure de transition chez l'adulte, adoptée pour brouter en prairie. Les pas mesurent de 5 à 8 cm.

L'exploration de l'environnement par le lapin débute généralement par le flai-rage. Le cou est tendu, le corps est étiré, les oreilles sont dressées et dirigées vers l'avant. Lorsque le lapin est distrait par une source sonore ou visuelle, il présente une réaction d'alarme : il se redresse pour mieux la détecter en combinant l'utilisation de l'ouïe et de la vue. Son train postérieur reste au sol et le reste de son corps est vertical, oreilles dressées (position « en chandelier »). Lorsque l'animal est apeuré, il exprime le comportement de *stamping* ou *thumping* : il frappe le sol avec ses deux pattes arrière, simultanément ou successivement. Ce comportement est suivi directement par la fuite de l'animal et déclenche immédiatement, chez tous les congénères avoisinants, une réaction d'alarme. En cas de douleur ou de peur, il émet des cris très aigus en plusieurs vagues successives relativement longues.

Le lapin se repose par périodes au cours d'un nycthémère, pour une durée totale de 12 à 18 heures. Deux phases de sommeil sont distinguées : le sommeil calme et le sommeil actif (ou paradoxal). Pendant les épisodes de sommeil calme, le lapin peut être en position ramassée sur ses quatre pattes ou plus étirée, sur le ventre ou couché sur le côté (figure 4.2, planche 3). Cette dernière position est également adoptée par l'animal en sommeil actif ou pour réguler sa température corporelle en cas de fortes chaleurs. Il dresse alors ses oreilles, très irriguées, qui constituent des surfaces d'échanges thermiques importantes. S'ils en ont l'occasion, les lapins, particulièrement les jeunes, se couchent en contact les uns avec les autres. Ce comportement n'est pas observé entre mâles adultes.

#### Encadré 4.1. Perturbations comportementales liées à l'hébergement en élevage.

Certaines activités réalisables par l'animal en nature ne le sont pas, ou pas de la même façon, en élevage. Il les modifie, les redirige, et/ou en exprime d'autres. On parle alors parfois d'activités anormales ou de stéréotypies liées à un environnement monotone.

Par exemple, le lapin mâchonne son aliment granulé mais ne le ronge pas. L'acte de ronger, besoin naturel lié à la croissance continue des incisives (voir chapitre 1), est effectué par le frottement des dents les unes contre les autres, et peut également être en partie dirigé vers le grillage de la cage. Il faut donc que le matériel d'élevage puisse résister à ce comportement. On estime à environ 50 minutes le temps consacré par le lapin à se toiletter en conditions naturelles. Ce temps est en moyenne supérieur à 3 heures en élevage, ce qui constitue sans doute une compensation liée au peu de temps passé à chercher de la nourriture et à manger. Offrir la possibilité aux lapins de se redresser en élevage est une consigne importante aujourd'hui, eu égard au bien-être. Cependant, dans un élevage rationnel, si ce comportement s'exprime trop fréquemment, il reflète un état de stress. Il revient alors à l'éleveur d'identifier le facteur de stress impliqué (bruit anormal, problème d'alimentation, nuisibles dans le bâtiment, etc.) et de l'éliminer.

En termes de comportement alimentaire (voir chapitre 5), le lapin coupe les éléments arrachables (de type herbe par exemple) avec ses incisives puis les mâchonne. Pour les aliments plus gros, il les ronge avec ses incisives sans préhension par les membres antérieurs.

L'ajustement des conditions d'élevage aux comportements des lapins, ainsi que les problèmes rencontrés sont évoqués dans les encadrés 4.1 et 4.2.

#### Encadré 4.2. Application au logement des mâles.

Le lapin mâle consacre une partie de son temps à délimiter et marquer son territoire, soit par frottement de ses glandes mentonnières sur les objets rencontrés, soit par envoi de jets d'urine. Cette territorialité implique que tout changement d'habitat crée une perturbation pour le lapin mâle : ainsi, il convient d'éviter de le changer de cage, y compris pour la saillie. Dans ce cas, la lapine est apportée dans la cage du mâle, ou la semence du mâle est prélevée, dans cette même cage, en vue d'inséminations artificielles. Du fait de ce comportement de territorialité, lorsqu'ils sont hébergés dans des cages à parois ajourées, il arrive que les mâles urinent dans les cages et mangeoires de leurs voisins. De plus, lors de périodes de forte perte de poils, il est conseillé d'augmenter la fréquence de nettoyage des fonds de cages des mâles pour éviter que des pyodermites et des pododermatites n'apparaissent (l'urine, mal évacuée à cause des poils qui forment une couche sur le sol, macère au contact de la peau).

#### En conditions d'élevages professionnels (France et Union européenne)

Historiquement, les lapins étaient élevés en garenne close : espace semi-naturel clos par des murailles voire des fossés d'eau. Au XIX<sup>e</sup> siècle, l'élevage en clapier s'est généralisé puis a fait place, dans les années 1960, à un élevage en cage grillagée. Ce mode d'élevage est actuellement le plus représenté.

#### *Logements des lapins en cuniculture professionnelle*

Les lapins sont élevés en très grande majorité dans des logements clos plus ou moins grillagés. L'hygiène du logement est fortement améliorée si le plancher est ajouré pour permettre l'évacuation rapide des déjections : baisse des risques de maladies digestives et respiratoires. Ces logements sont généralement abrités dans des bâtiments dans lesquels la température est maintenue, si possible, entre 10 et 25 °C, l'optimum se situant entre 15 et 21 °C. Les lapins sont très sensibles à la qualité de l'air et doivent être maintenus dans une atmosphère saine avec peu d'ammoniac (< 50 ppm). Dans le cas contraire (air pollué par de l'ammoniac), les lapins respirent plus lentement et plus profondément, et n'évacuent pas correctement le CO<sub>2</sub> sanguin ; cela peut également engendrer des lésions de la muqueuse respiratoire. L'hygiène des salles d'élevage peut être améliorée par diverses pratiques, telles que la conduite des animaux en bande unique, en tout plein-tout vide (voir chapitre 3), avec un nettoyage approfondi entre chaque bande.

La taille des cages et les matériaux utilisés ont fait l'objet de diverses études, pour aboutir, en Europe, à des modèles avec parois et planchers grillagés, ce qui facilite leur nettoyage. Pour des raisons économiques, les cages utilisées ont longtemps été assez petites (60-65 cm de profondeur sans le nid, 38-48 cm de large et 30-35 cm de haut pour une surface de 2 400 à 3 120 cm<sup>2</sup>). Toutefois, ce mode d'hébergement est aujourd'hui remis en cause pour des questions de bien-être animal. Le type de



sol et les dimensions des logements font l'objet de réflexions destinées à favoriser l'expression des postures redressées et des comportements locomoteurs décrits plus haut (bonds), sans risque de souffrance. À partir de 2017, la réglementation européenne relative à la protection des animaux utilisés à des fins de recherche imposera, pour élever des lapins dans un but de recherches et d'expérimentations, des nouvelles normes de logement : utilisation de cages de surface comprise entre 3 500 cm<sup>2</sup> (45 cm de haut) pour un ou deux lapins de plus de 10 semaines et de moins de 3 kg, et 5 400 cm<sup>2</sup> (60 cm de haut) pour un ou deux lapins de plus de 5 kg. Pour chaque lapin supplémentaire, une surface additionnelle de 3 000 cm<sup>2</sup> sera requise, jusqu'à six lapins inclus, et 2 500 cm<sup>2</sup> au-delà. Pour les lapines allaitantes avec portée, les mêmes dimensions seront requises avec un espace supplémentaire de 1 000 à 1 400 cm<sup>2</sup> pour la boîte-à-nid, en fonction du poids de la lapine. D'autres dimensions sont établies pour des lapins plus jeunes. Aucune obligation ne s'applique à ce jour pour les lapins détenus à des fins d'élevage, mais la filière cunicole européenne réfléchit à un changement de modèle (voir encadré 4.3).

#### Encadré 4.3. Chiffres clés pour le logement des lapins en élevage.

Diverses recommandations en termes de dimensions de cages d'hébergement ont été proposées (EFSA-AHAW Panel, 2005) et le principe de la nécessité d'un aménagement fonctionnel de l'espace a été entériné. Pour les cages mixtes maternité/post-sevrage, les dimensions minimales suivantes peuvent être retenues : 38 cm de large, 75 cm de profondeur (nid inclus) et 50 cm de hauteur. Cette hauteur doit être assurée sur au moins 950 cm<sup>2</sup>. Si une plate-forme est ajoutée, elle doit être située à au moins 25 cm du plancher et mesurer au moins 20 cm sur son plus petit côté, pour une surface minimale de 900 cm<sup>2</sup>. Par ailleurs, la densité dans tout système de logement ne doit jamais dépasser 40 kg/m<sup>2</sup>. Ces dimensions sont différentes de celles présentées dans le texte pour les élevages expérimentaux.

En ventilation dynamique, afin d'assurer un renouvellement d'air suffisant, le débit minimum de ventilation conseillé est de 1 m<sup>3</sup>/kg PV/h. Un taux d'ammoniac inférieur à 10 ppm est recommandé.

#### Points de vigilance liés au logement en cage

##### *Type de sols/planchers*

Pour pallier aux problèmes d'inconfort et de lésions potentielles générés par le recours au plancher grillagé des cages, la possibilité d'utiliser une litière a été envisagée. De nombreux travaux ont cependant montré que pareille utilisation induisait des risques sanitaires importants. De plus, des tests de préférence entre zone grillagée et zone de litière paillée ont montré que les lapins en croissance (après sevrage) passaient plus de 80 % de leur temps sur la zone grillagée. Les animaux ne fréquentent réellement la litière qu'après les périodes de rajout durant lesquelles ils peuvent aussi jouer avec les brins de paille et, sans doute, les utiliser comme substrat pour des activités orales. Ainsi, l'utilisation d'une litière paillée ne semble pas être une voie d'amélioration du bien-être. Des sols alternatifs en matière plastique ont également été étudiés (type « caillebotis ») et sont parfois utilisés en élevage. Ils semblent préférés par les animaux et leur assurent une plus grande intégrité physique. Toutefois, si certains sont prometteurs, leur coût et leur nettoyage plus difficile (le rongement de la surface plastique entraîne une plus grande adhésion

de la matière organique) rendent leur usage encore peu fréquent. Ils se rencontrent parfois dans des logements alternatifs, type parcs. Pour les lapins adultes, la question des blessures liées au plancher grillagé est souvent résolue par l'emploi de grilles plastifiées amovibles recouvrant partiellement la zone de grillage *sensu stricto* et appelées communément « repose-pattes ».

### *Espace disponible*

Il doit être adapté à la possibilité pour l'animal d'exprimer un comportement locomoteur « normal » et de se développer morphologiquement sans contrainte. Pour les animaux élevés collectivement, la surface disponible par animal est bien sûr fonction du nombre d'individus constituant le groupe et de la surface totale du logement. En ce qui concerne les performances reproductrices des femelles, peu de données existent quant aux liens entre dimension des cages et performances de reproduction, et les résultats sont parfois contradictoires. Cependant, une trop grande exigüité (surface et hauteur) pourrait être à l'origine de déformations de la colonne vertébrale chez les animaux adultes.

Concernant le comportement des lapines, la posture couchée étirée (figure 4.2, planche 3) est plus souvent observée chez celles logées dans les cages ayant un côté suffisamment long (> 60 cm). Ainsi, au-delà de la surface, les dimensions de la cage (longueur, largeur, hauteur) influencent les postures adoptées. Dans le cas de lapines allaitantes, une augmentation excessive de la surface disponible tendrait à diminuer la fréquence d'expression de l'allaitement quotidien.

### *Structuration de l'espace*

Les femelles allaitantes doivent disposer d'une zone d'échappement/repos pour s'isoler des lapereaux lorsqu'ils sont en âge de sortir du nid. Cette zone permet plus généralement, aux jeunes comme aux animaux adultes, quel que soit leur sexe, de diversifier leurs comportements locomoteurs. Différents systèmes ont ainsi été proposés à des lapines avec leur portée : plate-forme, tunnel, compartiment séparé, boîte, etc. L'intérieur de boîtes et les tunnels semblent toutefois moins utilisés qu'une plate-forme ou le toit d'une boîte mise à disposition dans la cage. Les lapines peuvent passer jusqu'à 50 % de leur temps sur ces aménagements. L'attrait pour la plate-forme est réel chez les femelles allaitantes, et le temps passé sur celle-ci augmente entre la seconde et la quatrième semaine de lactation, de façon indépendante de la surface de la cage (de 20 % à 35 % ; Mirabito *et al.*, 1999), c'est-à-dire lorsque les lapereaux sont plus mobiles et qu'ils sortent du nid. Ces aménagements de cages permettent également de réduire la fréquence et le temps consacré au toilettage des jeunes et le mordillage des cages en maternité. La plate-forme est également bien utilisée par les animaux en croissance (après sevrage). Outre la diversification de locomotion permise, les fréquences de mordillage du grillage et de la toilette sont diminuées en cages ainsi aménagées (figure 4.3, planche 3).

Sur le plan sanitaire et zootechnique, malgré des animaux dont la robe est un peu plus sale (traces possibles d'urine ou de défécations), ce système de cages à plate-forme ne semble pas avoir de conséquences négatives sur les performances des femelles en production.

### *Enrichissement du milieu*

L'utilisation de paille ou d'autres substrats, tels que du bois, du foin ou des aliments compactés pour des activités orales, fait débat. La plupart des études réalisées sur des lapins en croissance et sous alimentation restreinte montre l'attention prolongée qu'ils accordent (pendant quarante jours) à ces enrichissements, notamment car ils favorisent le mâchonnement. Tous les matériaux testés n'exercent cependant pas le même attrait. Ainsi, les lapins restreints expriment une nette préférence pour les fourrages comestibles. La diversification des activités orales est alors favorisée et les comportements de toilette excessive et de mordillement du grillage diminués. Un enrichissement avec des blocs de fourrage aurait un effet positif sur le poids du lapin sevré et rationné, qui pourrait résulter de la forte consommation de ce substrat. En alimentation *ad libitum*, la croissance et la consommation sont peu affectées par les enrichissements, et la mortalité parfois même augmentée. L'ajout d'un bloc suspendu constitué de 10 % de fibres de bois additionné de pulpe de chicorée comme source de fibres semble favoriser le bien-être des lapines : même si la baisse du comportement de mordillement de la cage est parfois modeste, une augmentation de la locomotion et de l'ingestion des lapines est observée ainsi qu'une diminution de l'inspection des boîtes-à-nid.

### *Modes de logement alternatif existant et en développement*

Comme déjà évoqué, le lapin en milieu naturel vit en groupes sociaux hiérarchisés. C'est pourquoi, en Europe, différentes études cherchent à évaluer le bénéfice possible de conditions d'élevage évitant l'isolement de l'animal.

Ainsi, le logement de lapins en croissance dans des parcs grillagés (de 2 à 4 m<sup>2</sup>) avec ou sans mezzanine connaît aujourd'hui un développement commercial, d'autant que les performances ne sont que légèrement inférieures (GMQ : -5 %) à celles obtenues en cages classiques. La taille maximale des groupes (30-40 animaux) et l'enrichissement (« balcon », matériaux à ronger, etc.) conditionnent la réussite. Ces systèmes, de dimensions plus grandes que les cages traditionnelles, permettent de diversifier les comportements locomoteurs des lapins de chair. Par ailleurs, ils permettent aussi aux jeunes lapins d'exprimer leurs comportements sociaux (voir p. 114).

Concernant le cas singulier des lapines reproductrices, l'élevage en groupes a été testé aux Pays-Bas et en Belgique avec l'idée de loger les femelles gestantes et allaitantes dans des installations permettant successivement les soins maternels individuels et en groupe, et l'optimisation du bien-être des jeunes. Différents types de logement collectif temporaire ont été expérimentés permettant le passage entre cages contiguës, hormis autour de la période de mise-bas, donc l'expression de comportements sociaux (voir p. 114). Si les résultats techniques ont été sensiblement améliorés par rapport au logement collectif permanent, ils sont encore inférieurs à ceux obtenus en cages individuelles classiques, et les agressions entre lapines restent un problème majeur. Une solution proposée par Maertens *et al.* (2011) est un module de quatre cages contiguës (5 000 cm<sup>2</sup> chacune) pour une dimension totale du parc de 2 m<sup>2</sup>. Les mises-bas s'effectuent dans les cages bien séparées puis, au cours de l'allaitement (une fois la ré-insémination des femelles effectuée), les

cloisons de séparation sont retirées, transformant le bloc de quatre cages en un parc dans lequel les lapereaux resteront jusqu'à l'âge d'abattage. Les mères sont retirées du parc au sevrage et logées dans un autre module préalablement nettoyé, en vue d'y effectuer la mise-bas suivante.

Le logement en groupe au sol est la technique prônée en Suisse. La période de reproduction se déroule en groupes de 6 à 8 lapines disposant d'environ 1,6 m<sup>2</sup> chacune. Après le sevrage, des groupes de 20-25 lapins disposant chacun de 1 500 à 2 500 cm<sup>2</sup> sont constitués pour la phase de croissance. Ces grands parcs au sol permettent aux lapins d'exprimer leurs activités orales comme locomotrices. Cependant, de nombreuses complications liées à l'agressivité apparaissent avec cette technique et, d'une façon générale, les taux de gestation sont médiocres (50-75 %), un tiers des lapines ont des blessures, et il y a des problèmes de santé et d'hygiène.

## Socialité

### En nature

#### *Composition du groupe et comportement social positif*

Le lapin européen est organisé en groupes sociaux de taille et de composition variables. Un groupe social peut être défini comme un groupe d'animaux de la même espèce (congénères) partageant un même espace de vie et présentant des interactions sociales positives entre eux. Ces conditions sont toutes deux remplies par le lapin de garenne : les animaux appartenant à un même groupe, au territoire défini, partagent typiquement certaines activités quotidiennes. Habituellement, les groupes sont constitués de 1 à 5 mâles et de 1 à 8 femelles adultes, ainsi que d'un nombre variable de jeunes de différents âges pendant la saison de reproduction. La composition et la taille du groupe peuvent être très affectées par des paramètres de population tels que la densité, la structure des âges et les caractéristiques du milieu de vie (par exemple la nature du sol peut affecter la structure et la distribution des terriers ; Cowan, 1987).

Les comportements sociaux positifs (affiliatifs) entre membres d'un groupe, en particulier entre jeunes, mère et jeunes, femelles et mâles adultes, et femelles adultes entre elles, sont fréquents (Rödel et Starkloff, 2014). Les affiliations positives chez le lapin consistent généralement en deux animaux, ou plus, restant très proches l'un de l'autre pendant qu'ils se nourrissent ou qu'ils se reposent. D'autres comportements affiliatifs, comme le léchage et la toilette effectués entre individus d'un même groupe, sont rarement observables en nature, et n'interviennent qu'entre la mère et ses jeunes, ou entre le mâle et la femelle d'un couple qui ont un lien social établi de longue date. Les comportements sociaux positifs entre mâles adultes sont presque inexistantes.

#### *Comportement territorial*

Le territoire d'un groupe de lapins est exclusif et défendu, principalement par le mâle dominant qui s'oppose aux tentatives d'intrusions d'autres mâles adultes



non familiers. Les femelles adultes (surtout les dominantes) peuvent également défendre les limites du territoire contre des femelles voisines. Le comportement territorial peut dégénérer en combats impliquant des poursuites et des morsures aux limites du territoire, en particulier entre mâles dominants. Une fois que les positions des frontières sont établies, les comportements sont ritualisés et consistent généralement en des marches parallèles ou des courses entre deux opposants le long de ces frontières, ainsi qu'en des séquences ritualisées et brèves de creusement superficiel de la terre visant à laisser une empreinte visible (*paw scraping*). Mâles et femelles marquent par ailleurs certains objets de l'environnement en frottant contre ceux-ci leur menton afin d'y déposer les sécrétions odorantes de leur glande sous-mentonnaire. Des amas de crottes dures, enrobées de sécrétions olfactives produites par la glande anale, servent également à marquer les limites du territoire.

### *Comportement agressif et hiérarchie sociale*

Les groupes sociaux sont caractérisés par une hiérarchie linéaire entre animaux adultes, dépendante du genre. Cette hiérarchie de dominance est établie principalement en début de saison de reproduction (début du printemps) par l'expression de comportements agressifs entre adultes de même sexe (Myers et Poole, 1961). Les comportements les plus typiques sont des poursuites sur de plus ou moins longues distances avec tentatives de morsures, ou des combats sévères constitués de sauts, morsures, coups et griffures portés avec les pattes arrière. Les combats entre mâles sont plus fréquents mais des agressions entre femelles peuvent également apparaître et conduire à de graves blessures. Les combats sont particulièrement prononcés quand les structures du groupe changent (printemps), surtout si de nombreux nouveaux jeunes adultes sont intégrés à la population. C'est le cas lorsque l'hiver a été doux et qu'il a permis à de nombreux jeunes de survivre jusqu'à leur maturité sexuelle. Une fois établies, les hiérarchies restent plutôt stables jusqu'au terme de la période de reproduction, et sont maintenues par des agressions ritualisées, telles que des déplacements synchrones et rapprochés de femelles ou de courts épisodes de poursuites, principalement entre mâles. La structure générale de la hiérarchie peut même être maintenue pendant plusieurs années consécutives au sein d'un groupe donné, en particulier du côté des femelles chez qui le rang social est lié à l'âge. Ainsi, les jeunes femelles (de 1 an) occupent fréquemment les rangs les plus bas quand elles intègrent le groupe au début du printemps, et elles gagnent en rang social quand les plus vieilles meurent (Rödel *et al.*, 2004).

La hiérarchie de rang chez le lapin permet de ritualiser les agressions et la compétition au sein des genres pour accéder aux ressources reproductives. Les mâles sont ainsi principalement en concurrence pour l'accès aux partenaires d'accouplement. Le mâle dominant a la priorité pour accéder aux femelles du groupe et peut ainsi engendrer presque toute la descendance de ce dernier, du moins lorsque le groupe présente une faible densité. Les femelles, quant à elles, sont principalement en concurrence pour l'accès à une rabouillère (terrier individuel) de bonne qualité pour mettre bas ou à un site avantageux pour la construire. Les femelles dominantes mettent souvent bas (mais pas exclusivement) dans la garenne, donc

dans le réseau de galeries principales situé au centre du territoire, connue pour fournir des conditions de survie particulièrement favorables à la descendance. Les femelles dominées, elles, creusent le plus souvent de petites rabouillères individualisées en périphérie de la garenne. En général, pour une femelle, atteindre un haut rang social apporte de multiples bénéfices. Ainsi, les femelles qui atteignent une position sociale élevée peu de temps après être devenues adultes montrent tout au long de leur vie un succès reproductif plus élevé que les autres femelles et ont une espérance de vie plus longue (von Holst *et al.*, 2002).

### *Comportement de cour et accouplement*

Chez le lapin sauvage comme domestique (si on lui en laisse l'opportunité), le mâle exprime un comportement typique de cour à l'égard des femelles en œstrus, qui se décompose en l'expression de déplacements en cercles effectués autour, et de sauts effectués au-dessus d'elles, souvent réalisés en aspergeant simultanément les femelles d'urine. Les femelles disposées à l'accouplement approchent également activement le mâle et expriment même parfois des tentatives de monte. Les mâles, en particulier les dominants, surveillent pendant la période d'œstrus la ou les femelles choisies afin d'éviter qu'elles ne copulent avec les autres mâles (Myers et Poole, 1961). En effet, les femelles de faible rang qui sont en œstrus, mais ne sont pas suivies par un mâle dominant, font parfois l'objet de cour de la part de plusieurs jeunes mâles. De rares cas d'agressions intersexuelles de mâles par des femelles sont observés quand de jeunes mâles cherchent à se reproduire avec des femelles âgées en dehors de leur période d'œstrus (H.G. Rödel, observations personnelles).

### *En conditions d'élevage*

#### *Cas des femelles reproductrices*

En élevage, la femelle est seule, sauf lorsque ses jeunes sont présents. Ce mode de logement peut conduire à une forme d'ennui et à l'isolement social. Le contact visuel et/ou olfactif entre individus à travers le grillage des cages peut permettre de pallier en partie ces inconvénients. Certaines études ont évalué ce qu'il en était en situation d'hébergement collectif, par exemple avec un mâle et quatre ou cinq femelles plus des structures d'enrichissement (abris, plate-forme, etc.). Les animaux passent alors 50 % de leur temps en contact et, parmi les femelles, une hiérarchie linéaire s'observe, le mâle étant un élément modérateur des interactions entre femelles. De même, dans des logements collectifs par quatre, les femelles passent 30 % de leur temps en cohésion contre seulement 0,8 % dans les logements par paire, avec, dans le cas des paires, une situation souvent rencontrée de « dominance » d'un animal par rapport à l'autre pouvant mener à une exclusion mutuelle. Quoi qu'il en soit, ces logements collectifs pour lapines adultes ne permettent pas de respecter pleinement leur bien-être puisque de fréquents problèmes d'agressivité et de blessures donnent lieu à des réformes de femelles ; une diminution des taux de mise-bas ainsi qu'une augmentation de la mortalité au nid sont par ailleurs souvent observées dans ces conditions. L'augmentation de la morta-

lité au nid est en partie liée au fait que les femelles tendent à mettre bas dans un nid déjà occupé, après avoir tué les lapereaux initialement présents de la femelle « concurrente ». Ce phénomène est aggravé par l'homogénéité en âge des femelles placées en logement en groupe, la hiérarchie s'établissant plus difficilement. Par ailleurs, lorsqu'une hiérarchie parvient à s'établir, les femelles de rang inférieur, plus stressées, ont des performances de reproduction moindres.

### *Cas des animaux futurs reproducteurs*

Après le sevrage, les animaux futurs reproducteurs sont le plus souvent sexés et élevés en petits groupes de 2 à 8 individus jusqu'à l'âge de 11 à 14 semaines. Ensuite, l'isolement est rendu nécessaire par le comportement des animaux entre eux : l'installation de la maturité sexuelle entraîne l'agressivité de certains animaux, et la hiérarchie sociale dans l'accès à l'aliment induit des différences de développement corporel importantes. Enfin, le comportement de chevauchement entre femelles peut parfois induire des ovulations et des pseudogestations (voir encadré 2.10).

### *Cas des lapins en croissance*

Immédiatement après le sevrage, les lapins sont classiquement logés en cages collectives (voire en parcs). Le logement individuel est en effet trop stressant à ce stade (les animaux en cage individuelle présentent une immobilité tonique – induite en les plaçant sur le dos dans une structure support – bien plus importante que ceux élevés en groupe, ce qui reflète leur mal-être et leur peur). Des tests comportementaux en *open field* (environnement expérimental restreint et non familier) montrent que les lapins élevés en groupe sont par ailleurs plus téméraires que ceux élevés seuls ou par paire. La densité optimale sur grillage est de 16 lapins/m<sup>2</sup>, ou 40-45 kg/m<sup>2</sup> (la composante « poids » a un impact plus important que la composante effectif), et la taille de groupe optimale de 4-5 individus (9-10 au maximum). Séparer les animaux de sexe différent est préjudiciable car cela accroît l'agressivité et les blessures, surtout dans les groupes de mâles. À l'inverse, mélanger mâles et femelles abaisse l'agressivité et permet même, avec des animaux non familiers, d'atteindre des résultats aussi favorables que dans le cas de lapins tous originaires de mêmes portées. Cette dernière solution, l'élevage par portée, est cependant recommandée pour limiter les risques de contagion en cas de maladie au sein d'une portée.

### *Relations avec l'Homme*

Le lapin, en tant que proie naturelle, est très farouche et réagit spontanément face à l'Homme comme face à d'autres prédateurs. La domestication a néanmoins conduit à atténuer la tendance à la fuite. Par ailleurs, certaines pratiques d'élevage peuvent réduire le stress et la peur (voir encadré 4.4). Par exemple, la manipulation répétée (pesée, sexage) des lapereaux avant sevrage, entre 17 et 20 jours puis entre 28 et 31 jours, limite la mortalité des lapins en croissance par rapport à une manipulation unique effectuée entre 28 et 31 jours (3,5 % *vs* 6,2 %, respectivement ; Duperray et Adelis, 1991).

#### Encadré 4.4. Comment limiter le stress des lapins en élevage.

Une technique classiquement utilisée consiste à manipuler les lapins de façon précoce. Ceci peut s'effectuer lors de l'équilibrage des portées, pratique réalisée au moment des adoptions croisées dans les 48 heures qui suivent les naissances, et peut ensuite se répéter entre 10 et 20 jours postnatals, lors des pesées par exemple. Les éleveurs s'assurent ainsi de la facilité de manipulation ultérieure des animaux. De plus, la manipulation favorise les performances zootechniques (moindre mortalité, gain de poids). Il est néanmoins déconseillé de manipuler trop fréquemment les lapins nouveau-nés : ils sont en effet physiologiquement très sensibles aux maladies et les manipulations humaines de nid à nid peuvent avoir des répercussions délétères par transmission manuportée de germes.

Les lapins réagissent aux visites humaines ; la voix, la démarche et le bruit des pas provoquent des réactions traduisant l'alerte et le dérangement : tape des pattes arrière, miction en direction du visiteur, fuite, etc. Le fait de se signaler avant d'entrer dans la salle d'élevage atténue le stress ressenti par les animaux. Cela peut se faire de façon simple en frappant à la porte, en parlant, en sifflant... La plupart des éleveurs adoptent des comportements répétitifs ritualisés auxquels les animaux sont habitués et auxquels le visiteur ponctuel doit se conformer : mise en marche de la radio ou phrases identiques pour prévenir de l'arrivée, visite de l'élevage selon un parcours et durant une plage horaire toujours identiques, etc. Aux Pays-Bas, une lumière de faible puissance est ajoutée afin de réveiller les animaux en douceur avant l'allumage des néons.

## Comportement maternel et relations mère-jeunes

### Nid et parturition

Chez les mammifères, espèces nidicoles et nidifuges sont classiquement distinguées. Cette dénomination repose sur le niveau de maturité sensori-motrice du ou des jeunes à la naissance, et sur la nécessité ou non d'un nid. Le nid permet aux nouveau-nés d'y prolonger leur développement jusqu'à ce qu'ils aient acquis des compétences suffisantes pour quitter cet environnement confiné et affronter les conditions extérieures, changeantes. Les espèces nidicoles (rongeurs par exemple) construisent un nid dans lequel la femelle donne naissance à des petits aux compétences motrices restreintes et aux compétences sensorielles souvent initialement réduites à l'olfaction et la somesthésie (sensibilité mécanique, thermique et nociceptive). À l'inverse, les espèces nidifuges (ongulés par exemple) s'affranchissent d'un nid car leurs nouveau-nés présentent des aptitudes plus développées : ils sont capables de se mouvoir en quelques minutes, et parviennent à voir et à entendre en plus de sentir et de toucher.

Le lapin appartient aux espèces nidicoles. Ainsi, 2-3 jours avant le terme de la gestation (durée : 31 jours), la femelle élabore un nid protecteur. En milieu naturel, les femelles dominantes le font parfois dans des cavités de la garenne elle-même, alors que la majorité des femelles dominées construisent le leur autour, dans des terriers (rabouillères) isolés. La construction du nid suit trois étapes :

- la femelle creuse individuellement la terre pour créer un abri clos et souterrain ;
- elle y adjoint des éléments végétaux récupérés aux alentours qu'elle saisit en bouche, amène et dépose dans le terrier ;
- elle y ajoute des poils qu'elle arrache de son propre corps.



Cet entremêlement de poils et de débris végétaux (unique chez les mammifères) permet d'optimiser la qualité thermique du nid même lorsque la femelle en est absente, la température constituant une variable essentielle à la survie des lapereaux. En effet, ces derniers naissent quasiment nus (voir chapitre 2). Ces comportements, exprimés par les femelles en fin de gestation, résultent de la combinaison d'hormones telles que l'œstradiol, la progestérone, la testostérone et la prolactine, dont les flux varient spécifiquement en fin de gestation et période pré-partum (González-Mariscal et Gallegos, 2014).

La domestication n'a pas fait perdre ces comportements à la lapine. En élevage, les femelles les expriment au sein de « boîtes-à-nid » (nids artificiels mimant le nid naturel), ajoutées à l'intérieur ou à l'extérieur de chaque cage au minimum 2-3 jours avant la parturition. Les lapines « creusent » parmi les éléments végétaux (souvent des copeaux de bois) insérés par l'éleveur (voir encadré 4.5) et y ajoutent leurs propres poils (figure 4.4, planche 4).

Au terme de la gestation (J0 étant considéré comme le jour de mise-bas/naissance), la femelle délivre ses nouveau-nés au cœur du nid (figure 4.4, planche 4), généralement en phase diurne. En élevage, il peut arriver qu'elle le fasse dans sa cage, en dehors de sa boîte-à-nid, sans que les raisons en soient déterminées (dérangement, stress, douleur, etc.). Dans ce cas, il est crucial que l'éleveur intervienne car les lapines, contrairement aux femelles rongeurs ou félinés, ne saisissent pas individuellement leurs petits en bouche pour les déplacer d'un point à un autre. Le risque de mortalité par hypothermie est élevé pour les lapereaux nouveau-nés en cas de présence prolongée dans la cage et non dans le nid. La femelle met bas en position de lordose inversée (dos voussé), la région anogénitale au contact du sol/du nid. La délivrance est très rapide (10 min environ, 1 min s'écoulant en moyenne entre l'expulsion d'un lapereau et celle du suivant) et plus rapide que chez la ratte, même dans le cas de femelles primipares. Cela est associé à une musculature vaginale élaborée et puissante, à même de faciliter le transit et l'expulsion rapide des nouveau-nés. La délivrance s'accompagne généralement de peu d'écoulement sanguin, la femelle léchant sa région génitale ou le lapereau venant de naître, alors que le suivant est en cours d'expulsion.

À peu près autant de lapereaux naîtraient en position « antérieure » (tête en premier) que « postérieure », sans qu'une position semble plus associée qu'une autre à leur viabilité. Tous les lapereaux ne naissent pas reliés au placenta (environ un tiers) et peu seraient encore engoncés dans les annexes fœtales. Cela serait en partie lié, en plus de sa musculature, à la longueur inhabituelle du vagin de la lapine (15-20 cm). En conséquence, dès lors que le lapereau est physiologiquement déconnecté de la mère, il risque de suffoquer s'il ne se retrouve pas rapidement à l'air libre. La rapidité de l'expulsion limite en fait ce risque (Cross, 1958). Cependant, lorsque les nouveau-nés sont encore contraints dans les annexes fœtales, la femelle est à même d'en libérer certains par léchage des fluides qui les imprègnent (sang et liquide amniotique) et/ou suite à la consommation des placentas qui permet de rompre le cordon ombilical et de déchirer les annexes fœtales. En conditions semi-naturelles, les lapereaux demeurent parfois coincés dans les restes des annexes ou attachés à ces dernières, ce qui a des effets graves sur leur développement et conduit souvent à la mort au cours de la première semaine postnatale.

Lorsque les premiers nés ont stabilisé leur rythme respiratoire, il n'est pas rare de les voir commencer à chercher les télines alors que la parturition n'est pas achevée et que certains individus restent à naître. Ce phénomène s'observe nettement moins chez les rongeurs. Ainsi, les lapins nouveau-nés sont très éveillés et réactifs dès les secondes qui suivent la naissance. Ils s'agitent vigoureusement sous la mère et parviennent pour certains, rapidement, à localiser et saisir oralement les télines, ainsi qu'à téter. Le comportement maternel peut se poursuivre quelques minutes *post-partum* par des léchages supplémentaires, la consommation de placentas restants, et par l'allaitement collectif de la portée (cependant non systématique). Même les lapereaux peu ou pas léchés par la mère parviennent, lorsque celle-ci est partie, à sécher rapidement et à gagner la couche isolante du nid en creusant dans les matériaux qui le constituent (Hudson et Distel, 1982). Mais généralement, moins de 10 minutes après la délivrance du dernier-né, la femelle quitte soudainement le nid. Une fois éloignée, elle se nettoie en léchant les restes de fluides qui accaparent sa fourrure abdominale, la région urogénitale et les pattes arrière, avant de se reposer, de s'abreuver ou de manger.

#### Encadré 4.5. Interventions de l'éleveur autour de la mise-bas.

Sans déranger excessivement ses lapines, l'éleveur a un rôle majeur à même de faciliter le bon déroulement des mises-bas et de favoriser la réussite des premiers jours de vie postnatale des lapereaux. Tout d'abord, l'accompagnement de l'élaboration correcte du nid, par mise à disposition de celui-ci suffisamment tôt et bien garni, est important (surtout pour les nullipares) ; l'éleveur contrôle que la lapine a visité son nid (copeaux mélangés, présence de poils, pelotes fécales) et, dans certains cas, oblige - sans brutalité - la lapine (souvent la nullipare) à y entrer pour qu'elle puisse se familiariser avec ce nouvel environnement. Ensuite, l'éleveur assure le nettoyage des souillures après mise-bas, l'apport de matériaux secs, propres, et à température ambiante. Il contrôle qu'une première bonne tétée a été réalisée. Dans le cas de certaines portées ou de certains lapereaux le nécessitant particulièrement, l'éleveur ne doit pas hésiter à assurer un soin spécifique tel que le réchauffement des nouveau-nés par frottement des surfaces plantaires, positionnement pendant quelques minutes sous une lampe chauffante ou insertion passagère des lapereaux froids dans une portée bien chaude.

#### Rythme de visite au nid et allaitement

En milieu naturel, immédiatement après la délivrance et après chaque allaitement, la lapine quitte le nid et rebouche avec de la terre l'entrée du terrier (Broekhuizen *et al.*, 1986). En conditions d'élevage ou de laboratoire, elle ne peut pas accomplir ce comportement. Néanmoins, la domestication n'a pas effacé cette motivation maternelle : des femelles domestiques introduites en conditions semi-naturelles expriment non seulement le comportement de creusement et d'élaboration du nid, mais aussi spontanément celui d'éloignement et de rebouchage de son entrée après la délivrance et chaque allaitement.

Il s'agit là d'une singularité saisissante du comportement maternel de la lapine : bien que l'espèce soit nidicole et que les nouveau-nés présentent une apparente immaturité sensorimotrice (en fait très relative ; voir p. 125-128), la lapine manifeste une extrême parcimonie en termes d'interactions avec sa portée. Cela surprend, car la très grande majorité des femelles nidicoles consacrent un budget-temps quotidien

très élevé à leurs jeunes (> 80 %, notamment les premiers jours *post-partum*) et ne s'éloignent du nid que par nécessité. *A contrario*, la lapine ne vient généralement au nid et au contact de sa progéniture qu'une seule fois par jour, et n'y demeure pas plus de 3 à 5 min. Cela lui permet d'assurer l'allaitement, occupation quasi-exclusive de la mère pendant sa courte période de présence au nid, en conditions naturelles comme en élevage (par exemple, en nature, Broekhuizen *et al.*, 1986 ; en élevage, Zarrow *et al.*, 1965). Arc-boutée au-dessus de sa portée, la femelle maintient une posture relativement immobile, laissant aux lapereaux l'initiative et la responsabilité de chercher et localiser les tétines (figure 4.5, planche 4).

Épisodiquement, si elle ne sent pas d'activité sous elle, elle peut enfoncer son museau dans les matériaux du nid ou gratter avec ses pattes avant pour localiser les lapereaux et signaler sa présence (G. Coureaud, observations personnelles). La durée d'allaitement dépendrait de l'intensité de la stimulation de tétée perçue par la femelle en provenance de ses mamelles. En particulier, moins les lapereaux sont nombreux, moins la femelle perçoit de stimulations simultanées au niveau ventral et plus sa présence dans le nid est prolongée (par exemple, certaines lapines ayant été mises au contact d'un seul lapereau sont restées jusqu'à 20 minutes dans la boîte-à-nid). L'ocytocine jouerait un rôle majeur dans cette régulation de l'éjection de lait et de la durée de l'allaitement en lien avec la stimulation engendrée par les jeunes sous la mère (González-Mariscal et Gallegos, 2014). Une fois l'allaitement achevé, la femelle bondit hors du nid et en général n'y reviendra que le lendemain.

La visite quotidienne de la femelle au nid semble suivre un rythme circadien, c'est-à-dire une périodicité de 24 heures environ. Cela a été souligné en conditions expérimentales d'élevage avec accès libre au nid, aussi bien sous un régime lumineux constant que sous un régime alterné 12 h/12 h de lumière/obscurité (Jilge, 1993). En situation d'alternance jour/nuit, les premiers épisodes d'allaitements interviennent généralement en fin de nuit, puis prennent une avance d'environ une demi-heure par jour jusqu'au 10<sup>e</sup> jour de lactation. Dans tous les cas, suite à un allaitement, la femelle connaît une période « réfractaire » pendant laquelle elle demeure non réactive à sa portée. Après plusieurs heures, une nouvelle présentation de sa portée, ou l'accès permis à celle-ci, semble susceptible de réengendrer une partie de son comportement maternel, en l'occurrence son entrée et son positionnement dans le nid. En revanche, elle ne serait pas pour autant apte à allaiter de nouveau, ce qui requerrait plusieurs heures supplémentaires. La durée de la « période réfractaire » dépendrait en partie, comme la durée de l'allaitement, du nombre de lapereaux tétant sous la mère : une femelle n'ayant allaité qu'un seul lapereau serait apte à en ré-allaiter à nouveau 3 heures après ; *a contrario*, une femelle ayant allaité huit lapereaux refuserait d'en allaiter de nouveaux 6 heures plus tard.

Cette implication du nombre de lapereaux par portée et de l'intensité de succion ressentie par la mère durant l'allaitement pourrait expliquer pourquoi certains auteurs ont parfois observé, dans des conditions variées (souches domestiques ou sauvages, hébergement intérieur ou extérieur), des lapines venir allaiter plus d'une fois par jour lorsque l'accès au nid était toléré de façon constante. Néanmoins, il a été démontré que l'entrée répétée de femelles allaitantes dans leur nid occasionne un accroissement de la mortalité des jeunes lié à des blessures, et aussi

sans doute car ces entrées perturbent et « cassent » le rythme circadien d'activité que les lapereaux expriment progressivement lors des premiers jours postnataux et qui leur permet de limiter leurs dépenses d'énergie quand la mère est absente. Pour ces différentes raisons, la pratique de l'allaitement contrôlé, basée sur un système de trappe permettant d'ouvrir l'accès au nid à heure fixe une fois par jour, est souvent usitée en élevage (Le Normand *et al.*, 1994 ; voir encadré 4.6 et, pour des détails relatifs au rythme d'activité comportemental des nouveau-nés ; voir p. 125-126).

#### Encadré 4.6. Le contrôle de l'allaitement en élevage.

L'allaitement contrôlé est une pratique d'élevage consistant à fermer, par une trappe ou une porte coulissante, l'accès à la boîte-à-nid de façon à ne permettre la venue de la femelle au contact de sa portée qu'à une heure définie de la journée et pendant une période limitée. Cette pratique permet de « mimer » la situation naturelle d'allaitement qui voit la lapine ne venir au nid qu'une seule fois par jour pendant une très brève période (< 5 min). Ainsi, en suivant cette pratique, l'éleveur permet à la femelle comme aux lapereaux de suivre un rythme naturel d'interaction.

Sur le plan du bien-être des animaux, cela évite à une lapine stressée de multiplier les entrées/sorties dans le nid qui peuvent être source de blessures et de mortalité chez les nouveau-nés. Concernant le bien-être de l'éleveur, cela permet de synchroniser l'ouverture des nids à heure fixe (fin de matinée), leur fermeture (par exemple 15 min après), et de s'assurer que les lapereaux ont bien tété et n'ont pas basculé hors de la boîte (auquel cas il convient de les remettre rapidement au sein du nid car la lapine ne les y transportera pas). De plus, cette pratique permet à l'éleveur d'identifier très facilement les lapines qui ne vont pas rapidement et spontanément dans leur nid : ces femelles ont souvent des problèmes sanitaires ou de démarrage de l'allaitement. Dans ce dernier cas, l'éleveur a deux options : soit il essaie d'obliger la lapine à rester dans le nid en l'y enfermant, avec le risque éventuel de trouver des lapereaux blessés, soit la lapine a une agalactie totale et la portée doit être rapidement mise en adoption auprès d'une autre femelle (voir encadré 4.7).

Le contrôle de l'allaitement est effectué lors de la fermeture des nids : le fait de voir une portée toujours en surface du nid peut constituer un critère d'alerte ; l'éleveur peut alors passer sa main au-dessus des lapereaux (la chaleur et la stimulation tactile perçues par les lapereaux insuffisamment allaités peuvent alors les amener à s'agiter de façon comparable à l'agitation normalement exprimée lorsque la mère entre dans le nid) ou contrôler la réplétion stomacale engendrée par le repas lacté. Il peut ensuite prendre la décision de poursuivre ou contraindre l'allaitement de la portée, ou de procéder à une adoption si la lapine a des difficultés réelles de mise en place de l'allaitement.

Enfin, de nombreuses modulations du contrôle de l'allaitement existent selon les éleveurs : ouverture prolongée du nid (de 1 heure à la matinée entière), allaitement contrôlé uniquement au bout de quelques jours, durant le/les jours précédant l'IA, seulement dans le cas des lapines salissant le nid (urine et crottes) ou des lapines agressives.

En nature, l'allaitement *sensu stricto* est aussi court qu'en élevage et ne dépasse pas quelques minutes. Cependant, le temps total que la mère consacre à ce comportement est en fait plus long car celle-ci doit d'abord ouvrir l'entrée du terrier puis la fermer par un « bouchon » de terre (figure 4.6A, planche 4), ce qui l'occupe plusieurs minutes supplémentaires. Par exemple, il a été montré chez des lapines allaitant des jeunes âgés de 16 à 18 jours, que le temps passé à leur contact à l'intérieur du nid ne constituait qu'un tiers environ du temps



réellement dévoué à la séquence allant de l'ouverture à la fermeture du terrier (figure 4.6B, planche 4).

Au final, la fréquence très restreinte de visite de la lapine au nid est souvent suggérée comme étant une réponse adaptée à la haute prédation subie par l'espèce, la femelle s'éloignant du nid après avoir pris le temps d'en fermer soigneusement l'accès. Ainsi, par la parcimonie de sa présence au contact de sa portée, elle éviterait d'alerter les prédateurs et de leur signaler indirectement la présence de proies jeunes et faiblement résistantes. Par ailleurs, cela permettrait également à la femelle de disposer d'un temps conséquent pour répondre à ses besoins alimentaires.

Ceci étant, certaines données suggèrent que la femelle ne se désintéresse pas totalement de ses jeunes une fois sortie du nid et qu'elle demeure dans un périmètre lui permettant de veiller à ce qui s'y passe. Elle chasse ainsi d'autres femelles adultes qui s'en approchent trop. En effet, d'autres femelles du même groupe social peuvent chercher à profiter d'un terrier déjà existant pour y pénétrer et donner naissance à leurs propres jeunes. Lorsqu'elles y parviennent, ces femelles peuvent avoir un comportement infanticide et engendrer une mortalité par morsures et griffures, surtout si cela intervient dans les premiers jours postnatals alors que les jeunes sont encore très vulnérables (Rödel *et al.*, 2008a ; figure 4.7A, planche 5). Le comportement infanticide peut être vu comme une stratégie augmentant la *fitness* (aptitude à la survie et à la transmission d'une descendance) de la femelle qui l'exerce, car cela lui permet d'économiser l'énergie nécessaire au creusement d'un terrier et d'éviter de s'exposer à la prédation susceptible d'intervenir durant cette opération. L'infanticide est une cause non négligeable de mortalité des jeunes en milieu naturel. Elle est estimée à 4-5 % de la mortalité annuelle (figure 4.7B, planche 5), cette dernière atteignant 40-50 %. Les cas d'infanticide ne se limitent pas aux femelles de faible rang social, mais auraient une occurrence favorisée quand la hiérarchie sociale du groupe est instable (Rödel *et al.*, 2008a).

## Reconnaissance des jeunes par la mère/adoptions, sevrage

La reconnaissance des jeunes reste à ce jour peu connue et peu étudiée. Elle paraît cependant dépendante de la période prise en compte entre la naissance et le sevrage. En effet, en élevage, les nouveau-nés peuvent facilement être adoptés depuis leur portée d'origine vers une portée d'accueil, dès lors que l'adoption intervient dans les premiers jours qui suivent la naissance (voir encadré 4.7). Cela suggère que les lapines domestiques ne reconnaissent pas spécifiquement les nouveau-nés qu'elles allaitent. Néanmoins, certains auteurs ont souligné que la proximité contrainte de la mère et de son nid en élevage pouvait amener les femelles à se sensibiliser à l'odeur de leur portée et à y répondre par un comportement singulier (hausse d'activité, de vigilance) comparativement à l'odeur d'une portée étrangère, dans les 15 jours qui suivent la naissance (Baumann *et al.*, 2005). À un stade plus avancé et en conditions naturelles, lorsque les jeunes sont en âge de sortir du nid, les femelles discriminent olfactivement leurs propres jeunes de jeunes non familiers, et exprimeraient envers ces derniers des comportements agonistiques (morsure, griffure). Cette discrimination pourrait découler des léchages et marquages olfactifs effectués par la mère sur ses propres lapereaux, parfois observés durant

la première quinzaine de jours postnatals. D'ailleurs, si cette reconnaissance est masquée par dépôt artificiel sur un lapereau de sécrétions de glandes inguinales ou anales provenant d'un adulte non familier, cela engendre l'agression du jeune par sa mère. Par ailleurs, en conditions semi-naturelles, la diffusion par haut-parleur de « cris de détresse » produits par des jeunes (familiers ou non familiers) amène la femelle allaitante à courir jusqu'au terrier et à l'examiner (Rödel *et al.*, 2013) ; il n'y a cependant aucune preuve à ce jour de reconnaissance individuelle acoustique des petits par la mère.

#### Encadré 4.7. Adoption des lapereaux en élevage : emploi et avantages.

L'adoption consiste, lors des premiers jours d'après mises-bas, à faire élever par une femelle un ou plusieurs lapereaux d'une autre portée née à deux jours d'intervalle au maximum. L'adoption est possible en cas de mort de la mère, d'abandon de ses lapereaux, de refus d'allaitement ou d'allaitement insuffisant. Courante, cette pratique permet d'égaler les tailles de portées et de répartir rationnellement les lapereaux afin de favoriser un allaitement régulier.

Les lapereaux à adopter sont à prendre préférentiellement dans les portées de taille égale ou supérieure à sept. Ils sont à choisir parmi les plus vigoureux de la portée d'origine afin de favoriser leur adaptation dans la nouvelle portée. Il est conseillé de ne pas faire adopter simultanément plus de deux lapereaux à une lapine. La réussite de l'adoption est facilitée s'il est possible de fermer le nid pendant 24 heures, donc d'empêcher l'accès de la femelle pendant ce temps (procédure aisée à mettre en place puisque la lapine n'allaitait habituellement ses petits qu'une seule fois par jour).

Concernant la transition de l'allaitement vers le sevrage, alors que la lapine ouvre quotidiennement le terrier pour accéder au nid et aller au contact de sa portée durant les 15 premiers jours qui suivent la délivrance, elle se contente parfois, à compter de J15-16, de rester à l'entrée du nid une fois ce dernier ouvert, période où les lapereaux deviennent aptes à la rejoindre (figure 4.6B, planche 4). Néanmoins, ce ne serait qu'autour de J17-20 que la femelle ne fermerait plus l'accès du terrier, laissant ainsi l'opportunité aux jeunes d'en émerger vraiment (Broekhuizen *et al.*, 1986 ; Rödel *et al.*, 2015). En élevage, la mère est également parfois amenée à ne plus allaiter dans le nid mais dans la cage lorsque les lapereaux parviennent à sortir de la boîte-à-nid (si la trappe d'accès est laissée ouverte en permanence, en troisième semaine d'allaitement). La mère n'est alors plus la seule décisionnaire de l'initiation de l'allaitement, car elle est sollicitée par les jeunes qui viennent à son contact lorsqu'ils ont faim. Il n'est alors pas rare de la voir chercher à s'isoler pour éviter d'être importunée et harassée par ses lapereaux, ce qu'elle parvient facilement à faire si une plate-forme surélevée est ajoutée dans la cage.

En élevage, la taille de la portée a une influence sur la persistance de l'allaitement circadien : plus la portée est grande, plus le nombre de femelles allaitant encore leur portée une fois par jour à heure fixe est élevé à 15 jours et plus. En contrepartie, si la production de lait reste élevée, le début de l'alimentation solide peut être repoussé de 2-4 jours. Par ailleurs, la lapine peut être à la fois allaitante et gestante. C'est le cas habituel des femelles en élevage, car elles sont remises à la reproduction 10-11 jours après la parturition (voir chapitre 3). Dans ce cas, la durée de la lactation est directement liée à l'âge auquel le sevrage est effectué (couramment entre J28 et J35). *A contrario*, les femelles uniquement allaitantes peuvent prolonger

leur visite au nid jusqu'à J40 même si la production de lait décline sensiblement (Lincoln, 1974) ; les éleveurs observent que les lapines ayant encore beaucoup de lait dans leurs mamelles au moment du sevrage sont non gestantes. En conditions naturelles, la lactation pourrait durer jusqu'à 6 semaines si les ressources alimentaires sont suffisantes pour la mère et que celle-ci n'est qu'allaitante ; si elle est, en plus, gestante (cas fréquent au printemps/début d'été), les lapereaux sont généralement sevrés dès 3 ou 4 semaines (Broekhuizen *et al.*, 1986).

Chez la femelle allaitante-gestante, il y a ainsi un équilibre physiologique et comportemental subtil qui s'établit, sous-jacent à la lactation, la gestation puis la nouvelle parturition, l'allaitement ne pouvant pas s'arrêter trop tôt au risque d'avoir des lapereaux affamés, mais ne pouvant se prolonger trop tard au risque de voir l'ocytocine libérée pendant l'allaitement précipiter la parturition en attente (Fortun-Lamothe *et al.*, 1999 ; González-Mariscal et Gallegos, 2014). Lorsque la femelle cesse d'allaiter, elle peut faire preuve, surtout si elle est gestante, d'agressivité à l'égard de ses propres lapereaux qui cherchent encore à téter, et leur uriner dessus. Cela pousse d'autant les jeunes à s'éloigner de leur mère (Mykytowycz et Ward, 1971).

## Comportement du jeune

### Développement sensoriel et comportemental

La durée de gestation de la lapine étant brève (31 jours), la période de développement embryonnaire et fœtale l'est tout autant. Elle ne suffit pas à donner naissance à des lapereaux pleinement matures sur les plans sensoriel et moteur. Pour atteindre cette maturité, gage d'autonomie partielle puis totale, les lapereaux poursuivent leur développement dans le nid durant les 10-15 premiers jours postnatals. Ce développement est rapide puisqu'ils atteignent le sevrage en à peu près autant de jours que dure la gestation. Le premier mois postnatal est alors marqué par des adaptations et des évolutions neurophysiologiques qui contribuent aux gains de compétences comportementales et cognitives du jeune animal, de même que par des changements en termes de besoins sociaux (dépendance totale puis moindre envers la mère) et alimentaires (transition de l'alimentation exclusivement lactée vers l'alimentation solide ; Coureaud *et al.*, 2008a).

Quasi nus, les nouveau-nés ne peuvent pas résister à un environnement thermique trop changeant. Ainsi, être protégés dans un environnement comme le nid, garantissant une température constante (leur température corporelle est d'environ 35 °C), leur est vital. Ils sont d'ailleurs très sensibles aux gradients de température. En nature, grâce au nid, ils parviennent à survivre et à se développer bien que la température du sol entourant la chambre du nid soit parfois inférieure à 5 °C (Rödel *et al.*, 2008b). De plus, ils sont initialement dépourvus d'audition et de vision, et leurs aptitudes motrices sont restreintes mais spécialisées dans l'expression d'actions adaptées, du type recherche et saisie orale des tétines maternelles et enfouissement dans, puis émergence des, matériaux du nid. Aussi, ils demeurent majoritairement groupés et blottis au sein de la portée, sauf dans les minutes post-allaitement, ce qui limite leurs pertes énergétiques.

Dès la vie fœtale, ils sont par ailleurs aptes à percevoir les stimulations d'ordres olfactif et somesthésique. Ces compétences et expériences sensorielles, fonctionnelles et vécues dès avant la naissance, leur permettent de répondre très rapidement et efficacement à l'entrée quotidienne de la mère dans le nid et de s'orienter vers elle, son abdomen et ses tétines. Ils expriment par ailleurs un rythme d'activité quotidien, calé sur la tétée, qui se met en place au cours des premiers jours postnatals. Une fois établi, ce rythme les amène à creuser et brasser l'épaisseur du nid pour s'y enfoncer après allaitement, à y uriner puis à y demeurer à couvert et au repos pendant quelques heures. Par la suite, progressivement, ils regagnent la surface pour se regrouper en une portée cohésive et en état d'éveil maximal dans l'heure qui précède l'arrivée de la mère (Jilge, 1993). Sur le plan alimentaire, le besoin en lait est absolu dans les premiers jours postnatals et la mastication impossible. Néanmoins, un début d'ingestion d'éléments du nid et de pelotes fécales déposées par la mère est parfois observé (Mykytowycz et Ward, 1971).

Passée la première semaine postnatale, audition, vision et mastication deviennent opérationnelles. Ainsi, les lapereaux entendent dès J7-8 et commencent à voir et mastiquer vers J10-13. En nature, ils peuvent s'approcher ponctuellement de l'entrée du terrier pour téter à compter de J15-16, lorsque la mère en dévoile l'entrée, avant de regagner le nid une fois alimentés. En élevage, à la même période, si la trappe d'accès est laissée ouverte, ils font leurs premiers pas en dehors de la boîte-à-nid, sautent dans la cage de la mère et se mettent progressivement à la solliciter pour téter. À cet âge, ils découvrent aussi l'aliment solide (granulés) présent dans la mangeoire de la femelle. Par ailleurs, ils semblent plus fréquemment consommer les pelotes fécales parfois laissées par la mère dans le nid (voir chapitre 5).

Au-delà de J15, les lapereaux quittent majoritairement le nid lorsque cela leur est permis (ils y reviennent pour des périodes de repos), localisent visuellement la mère et sollicitent la tétée systématiquement eux-mêmes. C'est au terme de la troisième semaine que la production de lait par la lapine atteint son maximum, de même que la consommation de lait (en termes de quantité ingérée) par les lapereaux. Elle est supérieure à celles de l'aliment solide et de l'eau jusqu'à J25 (bien que ces dernières s'accroissent). En nature, les lapereaux viennent de plus en plus à l'entrée du terrier, où ils sont allaités, et s'aventurent à proximité de l'entrée.

En fin de quatrième semaine postnatale, l'équipement sensoriel et physiologique devient suffisant pour que les jeunes assument individuellement leurs besoins quotidiens. Ils entrent en phase de sevrage (en élevage) ou sont sevrés (en nature).

## Interaction avec la mère et comportement de tétée

### *Comportements premiers associés à la prise lactée*

Comme tous les nouveau-nés mammaliens, les lapereaux sont avides de lait et en quête active de celui-ci dès lors que la femelle entre dans le nid. Lorsque cela intervient, la femelle s'arc-boute au-dessus de ses jeunes mais ne les aide pas directement à téter. La localisation des tétines et la prise de lait dépendent alors de la réactivité et du comportement des lapereaux. S'ils ne parviennent pas, ou parviennent insuffisamment, à exercer ces actions (cas de 8-15 % des nouveau-nés à J1), leur survie



est menacée, surtout lors des tout premiers jours postnatals, particulièrement critiques ; en effet, un nouveau-né qui « rate » une tétée est en danger, mais s'il en rate deux consécutivement, il est condamné (Coureaud *et al.*, 2008a).

Néanmoins, la grande majorité des lapereaux parvient efficacement à localiser et à prendre en bouche les tétines maternelles. À cette fin, ils expriment un comportement stéréotypé composé de mouvements céphaliques horizontaux et verticaux, très rapides et de faible amplitude, manifestés alors qu'ils parcourent la fourrure abdominale maternelle ; ces mouvements sont généralement conclus par la saisie orale d'une tétine. Ce comportement, très énergique, ne dure que quelques secondes mais est répété toutes les 20-30 secondes environ au cours des premiers allaitements (Hudson et Distel, 1982). Ainsi, contrairement aux nouveau-nés d'autres espèces (comme par exemple le porc), les lapereaux ne choisissent pas une tétine, lors du premier allaitement, qu'ils conservent sélectivement lors des tétées suivantes. Non seulement il n'y a pas de constance dans la position des tétines choisies par un lapereau d'un jour à l'autre, mais, au cours d'un même allaitement, les nouveau-nés changent plusieurs fois de tétines de manière opportune. Cela s'observe alors que la compétition est forte sous la mère, puisqu'en élevage il est fréquent que la portée compte plus de lapereaux que la mère ne dispose de tétines (Bautista *et al.*, 2005). En fait, l'absence de préférence pour une tétine constituerait un avantage adaptatif : elle offrirait une chance à chaque nouveau-né de téter lors des quelques minutes de présence quotidienne de la femelle.

Au final, ce comportement de recherche-saisie orale est hautement efficace, car il permet non seulement aux lapereaux d'être extrêmement réactifs et de trouver une première tétine dans les 15 secondes qui suivent l'entrée de la femelle dans le nid, mais aussi d'ingérer jusqu'à 25 % de leurs poids en lait en moins de 5 minutes.

### **Déterminants olfactifs de l'interaction du nouveau-né avec la mère**

La réactivité du lapereau à la présence de la mère et le déclenchement de son comportement de recherche/saisie orale, donc de tétée, sont sous large dépendance olfactive. Ainsi, dès avant la naissance, le fœtus détecte et apprend certaines odeurs comme les arômes liés au régime alimentaire de la mère (Altbäcker *et al.*, 1995). Une odeur apprise *in utero* conduit alors le nouveau-né à s'orienter préférentiellement vers des substrats porteurs de cette odeur, que ces substrats proviennent de la mère ou d'une autre femelle partageant le même régime alimentaire, et qu'ils soient prénatals (placenta, liquide amniotique) ou postnatals (colostrum, lait) (Coureaud *et al.*, 2008a). Une continuité chimique périnatale s'établit donc, normalement, entre les environnements pré- et immédiatement postnatal, et cette continuité a une valeur adaptative : dans la niche écologique néonatale, elle permet au lapereau de retrouver des informations familières déjà rencontrées avant la naissance et d'y répondre en priorité (voir encadré 4.8). Ces informations étant véhiculées par la mère, elles contribuent à faire interagir le nouveau-né avec celle-ci de façon optimale. En cas d'adoption auprès d'une femelle ne partageant pas le même régime alimentaire que la mère, le comportement du lapereau au contact de cette dernière s'avère perturbé : sa prise lactée est moins efficace lors de la première tétée (Coureaud *et al.*, 2008a).

## Encadré 4.8. Continuité chimique périnatale.

*In utero*, le fœtus lapin est apte à percevoir des odeurs. Celles-ci gagnent les récepteurs olfactifs situés au fond des narines car, d'une part, le jeune organisme baigne dans le liquide amniotique, olfactivement chargé, qu'il inhale, et, d'autre part, car les échanges sanguins véhiculent les odeurs présentes dans le sang maternel. Certaines odeurs liées à l'alimentation, au stress ou à la santé de la mère sont alors susceptibles de transiter jusqu'au fœtus.

Sauf modification drastique des conditions de vie de la femelle, certaines de ces odeurs se retrouvent ensuite également dans son lait. En nature, le nouveau-né retrouve donc, au contact de la mère et de l'aliment lacté, des odeurs qu'il a déjà rencontrées avant la naissance. Cette continuité chimique périnatale optimise son adaptation en facilitant son éveil lorsque la mère entre dans le nid, son interaction avec elle et ses premières prises lactées.

En élevage, il convient de respecter cette continuité en limitant les changements alimentaires et environnementaux de la femelle pré-/post-parturiente. En cas d'adoption, on veillera à intégrer les nouveau-nés adoptés dans des portées dont la mère suit le même régime alimentaire que la mère d'origine. Par exemple, si un éleveur distribue un régime alimentaire spécifique aux primipares, il est recommandable qu'il conduise préférentiellement des adoptions entre portées de primipares, et non entre portées de primipares et multipares.

Sur l'abdomen de la lapine comme dans le lait, les lapereaux détectent en fait une pluralité d'informations odorantes. Certaines, comme dit ci-dessus, sont dépendantes de l'histoire individuelle de la mère (par exemple, de son régime alimentaire), mais d'autres sont partagées par toutes les femelles de l'espèce, indépendamment de leur alimentation. Ce dernier cas se vérifie avec une petite molécule, volatile, présente dans le lait de toutes lapines, le 2-méthyl-2-buténal (2M2B ; Coureaud *et al.*, 2010 ; Schaal *et al.*, 2003). Cette molécule, hautement réactogène, déclenche le comportement orocéphalique typique de tétée (mouvements de recherche-saisie orale) chez plus de 90 % des nouveau-nés à qui elle est présentée, et cela dans une gamme de concentration donnée (en solution aqueuse, entre  $2,5 \times 10^{-9}$  et  $7,5 \times 10^{-5}$  g/ml). Ce signal olfactif répond à la définition stricte du concept de phéromone proposé, chez les mammifères, sur la base de 5 critères :

- il est chimiquement simple, le 2M2B seul étant aussi actif sur le comportement du lapereau que l'odeur complexe du lait (> 150 odorants) ;
- il déclenche des réponses invariantes (attraction, mouvements orocéphaliques) à fonctions avérées pour l'individu receveur puisqu'impliquées dans la relation du lapereau avec la mère, la localisation des tétines et la prise lactée ;
- il agit de façon sélective, tout odorant n'ayant pas les mêmes conséquences comportementales que le 2M2B ;
- son action est propre à l'espèce *Oryctolagus cuniculus*, puisque ni des levreaux, ni des souriceaux, ni des chatons, par exemple, n'y répondent par le comportement de tétée ;
- son action semble indépendante de tout apprentissage, même prénatal, puisqu'à ce jour aucune trace de 2M2B n'a été trouvée dans le sang et le liquide amniotique de la lapine gestante.

Pour l'ensemble de ces raisons, le 2M2B a été considéré comme une vraie phéromone de mammifère. Paraissant produit ou libéré dans les mamelles de la lapine, il a été nommé « la phéromone mammaire » (PM) (Coureaud *et al.*, 2010 ; Schaal *et al.*, 2003).

L'activité de la PM est immédiate et forte chez les nouveau-nés. Elle est réactogène avant toute exposition postnatale à la mère et au lait, et s'observe même chez les prématurés (figure 4.8, planche 5). Son pouvoir déclencheur du comportement spécialisé dans la localisation/prise en bouche des tétines souligne son rôle majeur dans la facilitation de la prise lactée. D'ailleurs, des lapereaux de J1 non répondant à la PM ingèrent moins de lait que ceux qui y répondent, en particulier s'ils ont un poids faible ( $< 48$  g) ; de plus, leur mortalité est supérieure entre J1 et J21 à celle des répondants. De fait, la réponse/non-réponse néonatale à la PM serait un critère corrélé à la viabilité des lapereaux (Coureaud *et al.*, 2007).

Sur le plan du traitement neurophysiologique du signal, certains processus accréditent cette fonction adaptative. Ainsi, certaines enzymes fonctionnelles dans le museau du lapereau, au niveau de la muqueuse olfactive, semblent intervenir pour limiter les risques de saturation des récepteurs ; en cela, elles permettraient de garantir un traitement répété et efficace de la PM pendant les 5 minutes que dure l'allaitement, et donc un maintien de la réactivité comportementale du lapereau à l'égard de ce signal durant cette courte période quotidienne qui constitue sa seule chance de s'alimenter (Legendre *et al.*, 2014). Au niveau cérébral, la PM est traitée de façon singulière par le système olfactif principal du jeune animal, ce qui contribue à prouver que les phéromones ne sont pas toutes systématiquement traitées par le système olfactif accessoire (et l'organe voméronasal), comme cela a longtemps été envisagé dans la littérature. Chez le lapereau, la PM active très fortement le bulbe olfactif (premier relais de traitement des *stimuli* odorants) puis un réseau de structures intégratives contribuant à l'osmorégulation (régulation de la concentration en sels dissous dans les fluides internes), la soif, l'attention et l'activité motrice, donc un réseau cohérent avec la prise alimentaire hydrique constituée par la tétée et l'ingestion de lait (Charra *et al.*, 2012).

Au cours du développement, la réactivité du jeune lapin à la PM évolue. Très forte à la naissance (en élevage comme en nature), indépendamment de l'état prandial (faim/satiété), elle devient modulée par celui-ci à J5, ce qui s'accroît à J10 : les lapereaux répondent alors moins au signal après, comparativement à avant la tétée, leur sensibilité restant maximale lorsque la mère est réellement susceptible de venir les allaiter. Leur réactivité se cale ainsi progressivement sur leur rythme d'activité circadien (lorsqu'ils émergent des matériaux du nid et se regroupent en surface, leur réactivité à la PM augmente). Le comportement de recherche-saisie orale, exprimé en réponse à la PM, décroît progressivement dès que les yeux s'ouvrent, puis que l'alimentation devient solide, pour finalement disparaître au sevrage (figure 4.8, planche 5 ; Coureaud *et al.*, 2008b).

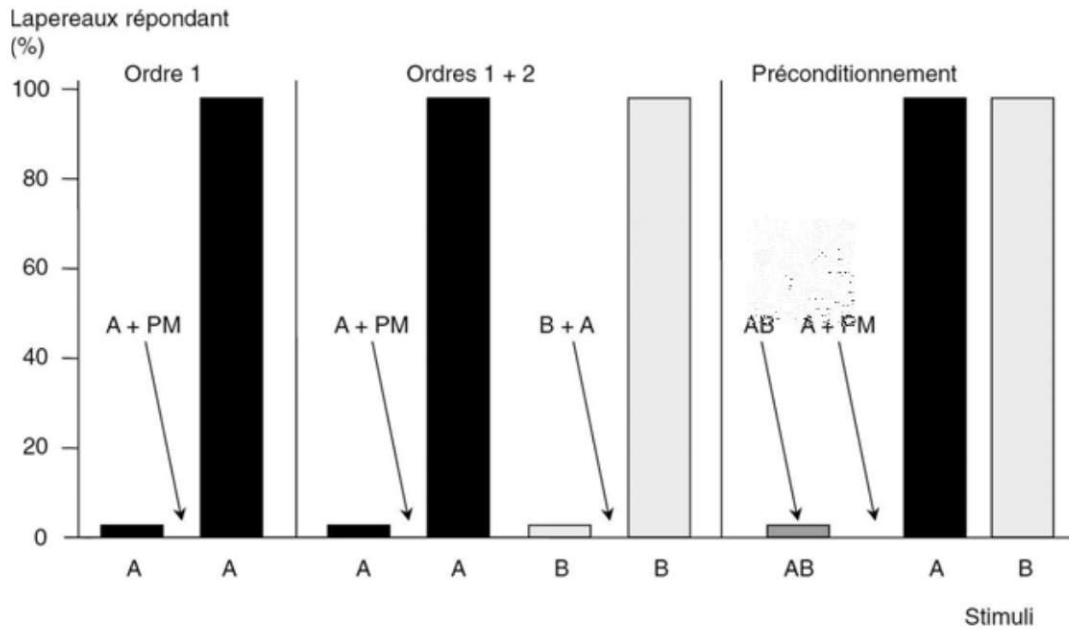
Ainsi, de façon indépendante de leur origine génétique et de l'environnement dans lequel ils évoluent, les lapereaux répondent très fortement à la PM tant que leur besoin d'interaction avec la mère et d'ingestion de lait est vital, et que leurs compétences sensorielles dépendent notablement de leur odorat. Cela appuie l'idée d'un rôle majeur de la PM dans l'optimisation de la réactivité du jeune à l'entrée de la femelle allaitante dans le nid, et dans l'optimisation de la tétée. D'ailleurs, côté mère, on note une diminution de la production de PM dans le lait entre le début et la fin de lactation (Coureaud *et al.*, 2010). Ainsi, alors que la femelle émet progressivement moins ce signal, les lapereaux y deviennent moins réactifs en termes

de comportement de tétée, ce qui pourrait contribuer à les éloigner de la mère et du lait, et à ce qu'ils expriment l'autonomie requise par le sevrage. Ceci étant, la PM ne semble pas perdre toute signification pour l'animal sevré puisque son ajout dans l'aliment solide durant la période de croissance augmente l'appétence et la consommation de l'aliment, et réduit la mortalité (Coureaud *et al.*, 2001).

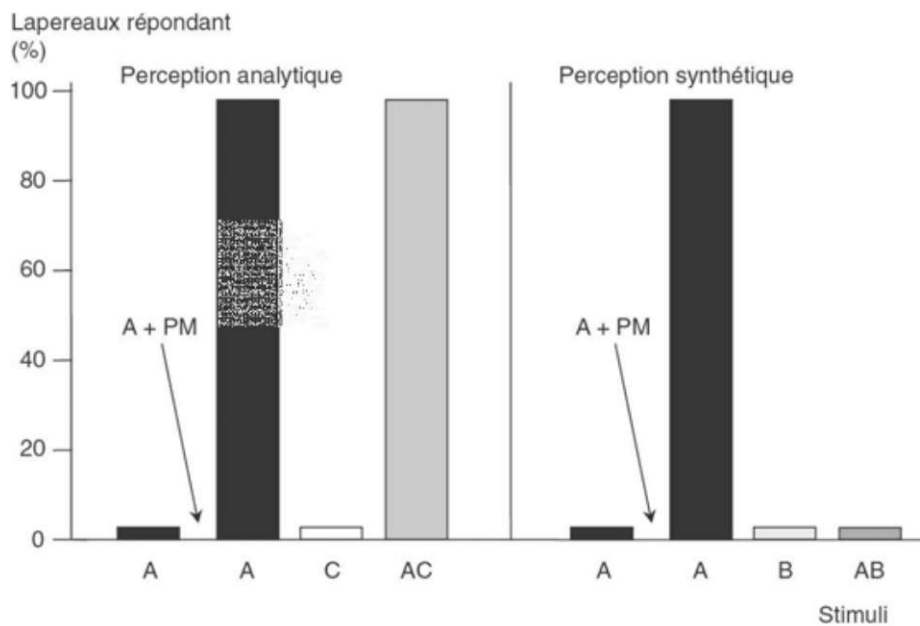
En plus de sa fonction déclencheuse du comportement de tétée, la PM possède une autre action très utile au nouveau-né en quête d'informations sur l'environnement qui l'entoure, celle de promouvoir l'apprentissage de nouvelles odeurs. Au cours d'une seule tétée, les nouveau-nés sont capables d'apprendre une odeur artificielle déposée sur l'abdomen de la mère. Dans ce contexte d'allaitement, plusieurs événements ont une valeur satisfaisante de « récompense » : le contact avec la mère, la chaleur de son corps, la succion, l'ingestion de lait. Mais la simple exposition à la PM constitue aussi, en elle-même, un événement hautement « renforçant », c'est-à-dire dont la valeur biologique positive confère une signification positive à un autre stimulus qui lui est associé. Ainsi, lorsque des nouveau-nés sont brièvement exposés à un mélange odorant A + PM, ils répondent 24 heures plus tard par le comportement de tétée à l'odorant A aussi bien qu'à la PM, alors que le pouvoir réactogène de A est initialement nul (figure 4.9, ordre 1) (Coureaud *et al.*, 2006, 2010). Par ce moyen, les lapereaux peuvent apprendre successivement différents odorants : après exposition à A + PM à J1 et B + PM à J2, ou aux deux odorants séparément le même jour, les nouveau-nés répondent ensuite aussi bien à A qu'à B. Par ailleurs, un odorant acquis par couplage avec la PM devient à son tour capable de faire apprendre un odorant B (figure 4.9, ordres 1+2). La PM transfère ainsi à l'odorant nouveau sa double compétence à déclencher le comportement de tétée, d'une part, et à faire apprendre un autre stimulus, d'autre part. Cette remarquable double action de la PM fait du lapin un modèle biologique de choix pour étudier la perception, la mémoire et le comportement néonatal, ainsi que les mécanismes qui les sous-tendent si tôt au cours du développement.

L'action facilitatrice d'apprentissage de la PM se vérifie également à l'égard de mélanges contenant plusieurs odorants. Par exemple, lorsqu'un lapereau est simplement exposé à un mélange d'odorants AB initialement neutre, et que le lendemain on lui fait apprendre l'odorant A par couplage avec la PM, il répond au final non seulement à A mais aussi à B, preuve que la pré-exposition au mélange (préconditionnement sensoriel) a déjà créé un lien entre les odorants (figure 4.9). De plus, après conditionnement au mélange AB lui-même (AB + PM) ; le lapereau répond ensuite à A, B et à AB. Dans le mélange, il détecte alors les informations A et B, les apprend, et est ensuite capable d'y répondre séparément. Cependant, après apprentissage de A (ou de B), il ne répond pas au mélange AB, alors qu'il le fait dans le cas d'un mélange AC. Ainsi, dans un cas, la connaissance de l'odorant A l'incite à généraliser sa réponse au mélange qui le contient (AC) mais pas dans l'autre cas (AB). Ces résultats illustrent le fonctionnement analytique *versus* synthétique de l'olfaction, et le fait que cette dualité s'exprime chez le lapin dès la naissance. Un mélange est perçu de façon analytique lorsqu'un lapereau y détecte la qualité odorante de ses seuls constituants. Dans le cas de AC, il répond au mélange car A est perçu en plus de C et que la familiarité de A, acquise après apprentissage, suffit à donner un sens biologique au mélange qui le contient (figure 4.10).





**Figure 4.9.** Différentes façons permettant à un lapin nouveau-né d'apprendre un odorant en lien avec la phéromone mammaire (PM) : apprentissage de 1<sup>er</sup> ordre (à gauche), de 2<sup>e</sup> ordre (au centre) et préconditionnement sensoriel (à droite) (adapté notamment de Coureaud *et al.*, 2006).



**Figure 4.10.** Illustration de la perception néonatale analytique (à gauche) et synthétique (à droite) de deux mélanges binaires d'odorants, respectivement AC et AB, mise en évidence après apprentissage de l'odorant A induit par la phéromone mammaire (PM) (adapté de Coureaud *et al.*, 2014).

*A contrario*, le lapereau perçoit un mélange de façon synthétique lorsqu'il y discerne une odeur spécifique en plus (perception partiellement synthétique) ou à la place (perception synthétique robuste) de l'odeur des odorants. Dans le cas du mélange AB, l'apprentissage préalable de A ne suffit pas à répondre au mélange car les lapereaux y détectent non pas deux mais trois odeurs, celles de A, B et AB.

De fait, la familiarité de A ne suffit pas à répondre au mélange car plus d'informations non familières (B et AB) que familières (A) y sont détectées (figure 4.10 ; Coureaud *et al.*, 2014). Ainsi, le nouveau-né lapin est apte à percevoir et se représenter certains substrats multi-éléments comme des tous. D'ailleurs, concernant le mélange AB, son apprentissage conduit les lapereaux à se créer une mémoire spécifique du tout (mémoire de AB) distincte de celles de chacun des odorants formant ce tout (mémoire de A et mémoire de B) (Coureaud *et al.*, 2014). Le ratio des odorants en mélange est très important dans ces phénomènes perceptifs : à un ratio donné de A et de B, le mélange AB est perçu synthétiquement, mais à un ratio différent des mêmes odorants, il est perçu analytiquement. Le cerveau néonatal traite alors distinctement le mélange synthétique et le mélange analytique, bien qu'ils soient tous deux constitués par les mêmes odorants. Au final, cette capacité à percevoir certains mélanges d'odeurs comme des tous pourrait permettre très tôt au lapereau de se représenter des « objets odorants » dans son environnement, tels que potentiellement la mère, les congénères et certaines esquisses d'aliments qu'il ne découvrira pleinement que plus tard, lorsqu'il sera en âge de sortir du nid et de s'alimenter seul.

Ces apprentissages PM-induits, qu'ils soient d'odorants seuls ou de mélanges, sont aptes à optimiser la détection par les lapereaux de l'arrivée de la mère dans le nid, et leur succès de tétée. Ainsi, des lapereaux ayant appris un odorant A par couplage avec la PM, et retrouvant cet odorant le lendemain sur le corps de la mère, ont un gain de poids plus élevé que des lapereaux allaités par une femelle odorisée avec un odorant inconnu (Jouhanneau *et al.*, 2016). De même, alors qu'initialement les nouveau-nés d'élevage ne s'orientent pas plus vers leur mère que vers une femelle étrangère, ces apprentissages les conduisent à préférer une femelle rendue familière par odorisation avec un odorant appris comparativement à une femelle non odorisée ; par ce type de processus, les lapereaux parviendraient à discriminer olfactivement des congénères entre eux, dont la mère *versus* d'autres femelles allaitantes. Enfin, la mémoire olfactive ainsi créée grâce à la PM en période néonatale conserverait une certaine influence, sociale et alimentaire, au sevrage (Montigny, Schaal, Coureaud, données non publiées).

## Émergence et comportements associés

Comme évoqué précédemment, les jeunes commencent à quitter le nid en milieu naturel entre 15 et 20 jours, et donc à explorer le proche environnement. Cela intervient classiquement quand la femelle laisse l'accès au terrier ouvert, même si elle le rebouche encore jusqu'à J20 (Broekhuizen *et al.*, 1986). Cependant, des lapereaux ont parfois été observés en train de creuser eux-mêmes le bouchon de terre pour sortir du terrier (Rödel, von Holst, données non publiées).

Les premières semaines post-émergence constituent une période à risque pour la survie. D'ailleurs, la mortalité des jeunes peut y atteindre 60-80 %. Durant cette période, les jeunes vont non seulement être sevrés, mais ils vont par ailleurs se retrouver au contact de congénères non familiers (autres que la fratrie et la mère) ; ils doivent intégrer un groupe social au réseau déjà affirmé. Au cours de ces premières semaines hors nid, ils élargissent alors rapidement leur champ spatial d'action en

s'éloignant du nid d'environ un mètre de plus par jour (figure 4.11, planche 5). Le comportement exploratoire est associé à d'autres traits comportementaux qui, pris ensemble, illustrent deux types de personnalité : les jeunes les plus explorateurs sont ceux qui seront les plus intrépides et les plus agressifs envers les congénères plus tard au cours de leur développement ; les moins explorateurs seront, eux, plus sociables. Les plus audacieux ont un plus faible taux de survie sur la période s'étendant de l'émergence à la maturité sexuelle, sans doute car ils sont plus sujets à la prédation (Rödel *et al.*, 2015).

En nature, les juvéniles jouent ensemble jusqu'à 2-3 mois environ, avec une fréquence maximale au cours des deux semaines qui suivent l'émergence. Le jeu se caractérise par des poursuites, combats amicaux, sauts, retournements et courses en zigzag (Myers et Poole, 1961). Ces comportements sont généralement dirigés envers les congénères de la fratrie ou les juvéniles de même âge des terriers adjacents. Ils peuvent également l'être parfois envers la mère ou d'autres adultes familiers du même groupe social, mais les adultes, eux, n'y participent pas activement (Rödel *et al.*, données non publiées).

Durant les semaines qui suivent l'émergence, même après que la fréquence de jeu décre, les jeunes expriment toujours de forts taux de contacts sociaux avec la mère et leur fratrie en restant ensemble, à proximité immédiate les uns des autres. Un tel contexte social, positif, est favorable à une diminution du stress et à une augmentation du bien-être et de la santé des animaux, y compris chez l'Homme. Chez le lapin, les jeunes qui ont les plus hautes fréquences d'interactions sociales avec la mère et la fratrie ont aussi, ultérieurement au cours de leur vie, les plus faibles concentrations d'hormones de stress et les plus faibles taux d'infection par des parasites internes de type nématodes (Rödel et Starkloff, 2014).

Concernant la dispersion des juvéniles et l'intégration sociale, comme chez la plupart des mammifères, les mâles quittent leur groupe d'origine plus fréquemment que les femelles. Chez le lapin, cette « dispersion natale » intervient principalement en fin d'été et à l'automne quand la plupart des jeunes mâles, ainsi que les jeunes femelles (à un taux moindre), commencent à explorer les groupes sociaux environnants pour en intégrer un (Künkele et von Holst, 1996). Sur cette même période, il est fréquent que les résidents mâles et femelles adultes augmentent leur fréquence d'agression envers les juvéniles du groupe, surtout envers les mâles, et cherchent à les chasser de leur territoire d'origine. Comme les jeunes femelles se dispersent moins, les femelles d'un groupe social donné montrent souvent un fort taux de parenté.

Dans tous les cas, une intégration réussie au sein d'un groupe social augmente le taux de survie des jeunes au cours de leur premier hiver. Être intégré au sein d'un groupe offrirait, d'une part, un environnement social favorable minimisant les effets négatifs du stress, et permettrait, d'autre part, à l'individu d'augmenter la qualité thermique de son micro-environnement en lui offrant la possibilité de se blottir contre ses partenaires. La coalition entre membres d'une même fratrie peut avoir des effets notables à ce stade. Il a ainsi été montré qu'une femelle intégrant un groupe avec une de ses sœurs profite d'un meilleur environnement social, et

de telles « paires » commencent à se reproduire plus tôt au cours de leur première saison de reproduction qu'une femelle ayant intégré seule ce même groupe.

Après l'hiver, durant leur première saison de reproduction, les individus achevant leur première année de vie postnatale n'ont pas forcément tous intégré avec succès un groupe social (Myers et Poole, 1961). C'est typiquement le cas de certains mâles qui occupent alors un large secteur chevauchant les territoires de plusieurs groupes sociaux (cas des « vagabonds ») ou qui limitent leur activité à des zones situées en dehors des frontières de groupes voisins ou entre ces dernières (mâles « satellites »). De telles situations s'observent en revanche rarement chez les jeunes femelles, sauf en cas de forte densité de population.

## Pour en savoir plus

Altbäcker V., Hudson R., Bilkó A., 1995. Rabbit-mothers' diet influences pups' later food choice. *Ethology*, 99, 107-116.

Baumann P., Oester H., Stauffacher M., 2005. The influence of pup odour on the nest related behaviour of rabbit does (*Oryctolagus cuniculus*). *Applied Animal Behavior Science*, 93, 123-133.

Bautista A., Mendoza-Degante M., Coureaud G., Martina-Gomez M., Hudson R., 2005. Scramble competition in newborn domestic rabbits for an unusually limited milk supply. *Animal Behaviour*, 70, 997-1002.

Broekhuizen S., Bouman E., Went W., 1986. Variations in timing of nursing in the brown hare (*Lepus europaeus*) and the European rabbit (*Oryctolagus cuniculus*). *Mammal Review*, 16, 139-144.

Charra R., Datiche F., Castanho A., Gigot V., Schaal B., Coureaud G., 2012. Brain processing of the mammary pheromone in newborn rabbits. *Behavioural Brain Research*, 226, 179-188.

Coureaud G., Langlois D., Lamothe L., Schaal B., 2001. Composition pour l'alimentation des lapins. Brevet français CNRS-Inra n° 01 02752.

Coureaud G., Moncomble A.S., Montigny D., Dewas M., Perrier G., Schaal B., 2006. A pheromone that rapidly promotes learning in the newborn. *Current Biology*, 16, 1956-1961.

Coureaud G., Fortun-Lamothe L., Langlois D., Schaal B., 2007. The reactivity of neonatal rabbits to the mammary pheromone as a probe for viability. *Animal*, 1, 1026-1032.

Coureaud G., Fortun-Lamothe L., Rödel H., Monclús R., Schaal B., 2008a. Development of social and feeding behaviour in young rabbits. In : *Proceedings of the 9th World Rabbit Congress* (Xiccato G., Trocino A., Lukefahr S.D., eds.), 10-13 June, Verona, Italy, 1131-1146, Fizz, Brescia, Italy.

Coureaud G., Rödel H.G., Kurz C.A., Schaal B., 2008b. Comparison of rabbit pup responsiveness to the mammary pheromone in breeding and semi-wild conditions. *Chemoeology*, 18, 53-59.

Coureaud G., Charra R., Datiche F., Sinding C., Thomas-Danguin T., Languille S., Hars B., Schaal B., 2010. A pheromone to behave, a pheromone to learn: the rabbit mammary pheromone. *The Journal of Comparative Physiology A*, 196, 779-790.

Coureaud G., Thomas-Danguin T., Wilson D.A., Ferreira G., 2014. Neonatal representation of odour objects: distinct memories of the whole and its parts. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 281, 2013.3319.



- Cowan D.P., 1987. Aspects of the social organization of the European wild rabbit (*Oryctolagus cuniculus*). *Ethology*, 75, 197-210.
- Cross B.A., 1958. On the mechanisms of labour in the rabbit. *Journal of Endocrinology*, 16, 261-276.
- Duperray J., Adelis R., 1991. Une manipulation des lapereaux avant le sevrage diminue la mortalité. *Cuniculture*, 99, 18, 125-128.
- EFSA-AHAW Panel, 2005. Scientific opinion of the scientific panel on animal health and welfare on "The impact of the current housing and husbandry systems on the health and welfare of farms domestic rabbits". *The EFSA Journal*, 267, 1-31.
- Fortun-Lamothe L., Prunier A., Bolet G., Lebas F., 1999. Physiological mechanisms involved in the effects of concurrent pregnancy and lactation on foetal growth and survival in the rabbit. *Livestock Production Science*, 60, 229-241.
- González-Mariscal G., Gallegos J.A., 2014. The maintenance and termination of maternal behavior in rabbits: involvement of suckling and progesterone. *Physiology & Behavior*, 124, 72-76.
- Hudson R., Distel H., 1982. The pattern of behaviour of rabbit pups in the nest. *Behaviour*, 79, 255-272.
- Jilge B., 1993. The ontogeny of circadian rhythms in the rabbit. *Journal of Biological Rhythms*, 8, 247-260.
- Jouhannau M., Schaal B., Coureaud G., 2016. Mammary pheromone-induced odour learning influences sucking behaviour and milk intake in the newborn rabbit. *Animal Behaviour*, 111, 1-11.
- Künkele J., von Holst D., 1996. Natal dispersal in the European wild rabbit. *Animal Behaviour*, 51, 1047-1059.
- Lebas F., 2009. Quelques comportements du lapin et leurs conséquences sur les méthodes d'élevage. <http://www.cuniculture.info/Docs/Elevage/Profess-02-Comportement.htm> <consulté le 18/11/2015>.
- Legendre A., Faure P., Tiesset H., Potin C., Jakob I., Sicard G., Schaal B., Artur Y., Coureaud G., Heydel J.M., 2014. When the nose must remain responsive: glutathione conjugation of the mammary pheromone in the newborn rabbit. *Chemical Senses*, 39, 425-437.
- Le Normand B., Jegou P., Maiche N., 1994. Intérêt de l'allaitement contrôlé en élevage cunicole. 6<sup>e</sup> journées de la recherche cunicole, 6-7 décembre, Inra-Itavi, La Rochelle, 499-504, Itavi éd., Paris.
- Lincoln D.W., 1974. Suckling: A time-constant in the nursing behaviour of the rabbit. *Physiology & Behavior*, 13, 711-714.
- Lloyd H.G., Mc Cowan D., 1968. Some observations on the breeding burrows of the wild rabbit *Oryctolagus cuniculus* on the island of Skokholm. *Journal of Zoology*, 156, 540-549.
- Maertens L., Rommers J., Jacquet M., 2011. Le logement des lapins en parcs, une alternative pour les cages classiques dans un système « duo » ? 14<sup>e</sup> journées de la recherche cunicole, 22-23 novembre, Inra-Itavi, Le Mans, 85-88, Itavi éd., Paris.
- Mirabito L., Buthon L., Cialdi G., Galliot P., Souchet C., 1999. Effet du logement des lapines en cages rehaussées avec plate-forme : premiers résultats. 8<sup>e</sup> journées de la recherche cunicole, 9-10 juin, Inra-Itavi, Le Mans, 67-70, Itavi éd., Paris.
- Myers K., Poole W.E., 1961. A study of the biology of the wild rabbit, *Oryctolagus cuniculus* (L.), in confined populations. II. The effects of season and population increase on behaviour. *CSIRO Wildlife Research*, 6, 1-41.

- Mykutowycz R., Ward M.M., 1971. Some reactions of nestling of the wild rabbit, *Oryctolagus cuniculus* (L), when exposed to natural rabbit odours. *Forma et Functio*, 4, 137-148.
- Rödel H. G., Bora A., Kaiser J., Kaetzke P., Khaschei M., von Holst D., 2004. Density-dependent reproduction in the European rabbit: a consequence of individual response and age-dependent reproductive performance. *Oikos*, 104, 529-539.
- Rödel H.G., Starkloff A., Bautista A., Friedrich A.C., von Holst D., 2008a. Infanticide and maternal offspring defence in European rabbits under natural breeding conditions. *Ethology*, 114, 22-31.
- Rödel H.G., Hudson R., von Holst D., 2008b. Optimal litter size for individual growth of European rabbit pups depends on their thermal environment. *Oecologia*, 155, 677-689.
- Rödel H.G., Landmann C., Starkloff A., Kunc H.P., Hudson R., 2013. Absentee mothering – not so absent? Responses of European rabbit (*Oryctolagus cuniculus*) mothers to pup distress calls. *Ethology*, 119, 1024-1033.
- Rödel H.G., Starkloff A., 2014. Social environment and weather during early life influence loads of an intestinal parasite in a group-living small mammal. *Oecologia*, 176, 389-398.
- Rödel H.G., Zapka M., Talke S., Kornatz T., Bruchner B., Hedler C., 2015. Survival costs of fast exploration during juvenile life in a small mammal. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 69, 205-217.
- Schaal B., Coureaud G., Langlois D., Giniès C., Sémon E., Perrier G., 2003. Chemical and behavioural characterisation of the rabbit mammary pheromone. *Nature*, 424, 68-72.
- Vastrade F.M., 1985. Éthologie du lapin domestique – II. Structure temporelle des comportements de base. *Cuni Sciences*, 3, 15-21.
- von Holst D., Hutzelmeyer H., Kaetzke P., Khaschei M., Rödel H.G., Schrutka H., 2002. Social rank, fecundity and lifetime reproductive success in wild European rabbits (*Oryctolagus cuniculus*). *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 51, 245-254.
- Zarrow M.X., Denenberg V.H., Anderson C.O., 1965. Rabbit: Frequency of suckling in the pup. *Science*, 150, 1835-1836.

# 5

## Nutrition et alimentation

Thierry Gidenne, François Lebas, Davi Savietto, Paul Dorchies,  
Joël Duperray, Chantal Davoust, Laurence Fortun-Lamothe

Nos connaissances en alimentation du lapin proviennent pour l'essentiel d'études sur l'animal élevé en cage, nourri à volonté avec un seul aliment (sans libre choix) présenté sous forme de granulés secs, et élevé en conditions climatiques contrôlées (en intérieur). La régulation de l'ingestion, l'alimentation et la nutrition seront évoquées selon plusieurs facteurs (âge, type d'alimentation, etc.). La dernière partie de ce chapitre traitera de l'alimentation du lapin (domestique et sauvage) lorsqu'il est élevé dans des conditions d'élevage variées (extérieur, climat tropical, etc.) ou en situation de libre-choix alimentaire.

### Comportement alimentaire et ingestion de nutriments

Le comportement alimentaire du lapin est marqué par deux caractéristiques fortes. D'une part, il présente une forte aptitude et un goût pour grignoter et ronger des matériaux (aliments ou non), bien que l'animal ne soit pas un rongeur (voir chapitre 1), en lien avec sa physiologie digestive d'herbivore monogastrique (voir p. 146). D'autre part, comme tous les lagomorphes, le lapin pratique la cæcotrophie, soit l'ingestion totale d'un excréta spécifique : les « cæcotrophes » (voir chapitre 2). Ainsi, le lapin effectue deux types de repas, avec des aliments et avec des cæcotrophes. Comme herbivore, son système d'ingestion et de digestion est presque inversé par rapport aux ruminants. Pour ces derniers, le système consiste à retenir les particules de nourriture dans le rumen (au début du tube digestif) pour y être fermentées jusqu'à ce qu'elles atteignent une taille suffisamment faible pour passer dans la suite de l'intestin pour y être digérées. Pour le lapin, à l'inverse, la nourriture est d'abord digérée de façon enzymatique dans l'intestin grêle, puis est fermentée dans le cæcum et le côlon proximal, placés en fin de tube digestif. Dans ces segments fermentaires, les particules fines de digesta y séjournent plus longtemps, tandis qu'il y a un rejet rapide des particules grossières (riches en fibres peu digestes) dans les crottes dures. Ceci est associé à une ingestion fractionnée en de nombreux repas au cours de la journée, favorisant ainsi un transit rapide des digesta et la valorisation des fractions fibreuses les plus digestibles. Par conséquent, le lapin peut consommer une grande variété d'aliments, des graines aux

plantes herbacées voire ligneuses, et il peut donc s'adapter à des environnements alimentaires très divers, du désert aux climats tempérés ou froids.

### Une alimentation lactée quasi-exclusive jusqu'à trois semaines d'âge

En moyenne, le lapereau n'est allaité par sa mère qu'une fois par jour (voir chapitre 4). Néanmoins, en élevage, environ 15 % des mères peuvent nourrir leurs jeunes deux fois par jour, avec une plus forte fréquence de ce comportement biquotidien en deuxième semaine de lactation (Hoy et Selzer, 2002). Cependant, l'intérêt pour les lapereaux, d'être allaités plusieurs fois par jour par leur mère, est faible puisque leur croissance est la même qu'il soient allaités une ou deux fois par jour. Éventuellement, lorsque la quantité de lait est insuffisante, des lapereaux essaient de téter leur mère chaque fois que celle-ci entre dans la boîte-à-nid, mais cela n'engendre pas d'ingestion de lait si cette dernière ne présente pas un comportement d'allaitement (position typique du corps).

Comme évoqué précédemment, la première tétée (colostrum) intervient dans les minutes qui suivent la naissance, voire, pour les premiers-nés, avant que la parturition soit totalement achevée. Elle est essentielle pour assurer la survie précoce du lapereau. Le lapereau de 5-6 jours peut boire, en une seule tétée, jusqu'à 25 % de son poids vif en lait.

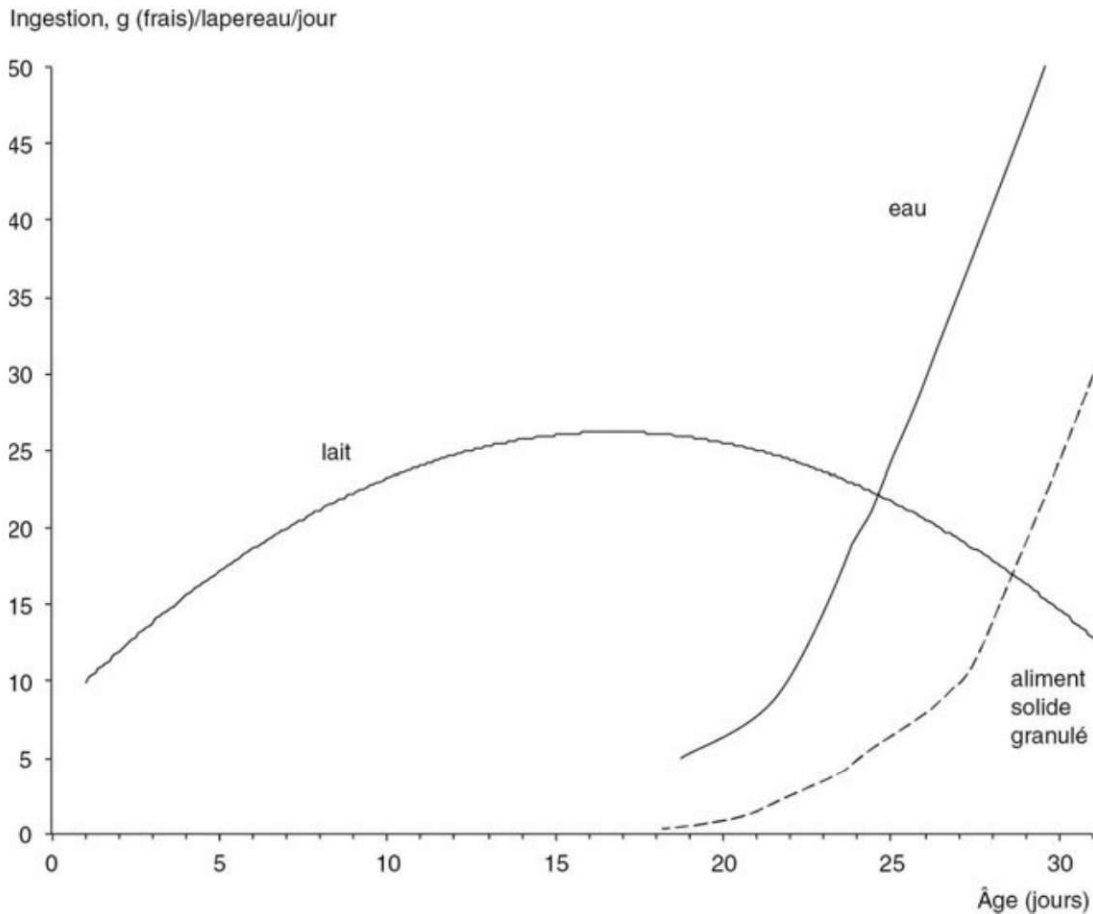
De plus, le lapereau peut, dès 7 à 9 jours d'âge, consommer quelques fèces dures maternelles que sa mère dépose parfois dans le nid durant la première semaine de lactation. Ce comportement de coprophagie du lapereau est stimulé et prolongé (jusqu'à trois semaines d'âge) si on ajoute quelques fèces exogènes dans le nid, et cela serait favorable à sa viabilité.

Entre une et trois semaines d'âge, le jeune augmente sa prise de lait de 10 à 25 g de lait/jour (figure 5.1), voire 35 g/j au pic de lactation pour des lignées commerciales prolifiques. Puis, la production laitière diminue (plus rapidement si la mère est simultanément gestante). De la naissance à 21 jours d'âge, un lapereau élevé dans une portée de 7 à 9 jeunes consomme de 450 à 600 g de lait. À partir de 21 jours d'âge et jusqu'au sevrage (couramment entre 30 et 35 jours), l'ingestion de lait se réduit (140 à 200 g pour la période 21 à 32 j), alors que l'ingestion d'aliments solides granulés s'accroît rapidement.

### Avant le sevrage : transition du lait vers l'aliment solide

En conditions courantes d'élevage (en cage dans un bâtiment), le seul aliment solide disponible pour les lapereaux est sous forme de granulés secs (11 à 12 % d'eau) dans une mangeoire qui sert à la mère et aux lapereaux avant le sevrage. L'apprentissage de l'abreuvement précède celui de l'aliment solide. L'ingestion de granulés ne débutera que si le lapereau peut se déplacer pour accéder à la mangeoire de la mère et à l'abreuvement (par exemple pipette à eau), soit entre 16 et 21 jours d'âge (figure 5.1). Ainsi, l'ingestion totale de granulés est de 25 à 30 g/lapereau pour la période 16-25 jours ; puis elle est presque décuplée dans la semaine qui suit (150 à 200 g/lapereau entre 26 et 32 jours). Au sevrage ( $\approx$  1 mois), l'ingéré quotidien de granulés est d'environ 80 g (poids vif  $\approx$  700 g). Cette quantité de granulés ingérés variera en proportion du poids vif du lapereau, et de manière





**Figure 5.1.** Profil d'ingestion chez le lapereau de la naissance au sevrage.

inverse avec l'ingestion de lait : une forte ingestion de lait retardera le début de l'ingestion d'aliment solide et réduira la quantité ingérée. L'âge au sevrage est évidemment un facteur « absolu » pour moduler l'âge du début d'ingestion d'aliment solide. Par exemple, à l'état sauvage, les lapereaux peuvent être sevrés entre 3 et 4 semaines d'âge, si la mère est de nouveau gestante et qu'elle prépare un nouveau nid pour la prochaine portée.

La période entre 25 et 30 jours d'âge est une période de transition alimentaire, pendant laquelle l'ingestion d'aliment granulé va dépasser celle de lait et où le lapereau va passer d'une seule tétée par jour à de nombreux repas solides et liquides (25 à 30/24 h) plus ou moins alternés et répartis le long de la journée, avec des repas plus fréquents en période nocturne. De plus, on assiste à l'installation du comportement de cæcotrophie, qui débute entre 22 et 28 jours d'âge, dès que le jeune consomme suffisamment d'aliment sec. Et en parallèle le contenu cæco-colique et l'activité microbienne cæcale se développent. Ainsi, dans cette période, le lapereau peut ingérer trois types d'aliments différents : le lait, l'aliment sec (granulé) et les cæcotrophes. Cependant, le comportement alimentaire individuel du lapereau reste difficile à étudier et demeure donc largement méconnu. Avant sevrage, la régulation de l'ingestion en fonction de l'énergie digestible ingérée n'est pas établie et d'autres facteurs doivent jouer un rôle, tels que l'odeur, la dureté ou la taille du

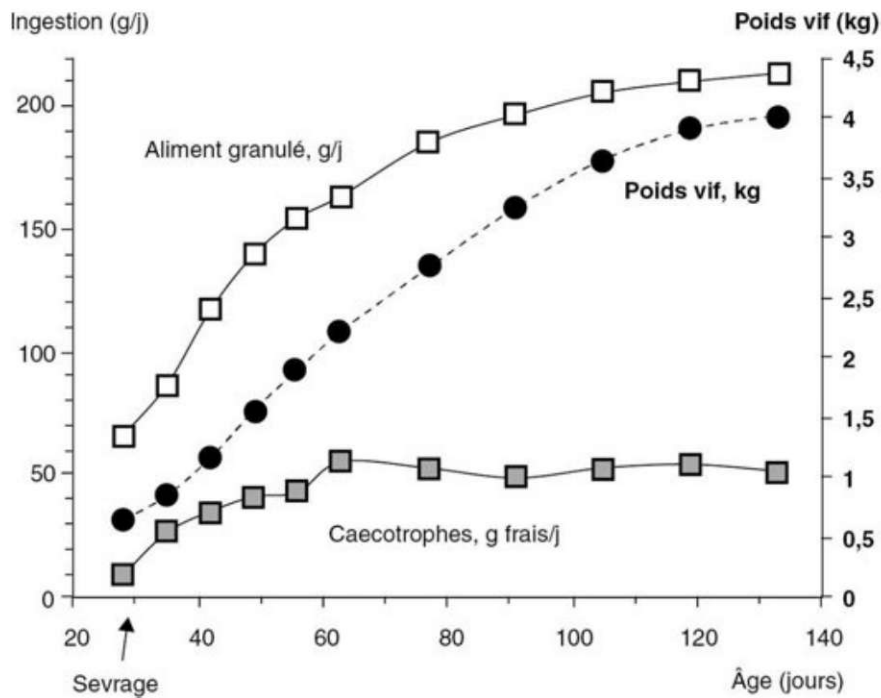
granulé. De plus, l'ingestion d'aliment solide présente une grande variabilité entre deux portées (10 à 45 %).

Les nutriments fournis par le lait sont à 90 % des lipides et des protéines, puisque la concentration en lactose du lait de lapine est très faible (< 2 g/kg frais, voir p. 74). Ainsi, jusqu'à trois semaines d'âge, l'ingestion énergétique du lapereau provient essentiellement des lipides du lait. Mais, dès 25 jours d'âge, la quantité de nutriments fournis par l'aliment sec dépasse celle fournie par le lait (figure 5.2, planche 6). Les apports de protéines végétales dépassent ceux de protéines animales (lait). Les sources d'énergie se diversifient et les apports d'énergie d'origine glucidique (amidon, sucre, fibres de l'aliment sec) dépassent les apports d'origine lipidique (lait). Dès le sevrage, les fibres représentent près de la moitié de l'ingéré (31 g TDF ingéré/j pour un ingéré d'aliment de 65 g) ; l'amidon représente 14 % de l'ingéré total ; tandis que l'ingestion de lipides devient très mineure (2 g/j soit 4 %), alors que cela représentait le tiers de l'ingéré (et presque 100 % de l'ingéré d'énergie) jusqu'à trois semaines d'âge. Ainsi, en l'espace de deux semaines (entre 21 et 35 jours d'âge), le profil alimentaire du lapereau est totalement modifié, en termes de quantité et de composition en nutriments. Cette phase de transition alimentaire correspond au déploiement des fonctions digestives typiques d'un herbivore, avec le développement de l'activité microbienne cœcale pour l'hydrolyse des fibres et leur fermentation. Comme pour d'autres jeunes mammifères, ces nombreux changements physiologiques dans une fenêtre temporelle relativement étroite pourraient être à l'origine de la sensibilité aux troubles digestifs du jeune lapin autour du sevrage.

### Alimentation solide chez le lapin en croissance et l'adulte

Au préalable, soulignons que l'ingestion d'un aliment sec nécessite d'abreuver l'animal (voir p. 167). Quel que soit l'âge des animaux, l'ingestion d'un aliment qui contiendrait plus de 70 % d'eau (fourrage vert par exemple) apporterait largement toute l'eau nécessaire à des lapins élevés en conditions tempérées (18-25 °C). Chez le lapin en croissance alimenté avec un aliment sec (à 12 % d'humidité) et granulé, le rapport eau ingérée/matière sèche ingérée est de 1,6 à 1,8, tandis que chez l'adulte ou la femelle reproductrice il atteint 2,0 à 2,1.

Après le sevrage, l'ingestion d'aliment granulé s'accroît corrélativement au poids vif et atteint un plateau (180 à 210 g/j) entre 4 et 5 mois d'âge (figure 5.3), pour des races de format moyen d'un poids adulte d'environ 5 kg. Comme chez de nombreux mammifères, l'ingestion spontanée du lapin est régulée globalement selon son besoin en énergie digestible (ED). Rappelons que plusieurs hormones jouent des rôles importants dans la régulation de l'appétit et de la prise alimentaire chez les mammifères (ghréline, leptine, neuropeptide Y, etc.), mais elles ont été très peu étudiées chez le lapin. Des mécanismes chémostatiques sont également impliqués, au travers du système nerveux et de métabolites sanguins liés au métabolisme énergétique. Chez les animaux monogastriques, la glycémie joue un rôle clé dans la régulation de la prise alimentaire, alors que, chez les ruminants, les concentrations plasmatiques en acides gras volatils ont un rôle important. Étant donné que le lapin est un monogastrique herbivore, la glycémie semble jouer un



**Figure 5.3.** Ingestion et croissance chez le lapin sevré, nourri à volonté.

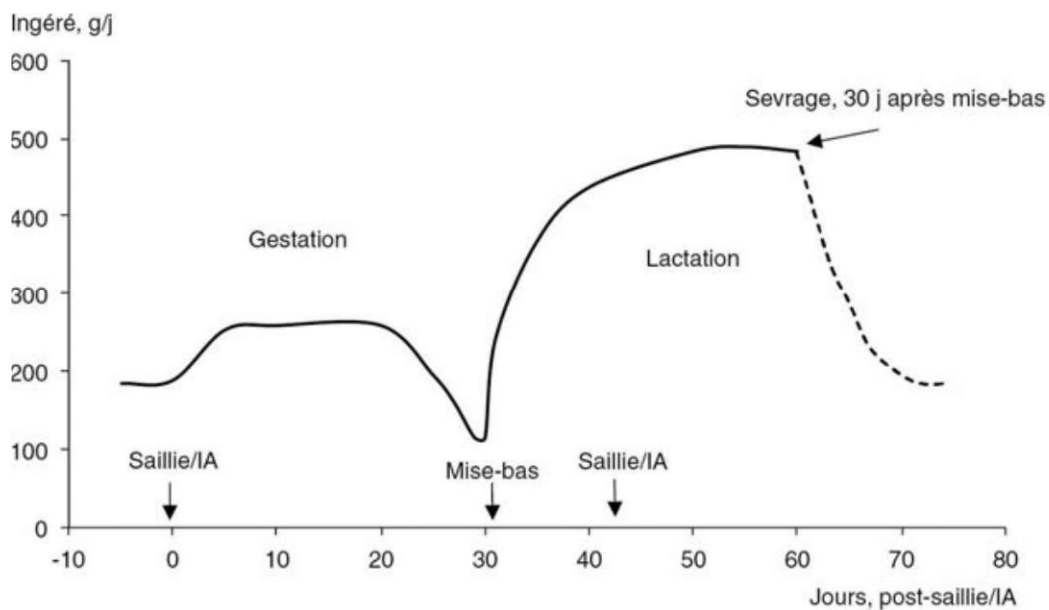
rôle prépondérant par rapport à la concentration en acides gras volatils (AGV), mais le rôle respectif de ces deux métabolites (glucose *vs* AGV) sur la régulation de l'ingestion reste mal connu.

La régulation chémostatique intervient si la concentration énergétique de l'aliment est supérieure à 8,0 MJ ED/kg. Mais au-delà de 12,5 MJ d'ED/kg, le lapin ne réduira pas suffisamment son ingéré pour équilibrer son ingéré d'ED : il aura donc un ingéré d'ED plus élevé. L'ingéré volontaire du lapin en croissance est souvent mieux corrélé avec la concentration en lignocellulose (ADF) de l'aliment qu'avec sa teneur en ED. Pour le lapin sevré en croissance (souches commerciales hybrides), l'ingestion énergétique est proportionnelle à la vitesse de croissance, et oscille entre 750 et 1 000 kJ ED/j/kg poids vif métabolique ( $P_m = [\text{poids vif}]^{0,75}$ ), sachant que c'est entre 6 et 8 semaines d'âge que la vitesse de croissance atteint son niveau le plus élevé (40 à 50 g/j pour des lignées commerciales hybrides). Si l'aliment est peu énergétique (< 9 MJ ED/kg), alors la régulation est assurée par des facteurs physiques, en lien avec l'encombrement de l'estomac. Lorsque ce dernier est plein d'aliment, cela conduit à la satiété et donc à l'arrêt de l'ingestion. Par exemple, lorsque le lapin est nourri avec des fourrages verts ou secs (ou au pâturage), ou avec des aliments très fibreux (> 25 % ADF), son ingéré énergétique sera moindre. Chez l'adulte à l'entretien, l'ingéré énergétique oscillera entre 650 et 800 kJ ED/j/kg  $P_m$ .

L'ingéré d'aliment granulé par la lapine en production dépend fortement de son statut physiologique (figure 5.4). La baisse de consommation en fin de gestation est marquée chez toutes les femelles et peut mener à l'arrêt complet de l'ingestion d'aliment solide chez certaines femelles la veille de la mise-bas. Par contre, l'ingestion d'eau ne devient jamais nulle. Après la mise-bas, la consommation alimentaire reprend très rapidement et peut atteindre plus de 120 g/j/kg PV au pic de lactation

(soit plus de 500 g/j pour des lapines hybrides de 5 kg). Durant son cycle reproductif, l'ingéré énergétique d'une lapine pourra varier de 600 à 1 600 kJ/J/kg Pm (Xiccato et Trocino, 2010). Ainsi, la limite de la régulation chémostatique est plus élevée pour la lapine en production, et elle peut être nourrie avec un aliment plus énergétique (10,5 à 11,0 MJ ED/kg) que le lapin en croissance.

Le lapin domestique fait quotidiennement de nombreux repas (environ 40 repas par 24 heures à 6 semaines d'âge), probablement du fait de la faible capacité de stockage de l'estomac (voir chapitre 1). À 6 semaines, la durée quotidienne totale consacrée aux repas est supérieure à 3 heures ; elle décroît ensuite rapidement et tombe en dessous de 2 heures. Si on propose au lapin un aliment non granulé (farine ou pâtée, pâturage), le temps qu'il passe à manger peut être doublé ou triplé.

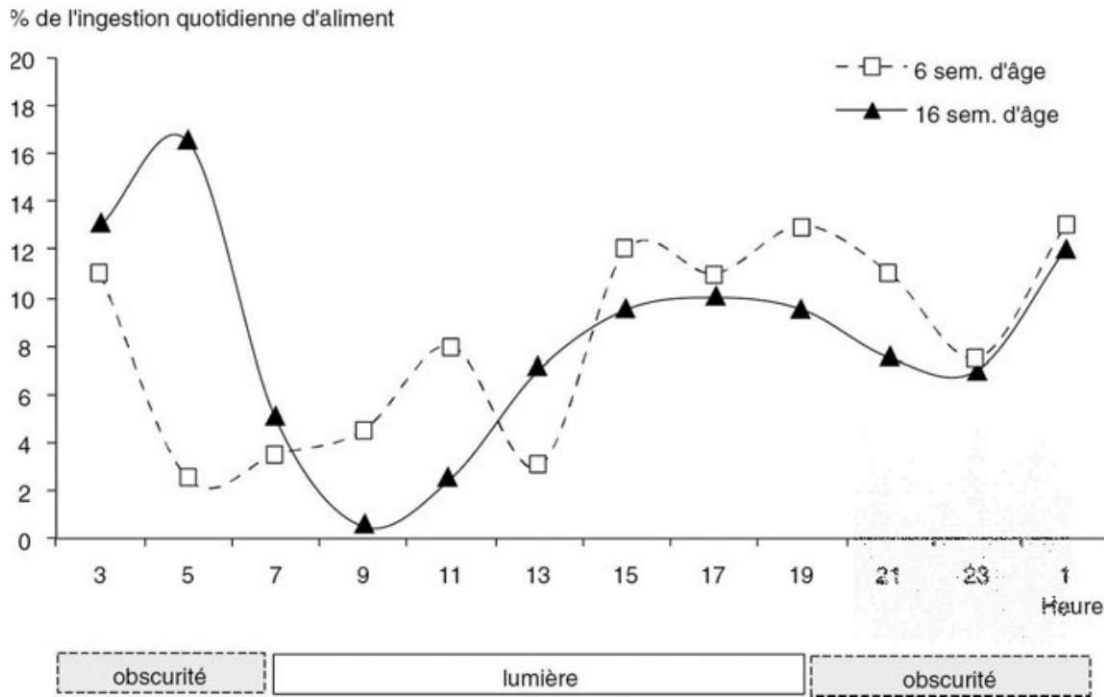


**Figure 5.4.** Ingestion d'aliment par la lapine reproductrice selon son statut physiologique. Données moyennes pour des lapines de lignées sélectionnées en 2015.

#### Encadré 5.1. L'ingestion de la lapine reproductrice : un élément clé de la réussite de la lactation.

En cuniculture professionnelle européenne, la prolificité des lapines est élevée (portées de 8 à 14 petits) ainsi que leur production de lait, pourvu qu'elles ingèrent suffisamment de nutriments (énergie, protéines). Ainsi, on nourrira la femelle allaitante avec un aliment plus énergétique (10,5 à 11,0 MJ d'ED/kg) que pour les lapins en croissance (9,5 à 10,2 MJ ED/kg). Néanmoins, la capacité d'ingestion de la femelle est souvent insuffisante, et elle puisera sur ses réserves corporelles (et maigrira) pour tenter de maintenir sa production de lait. Cette situation cyclique de déplétion et de réplétion des réserves corporelles est normale chez la lapine adulte. Elle est accentuée chez la lapine primipare qui doit en plus achever sa croissance. Afin de limiter le déficit énergétique des femelles primipares, il est intéressant, d'une part, de stimuler leur capacité d'ingestion avant la première mise-bas en leur offrant un aliment peu énergétique (9,0 MJ ED /kg) et riche en fibres et, d'autre part, de réduire le nombre de lapereaux qu'elles allaitent en faisant adopter une partie de leur portée par d'autres femelles plus âgées. Dans tous les cas, il est recommandé de suivre l'état corporel des lapines et d'adapter la stratégie d'alimentation afin de maintenir le troupeau de femelles dans un état corporel satisfaisant (ni trop maigres, ni trop grasses).





**Figure 5.5.** Profil circadien de l'ingestion d'aliment chez le lapin en croissance ou adulte, nourri librement avec un aliment complet granulé (Bellier *et al.*, 1995).

Le comportement alimentaire du lapin est majoritairement crépusculaire et nocturne. Ainsi, plus de 60 % de l'ingestion est réalisée en période d'obscurité pour un lapin soumis à un programme lumière/obscurité de 12h/12h, et une forte consommation précède l'extinction de la lumière dans un local d'élevage.

Avec l'âge, le comportement d'alimentation nocturne devient plus prononcé (figure 5.5). Le nombre de repas pris en période d'éclairement diminue et le « repos alimentaire » matinal tend à s'allonger. Le comportement alimentaire des lapins de garenne est encore plus nocturne que celui des sujets domestiques. En fait, le lapin domestique passe peu de temps sans manger, puisqu'il fait plus de 20 repas par jour pour l'aliment sec, et il a également des repas de cæcotrophes (en fin de nuit ou le matin). Le comportement d'abreuvement est parallèle à celui de l'ingestion d'aliment sec.

L'ingestion de cæcotrophes augmente jusqu'à 2 mois d'âge puis reste stable (figure 5.3). Exprimée en matière fraîche, elle évolue de 10 à 55 g/j entre 1 et 2 mois d'âge ; et l'ingéré sec de cæcotrophes représente de 15 à 35 % de l'aliment sec ingéré. Il est néanmoins possible que ces valeurs soient sous-estimées du fait de la technique de mesure (voir chapitre 2).

### Choix alimentaires « libres » du lapin : intérêts et risques

Le lapin domestique peut parfois exprimer un comportement alimentaire « délicat », avec un refus momentané d'ingestion lors d'un changement d'aliment, ou un refus systématique de certains aliments. Si l'aliment n'est pas granulé, le lapin peut trier (en grattant) le contenu de la mangeoire pour n'ingérer que ce qu'il préfère. Avec un aliment granulé non équilibré, on peut parfois observer un

comportement de « refus » d'aliment (grattage du contenu de la mangeoire, nombreux granulés visibles sous la cage). Le lapin exprime aussi des choix alimentaires selon les caractéristiques de l'aliment granulé (dureté, taille, voir p. 166) et selon son environnement (lumière, température, voir p. 173).

Le lapin reconnaît les saveurs fondamentales, telles que salé, sucré, amer, acide. Il marque une préférence pour des saveurs douces et choisit par exemple un aliment contenant du sucre ou de la mélasse. Contrairement à la majorité des autres espèces domestiques, il apprécie un certain degré d'amertume dans son alimentation. Par exemple, face à un choix de plusieurs luzernes, il préférera celle avec un taux assez élevé de saponine (jusqu'à 3 mg/g d'aliment), donc assez amère.

Face à un choix de graines de céréales (orge, maïs) ou de luzerne déshydratée, le lapin consomme environ 1/3 de graines pour 2/3 tiers de luzerne. Cet équilibre serait de 40/60 % avec avoine et luzerne. Mais, si les grains de maïs sont relativement humides (plus de 14 ou 15 % d'humidité, ce qui peut poser des problèmes de conservation), la proportion de maïs ingéré monte à 45-50 %.

En libre choix, le lapin peut dans certains cas équilibrer sa ration. Par exemple, s'il reçoit un aliment granulé carencé en acides aminés soufrés ou en lysine, et s'il dispose, au choix, d'eau pure ou d'une solution contenant l'acide aminé manquant, il boit la solution avec l'acide aminé de préférence à l'eau pure. Il réussit ainsi à avoir une croissance aussi bonne que celle des témoins nourris avec un aliment équilibré. Mais, dans certaines conditions d'alimentation (mélange de graines), le lapin peut aussi faire des choix néfastes en termes d'équilibre nutritionnel et de santé. Ainsi, quand un aliment énergétique est distribué au choix avec un aliment fibreux, le lapin préfère souvent le premier. C'est probablement la conséquence d'une recherche spécifique de sources énergétiques (rares dans la nature), qui est le système régulateur dominant le comportement d'ingestion du lapin. Mais ce choix peut conduire à accroître la fréquence des troubles digestifs et donc le risque sanitaire en élevage (voir p. 148).

## Nutriments et spécificités pour le lapin

### Principes généraux de nutrition cunicole

En tant qu'herbivore et monogastrique, le lapin présente des besoins nutritionnels particuliers provenant des spécificités de sa physiologie digestive, et notamment la pratique de la cæcotrophie. L'évaluation des besoins nutritionnels est plus récente que pour la plupart des autres espèces de rente. Depuis 40 ans, de nombreuses études ont permis de préciser des recommandations nutritionnelles pour répondre aux besoins de diverses catégories de lapins (jeune en croissance, femelle en lactation, etc.) élevés en conditions climatiques européennes, dans des bâtiments clos et nourris avec des aliments complets granulés. Toutefois, dans certaines circonstances locales, une alimentation s'éloignant de ces normes peut conduire à des résultats satisfaisants.

La composition chimique simplifiée souhaitable pour un aliment complet figure au tableau 5.1, pour chaque catégorie de lapins. Un aliment mixte utilisable pour

Tableau 5.1 Principales recommandations pour la composition d'aliments complets granulés\* selon la catégorie de lapins

Unité = g/kg d'aliment, sauf indication contraire	Jeunes en croissance			Lapines en production		Futures reproductrices	Lapins à l'entretien	Aliment unique	Lapin Angora
	Périsévrage	Fin de croissance		Semi-intensive	Intensive				
Âge des lapins	3 à 6 semaines	7 à 11 semaines		> 19 semaines	> 19 semaines	10 à 19 semaines	Adulte	Tout âge	Adulte
Énergie digestible (ED)	MJ	9,4 à 9,8	9,8 à 10,2	10,5 à 10,7	10,7 à 10,9	9,5 à 9,9	9,0 à 9,3	9,6 à 10,2	10,5
Protéine digestible (PD)	g	110 à 120	100 à 115	115 à 130	125 à 140	100 à 115	95 à 100	110 à 125	120 à 125
Ratio PD/ED	g/MJ	11,6 à 12,2	9,8 à 11,3	10,9 à 12,1	11,7-12,8	10,5 à 11,6	10,5 à 10,8	11,5 à 12,3	1,5 à 12
<b>Acides aminés digestibles</b>									
Lysine	g	6,0	5,7	6,4	6,6	5,5	5,1	5,9	7,0
Soufrés totaux (mét. + cyst.)	g	4,7	4,3	4,6	4,9	4,3	4,0	4,7	8,0
Thréonine	g	4,4	4,2	4,3	4,7	4,2	3,7	4,3	4,0
<b>Fibres</b>									
Lignocellulose (ADFom) <sup>a</sup>	g	≥ 190	≥ 170	160 à 185	155 à 180	≥ 170	≥ 150	≥ 170	155 à 180
Lignines (ADL) <sup>a</sup>	g	≥ 55	≥ 50	≥ 45	≥ 40	≥ 50	≥ 40	> 45	40
Fibres « digestibles » <sup>b</sup>		< 240	< 220	< 270	< 260	< 220			
Ratio FD/ADF		≤ 1,3	≤ 1,3	1,3 à 1,6	1,3 à 1,5	1,3 à 1,5	1,3 à 1,6	≤ 1,3	
<b>Minéraux</b>									
Calcium	g	8,0	7,0	10,5	12,0	7,5	7,0	10,0	8,0
Phosphore	g	4,0	3,0	5,0 à 6,0	5,5 à 6,5	3,5	3,0	5,0	4,0
Sodium	g	2,0	2,2	2,3	2,3	2,2	2,2	2,2	3,0
<b>Oligoéléments</b>									
Cuivre	mg/kg	6	6	10	10	6	6	8	
Fer	mg/kg	30	30	50	50	45	45	45	
Zinc	mg/kg	35	35	60	60	50	35	50	
<b>Vitamines</b>									
Vitamine A	UI/kg	6 000	6 000	10 000	10 000	10 000	6 000	8 000	10 000
Vitamine D	UI/kg	900	900	900	900	900	900	900	900
Vitamine E	UI/kg	40	40	50	50	40	15	40	40
Vitamine K3	mg/kg	1	1	2	2	2	1	2	1

\* Valeurs pour des lapins de lignées commerciales européennes nourris librement avec un aliment granulé à 12 % d'humidité.

<sup>a</sup> Critères de la méthode d'analyse séquentielle des fibres selon la méthode de Van Soest (Gidenne, 2015).

<sup>b</sup> Fibres « digestibles » : somme des hémicelluloses (aNDFom-ADFom) et des pectines insolubles (Gidenne, 2015).

la totalité des animaux d'un élevage est aussi proposé, c'est un compromis entre les exigences nutritionnelles des jeunes en croissance et celles des femelles allaitantes. Trois besoins majeurs sont à retenir :

- l'énergie nécessaire au métabolisme (thermorégulation, déplacements, etc.) ;
- les protéines et les acides aminés qui les composent doivent fournir les éléments de construction ou de reconstruction de l'organisme (tissus, etc.) ;
- les fibres sont un besoin spécifique du lapin, car elles ont un rôle prépondérant dans la régulation du transit et la préservation de la santé digestive.

À ces trois besoins majeurs, s'ajoutent les besoins en minéraux qui sont des éléments constitutifs de certaines parties de l'animal (squelette, sang) ou de ses productions (lait, poils, semence, enzymes, etc.), et qui permettent de construire et de renouveler sans cesse les tissus de l'organisme. Enfin, les vitamines agissent comme co-facteurs indispensables pour un grand nombre de processus métaboliques.

## Nutriments pour la croissance et la santé digestive

### *Couverture des besoins en énergie et en protéines pour la croissance*

#### *Besoins en énergie*

L'énergie est indispensable à la thermorégulation des animaux et aux dépenses de fonctionnement général de l'organisme, son besoin est exprimé en joules d'énergie digestible (ED) par kg d'aliment. Néanmoins, les calories sont une unité usuelle encore aujourd'hui. La relation entre les deux unités est : 1 calorie = 4 184 joules.

L'énergie est principalement fournie par les glucides, tels que l'amidon et aussi les fibres (principalement les plus digestes, comme les pectines et les hémicelluloses) dont la digestion est assurée dans le cæcum (voir p. 19). Dans le cas d'aliments plus concentrés en ED, comme ceux destinés aux femelles reproductrices, les lipides et, éventuellement, les protéines en excès constituent un apport d'ED non négligeable. Pour les lapins en croissance, la couverture des besoins minimums en lipides (acides gras essentiels) est assurée par les matières premières d'origine végétale sans qu'il soit besoin d'ajouter d'autres matières grasses. Par exemple, un aliment granulé classique (contenant 3 ou 4 % de lipides) couvre le besoin en acides linoléique et linolénique.

Si un lapin est nourri à volonté, il régulera son ingestion selon la concentration en ED (ou en fibres) de l'aliment (voir p. 140), dans la mesure où les protéines et les autres éléments de la ration sont bien équilibrés. Si l'aliment contient trop peu d'ED, le lapin ne pourra accroître suffisamment son ingéré pour couvrir ses besoins, et sa croissance sera ralentie. À l'inverse, un aliment trop concentré en ED conduira le lapin à réduire son ingestion, ce qui peut aboutir à un ingéré insuffisant pour d'autres nutriments, tels que les protéines ou certains acides aminés essentiels. Il faut donc que la concentration en nutriments soit calculée pour atteindre une quantité ingérée couvrant les besoins. C'est pourquoi on calcule le ratio PD/ED de l'aliment pour s'assurer d'un apport équilibré en protéines digestibles (PD) et en énergie digestible. Par exemple, on recommande, pour des lapins en fin de croissance (souches commerciales européennes), un aliment avec une concentra-



tion énergétique entre 9,8 et 10,2 MJ ED/kg et un rapport PD/ED entre 9,8 et 11,3 g PD/MJ d'ED (tableau 5.1).

La régulation de l'ingéré énergétique fonctionne bien en climat tempéré tant que les variations de concentration en ED proviennent des apports de glucides (par exemple en substituant de l'amidon par des fibres). Si la température est élevée (28 à 32 °C) et/ou si les lipides apportent plus de 10 % de l'ED, la régulation est imparfaite et le lapin ingérera davantage un aliment plus riche en lipides, probablement en raison de la faible extra-chaleur générée par leur consommation. Une hausse de la teneur en lipides de l'aliment produira donc un accroissement de sa concentration en ED, puisque les lipides (généralement bien digérés) contiennent environ deux fois plus d'ED que les glucides. Cependant, en fonction de la nature de la ration de base (ED initiale, teneur et qualité des protéines, etc.), un apport de lipides peut être plus ou moins bien valorisé sur le plan nutritionnel. Chez la lapine reproductrice ou chez le lapin en croissance, une part importante de l'ED peut être apportée sous forme d'amidon (25 à 30 %). Par contre, avant 40 jours d'âge, le lapereau ne digère pas complètement l'amidon dans son intestin grêle, et c'est pourquoi les aliments distribués autour du sevrage en contiennent peu (< 13 %). Comparé à celle de l'amidon, la faible digestion des fibres, provenant de matières premières comme la luzerne ou le son de blé, leur confère un rôle moindre dans la couverture des besoins énergétiques. Néanmoins, si les fibres proviennent de plantes peu lignifiées (plantes jeunes, pulpes de betteraves), elles peuvent fournir de 20 à 35 % de l'apport énergétique total de la ration.

### *Besoins en protéines*

La fourniture de matières azotées au lapin doit se faire sous forme de protéines, équilibrées en acides aminés. En effet, contrairement aux herbivores ruminants, le lapin valorise très faiblement l'azote non protéique, tel que l'urée qui est absorbée rapidement dans l'intestin grêle (et excrétée dans les urines) et ne peut donc pas être valorisée par les micro-organismes du cæcum. Néanmoins, une certaine valorisation existe si la ration est très déficiente en azote (30 à 50 % inférieure aux besoins), en particulier lorsque la source d'azote non protéique a une vitesse de dégradation modérée dans l'intestin (cas du biuret).

L'aliment doit fournir une quantité minimale de 10 des 21 acides aminés (AA) constituant les protéines, désignés sous le nom d'acides aminés indispensables ou essentiels. Par analogie avec les autres espèces, chez le lapin, on considère en plus deux autres AA qui peuvent partiellement remplacer deux AA indispensables, ce qui conduit à la liste suivante : arginine, histidine, leucine, isoleucine, lysine, phénylalanine + tyrosine, méthionine + cystine, thréonine, tryptophane, valine. Les besoins ont été étudiés avec précision pour l'arginine, la lysine, les AA soufrés (méthionine et cystine) et la thréonine (Xiccato et Trocino, 2010). Les AA soufrés et la lysine sont le plus souvent les AA limitants, suivis immédiatement par la thréonine, et nécessitent donc une attention particulière lors de la formulation des aliments complets ; leurs valeurs de recommandations exprimées en acides aminés digestibles sont indiquées dans le tableau 5.1. Signalons que, pour les acides aminés soufrés, il n'y a qu'une faible marge entre la couverture du besoin et le

niveau entraînant une altération des performances par excès. En ce qui concerne la lysine et l'arginine, leur seuil de toxicité est éloigné du niveau jugé optimal. Cet équilibre en acides aminés n'est pas toujours obtenu seulement avec des protéines végétales, ce qui nécessitera l'ajout d'AA de synthèse. Ainsi, pour le lapin en croissance, si l'aliment a un bon équilibre en acides aminés indispensables, alors il peut ne contenir que 10 à 12 % de protéines digestibles.

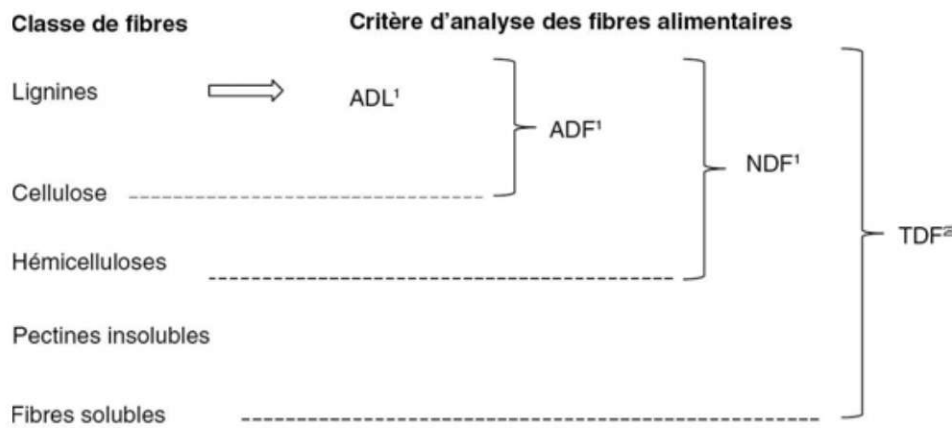
Enfin, signalons que la cæcotrophie fournit aussi des protéines, d'origine bactérienne et de haute qualité biologique, mais en quantité limitée. Les cæcotrophes contiennent environ 30 % de protéines, dont 40 à 60 % sont d'origine bactérienne. Ils contribuent pour 15 à 18 % à l'ingéré total de protéines, pour 18 à 20 % à celui de la lysine et des acides aminés soufrés, et pour 20 à 23 % à celui de la thréonine.

### *Fibres alimentaires et santé digestive du lapin en croissance*

Rappelons que les fibres alimentaires désignent un ensemble varié de molécules composées principalement des polysides et des lignines des parois des cellules végétales (figure 5.6). On distingue cinq classes majeures dans cet ensemble : les lignines, la cellulose, les hémicelluloses, les substances pectiques et des polysaccharides solubles dans l'eau (non amylacés). La digestion par le lapin de ces différentes fractions fibreuses dépendra de leur accès et de leur facilité d'hydrolyse par les enzymes bactériennes cæcales (voir p. 48). Ainsi, la digestibilité fécale est de 15-25 % pour la cellulose, 20-40 % pour les hémicelluloses, jusqu'à 70-75 % pour les pectines, et peut dépasser 80 % pour les polysides solubles. Les lignines sont des composés polyphénoliques et leur digestion par le lapin est quasi nulle. Globalement, la digestion de l'ensemble des fibres (critère TDF : *Total Dietary Fibre*) oscille entre 40 et 60 %, selon le choix des matières premières incorporées dans l'aliment.

En tant qu'herbivore, le lapin a besoin d'ingérer une quantité minimale de fibres pour que son fonctionnement digestif soit normal, notamment pour la régulation du transit digestif et de l'activité du microbiote cæcal. Les risques de troubles digestifs (diarrhée, météorisation) sont élevés chez le jeune lapin, surtout dans les 2 à 4 semaines qui suivent le sevrage, et constituent une source majeure de morbidité et de mortalité. Ces risques sont réduits en respectant un apport minimum de fibres dans l'aliment. Néanmoins, la détermination de la concentration en fibres dans un aliment est une question complexe, et il existe diverses méthodes d'analyse. Il est possible d'analyser l'ensemble des fibres, solubles et insolubles dans l'eau, à l'aide du critère TDF utilisé en nutrition humaine. L'analyse des fibres par la méthode de Weende est la méthode la plus ancienne, et le critère qu'elle fournit, la « cellulose brute », figure toujours sur les étiquettes d'aliments pour lapins, car elle est simple, fiable et peu coûteuse. Mais, selon les ingrédients, ce critère correspond à une fraction très variable de la cellulose, des hémicelluloses et des lignines, et ne prend pas en compte les substances pectiques. C'est donc un critère imparfait pour qualifier les apports en fibres.

La méthode de Van Soest permet une meilleure estimation de plusieurs types de fibres. Ainsi, la quantité de NDF (*Neutral Detergent Fibre*) correspond approximativement à l'ensemble hémicelluloses + cellulose + lignines, tandis que la valeur ADF



**Figure 5.6.** Les fibres alimentaires : principales classes et méthodes d'analyse.

1. NDF, *Neutral Detergent Fibre* ; ADF, *Acid Detergent Fibre* ; ADL, *Acid Detergent Lignin*.
2. TDF, *Total Dietary Fibre* (critères définis dans Gidenne, 2015).

(*Acid Detergent Fibre*) correspond globalement à l'ensemble cellulose + lignines, et la valeur ADL (*Acid Detergent Lignin*) estime la part des lignines. Ces critères sont à la base des recommandations récentes en fibres pour réduire les risques de troubles digestifs du lapin en croissance.

#### Encadré 5.2. Le lapin est herbivore - il doit consommer des fibres pour assurer sa santé digestive.

De manière générale, le lapin (à tout âge) doit consommer une quantité élevée de fibres, provenant si possible de différentes matières premières pour couvrir les différents besoins. En cuniculture professionnelle européenne, l'éleveur achète un aliment complet granulé adapté à l'âge ou au stade physiologique de l'animal. Néanmoins, avant le sevrage, la lapine et ses lapereaux consomment le même aliment, alors que leurs besoins diffèrent. L'éleveur choisira une stratégie d'alimentation en fonction de l'état corporel des lapines, de l'état sanitaire de son troupeau et de ses objectifs de production. Pour cela, des conseils techniques peuvent être fournis par une firme d'alimentation animale ou par son groupement de producteurs (voir p. 168). Par exemple, s'il souhaite réduire les risques de troubles digestifs chez les jeunes lapins, il les nourrira avec un aliment enrichi en fibres (aliment dit « sécurisé »).

Il est également possible d'apporter un complément alimentaire fibreux, en utilisant des blocs de fourrage compressé. Ceci offre de plus un « divertissement » à l'animal, et est considéré comme un enrichissement du milieu de vie favorable au bien-être du lapin.

Dans certains pays, il n'existe pas d'aliment complet équilibré pour lapins, par exemple parce que les outils de formulation, de broyage, de mélange ou de granulation ne sont pas disponibles ou inadéquats. L'alternative est de mettre à disposition du fourrage (vert ou sec) ou encore divers coproduits ou sous-produits fibreux suffisamment appétissants (dans des râteliers ou sur la cage).

Enfin, en complément des apports en fibres, la santé digestive du jeune lapin peut aussi être améliorée par une limitation de son ingestion après le sevrage (voir p. 171).

Un apport insuffisant en fibres alimentaires conduit à accroître le risque de pathologies digestives chez le jeune lapin sevré. Ceci a été démontré en cas de colibacillose mais également pour l'EEL (entéropathie epizootique du lapin, chapitre 6). L'action favorable des fibres sur la santé digestive est probablement liée à un meilleur fonctionnement de l'écosystème cæcal, puisqu'elles constituent l'essentiel du subs-

trat de fermentation dans le cæcum. Pour réduire ces risques, les recommandations en fibres reposent sur trois critères principaux (voir tableau 5.1) qu'il faut tous respecter (Gidenne, 2015) : une quantité minimum de lignocellulose (ADF : > 150-170 g/kg) ; une quantité minimum de lignines (ADL : > 5 g/kg) ; une proportion de fibres digestibles (FD = hémicelluloses + pectines insolubles) équilibrée par rapport aux fibres peu digestes (ADF = cellulose et lignines). Ce dernier point se traduit par le calcul d'un ratio FD/ADF, qu'il faut maintenir inférieur à 1,3. En d'autres termes, l'apport de FD, valorisables pour la croissance, ne doit pas être excessif (< 22-24 %) par rapport à l'apport d'ADF (17 à 19 %).

À l'inverse, un apport excessif en fibres (> 22 % ADF) n'entraîne aucune pathologie. Mais cela conduit à diminuer la concentration énergétique de l'aliment, et donc dégrade l'efficacité alimentaire, en raison d'une digestibilité moyenne des fibres nettement inférieure à celle des autres éléments de la ration (amidon, lipides, protéines). De plus, si la concentration énergétique de l'aliment devient inférieure au seuil de régulation (< 8,5 MJ ED/kg ou si ADF > 25 %), alors la croissance peut être pénalisée du fait d'une ingestion insuffisante de nutriments digestibles. Les recommandations alimentaires en fibres doivent donc être optimisées pour satisfaire ce double objectif de sécurité digestive et d'efficacité alimentaire.

### Nourrir la jeune femelle future reproductrice

À l'instar de nombreuses espèces de rente, la lapine future reproductrice doit être préparée dès que possible à sa vie de reproductrice. Optimiser sa préparation depuis son sevrage (voire sa naissance) est une clé du succès des performances de reproduction et de la longévité de la carrière de la lapine. C'est un enjeu majeur pour l'éleveur, sachant que la lapine rencontre la plupart des difficultés en début de carrière (trois premières portées). Pour bien préparer les jeunes femelles à leur future vie reproductive deux facteurs doivent être pris en considération : 1) l'âge à la première saillie ou 1<sup>re</sup> IA : en général il est de 19 semaines pour des lignées sélectionnées européennes qui, à cet âge, ont une maturité physiologique suffisante ; et 2) l'état corporel : on doit prévenir un état d'engraissement excessif chez la lapine nullipare, pour éviter des problèmes de fertilité à la 1<sup>re</sup> IA (ou saillie). En pratique, ces deux facteurs sont souvent intégrés en une seule recommandation : les jeunes femelles doivent atteindre 80 % du poids moyen adulte de leur lignée, au moment de la 1<sup>re</sup> IA (ou saillie). Cette recommandation à l'avantage d'être simple à mettre en œuvre, même si en réalité le poids vif est un médiocre indicateur de la maturité physiologique de la femelle.

Si elles sont nourries à volonté avec un aliment riche en énergie, tel celui utilisé pour les femelles en reproduction (> 10 MJ ED/kg), les jeunes femelles peuvent atteindre 80 % de leur poids adulte avant que leur système reproducteur soit complètement mature et présenter un engraissement excessif. Pour limiter ce risque d'engraissement excessif, l'éleveur a deux options principales pour contrôler la courbe de croissance et atteindre le poids cible (80 % du poids adulte de la lignée) à la 1<sup>re</sup> IA : d'une part, il peut nourrir librement les jeunes lapines avec un aliment ayant une concentration énergétique modérée ; d'autre part, il peut appliquer une stratégie de restriction de l'ingestion d'aliment (baisse de la quantité distribuée). Ces deux options ont chacune des avantages et des inconvénients. La restriction



est pertinente si l'éleveur ne dispose pas d'un aliment modérément énergétique. Par ailleurs, les avantages d'une restriction quantitative entre 9 et 11 semaines d'âge, et entre 17 et 19 semaines d'âge (excepté un *flushing* avant IA), sont : une réduction de la mortalité des jeunes femelles, une réduction de la mortalité périnatale des lapereaux en début de carrière, et une mobilisation plus modérée des réserves corporelles entre la 1<sup>re</sup> IA et la mise-bas, et entre la 1<sup>re</sup> mise-bas et la 2<sup>e</sup> IA. Cependant, appliquer une stratégie de restriction peut se révéler compliqué pour bien contrôler la croissance des jeunes lapines. En particulier, il faut veiller à ne pas avoir de déficiences d'ingestion de protéines, vitamines et minéraux, durant cette période clé du développement corporel des jeunes femelles.

L'intérêt de distribuer à volonté un aliment peu énergétique (< 9,5 MJ d'ED/kg) et riche en fibres (> 22 % ADF) est de stimuler la capacité d'ingestion de la jeune femelle. Ainsi, l'ingéré quotidien de la femelle est plus élevé, ce qui conduit à une ingestion plus forte de protéines et à un meilleur équilibre énergétique. La taille de la portée à la première mise-bas et le poids des lapereaux au sevrage seraient aussi améliorés, mais ces résultats sont à confirmer. L'intérêt principal de l'utilisation d'un aliment riche en fibres est lié à la préparation des jeunes femelles pour mieux utiliser leurs réserves corporelles en fin de gestation et en fin d'allaitement, ce qui peut améliorer la fertilité à la 2<sup>e</sup> IA (pour un élevage utilisant un cycle de reproduction de 6 semaines).

### Encadré 5.3. Pratiques concrètes de l'alimentation de la jeune femelle, future reproductrice, en cuniculture professionnelle.

Deux périodes peuvent être distinguées pour l'élevage des jeunes femelles provenant de lignées sélectionnées. De 5 à 11 semaines d'âge, les jeunes lapines sont généralement nourries avec un aliment adapté au lapin en croissance et logées en cages collectives, soit en bâtiment d'engraissement, soit de préférence en maternité. Cette dernière solution est recommandée pour des raisons sanitaires, mais aussi pour éviter un rationnement trop sévère (< à 80 % de l'ingestion libre) préjudiciable au développement corporel et à la maturité sexuelle. Par ailleurs, sur cette période, il semble qu'une alimentation à volonté favoriserait la capacité d'ingestion et les performances des femelles sur les premiers cycles de lactation-gestation.

De 12 à 19 semaines d'âge, les jeunes lapines sont logées en cage individuelle et, assez souvent rationnées jusqu'à leur première mise à la reproduction (19 semaines). La définition des caractéristiques nutritionnelles optimales d'un aliment fait encore l'objet d'études ; bien qu'en pratique elles sont souvent nourries avec le même aliment que celui distribué aux femelles en production. Dans ce cas, la recommandation de distribution quotidienne se situe entre 130 et 160 g par lapine. En deçà, les apports nutritifs sont insuffisants en regard des besoins de croissance et préjudiciables aux performances de reproduction. Au-delà de ces quantités, l'état d'engraissement de la lapine en début de carrière est excessif, ce qui peut nuire à sa fertilité. Une semaine avant la première insémination ou saillie, les jeunes lapines sont soumises à un *flushing* alimentaire et lumineux, qui consiste en une alimentation à volonté et un doublement de la durée d'éclairement (8h à 16h/j). Cela vise à augmenter leur réceptivité sexuelle, et donc leur fécondité (fertilité et prolificité, voir chapitre 3).

On recommande donc à l'éleveur de contrôler la croissance des jeunes lapines pour bien suivre les recommandations proposées par le fournisseur des femelles.

Enfin, en pratique, le prix d'un aliment spécifique, le temps de travail, la nécessité d'une préparation prophylactique, le logement des jeunes femelles ou le matériel pour distribuer l'aliment sont autant d'aspects pris en compte par l'éleveur pour choisir sa stratégie de préparation des futures reproductrices.

Les connaissances actuelles sur la préparation des lapines futures reproductrices sont insuffisantes pour proposer une stratégie optimale. En pratique, il existe une grande variété de composition des aliments et de stratégies de restriction pour ces animaux. Même si l'utilisation d'un aliment fibreux est favorable à la biologie de la jeune femelle, il reste à préciser l'âge auquel on doit débiter et achever cette période pour atteindre un bon développement physique et une maturité sexuelle optimale. En cuniculture professionnelle européenne, les fournisseurs de lignées de femelles sélectionnées apportent à l'éleveur les informations nécessaires pour une conduite d'élevage permettant d'optimiser la préparation de leurs animaux jusqu'à la première IA (ou saillie), en particulier concernant l'évolution de l'état corporel du sevrage à la 1<sup>re</sup> IA selon la stratégie choisie. Des informations plus détaillées sur la conduite nutritionnelle des futures reproductrices sont détaillées dans la revue de Martínez-Paredes *et al.* (2015).

## Nourrir la femelle en reproduction

La femelle en reproduction doit couvrir ses besoins pour l'entretien (renouvellement des tissus en conditions thermiques neutres), la thermorégulation (maintenir la température corporelle), la gestation (croissance fœtale, annexes embryonnaires, mammogénèse), la lactation (galactopoïèse), l'immunité (défenses spécifiques et non spécifiques) et l'activité physique. Si la femelle n'a pas terminé sa croissance (âge < 6 mois), il convient aussi d'ajouter les besoins de croissance. On considère généralement que ces besoins sont additifs. C'est-à-dire que, pour connaître les besoins d'une jeune femelle élevée en cage (peu d'activité physique) dans un bâtiment chauffé (zone thermique neutre) et qui allaite sa première portée, il faut additionner les besoins (en énergie, ou en protéines, ou en acides aminés) pour l'entretien, la croissance, la gestation, et/ou la lactation (suivant qu'elle est seulement gestante, allaitante ou simultanément gestante et allaitante).

La femelle reproductrice est moins sensible aux troubles digestifs que les lapereaux en croissance. Ses besoins en fibres sont généralement couverts par un aliment contenant au moins 15 % d'ADF, 35 % de NDF et 4,5 % de lignines. Les points critiques concernent surtout la couverture des besoins en énergie et en protéines digestibles, et le ratio PD/ED. Les besoins en vitamines et minéraux sont traités dans les sections suivantes.

## Besoins énergétiques

La femelle adulte régule son ingestion sur la teneur en énergie de l'aliment. L'ingéré énergétique est proportionnel au poids métabolique de l'animal ( $P_m$ ), il se situe autour de 1 100-1 300 kJ d'ED/kg  $P_m$  pour une lapine en pleine lactation (2 à 3 semaines après la mise-bas). Toutefois, lorsque la teneur en énergie de l'aliment est trop faible ou lorsque la femelle est allaitante, ou simultanément gestante et allaitante, ses besoins énergétiques peuvent dépasser sa capacité d'ingestion. La femelle doit alors puiser sur ses réserves corporelles pour satisfaire ses besoins. Il est intéressant de noter que l'ajout de matières grasses dans l'aliment (+2 à +4 pts) entraîne généralement une augmentation de l'ingestion d'énergie car la régulation de l'ingestion au niveau central (cerveau) se réalise principalement sur le taux de glucose sanguin (et non pas sur le taux de lipides).

Le besoin énergétique d'entretien d'une lapine gestante et allaitante est d'environ 470 kJ/jour/kg Pm (430 kJ/jour/kg Pm, si seulement gestante ou vide). C'est-à-dire qu'une femelle pesant 4 kg doit ingérer 115-125 g/j d'un aliment contenant 10,6 MJ (2 530 kcal) pour couvrir ses besoins d'entretien (tableau 5.2).

**Tableau 5.2.** Couvrir les besoins énergétiques d'entretien et de production de lait d'une lapine.

Poids vif (g)	Lapine gestante ou allaitante		Lapine gestante et allaitante		Production de lait	Lapine allaitante	
	Besoin d'entretien (430 kJ ED/jour/kg Pm)	Quantité d'aliments*	Besoin d'entretien (470 kJ ED/jour/kg Pm)	Quantité d'aliments*		Besoin pour la production de lait (8,4 MJ ED/kg de lait)	Quantité d'aliments*
2 500	855 kJ/j	80 g/j	935 kJ/j	90 g/j	50	420 kJ	40 g/j
3 000	980 kJ/j	90 g/j	1 070 kJ/j	100 g/j	100	840 kJ	80 g/j
3 500	1 100 kJ/j	105 g/j	1 200 kJ/j	115 g/j	200	1 680 kJ	160 g/j
4 000	1 215 kJ/j	115 g/j	1 330 kJ/j	125 g/j	300	2 520 kJ	240 g/j
4 500	1 330 kJ/j	125 g/j	1 450 kJ/j	140 g/j	400	3 360 kJ	315 g/j

\* aliment granulé, équilibré pour les autres nutriments, et contenant 10,60 MJ d'ED/kg brut.

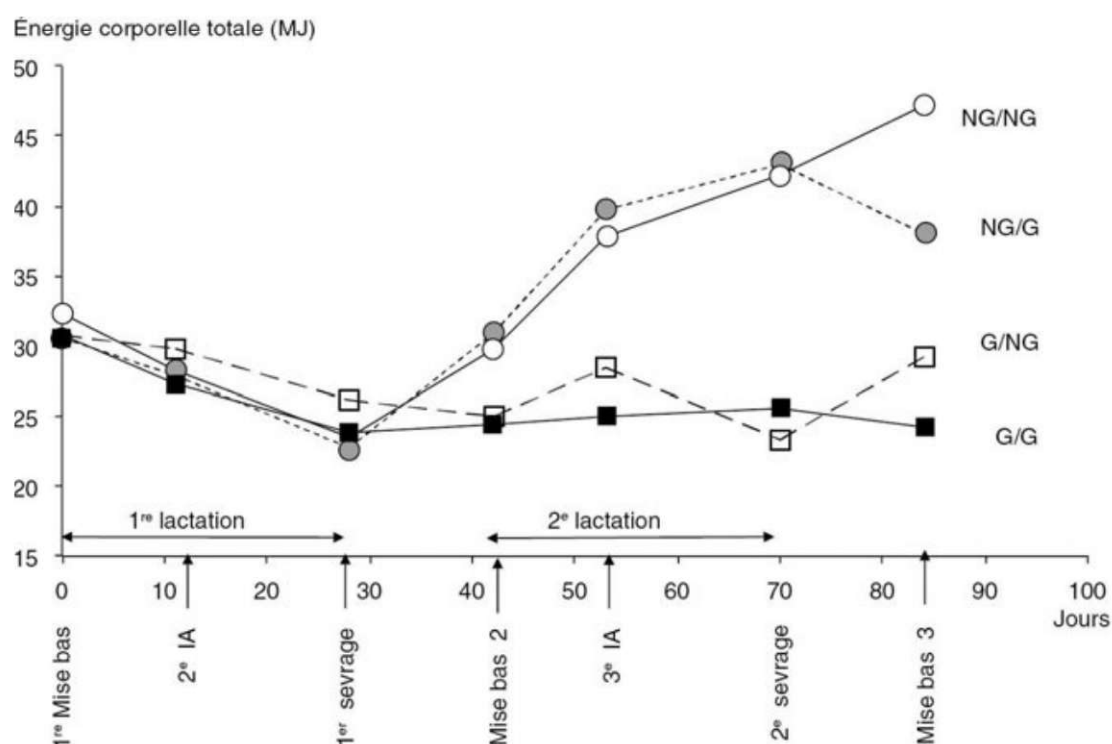
Les besoins sont additifs, c'est-à-dire qu'il faut ajouter les besoins nécessaires à l'entretien, la lactation, la gestation (selon le statut physiologique). Les quantités nécessaires peuvent dépasser la capacité d'ingestion d'une femelle qui puisera alors sur ses réserves corporelles.

Les besoins pour la gestation sont faibles au cours des trois premières semaines de gestation car la croissance fœtale est encore réduite : l'utérus gravide pèse environ 200 g au 21<sup>e</sup> jour de gestation, mais environ 650 g une semaine plus tard, ce qui représente une quantité d'énergie de 2,2 MJ. L'efficacité de transformation de l'énergie digestible ingérée par la femelle pour la croissance fœtale est de 0,30-0,45. Une femelle doit donc ingérer environ 500 à 700 g d'aliment (s'il contient 10,6 MJ d'ED/kg) supplémentaire au cours de la gestation pour permettre la croissance fœtale. En réalité, l'ingestion des femelles augmente de 25 à 50 % au cours de la gestation (suivant la période), soit 1,2 à 1,8 kg d'aliment supplémentaire ingéré. Cela excède largement les seuls besoins pour la croissance fœtale. Il en résulte un bilan énergétique positif au cours de la gestation (environ +2,5 MJ) qui se traduit par une augmentation des réserves corporelles sous forme de lipides (+52 g = +13 %) et de protéines (+25 g = +4 %). L'efficacité de transformation de l'énergie digestible ingérée par la femelle pour la croissance corporelle est de 0,56. Ces réserves corporelles mises en place pendant la gestation pourront être mobilisées au cours de la lactation pour soutenir la production laitière.

La consommation d'aliment des femelles fait plus que doubler au cours de la lactation, mais cette augmentation est insuffisante pour couvrir les besoins liés à l'entretien (1,27 MJ/jour) et à la production de lait (2,90 MJ par jour). Les femelles produisent en effet 50 à 400 g par jour d'un lait riche en énergie (8,4 MJ/kg ; voir chapitre 2), et l'efficacité de transformation de l'ED ingérée par la femelle pour la

production de lait est de 0,65. Pour couvrir les besoins d'entretien et de production de lait au pic de lactation (400 g/j), une femelle de 4,5 kg devrait en effet ingérer 460 g/j d'aliment (10,60 MJ d'ED/kg ; tableau 5.2). Cela dépasse la capacité d'ingestion de la plupart des femelles. Il en résulte un bilan énergétique au cours de la lactation qui est négatif (jusqu'à -12 MJ au cours de la première lactation), et une mobilisation corporelle lipidique importante (-250 à -300 g de lipides corporels mobilisés) au cours de la lactation. L'efficacité de transformation de l'énergie corporelle pour la production de lait est de 0,80. L'énergie pour la production de lait provient pour 80 % environ de l'ingestion d'aliment, et pour 20 % environ de la mobilisation des réserves corporelles déposées au cours de la gestation.

En cuniculture professionnelle européenne, les besoins des femelles allaitantes sont si élevés qu'un aliment modérément énergétique, comme ceux destinés à des lapereaux en croissance (9,2 MJ/kg), ne couvre pas leurs besoins. Il existe donc des aliments plus énergétiques pour les lapines allaitantes contenant de 10,4 à 11,2 MJ d'ED/kg. Le bilan énergétique (différence entre les apports et les besoins) des femelles varie beaucoup au cours des cycles de reproduction (figure 5.7) et il est très lié à l'ingéré d'énergie digestible.



**Figure 5.7.** Évolution de la teneur en énergie corporelle des lapines au cours du 2° et 3° cycle de reproduction en fonction de leur fertilité.

G : gestantes ; NG : non gestantes (Xiccato et Trocino, 2010).

### Facteurs de variation des besoins en énergie

Les besoins en énergie sont influencés par des facteurs intrinsèques, c'est-à-dire propres à l'animal (la parité, la taille de la portée, le type génétique, etc.), et des



facteurs extrinsèques liés aux conditions d'élevage (le rythme de reproduction, la température, l'âge au sevrage, etc.).

Chez les jeunes femelles (en première et seconde portées, ou ayant moins de 6 mois), les performances de reproduction (notamment la taille et le poids de la portée) et la production laitière (−10 %) sont réduites, mais leur capacité d'ingestion est également plus faible (−5 à −15 %). Au final, il existe donc toujours, quelle que soit la parité, un déficit énergétique qui augmente au cours de la lactation, et que la femelle comble par une mobilisation de ses réserves corporelles. La production laitière s'accroît avec le nombre de lapereaux allaités. Parallèlement, l'ingestion d'aliment augmente de 8,3 g d'aliment pour 10 g de lait produit en plus. Toutefois, cette augmentation est insuffisante pour couvrir les besoins supplémentaires pour la production de lait. Le déficit énergétique est donc plus important lorsque la taille de la portée augmente : respectivement −9 MJ et −12 MJ pour 4 et 10 lapereaux allaités. En conséquence, le poids du tissu adipeux périrénal est plus faible chez les femelles ayant allaité une portée de grande taille, que ce soit pendant une ou plusieurs lactations successives. Le type génétique des femelles influence à la fois leur consommation (i.e. les apports en énergie), leur format et leurs performances de reproduction (i.e. les besoins en énergie). Une comparaison du bilan énergétique et de l'état corporel de lapines appartenant à deux souches de format différent a montré que les femelles de la souche lourde (4 kg ; +10 % de poids vif) ont eu une ingestion d'aliment plus élevée (+11 %), un déficit énergétique au cours de la lactation plus faible (−47 %) et des réserves corporelles au moment du sevrage plus importantes (masse adipeuse +30 %), et ceci avec une production laitière similaire à celle de la souche légère (3,6 kg).

Le rythme de reproduction influence également le bilan énergétique des animaux. Lorsque la femelle est fécondée pendant la lactation, la gestation et la lactation se superposent, et les besoins pour la production de lait et ceux pour la croissance des fœtus s'additionnent. Dans cette situation la production laitière des femelles décroît progressivement, pour s'annuler dans les jours qui précèdent la mise-bas. Mais, dans le même temps, la croissance fœtale et les besoins qui y sont associés augmentent très fortement au cours des 8-10 derniers jours de gestation. En conséquence, les besoins énergétiques et la mobilisation corporelle des lapines augmentent lorsque le rythme de reproduction s'accélère (figure 5.7). Sur le long terme cette situation peut devenir problématique car les femelles n'ont pas (avec un rythme *post-partum* ou 32 jours) ou peu (rythme à 35 ou 42 jours) de périodes moins productives, pendant lesquelles elles peuvent reconstituer les réserves corporelles qu'elles ont mobilisées. Cela se traduit soit par une augmentation de la perte de femelles (réforme ou mortalité), soit par des périodes d'infertilité pendant lesquelles les femelles reconstituent leurs réserves corporelles.

En élevage conventionnel, le sevrage des lapereaux est généralement pratiqué entre 30 et 35 jours d'âge. Il a été montré qu'une lactation plus courte, par un sevrage pratiqué entre 21 et 26 jours d'âge, permet de réduire la production de lait, le déficit énergétique des femelles, et donc améliore leur état corporel : mobilisation énergétique : −8, −13 et −19 % comparé à l'état initial pour des sevrages à 21, 26 et 32 jours d'âge, respectivement (Xiccato et Trocino, 2010). Si la température

ambiante dépasse 26-28 °C, cela accroît les besoins en énergie de la femelle alors même qu'elle réduit son ingestion volontaire ; un aliment plus énergétique pourra être une solution partielle dans ce cas (voir p. 173).

### *Origine de l'énergie alimentaire*

L'énergie est principalement fournie par les glucides, notamment l'amidon, et dans une moindre mesure les fibres, les lipides et les protéines en excès. Sans ajout spécifique de matière grasse, un aliment pour lapine reproductrice contient généralement 2,5-3,5 % de lipides et 13-20 % d'amidon, ce qui permet sans difficulté d'atteindre une teneur en énergie digestible de 10,3-10,8 MJ/kg. L'ajout de lipides permet d'augmenter la concentration énergétique de l'aliment sans diminuer sa teneur en fibres et évite d'atteindre des niveaux trop élevés en amidon. On peut pour cela utiliser des huiles, des tourteaux gras ou des graines oléagineuses entières.

Si le lapin adulte régule son ingestion d'ED en fonction de la teneur en ED de l'aliment, à l'inverse, la lapine allaitante augmentera son ingéré d'ED si elle ingère un aliment plus concentré en énergie (> 9-9,5 MJ d'ED/kg). Cet effet est plus marqué chez les lapines multipares que chez les primipares, et lorsque le supplément d'ED est apporté sous forme de lipides plutôt que sous forme d'amidon (+231 kJ/jour/%EE additionnel). À l'inverse, les effets sur la fertilité et la prolificité sont beaucoup plus contradictoires. Pour une même concentration énergétique, la production laitière des femelles augmente lorsque l'aliment est enrichi en matières grasses. Le lait est alors également plus riche en lipides, ce qui favorise la croissance des lapereaux (poids vif au sevrage : +2,1%/EE) et leur taux de survie. Si l'énergie supplémentaire provient de l'amidon, la production laitière des femelles n'augmente pas, et même diminue dans certaines études. La composition du lait n'est pas affectée par une augmentation de la teneur en amidon de l'aliment. Au final, la plus forte production laitière induite par l'ajout de matières grasses se traduit par une mobilisation corporelle plus importante chez les femelles primipares. Mais, sur le long terme, l'augmentation de la teneur en énergie de l'aliment, sous forme d'amidon ou de lipides, a un effet positif sur l'état corporel de la femelle.

### *Besoins en protéines et en acides aminés*

Le besoin en protéines digestibles pour l'entretien a été estimé 3,8 g PD/kg Pm chez des lapines gestantes et/ou allaitantes. Au cours d'une gestation, le dépôt de protéines dans l'utérus gravide (hors fœtus et placenta) est de 72 g et l'efficacité de transformation des protéines digestibles pour la croissance fœtale est de 0,44. La teneur en protéines du lait est élevée (110-130 g/kg) et l'efficacité de transformation des protéines digestibles pour la production de lait est de 0,78. Au final, pour les femelles reproductrices, il est recommandé d'utiliser un aliment contenant 17,5 à 19 % de protéines brutes et 12,5 à 13,8 % de protéines digestibles. Cela correspond à un ratio PD/ED de 11,5 à 12,5 g PD/MJ d'ED. Les valeurs les plus fortes sont recommandées pour des femelles hautes productrices conduites en rythme intensif. Une baisse du ratio PD/ED va réduire la production laitière, et donc la taille et/ou le poids de la portée plutôt que l'état corporel de la femelle. À l'opposé, un accroissement de la teneur en protéines de l'aliment (jusqu'à 21 %) permet d'aug-

menter la production laitière, mais peut réduire légèrement le nombre de lapereaux sevrés, notamment par une augmentation de leur mortalité.

Il est aussi nécessaire d'être vigilant sur les apports en acides aminés, notamment les apports d'acides aminés soufrés (4,6 g/kg), de lysine (6,4 g/kg) et de thréonine digestibles (4,3 g/kg). Un apport insuffisant en acides aminés essentiels, malgré des taux de protéines digestibles corrects, entraîne une réduction de la production laitière, et donc du poids de la portée au sevrage. Enfin, remarquons que l'apport optimum de thréonine digestible est assez étroit, autour de 4,4 g/kg, sachant que des apports plus bas (< 4,0) ou plus élevés (> 5,0) pourraient défavoriser la croissance des lapereaux et l'efficacité alimentaire.

### *Interactions entre les besoins des femelles et des lapereaux avant le sevrage*

Les besoins nutritionnels des jeunes lapereaux avant le sevrage ne sont pas parfaitement connus en raison de difficultés méthodologiques (apport de lait simultané, élevage en groupe, variabilité, remplissage des réservoirs digestifs, etc.). Toutefois, quelques études ont montré que la distribution d'un aliment riche en fibres digestibles avant le sevrage favoriserait la viabilité des lapereaux après le sevrage. Cela semble également vrai avec un apport de fibres rapidement fermentescibles (pectines solubles,  $\beta$ -glucanes, fructanes). Avant l'âge du sevrage, le lapereau ne semble pas réguler son ingestion d'énergie aussi précisément qu'après l'âge du sevrage (> 1 mois) et semble montrer une appétence pour les aliments riches en énergie. Son niveau d'ingestion sera donc plus élevé si l'aliment est concentré, ce qui aura un effet positif sur son poids au sevrage, mais risque d'accroître les problèmes digestifs ultérieurs si l'apport de fibres (quantité et qualité) n'est pas simultanément maintenu à un niveau suffisant.

Comme les femelles et les lapereaux ont accès aux mêmes aliments jusqu'au sevrage, l'alimentation a une influence directe sur la croissance des lapereaux, et une influence indirecte par ses effets sur la composition et, surtout, sur la quantité de lait produite par leur mère. Or, les besoins nutritionnels de la mère et des jeunes lapereaux avant le sevrage sont antagonistes. La femelle a des besoins énergétiques très élevés pour assurer à la fois la croissance des fœtus et la production de lait. À l'inverse, le jeune lapereau a besoin d'aliments riches en fibres (peu énergétiques) pour réduire les risques de troubles digestifs autour du sevrage. Pour cela, on peut remplacer une partie de l'amidon alimentaire par des fibres, mais l'aliment sera moins énergétique et pourrait ne pas couvrir la totalité des besoins de la femelle (reproduction et/ou lactation). L'alimentation périsévrage est donc souvent un compromis pour couvrir les besoins des femelles et des lapereaux, puisqu'en pratique courante d'élevage il n'y a pas de matériel permettant une alimentation de la mère séparée de celle des jeunes (voir p. 168).

### **Nourrir le mâle reproducteur**

Des recommandations précises pour nourrir les mâles reproducteurs ne sont pas réellement disponibles car ce sujet a été très peu étudié. Pour des lapins de lignées

commerciales européennes, l'ingestion volontaire augmente jusqu'à environ 5 mois, puis se réduit naturellement d'environ 30 % pour se stabiliser aux alentours de 170 g/j d'aliment granulé. Contrairement à une idée répandue, la restriction alimentaire ne favorise pas les qualités reproductives des mâles. Une restriction de 20 à 25 % de l'ingéré (soit 125 à 135 g/j), juste au besoin d'entretien, réduit la libido et le volume des éjaculats (0,96 *vs* 1,30 ml), et le nombre de spermatozoïdes par éjaculat (453 *vs* 585 millions). Le rationnement des mâles reproducteurs n'est donc pas conseillé, sauf en cas d'engraissement excessif ou d'activité peu fréquente. En pratique, en centre d'insémination, on peut pratiquer une légère restriction, en donnant une dose journalière de 150 g d'un aliment formulé pour lapins en croissance (9,5 à 10,0 MJ d'ED/kg). Cela permet aussi une ingestion plus régulière, car il existe une forte variabilité d'ingestion d'un jour à l'autre chez certains mâles.

La production spermatique semble assez peu sensible à la qualité de l'aliment. Néanmoins, on recommande qu'il contienne au moins 15 % de protéines. Les caractéristiques de la semence sont similaires si le mâle est nourri avec un aliment contenant 15 % ou 17 % de protéines, mais elles sont dégradées si l'aliment n'en contient que 13 %. Un bon équilibre en acides gras (saturés, monoinsaturés, polyinsaturés) semble plus important que la quantité totale de lipides dans l'aliment. Les acides gras polyinsaturés jouent un rôle dans la fluidité membranaire, importante pour les différentes phases de la fécondation (notamment la réaction acrosomique et la fusion gamétique). Il semble donc important de surveiller leurs apports et l'aliment devrait en contenir au moins 1 %. De plus, le niveau d'insaturation de la membrane des spermatozoïdes rend ces cellules très sensibles à la peroxydation (oxydation des lipides polyinsaturés) qui dégrade les structures membranaires et l'intégrité, notamment, de l'ADN. La protection contre la peroxydation est assurée par le plasma séminal, dont la composition peut être influencée par l'alimentation. Ainsi, les mâles nourris avec un aliment contenant un niveau élevé d'antioxydants (200 mg/kg vitamine E et 0,5 g/l de vitamine C) ont une semence qui possède un niveau de lipoperoxydation réduit. Cet effet est intéressant si l'on doit congeler la semence. Une surcharge en vitamine E (+400 mg par kg) ou en vitamine C (+2 g par kg) n'a pas d'effet sur la quantité ou la qualité de la semence du mâle. Une supplémentation en vitamines liposolubles (A, D, E) n'est pas nécessaire si le mâle reçoit un aliment équilibré courant pour lapins en croissance. En centre d'insémination (utilisation intense des mâles), il est néanmoins courant de distribuer un mélange de vitamines aux mâles, environ une fois par mois.

## Besoins en minéraux et en vitamines

### Apports en minéraux et oligoéléments

Par nature, tous les minéraux nécessaires au fonctionnement de l'organisme des animaux doivent être apportés par l'alimentation, aucune synthèse n'étant possible. Contrairement aux protéines, lipides et glucides, ils n'ont aucune valeur énergétique. On distingue classiquement les minéraux « majeurs », dont la concentration dans l'aliment est souvent de plusieurs grammes par kg (calcium, phosphore, sodium, potassium, chlore et soufre), et les oligoéléments, présents en plus petites quanti-



tés (quelques mg/kg), eux aussi nécessaires au bon fonctionnement de l'organisme (fer, cuivre, zinc, iode, cobalt, manganèse, etc.).

Calcium et phosphore sont majoritairement présents sous forme minérale dans les os et les dents (98-99 % du calcium et 78-80 % du phosphore). Les autres minéraux, et une partie du phosphore et du calcium, sont présents dans les tissus mous sous forme organique en tant que constituants des cellules (phosphore par exemple dans les parois cellulaires) et de très nombreuses enzymes et molécules fonctionnelles (fer par exemple dans l'hémoglobine et la myoglobine ou le phosphore du couple ATP/ADP, base du métabolisme énergétique), ou d'hormones (iode dans les hormones thyroïdiennes par exemple), voire de certaines vitamines (cobalt dans la vitamine B<sub>12</sub>). Tous les minéraux de l'organisme sont régulièrement renouvelés, y compris ceux des os ou des dents ; ils sont aussi exportés dans les nouveau-nés, le lait, ou se déposent au cours de la croissance de l'animal. Il n'y a qu'un faible nombre d'études sur les besoins en minéraux des différentes catégories de lapins et ces travaux datent souvent de plus 30 à 40 ans, voire plus. Ainsi, les travaux des années 1960 et antérieures, sur la base de la croissance d'animaux suivis individuellement et de la calcification osseuse, proposaient un apport de calcium de 0,4 % minimum pour les lapins en croissance, avec un apport pouvant aller sans problème jusqu'à 2,5 % de la ration. Les travaux plus récents, prenant également en compte la mortalité, la morbidité et les anomalies osseuses, conduisent à des recommandations dans une fourchette beaucoup plus étroite, de 0,7-0,8 % de l'aliment au minimum, à 1,5-1,6 % au maximum. Chez la lapine allaitante dont le lait est très riche en calcium, le besoin minimum est plus élevé (1,1-1,2 % de la ration), et des apports complémentaires ponctuels de calcium dans les jours qui suivent la mise-bas peuvent s'avérer utiles chez les lapines à forte production.

Compte tenu des besoins connus et de la composition des végétaux, des apports alimentaires spécifiques en minéraux majeurs, en plus de ceux contenus dans les végétaux, sont très souvent nécessaires pour le calcium, le phosphore et le chlore, et toujours nécessaires pour le sodium. Les apports totaux doivent aussi être estimés pour le potassium en raison d'un risque d'excès, un apport trop important (plus de 1,8-2 % de la ration) pouvant par exemple être source de troubles digestifs et/ou d'une diminution de l'absorption du magnésium, et conduire à une carence en ce minéral. Les apports totaux recommandés figurent au tableau 5.1.

Une remarque complémentaire est nécessaire sur l'apport de phosphore. En raison d'une valorisation digestive du phosphore phytique similaire à celle du phosphore minéral grâce à l'action des bactéries du microbiote digestif, les recommandations alimentaires se font, chez le lapin, en phosphore total sans distinguer le phosphore minéral et le phosphore organique (phytates). Par ailleurs, comme l'excrétion du calcium se fait par voie urinaire, après une absorption digestive indépendante de la concentration alimentaire (cas particulier dans le domaine animal), et comme l'excrétion du phosphore se fait par voie fécale, contrairement à ce qui est observé chez les autres espèces, il n'y a pas lieu de chercher un rapport quelconque entre les apports de phosphore et de calcium dans le cas du lapin.

Parmi les oligo-éléments, une attention particulière doit être apportée aux apports minimums en zinc (impliqué, entre autres, dans les mécanismes de défenses immu-

nitaires) et en cuivre (impliqué dans la formation de l'hémoglobine). Des apports de fer sont très souvent utiles, compte tenu de son rôle fondamental dans l'hématopoïèse et la synthèse de la myoglobine (principale protéine constitutive des muscles). En revanche, il n'est pas nécessaire d'effectuer d'apport de cobalt, dans la mesure où les plantes utilisées pour nourrir les lapins ne sont pas elles-mêmes carencées en cobalt.

#### Encadré 5.4. Les vitamines et minéraux dans un aliment complet : importance des « premix ».

Concrètement, en cuniculture professionnelle européenne, les besoins en certaines vitamines, oligoéléments et minéraux sont couverts par un mélange de produits purifiés. Ce prémélange, ou « premix », est incorporé dans l'aliment à un taux compris entre 0,2 et 2,0 %. La concentration et les niveaux d'apports varient selon le stade physiologique de l'animal. En Europe, la fabrication de ces premix est réalisée par des usines spécialisées ou firmes service.

### Apports en vitamines

Les vitamines sont des substances organiques sans valeur énergétique propre, indispensables à la vie, que ce soit pour la croissance, l'entretien ou la reproduction. Le lapin, comme les autres animaux, ne peut pas les synthétiser, sauf la vitamine D. Elles sont donc fournies au lapin, soit par sa flore digestive pour quelques-unes, soit plus généralement par l'alimentation. Dans l'organisme du lapin (et des autres animaux), elles interviennent à très faibles doses, en particulier comme coenzymes ou précurseurs de coenzymes dans la régulation des processus métaboliques. Les vitamines ne sont jamais incorporées comme élément constitutif de l'organisme et n'ont généralement aucune parenté chimique entre elles.

On classe le plus souvent les vitamines en fonction de leur solubilité. Les vitamines du group B et C sont hydrosolubles et ne s'accumulent donc pas dans l'organisme. Les vitamines A, D, E, K sont liposolubles et sont stockées dans le foie ou le tissu adipeux, ce qui rend leurs apports excessifs potentiellement toxiques (hypervitaminose A et D).

### *Vitamines liposolubles*

Ces vitamines doivent être apportées par l'alimentation en quantité suffisante. Les recommandations minimales figurent au tableau 5.1.

La vitamine A est essentielle au maintien de nombreuses fonctions physiologiques, dont la vision, la reproduction, les réactions de défense immunitaire, la croissance, le fonctionnement cellulaire, etc. La vitamine A n'existe que chez les animaux. La source végétale de vitamine A la plus active est constituée par le  $\beta$ -carotène (provitamine A), dont la molécule doit être scindée en deux dans l'organisme pour acquérir une activité vitaminique A. Une dizaine d'autres molécules caroténoïdes sont aussi des provitamines A ( $\alpha$ -carotène, cryptoxanthine, etc.). Lorsque la proportion de végétaux verts (ou correctement déshydratés comme la luzerne) est importante, soit plus du quart de la ration, l'apport de  $\beta$ -carotène est suffisant pour couvrir la totalité des besoins en vitamine A. Par contre, lorsque cet apport

de fourrages verts est plus faible, un apport alimentaire de vitamine A de synthèse peut être utile, mais ne doit pas dépasser 30 000 UI/kg (toxicité potentielle).

La vitamine D est un facteur de régulation essentiel du métabolisme du calcium. Elle favorise l'absorption intestinale du calcium et l'ossification. Une dizaine de composés ont ce type d'activité dont les principaux sont l'ergocaliférol (vitamine D<sub>2</sub>) et le cholécaliférol (vitamine D<sub>3</sub>). Son apport alimentaire est toujours souhaitable mais la fourchette entre utilité et toxicité est assez étroite : 800-1 000 UI/kg minimum et 2 000 UI/kg maximum dans l'aliment. Un apport plus important accroît la mortalité, surtout chez les mères, principalement en raison d'une calcification erratique des tissus mous. Pour cette raison, les apports occasionnels de vitamine D dans l'eau de boisson doivent être raisonnés en tenant compte de l'apport par l'aliment.

La vitamine E est un antioxydant, elle protège les membranes cellulaires, d'autant mieux qu'elle en stabilise les lipides (évite leur oxydation). Elle intervient aussi dans la fonction de reproduction. On connaît au moins sept formes moléculaires de tocophérols se différenciant par le nombre et la position des groupements méthyl (-CH<sub>3</sub>) sur la molécule. Ils se distinguent par une lettre grecque (alpha, bêta, gamma, etc.) en fonction de l'ordre décroissant de leur activité vitaminique E. La quantité minimum de vitamine E nécessaire au lapin en croissance est fournie par l'ingestion d'un aliment contenant au moins 25 mg de vitamine E (α-tocophérol) par kg. Un aliment n'en contenant que 15 mg/kg doit être considéré comme déficient. Compte tenu de son rôle dans la fonction de reproduction, un apport plus élevé est conseillé pour les lapins reproducteurs. Aussi, en fonction des apports éventuels par les matières premières, une supplémentation des aliments par 30 à 50 mg de vitamine E par kg est-elle recommandée, en particulier pour les lapins reproducteurs. Un apport beaucoup plus important de vitamine E dans l'alimentation (150 à 200 mg/kg) peut être utilisé pour réduire la vitesse d'oxydation de la viande de lapin au cours de sa conservation après abattage. Cela peut être pratiqué car on ne connaît pas de toxicité à la vitamine E : les lapins supportent sans difficulté des aliments contenant jusqu'à 10 000 mg de vitamine E par kg.

La vitamine K est une substance antihémorragique indispensable à la synthèse, dans le foie, des protéines de la coagulation sanguine. Il existe deux formes naturelles équivalentes de vitamine K, l'une d'origine végétale, la phylloquinone ou vitamine K<sub>1</sub>, et l'autre d'origine bactérienne, la ménaquinone ou vitamine K<sub>2</sub>. La vitamine K<sub>3</sub>, ou ménadione, est la forme synthétique qui a l'avantage d'être aussi hydrosoluble ; elle est transformée en vitamine K<sub>2</sub> dans l'organisme. Malgré une certaine synthèse de vitamine K<sub>2</sub> par les bactéries du tube digestif du lapin, un apport alimentaire de vitamine K de 1 à 2 mg/kg d'aliment est souhaitable, surtout si l'apport par les fourrages verts (forme K<sub>1</sub>) est faible.

### **Vitamines hydrosolubles**

Les vitamines du groupe B et la vitamine C sont synthétisées en quantités importantes par les bactéries du tube digestif. L'ingestion des cæcotrophes permet de couvrir de 3 à 100 fois le besoin minimum des lapins. Cependant, si les lapins souffrent de troubles digestifs et d'un arrêt de la cæcotrophie, l'apport bactérien

peut devenir insuffisant. Il est important de souligner que, contrairement aux vitamines liposolubles facilement stockées dans les graisses et le foie des lapins, les vitamines hydrosolubles sont peu ou pas stockées dans l'organisme. Elles nécessitent donc un apport quotidien. C'est pourquoi une complémentation en vitamines du groupe B est souvent ajoutée dans les aliments qui sont utilisés pendant les périodes de fragilité digestive des lapins, comme la période suivant le sevrage. La vitamine C agit sur le stress oxydatif de la cellule et constitue donc un apport intéressant dans les périodes de convalescence ; elle est cofacteur dans la synthèse du collagène et peut contribuer à un renforcement de la paroi des vaisseaux, elle est donc souvent recommandée en période de chaleur. Il faut souligner que la molécule est sensible à la lumière et à la chaleur, ce qui rend délicate son incorporation dans les aliments granulés en raison, notamment, de l'échauffement lors de la granulation. Pour que la vitamine C reste active, son incorporation doit être faite sous forme protégée. Son apport par l'eau de boisson ne pose pas de problème majeur.

## Qualité des aliments

### Éléments de formulation d'un aliment composé équilibré

Pour nourrir correctement un lapin à partir d'un aliment unique (en général sec et granulé), il faut couvrir ses besoins en lui fournissant un aliment correspondant le mieux possible aux critères mentionnés au tableau 5.1. Pour cela, on mélange dans des proportions précises divers ingrédients ou matières premières dont on connaît la composition. Ces informations de composition chimique et de valeur nutritive (concentration en ED et PD) sont présentes dans des tables dont un extrait est donné en tableau 5.3 (Maertens *et al.*, 2002). Des tables très complètes sont également disponibles librement sur internet (<http://www.feedipedia.org>).

Néanmoins, les valeurs en acides aminés digestibles des ingrédients ne sont pas disponibles dans ces tables. Pour couvrir les besoins, ces valeurs sont donc estimées en utilisant le coefficient de digestibilité moyen des protéines de l'ingrédient choisi. Pour obtenir un mélange optimal des différents ingrédients, on peut utiliser un logiciel de formulation qui permettra de calculer les proportions des ingrédients dans le mélange pour un moindre coût. Un logiciel simple, basé sur l'emploi de feuille de calcul (WUFFDA), est disponible gratuitement (<http://www.cuniculture.info/Docs/Elevage/Profess-04-Besoin.html>). Le choix des matières premières est essentiel pour aboutir à un aliment équilibré et sain, ceci est détaillé dans la section suivante. Un exemple d'aliment composé granulé et équilibré pour un lapin en croissance est donné dans le tableau 5.4.

### Choix des matières premières : qualités nutritionnelle et hygiénique

#### Qualités nutritionnelles

D'une manière générale, il est important de connaître l'origine de toutes les matières premières incorporées à un aliment composé : fournisseurs et procédé d'obtention du produit. Ainsi, un même produit, mais provenant de deux fournisseurs ayant des procédés d'obtention différents, pourra expliquer des écarts de valeur nutritive



**Tableau 5.3.** Composition chimique et valeur nutritionnelle de quelques ingrédients\*\* utilisés en alimentation du lapin\*.

% brut	Amidon	Matière grasse	Protéines brutes	Lysine	AA soufrés	ADF	ADL	Fibres digestibles <sup>a</sup>	Calcium	Phosphore	Sodium	Potassium	Protéine digestible	ED, MJ/kg
Blé tendre	60,0	1,8	10,8	0,33	0,45	3,1	0,9	8,4	0,04	0,35	0,02	0,41	8,3	13,10
Orge	51,0	2,0	10,3	0,39	0,42	5,5	0,9	12,6	0,06	0,36	0,02	0,14	6,9	12,90
Tourteau de soja	0,0	1,8	45,0	2,81	1,31	8,2	0,6	11,9	0,29	0,61	0,02	1,95	37,4	13,95
Tourteau de tournesol	0,0	2,3	30,6	1,12	1,31	27,0	9,0	17,8	0,30	0,95	0,03	1,10	24,5	10,25
Son de blé	19,0	3,4	15,0	0,59	0,55	11,8	3,5	31,6	0,15	1,09	0,03	1,10	11,1	10,30
Paille de blé	0,5	1,2	3,6			47,4	8,0	29,8	0,38	0,08	0,16	0,95	0,4	2,70
Luzerne déshydratée	0,0	3,2	15,3	0,66	0,41	32,6	7,3	16,0	1,50	0,26	0,07	2,10	9,0	7,40
Pulpe de betterave	0,0	1,0	9,0	0,53	0,31	21,2	1,8	46,6	0,76	0,10	0,20	0,49	4,5	10,40
Mélasse de betterave	0,0	0,0	10,5	0,04	0,10	0,0	0,0	0,0	0,22	0,02	0,80	3,91	7,4	10,65

\* Extrait de Maertens *et al.*, 2002.\*\* pour des tables plus complètes, consulter le site [www.feedipedia.org](http://www.feedipedia.org)<sup>a</sup> ADF : *Acid Detergent Fibre* ; ADL : *Acid Detergent Lignin*.

**Tableau 5.4.** Exemple d'aliment composé granulé et équilibré pour lapins en croissance.

Ingrédients	%	Composition chimique	g/kg brut
Orge	13,00	Matière sèche	873
Blé	4,00	Minéraux totaux	73
Son de blé	21,00	Énergie digestible (MJ/kg)	9,48
Tourteau de soja	4,00	Protéines brutes	162
Tourteau de tournesol	14,00	Protéines digestibles	113
Luzerne déshydratée	30,00	Lysine digestible	5,6
Pulpe de betterave	9,00	Acides aminés soufrés digestibles	4,9
Paille de blé	4,00	ADF	215
Sel	0,40	ADL	50
Méthionine (99 %)	0,10	Fibres digestibles	220
Mélange de vitamines et oligoéléments (premix)	0,50	Calcium	8,0

ADF, *Acid Detergent Fibre* ; ADL, *Acid Detergent Lignin*.

pour l'animal. Des matières premières stables et dont le procédé de fabrication est bien maîtrisé (au plan technique et sanitaire) sont à privilégier. De plus, en pratique concrète de formulation et de production d'aliment composé, on évite des changements trop brusques dans les proportions des matières premières, en particulier entre deux aliments distribués successivement (par exemple périsévrage puis post-sevrage). Ceci favorise une transition plus aisée et donc une ingestion plus régulière. Le choix des matières premières peut aussi être contraint par les capacités de stockage et de conservation. Mais le choix des matières premières dépend fortement de leur profil nutritionnel. On distingue ainsi plusieurs catégories de matières ou ingrédients selon leur rôle :

- ingrédients à concentration élevée en amidon et contribuant fortement aux apports d'énergie : céréales (blé, orge, etc.) et coproduits de céréales (son de blé, etc.). La régularité de leur teneur en amidon et la bonne maîtrise du procédé d'obtention des coproduits orienteront le choix. Ils peuvent être utilisés jusqu'à 40-50 % de la ration, le maximum étant défini par l'équilibre nutritionnel de la formule, ainsi que par le besoin éventuel de limiter l'amidon.
- Matières grasses (huiles végétales) et produits riches en lipides, tels que des graines entières d'oléo-protéagineux (colza, soja) ou des tourteaux gras (extrait à froid ou expeller) de colza, de tournesol, de soja, ou du son de moutarde. L'incorporation des huiles et des produits gras est limitée (< 4 %) afin de maintenir la dureté et la durabilité du granulé. L'utilisation de graines entières (ou de tourteaux gras) permet de contribuer aux apports énergétiques avec une moindre dégradation de la qualité du granulé que lors d'utilisation d'huile.
- Ingrédients contribuant aux apports d'énergie par les glucides (hors céréales) : produits riches en amidon issus de tubercules (manioc) et produits riches en fibres digestibles (pulpes de betteraves, pulpes de citruses), ou produits riches en sucres (mélasses). Pour le manioc, on veillera à sa qualité bactérienne et fongique, dépendante de la qualité du stockage, ainsi qu'à l'absence de composés cyanogènes. Dans le cas des pulpes de betteraves, on veillera à ce que son taux de matière minérale soit peu élevé (ce qui témoigne d'un faible taux de terre ramenée du champ avec

les betteraves ou d'une faible proportion d'additifs ajoutés pour faciliter le pressage des pulpes avant déshydratation).

- Ingrédients contribuant fortement aux apports de protéines : tourteaux de graines oléagineuses (soja, colza, tournesol) ou de graines protéagineuses (pois, lupin, féverole), et luzerne. L'incorporation de certaines graines brutes peut être limitée par la présence de facteurs antinutritionnels (substances anti-trypsiques du soja ou glucosinolates dans les anciennes variétés de colza). La cuisson, l'extrusion ou le toastage permettent, dans la plupart des cas, de neutraliser ou de diminuer suffisamment la concentration de ces facteurs antinutritionnels. La luzerne déshydratée étant bien équilibrée en protéines et en fibres, c'est un ingrédient usuel des aliments pour le lapin, qui peut même être utilisé comme aliment unique (à 98-100 %).
- Ingrédients contribuant fortement aux apports de fibres. Les pailles de céréales sont utilisées (jusqu'à 15 à 20 %) pour leur forte teneur en cellulose, même si elles contribuent peu aux apports d'énergie ou de protéines. Concernant les apports de lignines, on utilise divers coproduits du raisin (pépins et pulpes) ou encore des coques de tournesol, sachant que la luzerne ou le tourteau de tournesol peuvent fournir une part importante des apports de lignines.

### Qualités hygiéniques

Le choix des matières premières est fortement dicté par leur qualité hygiénique. Le premier contrôle est une évaluation visuelle et organoleptique : contrôle visuel de détection de matières étrangères (sol, métaux...) et d'insectes ; reconnaissance de couleur et de correspondance avec la matière première choisie ; identification d'odeurs étranges (pouvant être dues à la fermentation) ; de traces de moisissures.

Concernant les moisissures, on veillera aux procédés de stockage des produits, et à la teneur en MS. Diverses mycotoxines, produites par des microchampignons, peuvent altérer les performances et la santé des animaux (AFSSA, 2009) si elles sont en concentration trop élevée dans les aliments. Quelques mycotoxines font l'objet d'une réglementation en Europe (aflatoxines, vomitoxine, zearalenone, ochratoxine A, T2, HT2, fumonisines). Parmi les nombreuses mycotoxines, citons en premier l'une des plus fréquemment rencontrées et toxiques pour le lapin, l'aflatoxine B1 (AFB1) provenant de plusieurs types d'*Aspergillus*, souvent trouvée dans le maïs ou les tourteaux d'arachide, les graines d'oléagineuses, voire les céréales à paille. Les lapins sont extrêmement sensibles à l'AFB1 puisque la dose létale, par voie orale, est de seulement 0,3 mg/kg PV. Une faible concentration, à partir de 0,1 mg/kg, dans l'aliment entraîne immédiatement une baisse de croissance des lapins, puis une réduction de leur consommation en 8-10 jours, puis une mortalité en 4-5 semaines. Cette concentration nocive est de 5 à 100 fois plus faible que pour la majorité des autres animaux domestiques (en dehors des canetons, aussi sensibles que le lapin). La zearalenone (toxine F-2) est une substance œstrogène souvent trouvée dans le maïs et d'autres céréales contaminées par *Fusarium graminearum*. Elle provoque une hypertrophie de l'appareil génital de la femelle et perturbera la reproduction. Le lapin est sensible à partir d'une concentration de 1 à 2 mg/kg dans un aliment donné pendant 1 à 2 semaines.

Citons enfin le groupe de toxines produites par certaines souches de *Fusarium* : les trichothécènes incluant la toxine T2 et la vomitoxine (4-deoxynivalenol ou DON) qui sont les deux toxines les plus communes. La vomitoxine peut être présente dans les grains de céréales (blé, maïs). La toxine T2 est souvent présente dans les matières premières fibreuses. Les lapins contaminés par la toxine T2 présentent de l'anorexie et des perturbations métaboliques. À moyen terme (4-7 semaines) avec un aliment modérément contaminé (0,2 mg/kg), on observe des troubles de la reproduction chez la lapine (dose orale létale de toxine T2 = 4 mg/kg PV en 24 heures) et des effets néfastes sur le développement foetal : 100 % de résorption foetale sont obtenues avec une dose de seulement 0,24 mg/kg d'aliment. Retenons les taux maximums possibles dans les aliments distribués au lapin (en mg/kg) : aflatoxine B1 = 0,02 ; zearalenone = 0,50 ; vomitoxine = 5,0 ; ochratoxine A = 5,0 ; fumonisines B1 + B2 = 5,0. Plus d'informations sur les mycotoxines en alimentation cunicole sont disponibles dans la revue de Mézes et Balogh (2009).

La qualité bactériologique des matières premières et des aliments doit également être surveillée, en analysant divers critères tels que les concentrations en coliformes fécaux, salmonelles, etc. Par exemple, après la granulation, la valeur de consigne pour les entérobactéries est < 100 UFC/g d'aliment, avec une action obligatoire si les valeurs sont comprises entre 100 et 1 000 UFC/g.

Enfin, d'autres contaminants peuvent être présents dans l'aliment et font l'objet d'une réglementation en Europe, tels que les métaux (plomb, arsenic, mercure...), les pesticides, les résidus d'antibiotiques ou d'anticoccidiens, les dioxines, etc.

## Qualités physiques des aliments

Le lapin est sensible à la présence de poussières dans son alimentation ou dans l'air ambiant, et un excès favorisera les troubles respiratoires. Si un aliment complet est distribué sous forme de farine ou de granulé, on veillera à ce qu'il contienne un minimum de fines particules. De plus, ces dernières sont délaissées au fond de la mangeoire et sont une source de gaspillage pour l'éleveur. Une solution consiste à perforer le fond de la mangeoire pour évacuer ces particules fines (si les lapins sont alimentés à volonté). En cas de rationnement quantitatif, les lapins consomment sans problème ces brisures de granulés plus ou moins fines.

### Encadré 5.5. Intérêt de la granulation pour permettre une alimentation équilibrée.

Sachant que le lapin est capable de choisir et de trier ses aliments, il est souvent avantageux de lui proposer un aliment unique, sous forme d'un mélange d'ingrédients secs et agglomérés en granulés. Ainsi, on réduit fortement le gaspillage d'aliment, car le lapin ne peut plus trier le contenu de la mangeoire. Il est possible de nourrir le lapin avec un mélange de matières premières en l'état ; s'il est rationné, il consommera sans gaspillage, mais sa vitesse de croissance et son efficacité alimentaire seront moindres qu'avec le même aliment qui serait granulé. Ainsi, granuler un aliment nutritionnellement équilibré garantit que l'animal ingère la quantité de nutriments prévue pour couvrir ses besoins. En outre, la granulation permet une meilleure efficacité alimentaire, un stockage aisé et une bonne conservation de l'aliment. Les professionnels de l'alimentation animale possèdent le savoir-faire pour fabriquer ce type d'aliments. Il est néanmoins possible de réaliser la granulation d'un mélange d'ingrédients à la ferme, à l'aide d'outils assez peu onéreux.



Dans le cas d'aliment complet granulé, plusieurs critères sont surveillés pour assurer une bonne qualité physique : diamètre et longueur du granulé, ainsi que dureté et durabilité. La taille du granulé adapté au lapin est de 3 à 4 mm de diamètre pour une longueur de 8 à 15 mm. De plus, si le granulé n'est pas fabriqué à la ferme, il doit être suffisamment résistant pour être transporté, stocké et manipulé sans se détériorer, c'est-à-dire sans générer d'excès de particules fines (ou « farine »). On surveille alors sa durabilité et sa dureté. Une dureté excessive du granulé conduira à un comportement de « grattage » : avec ses pattes avant, le lapin grattera le contenu de la mangeoire, d'où un gaspillage d'aliment. Ainsi, contrairement à ce qui pourrait être attendu d'un animal grignoteur, le lapin délaisse un aliment granulé trop dur, il préférera, pour s'alimenter, un aliment granulé assez tendre. Un aliment granulé très dur avec une faible élasticité peut être très fragile et produire ainsi une grande quantité de particules fines lors de sa manipulation (mauvaise durabilité).

La finesse de broyage des matières premières a peu d'influence sur la valorisation de l'aliment par le lapin. Un broyage fin (grilles < 2 mm), plus coûteux, est peu recommandé même si cela pourrait théoriquement améliorer la digestibilité, car cela augmente le temps de séjour des aliments dans le tube digestif et pourrait conduire à des troubles digestifs.

## Abreuvement : quantité et qualité

De tous les besoins du lapin nourri avec un aliment sec (granulés, graines + foin, etc.), le besoin quotidien en eau est quantitativement le plus important. Un lapin adulte peut survivre de quatre à huit jours sans boisson et sans altération irréversible des fonctions vitales, mais son poids peut être réduit de 20 à 30 % en moins d'une semaine. Si l'eau est disponible mais que l'aliment solide manque, le lapin peut survivre trois à quatre semaines. Le lapin s'avère donc très résistant à la faim et relativement résistant à la soif ; mais il convient de retenir que toute limitation de l'abreuvement peut entraîner une réduction de l'ingestion d'aliment. La consommation quotidienne d'eau est 1,5 à 2 fois supérieure à la quantité de matière sèche ingérée librement. Des températures trop élevées dans le bâtiment peuvent augmenter cette consommation d'eau au détriment de l'ingestion d'aliment, ce qui peut provoquer de fortes baisses de croissance. L'arrêt de la consommation d'eau provoque un arrêt de consommation d'aliment en 24 heures.

Dans la zone de neutralité thermique (15-24 °C) et dans le cas d'une alimentation sèche (88 à 90 % de MS) à base de granulés, la consommation d'eau correspond environ à 1,7 fois celle de granulés, soit environ 120 ml/kg PV. Pour des lapins de lignées commerciales, l'ingestion quotidienne d'eau est de l'ordre de 350 ml pour un lapin en pleine croissance, 500 à 900 ml par femelle allaitante (auxquels il faut ajouter 100 à 300 ml pour les lapereaux avant sevrage). Le système d'abreuvement des animaux doit permettre une disponibilité permanente en eau de bonne qualité (au moins un point d'eau pour dix à quinze lapins).

La qualité bactériologique et physico-chimique de l'eau est importante à surveiller : une eau de mauvaise qualité peut être la cause de troubles digestifs graves, surtout chez les jeunes (voir chapitre 6). En se référant aux recommandations d'eau potable pour l'Homme, on s'assurera d'une bonne qualité d'abreuvement.

Néanmoins, quelques études ont montré que, pour quelques critères, on peut dépasser les normes définies pour l'Homme sans troubles pour le lapin, mais cela peut altérer la qualité de la viande : sodium (900 ppm maxi), sulfates (1 340 ppm maxi), nitrates (600 ppm) nitrites (11 ppm maxi), cuivre (60 ppm maxi), pH (3,5 à 9,0). Par exemple, si une eau saumâtre est distribuée aux lapins, leur croissance peut être réduite (-10 à -15 %) si la teneur en sodium de l'eau dépasse 1 %.

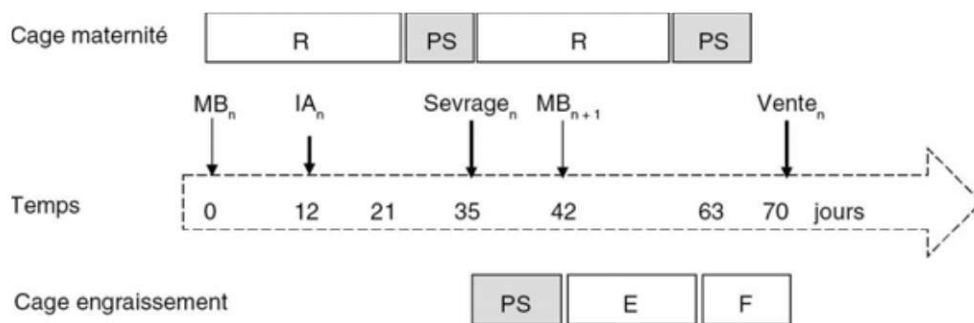
## Stratégies d'alimentation : le bon aliment au bon moment

Comme présenté auparavant, les besoins nutritionnels des lapins sont différents selon leur stade physiologique (jeune femelle, femelle adulte, jeunes lapereaux, etc.). Pour y répondre avec précision, on devrait théoriquement utiliser un aliment adapté à chaque stade, ce qui conduirait à une stratégie d'alimentation (ou plan d'alimentation) complexe à gérer en élevage, avec cinq à sept aliments différents à distribuer sur des durées et en quantité choisies (figure 5.8). En pratique, un à quatre aliments sont disponibles dans un même élevage. De plus, les différents types de lapins sont parfois dans une seule salle d'élevage, voire dans la même cage (par exemple femelle et sa portée), et sont donc nourris avec un même aliment, bien que leurs besoins soient différents. La stratégie d'alimentation visera donc un compromis réaliste pour composer avec l'environnement de l'élevage : infrastructures de stockage d'aliment ou de distribution (automatique ou non), types de cages, conduite de la reproduction, état sanitaire, type de production (rationnel, fermier, bio), etc. Il existe donc de nombreux plans d'alimentation pour s'adapter à la réalité de la pratique d'élevage cunicole. L'exemple de plan donné en figure 5.8 convient dans le cas d'une conduite en bande unique (élevage professionnel) et impose de pouvoir stocker quatre aliments différents.

## Stratégies pour alimenter la femelle et sa portée (18 jours-sevrage)

En pratique courante, de l'âge de 18 jours au sevrage, les lapereaux consomment le même aliment que celui donné à leur mère, bien que leurs besoins soient très différents : besoin énergétique élevé pour la femelle en lactation et besoin élevé en fibres pour les lapereaux pour préserver leur santé digestive (voir p. 148 et 152). Des stratégies alimentaires sont envisageables pour respecter au mieux les besoins spécifiques à chaque catégorie pendant cette période charnière précédant le sevrage. Selon qu'on souhaite privilégier les performances de la mère ou la préparation digestive des lapereaux, le choix de la base alimentaire s'orientera soit vers un aliment pré-sevrage qui privilégie les besoins de la lapine tout en garantissant un apport minimum en fibres pour les lapereaux, soit vers un aliment sevrage orienté vers les besoins du lapereau.

En cuniculture professionnelle en Europe, on recommande un aliment riche en amidon (18-22 %) au début de la lactation (0-18 jours) afin : 1/ de limiter le déficit énergétique et la mobilisation corporelle en début de lactation ; et 2/ d'améliorer la fertilité au moment de l'IA. À l'inverse, en fin de lactation (19-35 jours), il semble préférable d'utiliser un aliment pauvre en amidon et plus riche en fibres,



**Figure 5.8.** Exemple de plan d'alimentation en cuniculture professionnelle.

Type d'aliment : R, reproduction ; PS, péri-sevrage ; E, engraissement ; F, finition.

afin de préserver la santé digestive des jeunes lapereaux. Si l'on souhaite malgré tout renforcer l'état corporel des femelles, on peut limiter la réduction de la teneur en énergie en substituant une partie de l'amidon par des lipides. Cela permet d'obtenir un compromis entre les besoins nutritionnels des lapines (énergie) et ceux des lapereaux (fibres). Toutefois, si l'aliment est riche en énergie ( $> 10,3$  MJ/kg), il faudra éviter une distribution à volonté après le sevrage (trop riche), et adopter une stratégie de limitation de l'ingéré pour réduire les risques de pathologie digestive chez les lapereaux (voir p. 171).

Après sevrage, on peut aussi combiner une restriction avec un aliment mieux adapté aux besoins des lapereaux. Dans ce cas, les lapereaux devront cumuler un changement d'aliment avec le stress du sevrage. Ainsi, dans les deux semaines suivant le sevrage, on peut observer des troubles de la croissance souvent associés à des troubles digestifs (voir chapitre 6). Pour limiter ces troubles, on conseille d'utiliser un aliment dit de « pérésevrage », enrichi en fibres indigestibles, et souvent distribué une semaine avant le sevrage et pendant 2 à 3 semaines après sevrage. Cela peut aussi favoriser le développement du microbiote cœcal. À l'avenir, il serait intéressant de valider des systèmes de logement qui permettent de distribuer l'aliment des femelles séparément de celui des lapereaux avant leur sevrage (seulement testé en expérimentation) afin de mieux couvrir les besoins de ces deux catégories d'animaux.

## Conduire l'alimentation de la lapine en production et celle de la femelle future reproductrice

Les besoins nutritionnels de la lapine en production dépendent de la fréquence des mises-bas, du système d'élevage (saillies, IA avec bandes uniques ou multiples) et de la taille de sa portée. Quoi qu'il en soit, un aliment dit de « reproduction » distribué à volonté est nécessaire pour les lapines en production, surtout en phase d'allaitement de leur portée. De plus, si on souhaite maximiser les performances des femelles, on s'orientera vers l'utilisation d'un aliment ayant des concentrations élevées en énergie, protéines, minéraux et vitamines. Cependant, ce choix imposera une transition alimentaire plus précoce (vers 18-21 jours) avec un aliment « pérésevrage » pour préserver la santé digestive des lapereaux. Ainsi, la qualité de l'aliment « reproduction » conditionne sa durée d'utilisation, qui peut s'étendre jusqu'à 21 ou 28 jours selon sa composition. La lapine primipare,

qui n'a pas atteint son poids adulte ni sa capacité maximale d'ingestion, est un cas particulier (voir p. 150).

#### Encadré 5.6. Pour la lapine à haute productivité : un complément alimentaire.

Comme nous l'avons vu, les besoins nutritionnels des lapines sont très importants pendant la période de lactation, surtout chez les femelles très productives. C'est pourquoi, il peut être utile de leur donner un complément alimentaire, distribué en plus de l'aliment qui leur est destiné, pour leur fournir des apports nutritionnels supplémentaires. Ce complément possède généralement une teneur assez élevée en protéines (> 20 %), en matière grasse (4 à 7 %) et en amidon (18 à 22 %). Il peut aussi contenir des arômes spécifiques pour stimuler l'ingestion de la lapine. Il est en général enrichi en vitamine E (pour favoriser la fertilité) ; il contient parfois des molécules cholérétiques ou lipotropes. La distribution de ce complément se réalise manuellement (dosette) ou, pour les grands troupeaux, de manière automatique avec un système de distribution qui s'adapte sur une chaîne de distribution automatique d'aliment. Concrètement, une dose de complément alimentaire distribuée à la mise en place du nid devrait permettre un apport énergétique supplémentaire pour la fin de la gestation. Si la distribution a lieu à la mise-bas, l'objectif sera d'assurer un meilleur démarrage en lactation. Si le complément est distribué 48 heures avant l'insémination artificielle, l'objectif sera de simuler un « *flushing* alimentaire » pour optimiser la fertilité. Enfin, une distribution 12 à 16 jours après la mise-bas aura pour but de mieux couvrir les besoins énergétiques au moment du pic de lactation pour une meilleure persistance laitière.

Les besoins de la lapine future reproductrice sont spécifiques (voir p. 150) et différents de ceux d'une lapine adulte en production. En théorie, elle doit donc être nourrie avec un aliment particulier, ce qui impose une structure d'élevage adaptée. En élevage professionnel, les jeunes femelles sont nourries soit avec l'aliment distribué aux femelles en production, soit ou avec un aliment destiné au lapin en croissance. Elles sont souvent alimentées selon un plan de restriction entre 11 et 18 semaines d'âge suivi d'une alimentation à volonté (*flushing*) dans les jours qui précèdent la première mise à la reproduction (entre 19 et 20 semaines d'âge). On peut éviter de restreindre l'ingestion en distribuant librement un aliment riche en fibres digestibles et un peu moins énergétique.

### Le lapin en croissance

Après le sevrage, les lapereaux peuvent être alimentés de différentes façons, sachant que la période qui encadre le sevrage (8 à 10 jours avant et après) est souvent délicate car le lapereau accroît beaucoup son ingestion. De plus, il vit un stress de séparation d'avec sa mère et, bien souvent, de changement de logement et de regroupement avec d'autres congénères (changement de cage ou de salle). Il ne reçoit plus de lait et donc d'immunoglobulines protectrices, et enfin sa physiologie digestive est en phase de maturation active. De ce fait, cette période présente un risque élevé d'apparition de troubles digestifs (diarrhée, météorisation), et on recommande souvent d'utiliser un aliment riche en fibres (modérément énergétique) 1 semaine avant le sevrage et durant 2 à 3 semaines après le sevrage. De plus, en période post-sevrage, il est recommandé d'appliquer une stratégie de limitation de l'ingestion, pour réduire la prévalence de certaines maladies digestives (voir ci-dessous).



Si l'éleveur souhaite une meilleure croissance et une bonne efficacité alimentaire, il peut choisir un aliment plus énergétique. Cette stratégie requiert cependant une certaine technicité pour éviter une dérive sanitaire, surtout en cas d'utilisation sur une longue période.

## Stratégies de limitation de l'ingestion après le sevrage : intérêts et limites

L'intérêt d'une limitation de l'ingestion d'aliments granulés, après le sevrage, pour réduire la prévalence de certaines maladies digestives a été démontré dès 2002 pour la cuniculture professionnelle française. La restriction alimentaire post-sevrage montre une bonne efficacité pour lutter contre l'entéropathie épizootique du lapin (EEL, voir chapitre 6) et permet aussi d'améliorer l'efficacité alimentaire. À ce jour, la quasi-totalité des éleveurs français utilise une stratégie de restriction alimentaire après le sevrage.

Le jeune lapin, logé collectivement, s'adapte rapidement à une restriction alimentaire, sans manifester de comportement agressif vis-à-vis de ses congénères pour l'accès à la mangeoire, du fait de son comportement alimentaire de type « grignoteur ». En revanche, un lapin restreint consommera plus d'eau. Les mécanismes physiologiques expliquant l'effet bénéfique d'une restriction sur la santé du lapereau sont encore peu clairs. Néanmoins, remarquons que l'application d'une restriction évite un comportement de surconsommation (ou boulimie) parfois observé chez le jeune lapin alimenté à volonté, en particulier au cours des deux semaines suivant le sevrage. Cet effet favorable d'une restriction alimentaire sur la santé n'est visible que durant la période d'ingestion limitée. Il ne perdure pas lorsque les animaux passent à une ingestion libre. L'impact d'une restriction sur la mortalité post-sevrage diffère grandement (et logiquement) selon les études (figure 5.9), mais reste toujours bénéfique.

### Encadré 5.7. Choisir une stratégie de restriction post-sevrage adaptée à son élevage.

En pratique, l'éleveur choisira une stratégie (méthode, durée et intensité de restriction) pour répondre à ses contraintes techniques et économiques : amélioration de l'état sanitaire, réduction des coûts d'alimentation, ou même réduction de l'ingestion de granulés pour stimuler la consommation de fourrage. Par exemple, on peut choisir une restriction de 20 % durant les trois semaines post-sevrage, puis deux semaines d'ingestion libre. Si on dispose d'un outil de distribution automatique d'aliment (DAA), on peut choisir une stratégie plus fine et progressive pour réguler la croissance et atteindre un poids cible à âge fixe (réduction progressive ou par paliers, restriction continue ou en alternance, etc.).

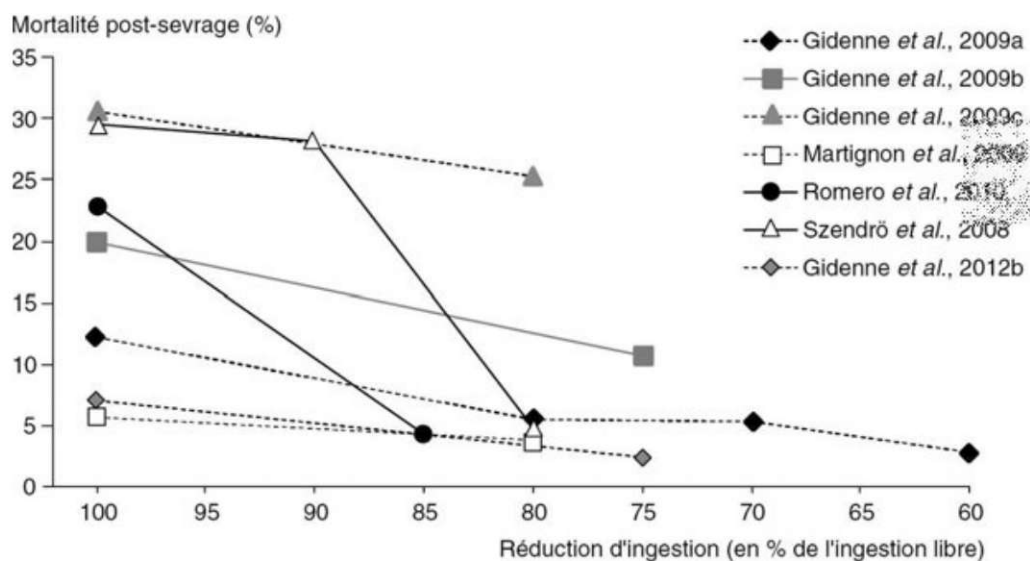
La restriction d'ingestion d'un aliment granulé est obtenue principalement de deux façons :

- 1) en réduisant la durée quotidienne d'accès à la mangeoire (par exemple un accès à la mangeoire pendant 8h/j conduit à une restriction de 20 %) ;
- 2) en diminuant la quantité d'aliment distribué. Un contrôle de l'ingestion est plus précis si on fixe chaque jour la quantité d'aliment soit manuellement, soit avec un DAA, outil relativement répandu en cuniculture professionnelle.

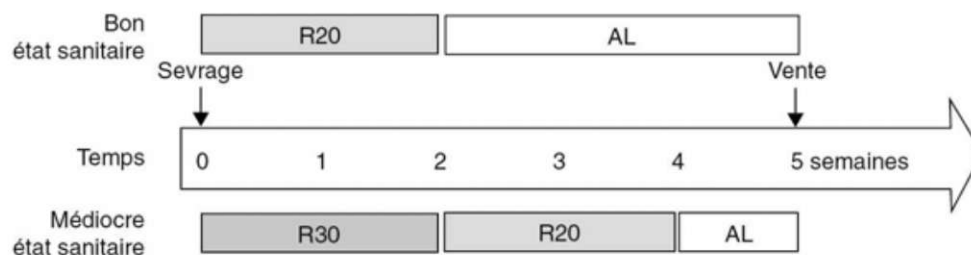
Concrètement en pratique cunicole professionnelle (en France), pour réduire le risque de troubles digestifs, on recommande une restriction d'ingestion d'au moins 20 % (par rapport à la consommation libre) et pendant au moins les deux semaines suivant le sevrage (figure 5.10). Si l'état sanitaire en engraissement est médiocre (et selon la cause des problèmes), on allongera la période de restriction (durant 3 à 4 semaines) en associant ou non une restriction plus intense (–25 % voire –35 %, et on réduira la durée d'ingestion libre, 1 à 2 semaines).

L'effet bénéfique d'une restriction sur l'efficacité alimentaire s'explique en partie par une meilleure efficacité digestive, en lien avec un transit des aliments plus lent. Durant la restriction, l'efficacité alimentaire est améliorée de 5 à 10 %. En fin d'engraissement, si les lapins sont nourris librement (période AL, figure 5.10), ils présentent une hausse d'efficacité alimentaire qui peut atteindre 35 %, associée à une forte croissance compensatrice.

En revanche, une restriction alimentaire produit évidemment un ralentissement de la croissance, et nécessite donc un allongement de la durée d'élevage pour obtenir un même poids vif à la vente. Ce ralentissement de croissance dépend directement de la durée des périodes de restriction « R » et d'alimentation libre « AL ».



**Figure 5.9.** Une restriction alimentaire après le sevrage réduit le taux de mortalité du lapin en croissance, avec une ampleur variée selon les études.



**Figure 5.10.** Exemples de stratégies de limitation post-sevrage de l'ingestion chez le lapin. AL, ingestion libre ou *ad libitum* ; R20, R40, ingestion restreinte de 20 ou 40 % par rapport à AL.

Par exemple, pour une stratégie 4R25+1AL (4 semaines R à -25 % suivies d'une semaine AL), le poids vif est pénalisé de 3 à 6 % selon le niveau énergétique de l'aliment. Le rendement à l'abattage est pénalisé chez les lapins restreints puis nourris librement en fin d'engraissement. Ainsi, après application d'une stratégie 4R25+1AL, le rendement est en général réduit de 1 à 2 unités, pour partie en raison d'un développement plus important des organes digestifs.

## Choisir une alimentation adaptée à l'environnement du lapin

### *Nourrir en saison chaude*

Une élévation de la température ambiante au-delà de 26-28 °C entraîne une réduction des besoins en énergie pour maintenir la température corporelle. En parallèle, l'ingestion d'aliment solide est aussi réduite mais de manière encore plus importante (ce qui pose le problème de la couverture des besoins de production), tandis que la consommation d'eau s'accroît. Si la température augmente de 5 à 30 °C, la consommation d'aliment granulé s'élève de 180 à 120 g/j, et celle de l'eau de 330 à 390 g/j. Lorsque la température s'élève (tests à 20, 26 et 32 °C), le rapport eau/aliment ingéré est sensiblement accru et le nombre de repas (solides et liquides) par 24 heures décroît (37 repas solides à 10 °C et 27 à 30 °C). Au-delà de 28 °C, la croissance tout comme la production laitière sont donc freinées.

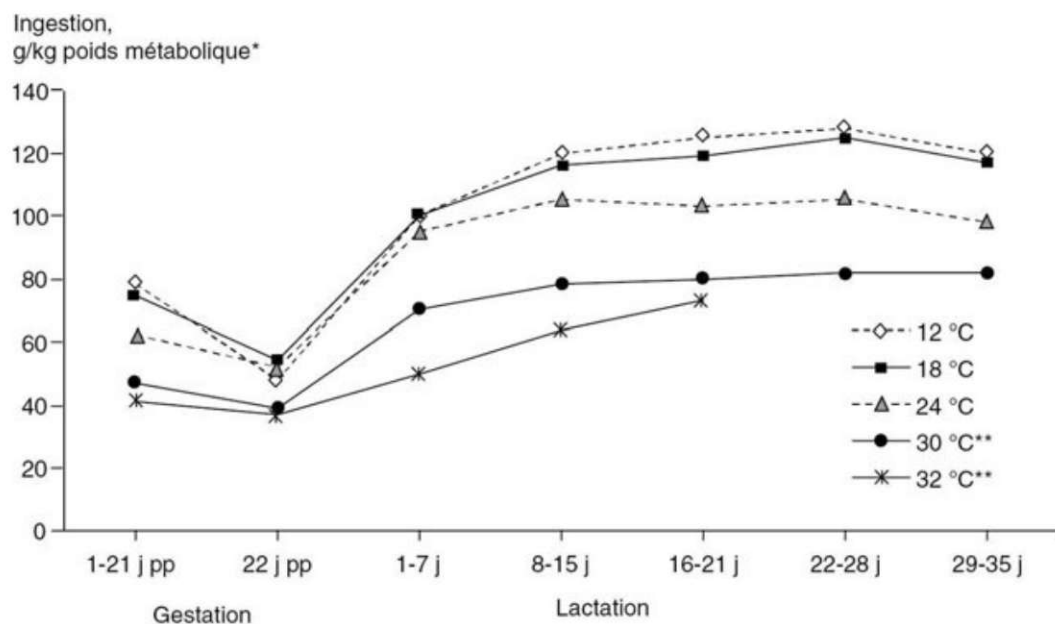
Une lapine et sa portée peuvent présenter une forte baisse d'ingestion (-20 à -50 %) selon la température ambiante (figure 5.11). Le déficit énergétique des lapines au cours de la lactation peut alors s'aggraver et l'état corporel des femelles se détériorer. Pour pallier cette situation, il peut être intéressant d'augmenter la teneur en énergie de l'aliment distribué aux femelles pendant les périodes chaudes (+0,6 MJ/kg). De même, chez le lapin mâle, la production spermatique peut être altérée en cas de forte température (> 28 °C) du fait d'une réduction d'ingestion ; là encore, un aliment plus concentré en énergie et en protéines peut être recommandé.

En milieu tropical, les effets de la chaleur présentés précédemment sont amplifiés en cas de forte humidité ambiante. Le niveau d'ingestion des animaux doit être surveillé, et il faut employer un aliment adapté aux performances attendues des lapins. En pratique, l'éleveur peut utiliser des bâtiments d'élevage de type semi-plein air et des lignées de lapins acclimatés aux conditions locales.

Enfin, en climat chaud, il faut plus particulièrement veiller à la qualité de l'abreuvement des animaux, surtout s'ils sont nourris avec un aliment sec.

### *Nourrir en saison froide*

Le lapin, animal à fourrure, s'adapte assez facilement à un climat froid, ses performances en sont néanmoins altérées, surtout en termes d'efficacité alimentaire. Ainsi, en deçà d'une température ambiante de 16 °C, ses besoins en énergie augmentent pour maintenir la température corporelle, et le lapin s'adapte en augmentant son ingestion. En pratique professionnelle, l'engraissement du lapin est parfois réalisé à l'extérieur, dans des cages spécifiques, surtout dans les zones les plus tempérées de l'Europe. L'élevage des reproductrices en plein air est moins fréquent, même si



**Figure 5.11.** Ingestion de la lapine en production, selon la température ambiante (adapté de Cervera et Fernández Carmona, 2010).

\* Pm = poids métabolique ; \*\* température constante ; 1-21j : entre 1 et 21 jours après mise-bas ; pp = pré-partum.

la lapine peut élever sa portée en hiver avec des températures faibles ( $-5$  à  $+5$  °C), dans des cages adaptées, comme les cages mobiles sur pâturage en système cunicole biologique. L'abreuvement correct des lapins est à surveiller tout particulièrement si la température est négative (risque de gel).

### Autres facteurs environnementaux

Le programme lumineux ou les systèmes de logement modifient le comportement alimentaire et donc la nutrition du lapin. L'absence de lumière (obscurité 24h/24h) favorise l'ingestion du lapin en croissance et, dans ce cas, l'animal organise son profil d'ingestion selon un cycle régulier de 23,5 à 23,8 heures, avec 5 à 6 heures consacrées à l'ingestion de cæcotrophes. Dans la pratique, un éclairage court (6 à 8h/24h) stimule la consommation des lapins nourris à volonté par rapport à un éclairage plus long (16h/24h) et favorise ainsi légèrement la croissance. Par ailleurs, un éclairage en lumière bleue réduit la consommation spontanée des lapines reproductrices, par rapport à un éclairage classique blanc « lumière du jour », tout en améliorant le poids de leurs lapereaux au sevrage. Ces effets de la lumière (durée, longueur d'onde) sur la consommation et la valorisation alimentaire mériteraient plus d'études.

Si la densité des lapins en croissance en cage collective est trop élevée ( $> 20$  sujets/m<sup>2</sup>, soit 48 à 50 kg de PV/m<sup>2</sup>), l'ingestion diminue sensiblement, pouvant même altérer l'efficacité alimentaire. Rappelons qu'au-dessus d'un seuil de 18-20 lapins/m<sup>2</sup> (43 à 46 kg PV/m<sup>2</sup>) les risques sanitaires s'accroissent. Le même phénomène est observé lorsque, à densité identique exprimée en lapins par m<sup>2</sup>, la taille du groupe, et donc celle de la cage ou du parc, s'accroissent. À



l'inverse, une faible densité et une cage de grande taille favorisent l'ingestion du fait que les lapins ont une plus grande mobilité et donc des dépenses énergétiques plus élevées.

## **Alimentation du lapin : au pâturage, ou avec des fourrages et divers produits végétaux**

Dans le cadre d'une production agricole plus durable et en lien avec des pratiques agroécologiques, il peut être intéressant d'alimenter le lapin à partir de fourrages ou divers produits végétaux. Dans un objectif d'alimentation animale avec une moindre compétition pour les aliments de l'Homme, il est pertinent d'exploiter l'aptitude « herbivore » du lapin qui présente l'avantage de valoriser la biomasse herbacée, avec une faible production de gaz à effet de serre comme le méthane (comparativement aux ruminants).

Ces pratiques, très anciennes, sont actuellement fréquentes dans de nombreux pays en développement, mais aussi dans le cadre de la cuniculture biologique en Europe (label AB) ou en cuniculture avec des contraintes spécifiques vis-à-vis du bien-être animal (par exemple présence obligatoire de fourrage, qui peut être apporté sous forme de blocs compressés dans la cage). Ce type de système cunicole est également bien adapté à des élevages de petite taille pour couvrir les besoins familiaux ou locaux en viande. Dans ces conditions, le côté « herbivore » du lapin est plus particulièrement mis en valeur et on recherche une alimentation à moindre coût sans vouloir maximiser les performances de croissance (souvent entre 20 et 30 g/j de croissance) ou de reproduction (4 à 5 portées de 6 à 8 petits/an). Des études ont montré la grande capacité du lapin à valoriser les légumineuses ; par exemple en comparaison avec les ruminants (bovins ou ovins), le lapin est capable de produire 4 à 5 fois plus de viande pour une même quantité de luzerne ingérée, principalement en raison de sa grande prolificité (faible masse de reproducteurs à entretenir par rapport à celle des animaux produits). Le lapin est aussi un monogastrique, il valorise donc très bien les céréales, racines et graines diverses, et de très nombreux produits ou coproduits végétaux. L'un des enjeux de l'alimentation sera d'élaborer une ration équilibrée, en associant des fourrages riches en fibres avec divers produits ayant une plus forte concentration en énergie ou en protéines (céréales, graines protéagineuses, racines, tubercules, fruits, tourteaux, etc.).

## **Alimentation du lapin domestique à base de fourrages**

Le lapin peut ingérer de grandes quantités de fourrages verts pourvu qu'ils soient appétissants. Ainsi, l'ingestion de luzerne fraîche peut dépasser 400 g/j pour un lapin de 1,5 kg, et peut atteindre 600 g/j pour des végétaux frais et appétissants (carottes entières, etc.). En conditions climatiques européennes, l'inventaire des plantes fourragères disponibles pour le lapin est encore peu décrit et les valeurs nutritives ont été rarement mesurées, que ce soit pour des produits verts ou en fourrage sec. On peut néanmoins se référer aux tables d'alimentation disponibles pour les chevaux (à défaut, pour les ruminants) pour hiérarchiser les fourrages, ainsi qu'aux tables générales de composition des aliments Feedipedia ([www.feedipedia.org](http://www.feedipedia.org)).

En cuniculture au pâturage (par exemple sous label AB), le lapin pourra avoir le choix parmi plusieurs sources alimentaires : pâturage, fourrage sec, céréales, aliment granulé complémentaire. Or le lapin est un animal très sélectif dans son comportement alimentaire. Comme d'autres herbivores, il préfère les feuilles plutôt que les tiges d'une plante, les parties vertes et tendres plutôt que les parties sèches. Ainsi, en situation de choix, le lapin préférera pâturer, plutôt que consommer du foin sec. L'adaptation à l'ingestion d'un foin sec sera plus longue que pour un fourrage vert, en particulier chez le jeune lapin. Les autres critères de choix alimentaires du lapin sont encore mal connus.

De manière générale, pour le lapin en croissance, il est préférable de restreindre la quantité d'aliment granulé pour favoriser l'ingestion de pâture ou de foin. Par exemple, l'une des situations fréquemment rencontrée en cuniculture au pâturage est la « surconsommation » de fourrage vert au printemps. S'il s'agit d'un pâturage de jeune légumineuse, sa consommation par le lapin peut être très élevée ( $> 500$  g/j pour un lapin de 1,5 kg) et conduire à une ingestion excessive de protéines digestibles (en rapport de l'ingestion de fibres et d'énergie) : la sur-ingestion de « jeune » trèfle, dont la concentration en protéines peut dépasser 20 %, favoriserait le risque de troubles digestifs (diarrhée) provenant d'un probable déséquilibre entre l'ingestion de protéines et de fibres. Dans ce cas, il conviendra de limiter les possibilités de pâturage (déplacement plus lent de la cage mobile), afin que le lapin consomme plus de fourrage sec (ou d'un aliment granulé complémentaire fibreux). Selon la saison et le stade physiologique des animaux, il conviendra donc d'ajuster l'accès au pâturage et de distribuer en quantité limitée un aliment granulé complet ou un mélange de céréales et de protéagineux. On peut recommander de cultiver des pâtures associant légumineuses et graminées, et de distribuer en permanence et librement du fourrage sec.

#### Encadré 5.8. Fourrage et aliment granulé complémentaire.

Il est possible d'alimenter des lapins avec des fourrages (verts ou secs) associés à un aliment concentré complémentaire. Cela peut poser quelques problèmes si l'appétibilité des fourrages n'est pas bonne. Ainsi, des lapins pouvant ingérer librement un aliment granulé concentré en énergie, au choix avec de la paille, ne savent pas équilibrer leur consommation pour atteindre une croissance optimale, et peuvent même avoir une déficience en fibres et des troubles digestifs. En élevage, face à cette situation, il faut restreindre la quantité d'aliment concentré distribué ou, plus généralement, celle de l'aliment le plus appétissant. En effet, cela peut être parfois le cas de certains fourrages verts très appétissants, mais à faible taux de lignocellulose.

En condition d'élevage tropical, l'apport de fourrages en complément d'un aliment concentré ou de céréales est fréquent. La composition de nombreux produits végétaux tropicaux a été recensée, dans les tables Feedipedia ([www.feedipedia.org](http://www.feedipedia.org)), et les seuils maximums d'apports sans effets nuisibles pour le lapin ont été étudiés pour de nombreuses plantes (Cheeke, 1991 ; Lebas, 2004). Néanmoins, la valeur nutritive (teneur en nutriments digestibles pour le lapin) de nombreux produits n'est pas connue et complique l'élaboration d'une ration équilibrée. Globalement, la valeur nutritive des fourrages tropicaux est souvent plus faible que celle des four-

rages tempérés à analyse fourragère similaire. Cela provient souvent d'une lignification assez rapide des plantes tropicales, ainsi que d'un rapport feuille/tige assez faible. De plus, d'autres composés, en concentration plus élevée que dans les fourrages sous climats tempérés, altèrent la valeur nutritive : les oxalates, les cyanures, tanins et alcaloïdes. Par exemple, la faible teneur en protéines digestibles pour des légumineuses, comme *Leucaena leucocephala* ou *Robinia pseudoacacia*, semble liée aux complexes tanins-protéines.

## Comportement alimentaire du lapin sauvage

Le lapin sauvage peut se nourrir à partir d'une gamme très large de végétaux. Il préfère cependant clairement les graminées (*Festucasp.*, *Brachypodiumsp.* ou *Digitariasp.*) et consomme peu de dicotylédones si les autres végétaux sont disponibles. Parmi les dicotylédones, il préfère certaines légumineuses et des composées, mais, s'il a le choix, dédaigne les carottes (*Daucus carotta*). Ainsi, contrairement à une idée trop répandue, la carotte (racines ou fanes) ne figure pas parmi les plantes préférées par le lapin. La proportion de dicotylédones et même de mousses dans l'alimentation du lapin peut augmenter pendant les saisons où la disponibilité en plantes est faible. En hiver et au début du printemps, les lapins peuvent pâturer intensément des cultures de céréales, au point de compromettre la récolte, particulièrement dans la zone comprise entre 30 et 100 m du terrier. Quand le lapin peut choisir entre des céréales d'hiver cultivées avec ou sans fertilisation minérale (phosphore et/ou azote), il préfère clairement les céréales sans fertilisation.

Rappelons que le lapin sélectionne ses aliments et préfère des plantes jeunes ou des parties « vertes et tendres » plutôt que sèches. Ce choix correspond souvent à des parties de plante ayant une concentration élevée en azote. En fin d'hiver, le lapin a une forte appétence pour les bourgeons et les jeunes tiges de quelques plantes ligneuses. L'abrouissement d'arbres très jeunes ou de leurs pousses peut ainsi complètement compromettre la régénération d'une forêt, ou plus spécifiquement la régénération de certains arbustes comme le genévrier ou le genêt à balais (*Cytisus scoparius*). En hiver, le lapin aime manger l'écorce de quelques arbres cultivés (pas seulement les jeunes tiges), particulièrement les pommiers, et aussi les pêchers ou les cerisiers. L'écorce des abricotiers, poiriers et pruniers est généralement moins attaquée. En forêt, les lapins préfèrent clairement les feuillus, mais peuvent également attaquer l'écorce des conifères (principalement des sapins et quelques types de pins). Quand les arbres sont très jeunes, les lapins préfèrent manger les pousses apicales ou latérales des sapins plutôt que celles des chênes.

Beaucoup d'expériences ont été entreprises, particulièrement en Australie et en Nouvelle-Zélande, pour étudier le comportement des lapins sauvages en vue de mettre au point des appâts et de réduire leur population. On a observé beaucoup de variations selon le type d'appât, mais également en fonction de la saison. Par exemple, des granulés à base d'issues de meunerie (recoupes + son) sont bien consommés tout au long de l'année. En revanche, l'acceptabilité des carottes ou de l'avoine change de façon saisonnière. L'addition de sel (1 % ou 5 %) ou de farine de luzerne (15 %) dans des granulés d'issues de meuneries réduit de manière significative la consommation des appâts.

## Nourrir le lapin adulte non producteur de viande

### Nourrir le lapin producteur de poils ou de fourrure

Pendant très longtemps, le lapin Angora producteur de poils et le lapin producteur de fourrure étaient nourris de la même manière que le lapin de chair. Mais le lapin Angora et, dans une moindre mesure, le lapin fourrure ont des besoins nutritionnels spécifiques pour la production de kératine (une protéine riche en acides aminés soufrés) sous forme de poils ou de fourrure. Pour satisfaire les besoins de ces animaux, il convient de respecter deux objectifs nutritionnels importants :

- fournir tous les nutriments, en particulier les acides aminés soufrés, pour exprimer le potentiel génétique du lapin pour la production de poils ou de fourrure ;
- éviter tout trouble qui réduirait les performances et la durée de vie productive de l'animal (17 à 22 semaines pour le lapin producteur de fourrure et 5 à 7 ans pour un lapin Angora), puisque ces animaux ont une valeur économique plus importante que le lapin de chair.

Un lapin Angora de lignée sélectionnée produit annuellement entre 1,0 et 1,4 kg de poils. Ceux-ci, naturellement sans graisse (contrairement à la toison brute d'un mouton par exemple), sont récoltés tous les trois mois environ et prennent alors le nom de « laine angora ». Cela représente environ 30 % de son poids vif, soit le ratio production de kératine/poids vif le plus élevé observé parmi les animaux producteurs de fibres animales (< 10 % chez le mouton, la chèvre et les camélidés). On doit donc accorder une attention particulière à l'alimentation du lapin Angora pour lui permettre de couvrir sa production de kératine, avec un apport suffisant en acides aminés soufrés (méthionine + cystine : acides aminés essentiels composant la kératine). Les recommandations alimentaires concernant le lapin Angora sont mentionnées au tableau 5.1. En pratique, l'éleveur peut appliquer une stratégie de restriction progressive sur les trois mois de pousse des poils (1 200 g, 1 100 g, 1 000 g d'aliment complet/lapin/semaine, répartis sur 6 jours), afin d'éviter un engraissement excessif voire des troubles digestifs par surconsommation. Un jeûne hebdomadaire de 24 heures (pas de concentré) avec mise à disposition de fourrage grossier est vivement conseillé. En effet, lors de son toilettage, le lapin avale une quantité importante de poils qui peuvent s'accumuler dans l'estomac sous forme d'une boule (trichobézoard) pouvant bloquer le transit digestif, l'ingestion, et conduire parfois à la mort. Comme le lapin Angora est souvent élevé sur litière de paille, il consomme celle-ci durant le jour de jeûne, ce qui limite la formation de trichobézoard. Notons enfin que, pour faciliter la récolte des poils angora par épilation, certains éleveurs français distribuent une dose unique (un repas) d'un aliment contenant une plante riche en mimosine (acide aminé non protéinique).

Chez les lapins destinés à produire une fourrure (Rex, Orylag®, etc.), la production de kératine est moindre que chez l'Angora, de l'ordre de 100-150 g correspondant à la production de 3 à 4 pelages successifs sur la durée de vie de l'animal (5-6 mois). Les apports en acides aminés soufrés doivent être suffisants pour assurer cette production de kératine, supérieure à celle d'un lapin de chair. Ce besoin spécifique du lapin fourrure (inférieur au lapin Angora) est couvert avec un aliment contenant une concentration d'acides aminés soufrés totaux de 6 g/kg.



## Alimenter un lapin de compagnie ou des lapins de race

Au niveau mondial, le nombre de propriétaires de lapins de compagnie s'accroît régulièrement. S'y ajoutent les éleveurs « amateurs » (ou encore « sportifs ») qui conservent des races particulières de lapins dans le but de les présenter dans des salons ou des concours. L'objectif principal d'un propriétaire sera la santé et la durée de vie du lapin, tout autant que le confort digestif de l'animal (aspect des fèces et aspect hygiénique du lapin). Pour des races de format moyen, la durée de vie est de l'ordre de 8 à 12 ans, mais peut être sensiblement plus faible pour des lapins nains (5 à 8 ans).

Le lapin étant un herbivore, son alimentation doit être basée sur des végétaux, avec une part élevée (> 50 % si possible) de fourrages et herbes diverses. Seule exception, l'alimentation du jeune lapin de moins de 3 mois, qui peut contenir une part plus faible de fourrages grossiers au profit d'une part plus élevée d'un aliment granulé équilibré (ou encore d'un mélange de céréales et de fourrage peu fibreux) que l'on réduira progressivement avec l'âge.

Concrètement, une alimentation « traditionnelle » à base de végétaux, de légumes peut être difficile à mettre en place de façon équilibrée pour un novice. Par ailleurs, un régime uniquement à base de carottes, grains concassés (blé, orge, avoine, etc.), foin et verdure fraîche (pissenlit, laitue, fenouil, etc.) nécessite de toujours avoir sous la main des végétaux de qualité et non traités (pesticides, etc.). En pratique courante, il est aisé d'acheter un aliment granulé équilibré qui doit couvrir tous les besoins d'un lapin à l'entretien. Il faut alors particulièrement veiller à ce qu'il contienne une part importante de fibres (> 20 % ADF si possible), et sa composition doit être celle d'un aliment de « type fermier » ou proche de l'« aliment unique » décrit au tableau 5.1. Rappelons que l'apport d'aliment sec impose un bon abreuvement, en quantité et en qualité, disponible en permanence. La mise à disposition en permanence d'un foin de bonne qualité est vivement conseillée.

Pour des lapins adultes, il est conseillé de restreindre l'apport d'aliment granulé (−30 à −40 % de l'ingestion libre) et de mettre à disposition du fourrage sec ou vert (luzerne, trèfle, plantain, graminées, achillée, pissenlit, etc.) ou bien divers végétaux ou sous-produits végétaux (légumes, etc.). Il est aussi commercialisé des mélanges de fourrages et d'herbes séchés, ou encore des blocs de fourrages compressés. L'aliment granulé peut aussi être remplacé par des céréales (avoine, orge) en quantité limitée (< 30 g/j/lapin). Il est possible de distribuer à volonté des mélanges de graines et granulés (parfois proposés dans le commerce), mais cela nécessite une surveillance particulière car, comme cela a été vu précédemment, le lapin trie très facilement ses aliments. Comme ce qui est le plus appétissant n'est pas nécessairement ce qui lui conviendrait le mieux, il ne se compose pas « naturellement » une ration équilibrée.

De manière générale, la surveillance du poids de l'animal est recommandée afin d'éviter un engraissement excessif souvent associé à une durée de vie plus courte. En captivité, le lapin fait peu d'exercice et ne sait pas réguler son appétit. Si c'est le cas, il faut accroître la proportion de fibres dans l'aliment et réduire les apports d'énergie basée sur l'amidon et les lipides, comme les céréales (type « corn-flakes ») ou encore le pain, gâteaux, etc. Rappelons que le lapin apprécie la saveur sucrée

et qu'il n'équilibrera pas seul sa ration quotidienne. On peut appliquer une stratégie de restriction étalée sur la semaine : aliment granulé (et de l'eau) à volonté pendant 5 jours, suivis de 2 jours avec fourrage (ou équivalent) sans aliment granulé. Rappelons aussi que le comportement alimentaire du lapin est de type « grignoteur », il est donc possible de diviser sa ration quotidienne en plusieurs repas. Il est recommandé de surveiller soigneusement la qualité de la digestion (état hygiénique du lapin, matières fécales molles et agglomérées en zone péri-anale) ainsi que l'état de la dentition.

En cas de période prolongée de jeûne, il faut veiller à réalimenter le lapin progressivement par petites quantités. Cela évite en particulier qu'il mange trop, car la surconsommation peut entraîner des troubles digestifs (ballonnements, typhlite, etc.). L'introduction d'un nouvel aliment dans les repas d'un lapin de compagnie doit se faire de façon progressive pour limiter les risques de troubles digestifs. En effet, les brusques changements alimentaires perturbent la flore intestinale et peuvent favoriser des dysbactérioses (voir chapitre 6).

Si le propriétaire récolte lui-même des végétaux, outre la qualité hygiénique de la récolte (laver la récolte si besoin, mais ne distribuer qu'une fois les végétaux bien ressuyés), il faut évidemment éviter les plantes toxiques pour le lapin, dont certaines assez courantes : laurier-rose, sureau, colchique, coquelicot, bouton d'or, etc. En principe, le lapin distingue instinctivement les plantes nocives.

## Le lapin de laboratoire

Le lapin de laboratoire est fréquemment issu de lignées génétiquement très homogènes, avec une majorité d'origine néo-zélandaise blanche. Ce sont donc des animaux de format moyen d'un poids adulte d'environ 5 kg, parfois élevés sur de longues périodes de temps. Ses besoins nutritionnels seront donc assez souvent ceux d'un lapin adulte à l'entretien (voir tableau 5.1), sauf s'il s'agit de femelles en reproduction ou de jeunes en croissance. Les conditions d'expérimentation ou d'usage du lapin de laboratoire (par exemple production de sérum) peuvent impliquer une nutrition plus spécialisée. Ces animaux sont alimentés avec un aliment équilibré granulé, mais dont la composition chimique (voire la formulation) est souvent fixe dans le temps, pour réduire les facteurs de variabilité dans la production ou dans le profil métabolique des animaux. S'il s'agit d'animaux adultes utilisés sur une longue période, le professionnel veillera à leur état corporel : ni maigre, ni embonpoint. Une restriction alimentaire peut être appliquée si la concentration énergétique de l'aliment est élevée.

## Pour en savoir plus

AFSSA, 2009. Évaluation des risques liés à la présence de mycotoxines dans les chaînes alimentaires humaine et animale. Rapport final, 308 p. <https://www.anses.fr/fr/system/files/RCCP-Ra-Mycotoxines2009.pdf>. Consulté le 22 juin 2015.

Bellier R., Gidenne T., Vernay M., Colin M., 1995. *In vivo* study of circadian variations of the cecal fermentation pattern in postweaned and adult rabbits. *Journal of Animal Science*, 73 (1), 128-135.

- Castellini C., 2008. Semen production and management of rabbit bucks, *In : Proceedings of the 9<sup>th</sup> World Rabbit Congress*, 10-13 juin 2008, Verona, Italy, 265-265.
- Cheeke P.R., 1987. *Rabbit Feeding and Nutrition*. Academic Press.
- Cheeke P.R., 1991. *Feeding systems for tropical rabbit production emphasizing roots, tubers and bananas*. FAO corporate document repository. <http://www.fao.org/docrep/003/t0554e/t0554e16.htm>
- Cervera C., Fernández Carmona J.F., 2010. Nutrition and the climatic environment. *In: Nutrition of the Rabbit* (De Blas C., Wiseman J., eds), CABI Publishing, Wallingford, UK, 267-284.
- Combes S., Gidenne T., Cauquil L., Bouchez O., Fortun-Lamothe L., 2014. Coprophagous behavior of rabbit pups affects implantation of *cecal microbiota* and health status. *Journal of Animal Science*, 92 (2), 652-665.
- Coureaud G., Schaal B., Coudert P., Rideaud P., Fortun-Lamothe L., Hudson R., Orgeur P., 2000. Immediate postnatal suckling in the rabbit: its influence on pup survival and growth. *Reproduction Nutrition Development*, 40, 19-32.
- Gidenne T., Combes S., Feugier A., Jehl N., Arveux P., Boisot P., Briens C., Corrent E., Fortune H., Montessuy S., Verdelhan S., 2009a. Feed restriction strategy in the growing rabbit. 2. Impact on digestive health, growth and carcass characteristics. *Animal*, 3, 509-515.
- Gidenne T., Murr S., Travel A., Corrent E., Foubert C., Bebin K., Mevel L., Rebours G., Renouf B., 2009b. Effets du niveau de rationnement et du mode de distribution de l'aliment sur les performances et les troubles digestifs post-sevrage du lapereau. Premiers résultats d'une étude concertée du réseau GEC. *Cuniculture Magazine*, 36, 65-72.
- Gidenne T., Bannelier C., Combes S., Fortun-Lamothe L., 2009c. Interaction entre la stratégie de restriction et la concentration énergétique de l'aliment : impact sur la croissance et la santé du lapin. Premiers résultats. *In : 13<sup>e</sup> journées de la recherche cunicole*, 17-18 novembre, Inra-Itavi, Le Mans, France, 63-66, Itavi éd., Paris.
- Gidenne T., Lebas F., Fortun-Lamothe L., 2010. Feeding behaviour of rabbits. *In: Nutrition of the Rabbit* (De Blas C., Wiseman J., eds), CABI Publishing, Wallingford, UK, 233-252.
- Gidenne T., Combes S., Fortun-Lamothe L., 2012a. Restreindre l'ingestion du jeune lapin : de nouvelles stratégies pour renforcer sa santé digestive et améliorer son efficacité alimentaire. *Inra Productions Animales*, 25 (4), 323-336.
- Gidenne T., Combes S., Briens C., Duperray J., Mevel L., Rebours G., Salaün J.M., Weissman D., Combe Y., Travel A., 2012b. Intake limitation strategy and dietary protein concentration: effect on rabbit growth performance and health, from a large-scale study in a french network of experimental units (GEC). *In : 10<sup>th</sup> World Rabbit Congress*, 4-6 septembre, Sharm El Sheik, Egypt.
- Gidenne T., 2015. Dietary fibres in the nutrition of the growing rabbit and recommendations to preserve digestive health: a review. *Animal*, 9 (02), 227-242.
- Hoy S., Selzer D., 2002. Frequency and time of nursing in wild and domestic rabbits housed outdoors in free range. *World Rabbit Science*, 10 (2), 77-84.
- Knudsen C., Combes S., Briens C., Duperray J., Rebours G., Salaün J.M., Travel A., Weissman D., Gidenne T., 2015. La limitation post-sevrage de l'ingestion, une pratique favorable à l'efficacité alimentaire et à la santé : des mécanismes physiologiques à l'impact économique. *In : 17<sup>e</sup> journées de la recherche cunicole*, 24-25 novembre 2015, Inra-Itavi, Le Mans, Itavi éd., Paris.

- Lebas F., 2000. Granulométrie des aliments composés et fonctionnement digestif du lapin. *Inra Productions Animales*, 13, 109-116.
- Lebas F., 2000. Les besoins vitaminiques du lapin. *Cuniculture*, 27, 199-209. <http://www.cuniculture.info/Docs/Documentation/Publi-Lebas/2000-2009/2000-Lebas-Vitamines-Cuniculture.pdf>
- Lebas F., 2004. Reflections on rabbit nutrition with a special emphasis on feed ingredients utilization. *In : 8th World Rabbit Congress*, 7-10 septembre, Puebla, Mexico, Colegio de Postgraduados for WRSA, 686-736. <http://world-rabbit-science.com/WRSA-Proceedings/Congress-2004-Puebla/Papers/Feeding-& Nutrition/N0-Lebas.pdf>
- Maertens L., Perez J.M., Villamide M., Cervera C., Gidenne T., Xiccato G., 2002. Nutritive value of raw materials for rabbits: EGRAN tables 2002. *World Rabbit Science*, 10 (4), 157-166.
- Martínez-Paredes E., Savietto D., Santacreu M.A., Cervera C., Pascual J.J., 2015. Préparation du lapin futur reproducteur. *In : 16<sup>e</sup> journées de la recherche cunicole*, 24-25 novembre 2015, Inra-Itavi, Le Mans, Itavi éd., Paris.
- Martignon M.H., Combes S., Gidenne T., 2009. Rôle du mode de distribution de l'aliment dans une stratégie de rationnement : conséquences sur le profil d'ingestion, la croissance et la santé digestive du lapin. *In : 13<sup>e</sup> journées de la recherche cunicole*, 17-18 novembre, Inra-Itavi, Le Mans, France, 39-42, Itavi éd., Paris.
- Mézes M., Balogh K., 2009. Mycotoxins in rabbit feed: a review. *World Rabbit Science*, 17 (2), 53-62.
- Orengo J., Gidenne T., 2007. Feeding behaviour and caecotrophy in the young rabbit before weaning: an approach by analysing the digestive contents. *Applied Animal Behaviour Science*, 102 (1-2), 106-118.
- Romero C., Cuesta S., Astillero J.R., Nicodemus N., De Blas C., 2010. Effect of early feed restriction on performance and health status in growing rabbits slaughtered at 2 kg live-weight. *World Rabbit Science*, 18, 211-218. *In : 10th World Rabbit Congress*, 4-6 septembre, Sharm El Sheik, Egypt.
- Safwat A.M., Sarmiento-Franco L., Santos-Ricalde R.H., Nieves D., 2014. Rabbit production using local resources as feedstuffs in the tropics. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 17, 161-171.
- Szendró Z., Metzger S., Fébel H., Hullár I., Maertens L., Bianchi M., Cavani C., Petracci M., Biró-Németh E., Radnai I., 2008. Effect of energy restriction in interaction with genotype on the performance of growing rabbits I: Productive traits. *Livestock Science*, 118, 123-131.
- Xiccato G., Trocino A., 2010. Energy and protein metabolism and requirements. *In : Nutrition of the Rabbit* (De Blas C., Wiseman J., eds), CABI Publishing, Wallingford, UK, 83-118.



## Santé et prévention des maladies

Bernadette Le Normand, Samuel Boucher, Didier Marlier, Ghislaine Le Gall-Reculé, Stéphane Marchandeau, Anouk Decors, Hubert Ferté, Benoit Dilé, Stéphane Bertagnoli

Eu égard aux nombreux biais d'échantillonnage rencontrés dans la plupart des études ayant tenté d'estimer l'importance relative des différentes pathologies en élevage cunicole, la prévalence et l'incidence exactes des maladies touchant les lapins d'élevage ne sont toujours pas établies avec précision à ce jour. Il convient aussi de comprendre que les maladies d'un groupe d'animaux sont gouvernées par des critères épidémiologiques complexes et que leur maîtrise nécessite de connaître : les sources infectieuses de l'agent pathogène, les modalités de transmission de l'agent pathogène, les animaux réceptifs et les animaux sensibles, les animaux infectés et les animaux exposés non infectés, les moyens de défense spécifiques et non spécifiques dont peut disposer l'animal. La progression des connaissances en immuno-écologie a mis en évidence l'importance de l'équilibre de l'animal dans son milieu et la nécessité de ressources suffisantes pour combattre les maladies. Néanmoins, il faut garder à l'esprit que certains examens onéreux seront réservés individuellement à des lapins de grande valeur économique ou affective. Les lapins de chair bénéficient d'examens plus restreints mais répétés sur le groupe, la gestion étant alors une gestion du troupeau plus que de l'individu.

### Maladies de l'appareil respiratoire chez le lapin

L'appareil respiratoire part des narines et se prolonge ensuite dans les cavités nasales et les sinus qui filtrent et réchauffent l'air qui circule vers l'oropharynx, puis vers le larynx et la trachée. Il pénètre ensuite dans les poumons en cheminant dans deux bronches primaires puis dans leurs ramifications, les bronches secondaires, elles-mêmes ramifiées (voir p. 33). Leur volume change au fur et à mesure des mouvements respiratoires. Les muscles inspiratoires assurent les mouvements d'air. Ils augmentent le volume de la cavité thoracique et permettent un appel d'air qui entre par les narines. Il est chassé passivement des poumons. Les échanges de gaz (arrivée d'oxygène et rejet de gaz carbonique) s'effectuent au niveau des alvéoles pulmonaires.

La possibilité d'infection de différents organes à partir de germes contenus dans l'air est possible, notamment lorsque les sinus sont abîmés et ne font plus leur

office de filtre. On note alors des signes cliniques évocateurs comme le jetage et/ou la dyspnée.

Le jetage, caractérisé (au sens large) par un écoulement nasal, de nature et de durée variables, est révélateur d'une affection des cavités nasales et des sinus sans présager de l'atteinte des voies respiratoires plus profondes (figure 6.1, planche 6). La difficulté à respirer ou dyspnée n'est pas la première manifestation des affections respiratoires chez les lagomorphes ; de plus, les efforts respiratoires peuvent également traduire une douleur abdominale intense et être confondus avec une maladie de l'appareil respiratoire.

La dyspnée est néanmoins un signe clinique préoccupant souvent lié au jetage. Un diagnostic rigoureux doit être mis en œuvre pour détecter les origines de ces deux troubles de la respiration et pour pouvoir mettre en place un traitement symptomatique et/ou étiologique.

## Les différentes pathologies respiratoires

### *La pasteurellose (associée ou non à la bordetellose)*

La pasteurellose est une maladie très fréquente en cuniculture depuis de nombreuses années. En élevage professionnel, elle touche la majorité des reproductrices et correspond à la part la plus élevée des interventions vétérinaires (préventive ou curative). Elle est due à une bactérie : *Pasteurella multocida*. Les souches de pasteurelles possédant l'enzyme ornithine décarboxylase (dites ODC+) sont considérées comme plus pathogènes que celles qui n'en possèdent pas, mais ce critère n'est pas totalement discriminant. La pasteurellose peut ou non être associée à la présence de bordetelles.

Le germe peut se localiser dans les voies respiratoires, la peau, les mamelles, l'appareil reproducteur, l'oreille interne ou, plus rarement, dans d'autres organes comme le foie, les reins, ou même la cavité abdominale où il entraîne des infections évoluant vers la suppuration. La pasteurelle persiste difficilement dans le milieu extérieur.

Les bordetelles (*Bordetella bronchiseptica*), quant à elles, sont souvent considérées pour le lapin comme des germes favorisant (plus que déclenchant) les affections respiratoires. Ces bactéries sont retrouvées essentiellement au niveau des sinus, parfois dans les poumons, ce qui est alors plus préoccupant.

La symptomatologie de la pasteurellose est variable et ne se limite pas aux seuls accidents respiratoires. On peut identifier deux cibles principales pour la pasteurellose :

- 1) Une cible respiratoire au sens large, incluant la sphère ORL :
  - de l'appareil respiratoire supérieur : coryza (infection des sinus notamment, figure 6.2, planche 6), conjonctivite, otite (dont le signe clinique le plus connu est le « torticolis » ou le syndrome vestibulaire) ;
  - de l'appareil respiratoire profond : infection pulmonaire (pneumonie) (figure 6.3, planche 7) et bronchite, infection de la plèvre (pleurésie).

Dans tous les cas, tous les stades inflammatoires peuvent exister (inflammation simple, congestion exsudative, lésion purulente).

## 2) Une cible extra-respiratoire :

- peau (abcès, papules) ;
- mamelles (mammites) ;
- utérus (métrites, pyomètres) ;
- abdomen (péritonite, abcès internes siégeant sur différents organes).

**La mycoplasmosse**

Depuis 1998, des mycoplasmes ont pu être isolés sur des poumons de lapins malades ; leur pouvoir pathogène a été évalué. Les mycoplasmes sont aujourd'hui pris en compte lors de problèmes respiratoires ou génitaux chez le lapin. Les deux mycoplasmes isolés chez le lapin sont *Mycoplasma arginini* et *Mycoplasma bovis*. Leur culture et leur identification sont délicates et requièrent un savoir-faire certain. La transmission se fait d'un lapin porteur à un lapin sain. On constate que les lapereaux ne semblent pas excréter de mycoplasme avant l'âge de 18 à 20 jours. Les sujets malades présentent des lésions de pneumonie interstitielle avec une hyperplasie du BAL. Le malade montre peu de symptômes (hyperthermie, éternuements). Il est possible qu'une co-infection secondaire avec des pasteurelles exacerbe une maladie respiratoire due aux mycoplasmes. La mycoplasmosse seule passe plutôt inaperçue en élevage.

**Les infections klebsielles**

*Klebsiella pneumoniae* est une entérobactérie ubiquiste qui se retrouve en petit nombre dans les flores respiratoires et digestives ou sur la peau des animaux sains à sang chaud. On l'isole aussi dans l'environnement des eaux de surface, des eaux usées, des effluents d'usine, des végétaux. Cette bactérie est considérée par beaucoup comme opportuniste, c'est-à-dire profitant de l'affaiblissement de l'animal par un autre agent pathogène pour se développer. Elle est cependant isolée seule, dans certains cas de mortalités de jeunes lapins, dans les poumons, l'intestin, le cæcum ou le sang et sans enrichissement des cultures. La transmission se fait de la mère (porteuse saine) aux jeunes lapereaux allaités. La mortalité des lapereaux est forte, rapide et brutale entre 16 et 25 jours d'âge, puis s'arrête généralement ensuite. À l'autopsie, le foie présente une décoloration sévère et la masse intestinale apparaît couleur lie de vin. L'examen histologique révèle une pneumonie interstitielle souvent modérée, une hépatite granulomateuse, une entérite nécrosante discrète et une néphrite interstitielle non suppurée en foyers disséminés. Le diagnostic clinique et nécropsique peut être confirmé par un examen bactériologique.

En élevage cunicole, les formes de maladies à klebsielles sont presque toujours aiguës et les traitements sont généralement mis en place trop tardivement. Le traitement de choix, en cas de fortes mortalités, reste l'antibiothérapie, mais il est impératif de faire réaliser un antibiogramme car les résistances sont nombreuses. L'antibiotique prescrit est conseillé par voie orale ou parentérale selon la gravité des cas. Il doit être administré dès le début de la maladie. Une enquête menée récemment a indiqué que, si les femelles reproductrices étaient sous-alimentées (utilisation d'aliment fibreux destiné à leurs lapereaux) plus de sept jours durant un cycle, les lapereaux de la portée suivante avaient plus de chance

d'être atteints d'infections à klebsielles. L'utilisation d'autovaccin sur tout le troupeau est possible.

### La staphylococcie

Depuis 1992, la staphylococcie prend une place importante dans la pathologie cunicole. L'évolution des techniques d'élevage et, notamment, l'apparition des conduites en bande ont permis une meilleure identification des cas. Néanmoins, du fait de l'apparition de souches très résistantes aux antibiotiques, la staphylococcie redevient une maladie préoccupante en cuniculture à partir de 2002. La maladie est due à l'infection par des souches de *Staphylococcus aureus* ; cette bactérie est hébergée par des animaux porteurs au niveau de la peau ou des muqueuses, ou par des animaux malades présentant des lésions (réservoirs primaires) comme une inflammation des follicules pileux (folliculite), des érosions cutanées (maux de pattes), de petits abcès ou des plaies cutanées. La bactérie est transmise par contact intime direct ou indirect, par exemple par les mains des manipulateurs, par les aiguilles des seringues ou par la litière des nids. Les animaux au nid sont très sensibles. Deux types d'infection ont été décrits et sont mis en évidence en routine actuellement. L'infection, qui est due à des souches dites LV (*Low Virulence*), touche un petit nombre de lapins au sein d'un élevage et a un impact économique assez faible. L'infection due à des souches HV (*High Virulence*), possédant des gènes particuliers, prend un aspect épizootique dans tout l'élevage, est souvent chronique et diminue la production en entraînant de fortes mortalités ou des dépréciations économiques. Les souches HV infectent les lapins plus facilement que les souches LV, probablement parce que les pathovars HV ont une forte capacité à coloniser les épithéliums de l'animal hôte.

La staphylococcie est principalement une maladie de la peau. Les lésions de l'adulte sont des lésions suppuratives. Chez le jeune lapereau, les pustules qui se forment sur la peau sont couramment appelées « boutons ». Toutefois, la staphylococcie peut également entraîner des pneumonies (15 % des pneumonies sont dues à des staphylocoques pathogènes ; figure 6.4, planche 7, et tableau 6.1).

**Tableau 6.1.** Localisation des lésions de staphylococcie sur animaux apportés pour autopsie (89 cas).

	Sinus	Poumons	Peau	Utérus
Nombre de cas	13	14	36	26
Pourcentage	14,2 %	15,3 %	40 %	28,5 %

Source : Labovet.

Le diagnostic bactériologique est facile mais doit être corrélé aux signes cliniques et lésionnels typiques (« fonte » du cheptel, pododermatites, mammites, pneumonies, etc.). Il est important de choisir l'échantillon destiné au laboratoire : les mammites et les lésions de pododermatite représentent un prélèvement de choix pour pouvoir isoler facilement la souche causale (les staphylocoques sont nombreux dans l'environnement des animaux). L'examen bactériologique est le seul



moyen de différencier une pasteurellose d'une staphylococcie, car les signes cliniques et lésionnels de ces deux maladies sont fréquemment comparables. Pour caractériser la virulence de la bactérie, et distinguer les souches HV et LV, on utilise une technique moléculaire (PCR multiplex) qui identifie les gènes de virulence (voir p. 207).

Le traitement de la staphylococcie doit être associé à une hygiène et une technique d'élevage irréprochables. L'utilisation des antibiotiques est souvent indispensable. L'autovaccination peut être intéressante.

### La tuberculose

La tuberculose naturelle fait partie des maladies très rares chez le lapin. Néanmoins, elle est connue depuis très longtemps dans cette espèce puisque Villemin démontrait déjà en 1865 que la tuberculose humaine pouvait être transmise au lapin. Elle est due à une mycobactérie non spécifique du lapin mais retrouvée également chez d'autres espèces : les agents de la tuberculose humaine (*Mycobacterium tuberculosis*), bovine (*Mycobacterium bovis*) ou aviaire (*Mycobacterium avium*).

Le lapin développe au départ un foyer nodulaire caséux (sorte de gros abcès), notamment au sein du poumon. L'évolution de la maladie peut être stoppée à ce stade. Parfois, l'infection ne se stabilise pas, se généralise et évolue en tuberculose dite « maladie ». La multiplication du bacille, qui est disséminé dans tout l'organisme, permet l'établissement de nombreux petits foyers caséux. Cette évolution peut d'ailleurs avoir lieu plusieurs mois après avoir observé une stabilisation à partir du foyer initial.

### La myxomatose

La myxomatose est une maladie infectieuse, virulente et contagieuse, à transmission essentiellement vectorielle, qui touche le lapin européen *Oryctolagus cuniculus*. Elle est due au virus myxomateux (MYXV), poxvirus du genre *Leporipoxvirus*, apparenté au plan immunologique au virus du fibrome de Shope (SFV). Elle a été décrite pour la première fois en 1896 en Uruguay par Guiseppe Sanarelli, lors de la survenue d'une nouvelle maladie mortelle affectant des lapins de laboratoire.

En raison de son important pouvoir pathogène pour le lapin, le MYXV a été délibérément introduit pour contrôler les populations de lapins en Australie en 1950, puis en France en 1952, d'où il a été diffusé dans l'ensemble de l'Europe, y compris la Grande-Bretagne.

Plus de 60 ans après son introduction en Europe et en Australie, la myxomatose évolue désormais de manière enzootique avec des micro-épizooties régionales et saisonnières. Ainsi, aux formes aiguës, rapidement mortelles, se sont surajoutées des formes subaiguës et atténuées, non systématiquement mortelles et génératrices d'immunité. La myxomatose reste néanmoins problématique en élevage et demeure une des principales causes de mortalité du lapin de garenne. Elle participe à la régression des populations sauvages observée en Europe depuis une trentaine d'années.

Elle peut prendre une forme très impressionnante et la mortalité peut atteindre 100 %. Très souvent, on observe des surinfections bactériennes à germes Gram (–),

particulièrement *Pasteurella multocida* et *Bordetella bronchiseptica*, au niveau du tractus respiratoire et des conjonctives, celles-ci contribuant à la létalité de la maladie. L'évolution épidémio-clinique de la myxomatose induite par les souches d'origine sud-américaine a été particulièrement bien étudiée en Australie où, peu de temps après l'introduction du virus, des formes atténuées de maladie ont été observées. La virulence des souches virales est classée en cinq grades, selon le taux de mortalité et le temps moyen de survie des animaux d'expérimentation, en conditions de laboratoire (tableau 6.2).

**Tableau 6.2.** Critères de gradation de la virulence des souches de virus myxomateux.

Grade de virulence	Taux de mortalité (%)	Temps moyen de survie (jours)
I	> 99	< 13
II	95-99	14-16
III	70-95	17-28
IIIa	90-95	17-22
IIIb	70-90	23-28
IV	50-70	29-50
V	< 50	-

Ainsi, les souches de grades I sont des souches hypervirulentes (souches type Lausanne, SLS), tandis que les souches de grade V sont des souches très atténuées, les autres étant intermédiaires.

Pour la forme nodulaire classique de la maladie, lors d'infections aiguës, les myxomes ne régressent pas et l'immunodépression associée contribue à la virulence de la maladie. Dans le cas d'infection par les souches classiques européennes et australiennes, on observe plusieurs types d'évolution clinique :

- les souches de grade I et II donnent des formes aiguës de la maladie et sont généralement mortelles (figure 6.5, planche 8). L'incubation est de 5 jours, les myxomes secondaires, généralement associés à des troubles respiratoires (dyspnée à terme), apparaissant en 6 à 7 jours en trois localisations successives (céphaliques, avec blépharo-conjonctivite, tuméfaction œdémateuse, déformation de la face – faciès léonin – et jetage et larmolement purulent ; anogénitales, accompagnés d'un œdème régional ; dorsolombaires et tarsométatarsiennes, déformant la silhouette du dos et des membres postérieurs) et la mortalité intervient 10-15 jours après inoculation. Les myxomes, hémisphériques, suintants, de la taille d'une noisette, deviennent le plus souvent nécrotiques et confluents mais restent indolores. Un dysfonctionnement général du système immunitaire exacerbe les fréquentes surinfections bactériennes. Aucun traitement n'est envisageable ;
- les souches de virulence atténuée (grade V) donnent des formes bénignes de la maladie, localisées, peu exsudatives et autocurables (figure 6.5, planche 8). Les lapins présentent des nodules pisiformes en petit nombre, non exsudatifs, très fermes, surtout auriculaires et métatarsiens, rapidement surmontés d'une croûte ;
- les souches de pathogénicité intermédiaire (grades III et IV) donnent des formes de la maladie se situant entre ces deux extrêmes. On peut remarquer que

les souches européennes se différencient essentiellement des souches australiennes par la protubérance des myxomes cutanés.

Il faut noter que, depuis 1979, des formes « amyxomateuses » sont apparues en Europe. Elles semblent dues à des virus ayant perdu une grande partie de leur tropisme cutané, les myxomes étant remplacés par des tuméfactions diffuses des paupières (blépharite œdémateuse), parfois du scrotum ou de la vulve, et des oreilles (figure 6.5, planche 8, et figure 6.6, planche 9). Par comparaison, les symptômes respiratoires sont apparus prédominants et la fausse apparence d'une élévation du pneumotropisme, inchangé en réalité, a incité au classement initial de ces formes comme « respiratoires ». Les virus impliqués sont actuellement peu étudiés, mais, même si les lésions induites sont moins spectaculaires, on peut penser qu'ils se différencient aussi par leur grade de virulence modulant les conséquences cliniques (formes frustes à mortelles).

Une forme particulière de myxomatose a pu être observée sur le lapin Angora : dans cette espèce, la myxomatose est appelée « maladie des boutons rouges » à cause de la forme cutanée très particulière qui est extériorisée (figure 6.7, planche 9).

Le principal mode de transmission est la piquûre d'arthropodes (surtout des insectes du type puces et moustiques), vecteurs passifs, la voie d'inoculation majeure étant la voie intradermique. Une transmission par contact direct a également été évoquée chez les lapins domestiques. Elle pourrait expliquer certaines épizooties hivernales, mais son importance relative est difficile à évaluer en présence de vecteurs. Néanmoins, la seule transmission par contact direct a permis la propagation de la myxomatose dans l'archipel de Kerguelen, de son introduction en 1955-1956 jusqu'à l'introduction de la puce du lapin en 1987. Enfin, une transmission par aérosol a été suggérée pour les souches amyxomateuses (il est difficile de l'évaluer en élevage).

Le diagnostic s'appuie sur l'observation des signes cliniques et le contexte épidémiologique. Toutefois, ce diagnostic clinique peut être rendu difficile en raison de la discrétion des symptômes induits par des souches virales atténuées et du moindre tropisme cutané des souches amyxomateuses. Ainsi, est-il souvent utile de confirmer les suspicions cliniques par un diagnostic de laboratoire. Même si les différentes techniques traditionnelles disponibles (isolement viral, immunodiffusion en gélose, immunofluorescence, etc.) varient dans leur capacité à détecter le MYXV dans les lésions myxomateuses, dans tous les cas, l'agent causal peut aussi être identifié par réaction de polymérisation en chaîne (PCR) simple ou quantitative.

Enfin, rappelons que la myxomatose est inscrite au Code sanitaire pour les animaux terrestres de l'OIE, et qu'à ce titre les pays et territoires membres sont tenus de notifier l'apparition de foyers de la maladie conformément aux dispositions de ce code sanitaire.

Comme pour de nombreuses maladies virales contagieuses animales, la myxomatose n'admet qu'une lutte préventive, et non curative, en l'absence de virostatiques spécifiques réellement efficace *in vivo*. La lutte contre la myxomatose, uniquement mise en œuvre en élevage, s'appuie généralement sur des mesures sanitaires et la pratique de la vaccination.

### *Prophylaxie sanitaire*

Les protections mécaniques et chimiques contre les vecteurs (arthropodes) s'inscrivent, au premier chef, dans la liste des exigences sanitaires de l'élevage du lapin.

### *Prophylaxie médicale*

La vaccination hétérologue se fonde sur l'emploi du virus du fibrome de Shope (SFV), historiquement le premier vaccin disponible. Ce vaccin vivant hétérologue peut être utilisé à partir de 28 jours d'âge, par voie sous-cutanée ou par injection intradermique. L'injection intradermique semble conférer une meilleure réponse immunitaire et donc une meilleure protection clinique que l'injection sous-cutanée.

En revanche, ce vaccin ne confère qu'une protection vaccinale partielle et de courte durée, toujours inférieure à la spécificité homologe. Ainsi n'apporte-t-il qu'une protection très relative, insuffisante face à des souches de forte virulence, même si les souches sauvages susceptibles d'être rencontrées sur le terrain sont de virulence intermédiaire. Il est actuellement surtout réservé aux très petits élevages fermiers et aux animaux de compagnie.

La vaccination homologe s'est développée avec la mise au point de souches vaccinales atténuées de MYXV. En effet, divers travaux ont permis d'obtenir des souches virales atténuées par passages en cultures cellulaires, soit à partir de la souche californienne MSD (souches Saïto, Borghi, MAV...), soit à partir d'isolats de type sud-américains issus de la souche Lausanne (souches SG33, Pisa, Leon 162...). Dans tous les cas, la protection conférée, après administration par voie intradermique ou sous-cutanée, bien qu'imparfaite, est bien meilleure que celle obtenue avec le SFV (bonne protection clinique précoce et pendant environ 6 mois). Il faut noter que la légère immunodépression consécutive à toute administration de virus atténué et à pouvoir pathogène résiduel a pu, dans les élevages concentrés avec de mauvaises conditions hygiéniques, rompre l'équilibre précaire entre l'hôte et des bactérioses respiratoires de portage ou d'évolution à bas bruit.

Enfin, le MYXV, comme de nombreux poxvirus, est un vecteur viral efficace, puisque diverses souches atténuées ont servi à l'élaboration de vaccins recombinés permettant une vaccination simultanée contre la myxomatose et la RHD.

## Démarche diagnostique des maladies respiratoires du lapin

### *Conduite à tenir devant un jetage*

#### *Examen clinique*

L'examen clinique permet, outre la découverte et la caractérisation du jetage, de présager de l'atteinte de l'état général. Il cherchera à mettre en évidence les signes d'une affection particulière afin d'orienter les examens complémentaires à effectuer, les causes possibles de jetage étant nombreuses (tableau 6.3).

L'étude du jetage cherchera tout d'abord à caractériser l'aspect du jetage. Il peut être séreux (aspect aqueux, clair, incolore : il est acellulaire et peut être physiologique) ou muqueux, muco-purulent ou purulent (consistance plus ou moins visqueuse,



aspect blanchâtre plus ou moins prononcé : il traduit alors une infection des cavités nasales). La quantité et la durée du jetage peuvent aussi révéler un problème pathologique (affection virale aiguë par exemple) ou précéder une infection bactérienne ultérieure. Enfin, il arrive que le jetage soit sanguinolent. Il faut alors le différencier d'une épistaxis vraie (due à la RHD, à un choc thermique ou à une hémorragie). Indépendamment de son aspect, le jetage peut être intermittent, déclenché uniquement par les éternuements, ou constant.

Ensuite, on cherchera à savoir s'il est unilatéral ou bilatéral. Chez le lapin, l'examen consiste à observer l'état des poils sur la partie distale interne des membres antérieurs. Un lapin affecté par un jetage se nettoie la face en passant sa patte sur son nez. Il en résulte la présence de poils collés (figure 6.8, planche 9). Les commentaires (ensemble des données générales concernant les animaux malades) renseigneront sur la durée du jetage. S'il est chronique, il arrive que l'irritation due à l'humidité constante des poils de l'intérieur des pattes du lapin, souillés par les sécrétions, favorise une alopecie.

**Tableau 6.3.** Principales causes de jetage chez le lapin.

Étiologie du jetage	Agent potentiellement en cause	Observations majeures
Infection virale	<i>Leporipoxvirus</i> (MYXV)	Jetage séreux, sanguinolent ou purulent (lors de surinfections), éternuements, conjonctivite, larmolements, kératites et/ou ulcères cornéens, anorexie, pneumonie
Infection bactérienne	<i>Pasteurella multocida</i> <i>Bordetella bronchiseptica</i> <i>Mycoplasma sp</i> ( <i>bovis</i> , <i>arginini</i> ) <i>Staphylococcus aureus</i> <i>Pseudomonas aeruginosa</i> , <i>Klebsiella pneumoniae</i>	Rarement aiguë et primaire Jetage muqueux ou muco-purulent, toux, conjonctivite suppurée, kératites et/ou ulcères cornéens, épiphora, chassie, anorexie, pneumonie, pleurésie
Affections tumorales	Tumeurs d'étiologies diverses	Assez rares mais certainement sous-diagnostiquées
Malposition dentaire		Très souvent génétique et/ou environnementale

L'examen de la face permettra de suspecter la cause du jetage : non respiratoire (tumeur, malposition dentaire, affection cutanée) ou respiratoire (pneumonie). On cherchera toute déformation de la face, du palais, des globes oculaires. Les sialorrhées, abcès, épiphora ou chassie seront pris en considération. L'examen comprendra aussi un examen buccal soigné, prenant en compte l'usure et l'occlusion des molaires, des prémolaires et des incisives.

### Examens complémentaires

Trois examens sont indispensables à un diagnostic précis. Le premier est un examen bactériologique d'un prélèvement du jetage sur écouvillon (parfois avec un milieu

de transport spécifique, notamment pour les mycoplasmes), voire du liquide provenant d'une irrigation de la cavité nasale. À titre individuel, cette analyse pourrait être complétée par une radiographie des sinus et de la cavité thoracique. Elle n'est que rarement pratiquée en élevage pour des raisons de coût, mais est indispensable au diagnostic des affections bucco-dentaires ou osseuses. Enfin, en cas de besoin, l'analyse histologique d'éventuelles biopsies de tumeurs ou de kystes peut être réalisée, la radiologie ou l'échographie étant réservées à l'examen d'animaux de grande valeur économique ou affective.

### *Conduite à tenir devant une dyspnée*

La dyspnée résulte, en général, d'une insuffisance respiratoire, d'une insuffisance cardiaque ou de troubles métaboliques.

L'insuffisance respiratoire peut être due à une perte de l'intégrité de la cage thoracique (souplesse et intégrité du squelette, tonus musculaire, liberté des feuillets de la plèvre lors de traumatisme, de carence, de malformation, d'obésité, de pneumothorax ou d'épanchements thoraciques divers, etc.). Plus fréquemment, c'est le parenchyme pulmonaire qui est atteint (maladie infectieuse, congestion pulmonaire, œdème entraînant fréquemment une hypoxie par déséquilibre du rapport ventilation/perfusion). On peut aussi avoir une modification de la perméabilité des voies aériennes (hémorragie, mucus ou pus, corps étranger) ou une perturbation des mécanismes réflexes qui équilibrent le rapport ventilation/perfusion. C'est le cas lors d'embolies artérielles qui permettent aux alvéoles d'être ventilées mais non d'être perfusées. À l'inverse, les alvéoles peuvent être perfusées mais non ventilées lors d'atélectasie ou de pneumonies (tableau 6.4).

### *Examen clinique*

L'examen clinique doit être méticuleux. L'anamnèse (recherche de l'historique de la maladie) cherchera à comprendre si l'affection est récente ou chronique. L'examen clinique tiendra ensuite compte de l'état général de l'animal (aspect extérieur et comportement, température, consommation, etc.). L'examen de la couleur des muqueuses recherchera une pâleur (anémie, état de choc) ou une coloration anormalement intense (cyanose consécutive à une obstruction des voies respiratoires, déséquilibre du rapport ventilation/perfusion).

Une hyperthermie pourra indiquer que l'affection est infectieuse, voire septicémique ou due à un coup de chaleur.

L'appareil respiratoire sera ensuite examiné. On observera les mouvements de la respiration pour déceler polypnée, bradypnée ou apnée. On essayera de déterminer si la dyspnée est aiguë (survenue récente et d'emblée installée) ou chronique (progressivement établie). Dans les cas de dyspnée aiguë, il faudra entreprendre des soins rapidement, parfois même avant d'avoir complètement déterminé la cause de l'affection. On cherchera ensuite à savoir s'il y a obstruction (inspiration et expiration anormales) ou si la dyspnée est simplement restrictive (polypnée sans modification des temps d'inspiration et d'expiration). Enfin, on s'intéressera plutôt aux voies respiratoires supérieures si la dyspnée est inspiratoire (cavités nasales, pharynx, larynx, trachée) et aux voies respiratoires inférieures, dans les affections

**Tableau 6.4.** Étiologie des dyspnées chez le lapin.**Affections de l'arbre respiratoire supérieur**

Obstruction des narines : coryza (*Pasteurella multocida*, *Bordetella bronchiseptica*), affections virales (MYXV), tumeurs des cavités nasales, papillomatose  
 Obstruction trachéo-bronchique : RHD, tumeur intraluminaire, pasteurellose, corps étranger  
 Occlusion trachéo-bronchique : abcès pasteurellique, tumeur, cardiopathie  
 Rupture traumatique de la trachée : accident

**Affections de l'arbre respiratoire profond et du parenchyme pulmonaire**

Bronchite (allergique, virale, mycoplasmaïque, bactérienne)  
 Œdème pulmonaire : cardiopathie ou infection (virale, mycoplasmaïque, bactérienne)  
 Infection pulmonaire : mycoplasmes, staphylocoques, pasteurelles, virus myxomateux  
 Tumeurs pulmonaires  
 Hémorragie pulmonaire : RHD, coup de chaleur, intoxication aux anti-coagulants

**Affections de l'espace pleural et de la plèvre**

Pneumothorax  
 Épanchement pleural : hydrothorax cardiogénique ou tumoral, hémithorax (traumatique, coagulopathie virale ou intoxication), pyothorax (infection à *Pasteurella multocida*)  
 Hernie diaphragmatique  
 Tumeur du médiastin ou de la plèvre

**Diminution de la capacité du sang à transporter l'oxygène**

Anémies  
 Méthémoglobinisation  
 Coagulopathies

**Causes diverses**

Affection neuromusculaire atteignant les muscles de la respiration (iatrogène, carences en vitamines...)  
 Distension abdominale entraînant une compression du diaphragme (météorisations lors de coccidiose, de syndrome entéropathie enzootique, de clostridiose, tumeur, hépatomégalie, obésité)  
 Hyperthermie  
 Urémie  
 Stress, douleur, syndrome parésie cœcale

broncho-pulmonaires et les œdèmes du poumon. Enfin, toute discordance respiratoire (décalage entre la respiration thoracique et abdominale) doit faire rechercher un épanchement pleural, un pneumothorax ou une hernie diaphragmatique.

La percussion de la cage thoracique permettra quant à elle (sur les animaux adultes) de repérer des zones de matité (bruit assourdi) indiquant la présence de liquide ou d'une masse solide.

Enfin, l'auscultation du poumon, le plus souvent pratiquée sur des animaux de valeur, peut révéler des bruits sifflants (obstruction d'une grosse bronche) ou muqueux (bronchopneumopathie, œdème). On peut également noter une diminution des bruits respiratoires (épanchement pleural, pneumothorax, tumeur). Quant à l'auscultation cardiaque, elle ne peut être dissociée d'un examen du poumon. Elle révèle des souffles, des arythmies, etc.

L'examen clinique est – pour les animaux de valeur – suivi d'une radiographie du thorax en cas de dyspnée chez le lapin de compagnie, mais elle n'est pas réalisée en élevage pour des raisons de coût. Elle permet de visualiser la morphologie du cœur, des gros vaisseaux et l'aspect du parenchyme pulmonaire. On peut également noter des épanchements et la présence d'air, voire d'éventuels corps étrangers et hernies.

### *Examens complémentaires*

Lorsqu'une cause bactérienne peut être suspectée, il est indispensable de faire un examen bactériologique complet (identification précise de la souche et antibiogramme) avant de proposer un traitement. En cas de suspicion de myxomatose, un examen histologique permet de décrire les lésions avec assurance. L'agent causal peut aussi être identifié par la mise en évidence du génome du virus MYXV par réaction de polymérisation en chaîne (PCR) simple ou quantitative (surtout mis en œuvre lors de formes atypiques ou atténuées).

### **Stratégies de traitements des maladies respiratoires**

Le diagnostic étant réalisé, le traitement du jetage doit être mis en place. Si le jetage est contemporain d'une infection respiratoire profonde, on poursuivra l'analyse diagnostique. Certains traitements, complexes ou onéreux, seront réservés à des animaux d'une certaine valeur (affective ou économique).

S'il s'agit d'une infection non compliquée par des bactéries, le traitement sera symptomatique. Des mucolytiques et un anti-inflammatoire non stéroïdien peuvent aider l'animal de compagnie. Parallèlement, on distribuera de la vitamine C *per os*. On surveillera la survenue d'éventuelles complications.

Dans le cas de tumeur ou de kyste, selon le résultat des analyses histologiques et de la gêne occasionnée, on envisagera ou non un traitement chirurgical et/ou médical chez le lapin de compagnie.

Lorsqu'il s'agit d'un problème dentaire, l'extraction des dents avec un syndesmote adapté permet souvent de remédier au jetage. Parallèlement, des fumigations à base d'huiles essentielles au thymol peuvent être pratiquées.

Pour les dyspnées aiguës d'animaux qui peuvent être hospitalisés et présentent des signes d'hypoxie, on utilisera l'oxygénothérapie. Chez eux, les dyspnées d'origine traumatiques seront traitées chirurgicalement.

Les dyspnées faisant intervenir un processus infectieux avec production importante de mucus seront améliorées par l'administration de bromhexine.

Sur les lapins, on évitera d'utiliser des corticoïdes qui sont mal tolérés. On préférera l'emploi d'anti-inflammatoires non stéroïdiens. On les réservera cependant aux affections aiguës ou en appoint d'un traitement étiologique.

L'antibiothérapie sera mise en place en fonction de la masse de l'animal et en tenant compte des sensibilités aux différents antibiotiques et de leur diffusion au sein du poumon. On évitera autant que faire se peut les antibiotiques d'importance critique et on utilisera des médicaments permettant une bonne diffusion dans les tissus de l'appareil respiratoire.

Dans le cas d'élevages contaminés, il est possible d'envisager l'élaboration d'un auto-vaccin, très efficace pour prévenir de nombreuses bactérioses. Chaque cas



devra être envisagé séparément en fonction de la (ou des) bactérie(s), des conditions d'élevage et du type d'animaux (reproducteurs, animaux de chair) à vacciner.

Les maladies de l'appareil respiratoire en élevage étant souvent plurifactorielles, les causes favorisant les maladies seront éliminées (ventilation, gaz nocifs, poussière, alimentation, spores de champignons). En cuniculture professionnelle, on observe une recrudescence de maladies respiratoires lors de périodes de stress et d'oxygénation plus difficiles (l'hiver, lors des ventilations les plus faibles, et l'été lors des pics de chaleur). Dès lors, l'apparition d'une sinusite ne doit plus être prise en compte en tant que telle mais doit inciter le vétérinaire à rechercher tous les facteurs de stress qui auraient pu favoriser son développement afin de les éviter. Cette approche dite « multifactorielle » est le plus souvent utilisée en élevage. Elle permet de discerner les causes favorisantes de l'établissement d'une maladie et de mettre en place un traitement avec des chances de guérison raisonnables. Un équilibre se crée entre les défenses immunitaires et le pouvoir pathogène du germe. Ainsi, d'un côté, la forme physique, l'état d'entretien (état corporel), les moyens de lutte (système immunitaire ou médicaments) permettent au lapin de résister face à une agression microbienne. De l'autre, la virulence (capacité à se multiplier) et le nombre de germes, la pathogénicité (faculté à provoquer une maladie) et le type de germe en cause (parfois sans autre facteur favorisant comme dans le cas de la myxomatose) permettront, selon les cas, le développement ou non de la maladie.

## Maladies digestives du lapin

Les pathologies digestives sont des causes majeures de morbidité et de mortalité, particulièrement chez le lapin en croissance. Elles conduisent à de sévères pertes économiques directes et indirectes qui compromettent souvent la rentabilité d'un élevage.

Les pathologies digestives peuvent être d'origine non biologique (alimentation, abreuvement, stress, erreur de rythme lumineux, etc.) ou d'origine biologique (virus, bactéries, parasites). Même si les étiologies infectieuses semblent beaucoup plus fréquentes et constituent la base même des diagnostics établis, l'intervention des causes non biologiques comme agents favorisants ne doit évidemment pas être sous-estimée. À titre d'exemple, il n'existe toujours pas à ce jour de méthode efficace pour contrôler correctement les coccidioses (étiologie infectieuse) dans les élevages où les lapins sont élevés en parcs paillés au sol (facteur favorisant).

Une erreur fréquente, dans le diagnostic des pathologies digestives, est un manque de systématisation du raisonnement clinique et une approche parfois fondée sur des *a priori*. Cela conduit trop souvent à une absence d'intégration des différentes causes de pathologies entre elles et donc à des échecs thérapeutiques. Cette situation s'observe par exemple dans des élevages au sein desquels coexistent des problèmes d'entéropathie épizootique et une gestion insuffisante du parasitisme (coccidiose).

Même si une visite d'élevage est utile pour déterminer les facteurs de risque, le diagnostic précis des pathologies digestives est avant tout un travail de laboratoire. Dès lors, le but de la visite d'élevage sera essentiellement de relever un maximum de commémoratifs, de vérifier la gestion technique (hygiénique, alimentaire, etc.)

et de déterminer le choix des prélèvements nécessaires (nature des animaux, âge, symptômes observés, nature des prélèvements). Au laboratoire, une approche diagnostique systématique devra être mise en place. Elle commencera par (1) la réalisation d'un nombre minimum de 5 à 10 autopsies provenant d'animaux présentant les signes représentatifs de la maladie digestive de l'élevage. Les cadavres autopsiés seront le plus frais possible (interprétation des lésions macroscopiques sur des animaux morts spontanément ou euthanasiés en phase terminale). Ensuite, (2) des analyses coprologiques (dénombrement des oocystes au niveau de l'intestin grêle et du cæcum) seront réalisées chez tous les animaux, ainsi que (3) des examens bactérioscopiques (observation en microscopie photonique après coloration de Gram des contenus digestifs de l'iléon et du cæcum), et (4) des coprocultures des contenus digestifs (iléon et cæcum) sur gélose au sang et milieu de Gassner ou de Mac Conkey. Éventuellement, des prélèvements pour examens histopathologiques (foie et cæcum) seront effectués immédiatement, quitte à être analysés après réception des premiers résultats. Ce n'est qu'une fois l'ensemble des résultats disponibles qu'un diagnostic d'orientation pourra être proposé, la confirmation de ce dernier reposant souvent sur la réalisation d'examen plus spécifiques qui seront décrits plus loin.

Globalement, les étiologies infectieuses les plus fréquentes et/ou pour lesquelles un rôle primaire a été attribué sont d'origine bactérienne (*Escherichia coli*, *Clostridium spiroforme*, *Clostridium piliforme*), d'origine parasitaire (*Eimeria* spp.) ou d'origine inconnue (entéropathie epizootique des lapins). D'autres bactéries peuvent jouer un rôle telles que *Clostridium perfringens*, *Klebsiella pneumoniae*, *Yersinia enterocolitica*, *Lawsonia intracellularis*, *Haemophilus paracuniculus*. Il faut noter que le rôle des salmonelles dans l'apparition de troubles digestifs chez les lapins sevrés semble faible mais reste à éclaircir.

Le diagnostic des pathologies digestives est souvent difficile car plusieurs agents peuvent être présents conjointement au sein d'un même élevage et il n'est pas aisé de déterminer lequel joue un rôle prépondérant. Enfin, dans un nombre non négligeable de cas, des pathologies digestives non imputables à un agent pathogène spécifique peuvent être observées. Elles sont généralement regroupées sous le vocable « d'entérites non spécifiques » et sont souvent des colidysbactérioses d'origine multifactorielle qui présentent des difficultés majeures de diagnostic et de traitement car les facteurs en cause doivent être cernés.

Afin de faciliter la compréhension, les différentes étiologies biologiques seront présentées selon le type d'agent. Pour les causes non infectieuses, le lecteur est renvoyé aux chapitres spécifiques, comme celui traitant de l'alimentation.

## Infections virales

Contrairement à d'autres espèces de production, les infections virales interviennent rarement comme agents étiologiques majeurs des pathologies digestives chez les lapins. Bien que diverses espèces virales (rotavirus, adénovirus, coronavirus, parvovirus...) aient été identifiées ou isolées de lapins morts de pathologies digestives, à ce jour, les rotavirus sont les seuls agents primaires de diarrhée reconnus, et ce en dépit de la description depuis 2011 d'infections par les astrovirus chez les lapins.

Les rotavirus sont présents de manière endémique dans la plupart des exploitations cynicoles au sein desquelles ils n'induisent que des troubles digestifs mineurs et temporaires sauf en cas de complications bactériennes secondaires. Les lapereaux semblent protégés par les anticorps maternels jusqu'à l'âge de 1 à 2 mois. Ensuite, en fonction de la pression d'infection, une infection subclinique ou un épisode diarrhéique peuvent survenir. Les rotaviroses seraient surtout observées dans les élevages professionnels durant la période hivernale, sans que cette assertion n'ait été clairement démontrée.

Le diagnostic est à la fois un diagnostic de confirmation (mise en évidence des rotavirus) et d'exclusion (absence de toute autre étiologie conjointement). Il n'existe à ce jour aucun kit de diagnostic spécifique pour les rotavirus des lapins. Néanmoins, de nombreux kits destinés au diagnostic des rotaviroses bovines réagissent positivement avec les rotavirus des lapins par réaction croisée, ce qui permet leur utilisation chez le lapin.

## Infections bactériennes

### Infections à *Escherichia coli*

Chez le lapin, l'anatomie du système digestif et la composition de la flore bactérienne cœcale sont particulières (voir p. 46). On sait toutefois que le phylum des Firmicutes est prédominant (90 %) et que les autres phyla, classiquement retrouvés dans les écosystèmes digestifs des mammifères, sont minoritaires (10 %). Une spécificité du lapin est notamment sa pauvreté en flore colibacillaire ( $10^2$  à  $10^3$  colonies formant unité (UFC)/g de contenu cœcal). Cette situation est liée au pH cœcal qui est acide (5,8 à 6,5) en raison de la présence d'acides gras volatils (acétique, propionique) produits lors de la fermentation bactérienne des nutriments dans le cæcum. La problématique des pathologies liées aux *E. coli* doit tenir compte de l'âge (avant ou après sevrage) et du type même de problématique (colidysbactériose *vs* colibacillose). Avant l'âge de 14 jours, la flore bactérienne cœcale physiologique des lapereaux ne comprend pas d'*E. coli*. Cette espèce bactérienne apparaît progressivement à partir de cet âge, avec parfois un pic au moment du sevrage, pour atteindre ensuite les valeurs physiologiques.

Toute augmentation de la flore colibacillaire intestinale au-delà de  $10^4$  à  $10^5$  UFC d'*E. coli*/g de contenu cœcal est anormale chez le lapin. Cependant, cela ne signale pas la présence de souches pathogènes porteuses de facteurs de virulence connus. Une colidysbactériose se définit donc comme une augmentation anormale de la flore colibacillaire physiologique. Les mécanismes induisant la diarrhée seront donc essentiellement de type osmotique, tout du moins dans un premier temps. Ces colidysbactérioses doivent donc être vues comme des situations de rupture de l'homéostasie de la flore digestive, elles sont une composante majeure des « entérites non spécifiques ».

À l'inverse, une colibacillose est une réelle infection de l'intestin par une souche pathogène primaire. En élevage, le cheptel reproducteur est le réservoir de l'infection par portage asymptomatique. Les colibacilles entéropathogènes du lapin (REPEC) sont comparables aux EPEC humains. Ils s'attachent à la muqueuse

intestinale, provoquent l'effacement des microvillosités, mais ne produisent pas d'entérotoxines thermostables ou thermolabiles connues, et ne sont pas entéro-invasives. Bien que des diarrhées hémorragiques puissent être observées avec les souches les plus pathogènes, aucune production de toxines *Shiga-like* n'a été mise en évidence à ce jour.

Les REPEC ne forment pas un groupe homogène en termes de pathotypes et de virulence des souches. Certaines souches sont pathogènes pour les lapereaux nouveau-nés, alors que d'autres le sont pour les lapins sevrés. Ainsi, les taux de mortalité peuvent varier de quelques pour cent à près de 100 %. Les différents pathotypes sont différenciables par leur sérotype, par la mobilité des souches et par le biotype. Le caractère entéropathogène peut être démontré par la mise en évidence, par PCR, de la présence du gène *eae*, nécessaire à la production des lésions d'attachement/effacement au niveau des villosités de la muqueuse intestinale.

Au niveau clinique, les colibacillooses avant sevrage se traduisent par l'apparition de mortalité dans des nichées entières de lapereaux âgés de 1 à 14 jours, avec présence de diarrhée très liquide souillant l'arrière-train voire l'ensemble du cadavre. À l'autopsie, on observera un estomac rempli par du lait (preuve de l'absence d'agalaxie chez la mère), mais un contenu intestinal très liquide (figure 6.9, planche 9).

Généralement, une même reproductrice aura une nichée atteinte, puis s'immunisera, et la maladie aura tendance à être plus restreinte, voire à disparaître, dans les nichées suivantes. Le diagnostic repose sur les aspects épidémiologiques (âge des animaux, aspect épidémiologique dans l'élevage) et lésionnels (contenu très liquide à putride de l'iléon et du cæcum). Il pourra être confirmé par l'isolement conjoint de souches d'*E. coli* au départ de l'iléon et du cæcum. Ce simple isolement est significatif chez les animaux de moins de 14 jours, mais devra faire l'objet d'analyses plus poussées au-delà de cet âge. À titre thérapeutique, la distribution d'antibiotiques, de manière individuelle, aux lapereaux a été suggérée, mais s'avère peu utile en élevages professionnels au sein desquels la destruction préventive des nichées est souvent conseillée pour éviter l'extension horizontale au sein de l'élevage.

Chez les animaux en croissance (après sevrage), en cas d'augmentation anormale de la flore colibacillaire, le diagnostic devra d'abord déterminer s'il s'agit d'une colidysbactériose ou d'une colibacilliose. En effet, dans le premier cas, la suite du travail de diagnostic consistera à chercher les facteurs biologiques ou non biologiques ayant entraîné ce déséquilibre de flore. En revanche, s'il s'agit d'une colibacilliose, l'existence d'un réservoir au sein du cheptel reproducteur imposera une réflexion plus globale pour détecter les animaux porteurs asymptomatiques.

Cliniquement, tant les colidysbactérioses que les colibacillooses se traduisent par l'apparition de diarrhées, généralement sévères, 5 à 14 jours après le sevrage. La fréquence de ces diarrhées diminue avec l'âge et elles deviennent rares chez les animaux âgés de plus de 3 mois. Néanmoins, ces lapins plus âgés jouent un rôle majeur dans l'épidémiologie de l'infection, car ils sont le réservoir des souches entéropathogènes.

À l'autopsie, on observe d'emblée des cadavres avec un arrière-train fortement souillé par des matières fécales souvent putrides et très liquides. Les lésions



macroscopiques sont dominées par un contenu intestinal anormalement liquide et putride au niveau de l'iléon, du cæcum (principalement) et du côlon. Dans certains cas, des suffusions hémorragiques peuvent être observées au niveau de la paroi cæcale. L'ensemble des lésions macroscopiques conduit à caractériser les lésions observées de duodéno (rarement), jéjuno (plus fréquent), iléo (très fréquent), typhlite (quasi systématique) aiguë, avec souvent une présence de suffusions hémorragiques au niveau de la paroi cæcale.

Les lésions inflammatoires sont décrites comme plus marquées après infection par des REPEC qu'en cas de colidysbactériose. Cette assertion repose sur des descriptions lésionnelles après reproduction expérimentale par inoculation et ne correspond que très partiellement aux observations de cas de terrain.

La suspicion épidémiologique et lésionnelle se confirme à l'examen bactériologique initial où une charge colibacillaire beaucoup trop élevée sera souvent observée. Malheureusement, cet isolement primaire, que la charge bactérienne soit limitée ou totalement excessive, ne permet pas de différencier une colidysbactériose d'une colibacillose. Selon les laboratoires, des analyses complémentaires (séro-biotypage ou recherche du gène *eae*) doivent être réalisées.

En conditions de terrain, aucune étude n'a démontré un avantage majeur d'une méthode, les résultats devant dans les deux cas être interprétés avec un recul certain. Schématiquement, le séro-biotypage consiste à déterminer le sérotype ainsi qu'une série de caractéristiques biologiques (biotype) des souches isolées. Sur la base de ces caractéristiques, un pouvoir pathogène (très pathogène – mortalité > 50 % ; moyennement pathogène – mortalité 5 à 30 % ; peu pathogène – mortalité < 5 %) est attribué à la souche isolée, par analogie avec des souches ayant le même profil et ayant fait l'objet d'études expérimentales préalables (mortalité/intensité des diarrhées induites/âge principal de sensibilité des animaux). Les principaux problèmes de cette méthode sont sa lourdeur (temps de travail/difficulté de trouver des laboratoires commerciaux effectuant ce travail en routine, etc.) et l'interprétation rétrospective des résultats sur base d'analyses datant souvent de nombreuses années. De plus, aucune étude sur les souches circulant en élevages professionnels n'a été publiée ces dix dernières années.

À l'inverse, la recherche du gène *eae* est une méthode rapide et réalisable par de nombreux laboratoires. Un résultat négatif permet en toute bonne logique d'exclure la présence d'une souche entéropathogène. Par contre, un résultat positif pour la seule présence du gène *eae* ne permet pas d'affirmer que l'ensemble des gènes du *locus* LEE sont présents (et/ou fonctionnels), et donc que la souche est bien entéropathogène.

En France, 30 à 50 % des souches isolées de lapins atteints de diarrhée seraient de sérotype O103, cette souche ayant été décrite comme étant la souche la plus pathogène. Les autres souches appartiennent aux sérotypes O132, O128, O26, O85 et O15. Ces dernières années, des souches de sérotype O2 sont fréquemment mises en évidence, mais ce sérotype est considéré comme non entéropathogène puisqu'il n'a jamais permis une reproduction expérimentale de la maladie. La fermentation du rhamnose *in vitro* est un bon marqueur de virulence pour certains sérotypes.

En effet, les souches O103 et O26, qui ne fermentent pas le rhamnose, sont le plus souvent des souches hautement pathogènes.

Globalement, en élevage, la présence de REPEC de pathotypes « très pathogènes » déterminés par séro-biotypage se traduira de manière quasi systématique par l'apparition de troubles digestifs majeurs et de mortalités importantes. La présence de REPEC moyennement pathogènes se traduit par des signes cliniques et de la mortalité, dont l'importance est liée à la présence de facteurs favorisants (stress, rotavirus, coccidies, alimentation, etc.). En cas de colidysbactériose, des mortalités allant jusqu'à 5 % par semaine en engraissement sont rapportées. À ce jour, pour le cuniculteur, il n'existe donc aucune méthode analytique permettant d'établir un lien définitif entre le bio-sérotype et/ou la présence du gène *eae* et l'intensité des lésions et/ou les taux de mortalité.

Selon le pouvoir pathogène des souches et la situation globale (mortalités/pertes économiques) au sein de l'élevage, le traitement reposera sur l'administration d'antibiotiques, après réalisation d'antibiogramme et/ou sur la mise en place d'un programme d'élimination des porteurs chroniques, en général 3 à 7 % des reproducteurs au sein d'une même exploitation. Quand cela est possible, et en l'absence de souches très pathogènes et d'autres étiologies/facteurs aggravants, décaler le sevrage au-delà du 35<sup>e</sup> jour permet de contrôler au moins partiellement les mortalités durant la période d'engraissement. Aucun vaccin n'est commercialement disponible à ce jour. Les limites techniques au développement de tels vaccins sont l'absence de protection croisée entre les bio-sérogroupe et la nécessité de pouvoir administrer le vaccin en dose unique tout en conservant un coût limité. Le contrôle des colidysbactérioses repose donc sur l'élimination des facteurs favorisants (alimentation, autres infections conjointes, etc.). De manière empirique, l'administration de certains acides organiques (le plus connu étant le vinaigre basé sur l'action de l'acide acétique) ou minéraux dans l'eau de boisson semble donner des résultats probants quand les facteurs de dérives de flore ont été éliminés.

### Entérotoxémies à *Clostridium spiroforme*

*Clostridium spiroforme* est une bactérie anaérobie à Gram positif sporulante et toxigène, dont la toxine peut être neutralisée par un sérum dirigé contre la toxine iota de *Cl. perfringens* de type E. Cette réaction croisée a été pendant longtemps à la base d'une erreur d'estimation du pouvoir pathogène réel des souches de *Cl. perfringens* chez les lapins. La toxine de *Cl. spiroforme* est composée de deux sous-unités indépendantes qui, lorsqu'elles sont associées, possèdent une activité cytolytique marquée. Le pouvoir toxigène varie selon les souches, la virulence de *Cl. spiroforme* étant en corrélation directe avec la capacité de production de cette toxine. *Cl. spiroforme* est présente en nombre très limité dans le contenu cæcal de près de 80 % des lapins cliniquement sains. En cas de perturbation de la flore, *Cl. spiroforme* peut se multiplier de manière brutale et provoquer une entérotoxémie.

Cliniquement, la maladie se présente sous une forme aiguë, avec apparition de mortalité chez les animaux, à partir de l'âge de trois semaines, principalement aux alentours du sevrage. Cette pathologie peut également s'observer chez des lapines

proches de la mise-bas. Lorsque cette pathologie fait suite à une distribution d'antibiotiques inadaptés, les mortalités débutent généralement vers le 3<sup>e</sup> jour après le début de l'administration et peuvent perdurer jusqu'à trois semaines après le retrait de l'antibiotique.

À l'autopsie, les lésions consistent généralement en un contenu cæcal anormalement liquide allant jusqu'à une hémorragie intestinale sévère. La paroi cæcale peut être œdématisée avec présence de zones hémorragiques en surface (figure 6.10, planche 9). Des lésions analogues sont parfois observées au niveau de l'iléon, l'ensemble des lésions conduisant à établir un diagnostic anatomopathologique d'(iléo)-typhlite aiguë hémorragique. L'intensité des lésions varie selon les animaux.

Le diagnostic repose sur la mise en corrélation entre les lésions macroscopiques et l'observation par examen coproscopique d'un très grand nombre de *Cl. spiroforme* dans le contenu iléo-cæcal chez plusieurs animaux conjointement. En effet, comme son nom l'indique, *Cl. spiroforme* est facilement identifiable dans le contenu digestif sur base de ses caractéristiques tinctoriales et de sa forme en spires, chaînettes de taille variable ou rosettes. Cette méthode diagnostique peut paraître simpliste mais donne d'excellents résultats sur le terrain, même si sa sensibilité et sa spécificité sont limitées par l'existence de degrés variables de toxigénicité entre les souches. À ce jour, il n'existe pas de kit de détection rapide de la toxine de *Cl. spiroforme* dans le contenu intestinal. Le développement de tels kits serait extrêmement utile, en raison des variations de toxigénicité entre les souches. Les difficultés de cultiver *Cl. spiroforme* alliées à la nécessité d'un diagnostic rapide font que la culture bactérienne de l'agent est peu intéressante, du moins pour un résultat rapide.

Le traitement repose sur la mise en évidence et la suppression des facteurs de dérivation de flore. L'administration d'antibiotiques pour contrôler les épisodes cliniques est sujette à caution. En effet, d'une part, ces antibiotiques peuvent en eux-mêmes être à la base de dérives de flores ; d'autre part, des évidences de terrain, confirmées par des analyses de laboratoires, démontrent la forte antibiorésistance acquise de ces souches, notamment à la tiamuline. À titre expérimental, l'utilisation de vaccins de type toxoïdes, produits par inactivation de surnageant de culture, semble donner des résultats intéressants sans qu'une application commerciale n'ait abouti à ce jour.

### Infections à *Clostridium piliforme*

La maladie de Tyzzer ou infection à *Clostridium piliforme* (anciennement *Bacillus piliformis*) est très rare en élevage cunicole professionnel. Cette maladie des rongeurs et du lapin, espèces au sein desquelles il existe de nombreux porteurs sains, se présente le plus souvent sous une forme aiguë associant de sévères diarrhées et des mortalités importantes (50 %) chez des animaux autour du sevrage (5-8 semaines d'âge). Une forme chronique (pertes de poids et mauvais états généraux, principalement chez les adultes) a également été décrite.

Le diagnostic de suspicion de la forme aiguë se fonde sur les lésions macroscopiques, à savoir un sévère œdème de la paroi cæcale avec augmentation de l'épaisseur de la paroi et un contenu cæcal hémorragique, voire présence de fausses membranes sur

la muqueuse cœcale. Le diagnostic anatomopathologique est une sévère typhlite aiguë hémorragique ou pseudomembraneuse. Ces lésions intestinales peuvent être accompagnées de lésions hépatiques, à savoir de nombreuses zones nécrotiques punctiformes ( $\leq 2$  mm) dans le parenchyme hépatique et, parfois, dans le myocarde (figure 6.11, planche 10). Malheureusement, ces lésions hépatiques et myocardiques, indicatrices de la maladie de Tyzzer, sont beaucoup plus fréquentes chez les rongeurs que chez les lapins.

Le diagnostic de confirmation se fait par mise en évidence de l'agent. Dans ce cadre, la culture bactérienne est inutile, la bactérie étant non cultivable à ce jour. Seul l'isolement sur œufs embryonnés a été couronné de succès. Dès lors, la confirmation se fera par examens histopathologiques, et mise en évidence des bacilles dans la muqueuse intestinale et au pourtour des lésions hépatiques après colorations spécifiques (Giemsa, PAS, imprégnation à l'argent). Cette méthode n'est sensible que pour les formes aiguës. *Bacillus piliformis* peut également être mis en évidence par PCR ou PCR nichée, notamment sur les organes atteints ou dans les matières fécales. Les examens sérologiques n'ont, dans ce cas, pas le moindre intérêt chez les animaux d'élevage.

Si le diagnostic est établi et selon la gravité en élevage, un traitement antibiotique (tétracycline ou apparenté) peut être tenté en associant ce traitement à un vide sanitaire et à un traitement sporicide (antiseptique, chaleur) des zones ayant hébergé des animaux malades. Malheureusement ce traitement n'apporte pas toujours une solution définitive, et conduit parfois à recommander un *stamping-out* (abattage total) avec nettoyage – désinfection et vide sanitaire.

### Infections à *Klebsiella pneumoniae*

Chez les lapins, les infections à *Klebsiella pneumoniae* peuvent se traduire par des symptômes digestifs, contrairement à d'autres espèces chez lesquelles elles provoquent des pathologies respiratoires (Homme, rongeurs, chien, chat), des mammites (bovins) ou des septicémies (Homme). Ces pathologies étaient considérées comme rarissimes chez les lapins avant 1999-2000, mais une nette augmentation du nombre de cas est rapportée dans certaines régions depuis lors.

Cliniquement, de sévères mortalités sont observées chez des lapereaux entre 2 et 4 semaines d'âge avec un pic entre 16 et 24 jours, puis un arrêt brutal des mortalités ensuite. Des avortements chez les reproductrices et des diarrhées chez les lapins en croissance sont également décrits. À l'autopsie, le foie apparaît fortement décoloré, le volume de la rate apparaît augmenté et la masse digestive est de couleur lie de vin. Le diagnostic de suspicion se fonde sur les critères épidémiologiques et lésionnels, la confirmation se faisant par isolement de la bactérie. Une utilisation non raisonnée des antibiotiques serait un facteur favorisant la prolifération des klebsielles, qui sont réputées zoonotiques même si aucune analyse comparative des souches humaines et animales ne semble avoir été effectuée à ce jour. Le traitement se fondera sur la correction de la conduite du nid et des lactations.



## Infections parasitaires

### Coccidiose

La coccidiose reste une problématique majeure en cuniculture. Onze espèces d'*Eimeria* peuvent infecter les lapins ; dix ont un tropisme intestinal et une (*E. stiedae*) a un tropisme hépatique. En pratique, la méthode habituellement utilisée pour différencier les espèces se fonde sur les aspects morphologiques des oocystes après sporulation. Le pouvoir pathogène, apprécié par l'intensité des diarrhées, les taux de mortalité et la chute des gains quotidiens moyens, déterminé en conditions de laboratoires par inoculation d'un nombre standardisé d'oocystes, varie fortement selon les espèces (tableau 6.5). Il en va de même de la localisation préférentielle des lésions pour un ou plusieurs segments intestinaux.

**Tableau 6.5.** Caractéristiques des infections à *Eimeria*.

Espèces	Diarrhée	Mortalité	Diminution du gain quotidien moyen	Tropisme tissulaire
Très pathogènes <i>E. intestinalis</i> , <i>E. flavescens</i>	Sévère	Forte	Sévère	Déjunum, iléon Cæcum, colon
Pathogène <i>E. media</i> , <i>E. magna</i> , <i>E. piriformis</i> , <i>E. irresidua</i>	Limitée	Variable	Moyenne	Duodénum Jéjunum, iléon Colon Jéjunum, iléon
Peu pathogène <i>E. perforans</i> , <i>E. exigua</i> , <i>E. Vejdovski</i>	Non	Non	Limitée	Jéjunum Jéjunum Jéjunum
Non pathogène <i>E. coecicola</i>	Non	Non	Non	Non

Le cycle des *Eimeria* comprend une phase interne (dans l'hôte) et une phase externe (la sporogonie) durant laquelle les oocystes non sporulés et non infestants vont se transformer en formes infestantes après sporulation dans des conditions précises de température, d'humidité et d'oxygénation. Les formes sporulées sont particulièrement résistantes, notamment aux désinfectants chimiques usuels, sauf aux phénols. Cette résistance des oocystes est un écueil majeur de l'élevage du lapin en contact plus ou moins permanent avec ses déjections (par les caractéristiques des sols ou des matériaux utilisés).

Cliniquement, les coccidioses intestinales touchent les lapins entre 5 à 12 semaines d'âge, les formes cliniques étant quasi inexistantes chez les adultes. Au sein de l'élevage, le cheptel reproducteur joue donc un rôle de réservoir par portage chronique asymptomatique, et infestation des lapereaux *via* l'environnement après sporulation des oocystes. Cette infestation des lapereaux est d'autant plus importante qu'un pic

de ré-excrétion par les reproductrices se produit dès la mise-bas pour une période de 1 à 2 semaines.

À l'autopsie, les lésions macroscopiques sont principalement observées au niveau de l'intestin grêle sauf en cas d'infestation par *E. flavescences* et *E. piriformis*. Dans les cas typiques, la paroi intestinale prend un aspect congestif, œdématisé, très segmenté voire encéphaloïde. Les spécificités cliniques et lésionnelles associées aux espèces d'*Eimeria* prises individuellement (tableau 6.5) ne s'observent que très rarement en élevage cunicole, où les niveaux d'infestations sont plus réduits et ont un aspect plus continu, et où les infestations peuvent faire intervenir plusieurs espèces conjointement. De plus, les lésions finales et les taux de mortalité sont fortement modifiés par des maladies concomitantes et/ou intercurrentes (EEL, colidysbactériose, entérotoxémie à *Cl. spiroforme*). En cas de coccidiose hépatique à *E. stiedae*, on observe généralement une faible chute de vitesse de croissance, sauf en cas de très sévères infestations ou d'infestations chroniques. Dans la plupart des cas, la suspicion est émise à l'autopsie et à l'abattoir par observation de nombreux abcès hépatiques de tailles variables (figure 6.12, planche 10).

Le diagnostic individuel repose sur la corrélation entre les lésions macroscopiques observées et les résultats de dénombrement des oocystes dans les matières fécales prélevées au niveau des segments atteints (figure 6.13, planche 11). Au niveau global d'une exploitation, le suivi parasitaire et le diagnostic s'appuieront sur les résultats de plusieurs comptages d'oocystes dépassant les 5 000 oocystes par gramme de fèces prélevés de manière standardisée.

Les pertes économiques induites par les coccidioses ne se limitent pas aux seules mortalités et pertes directes (chute du GMQ, qualité de carcasse). Les syndromes de malabsorption liés aux entérites chroniques et aux coccidioses subcliniques peuvent déprimer la croissance des lapins et donc réduire leurs performances.

Seule l'immunité à médiation cellulaire confère une protection contre les ré-infestations, et ce de manière strictement spécifique (pas d'immunité croisée entre les espèces). Bien que des anticorps circulants apparaissent chez tous les animaux après infestation, ils ne sont nullement protecteurs, ce qui limite fortement l'efficacité de l'immunité d'origine maternelle.

Le traitement des coccidioses repose sur l'administration de sulfamides. La sulfaméthoxine est la molécule la plus efficace sur les coccidioses intestinales alors que les efficacités respectives de la sulfadimidine sodique, de la sulfaquinoxaline et de la sulfadimerazine sont très limitées. Sur le terrain, le toltrazuril a aussi une bonne efficacité mais ne possède pas d'AMM pour le lapin. Quel que soit le traitement mis en place, les échecs thérapeutiques majeurs sont courants quand des méthodes prophylactiques drastiques ne sont pas implémentées conjointement afin d'empêcher la recontamination des animaux, problème qui est ordinairement rencontré avec les techniques d'élevages en groupes ouverts ou au sol.

La prophylaxie médicamenteuse des coccidioses se fait par distribution de coccidiostatiques dans les aliments. La robénidine et le diclazuril (coccidiostatiques chimiques non antibiotiques) peuvent être utilisés en engraissement et chez les reproducteurs ; la salinomycine (coccidiostatique ionophore) ne peut être utilisée

qu'en engraissement. L'existence de souches (*E. magna*, *E. media*, *E. perforans*) résistantes à la robénidine est établie, mais n'exclut pas l'utilisation du diclazuril car les coccidiostatiques chimiques ayant tous des modes d'action différents, ils ne semblent pas induire de résistance croisée. Une rotation des coccidiostatiques utilisés sur une base de 6 mois est recommandée.

En dépit des nombreuses recherches menées, de résultats prometteurs et de l'intérêt de la méthode, il n'existe toujours pas de vaccins commercialement disponibles. Les vaccins destinés aux volailles ne présentent pas le moindre intérêt pour la cuniculture.

### Autres parasitoses

Des infestations à *Passalurus ambiguus* (ver rond, oxyure du cæcum et du gros intestin) sont encore régulièrement rencontrées. Ces infestations parasitaires sont généralement asymptomatiques. Cependant, les performances de reproduction des troupeaux parasités s'avèrent irrégulières et plus faibles que celles des troupeaux non parasités (voir chapitre 5).

### Entéropathie épizootique du lapin (EEL)

Fin 1996, un nouveau syndrome clinique est apparu dans les élevages cunicoles français, et plus largement en Europe. La maladie a d'abord été appelée « entérococolite épizootique du lapin » avant que sa dénomination exacte ne soit définitivement établie comme « entéropathie épizootique du lapin » (EEL). Même si l'incidence actuelle de l'EEL semble moins sévère que dans les années 2000, elle a une prévalence « élevages touchés » de plus de 90 % dans les pays producteurs européens. C'est une dominante pathologique dans de nombreuses exploitations cunicoles.

En élevage, les signes cliniques observés sont relativement constants. Lors d'un premier passage d'EEL, on voit apparaître brutalement des troubles digestifs majeurs associés à des taux de mortalité très élevés (30 à 80 %) sur des animaux en engraissement entre 6 et 14 semaines d'âge. Les diarrhées sont limitées, voire absentes, le tableau clinique étant dominé par un ballonnement abdominal considérable des animaux atteints. Par la suite, ces signes cliniques et ces mortalités continuent à réapparaître systématiquement sur les animaux en engraissement. Depuis la fin des années 2000, les cas d'EEL en maternité sont de plus en plus fréquents : sur des lapines primipares ou sur des lapereaux de 15 à 30 jours. Aucun lien direct n'a été établi à ce jour entre les formes d'engraissement et de maternité. Progressivement, les cas d'EEL ont été signalés en élevages biologiques ou en élevages amateurs où ils sont également très fréquents.

Les signes cliniques chez les animaux atteints ont été décrits avec précision lors de reproductions expérimentales. Dans les 12 à 24 heures après inoculation orale, les animaux arrêtent de s'alimenter, puis de s'abreuver 24 à 48 heures plus tard. À ce stade, on peut observer une diarrhée aqueuse de très faible intensité, mais, surtout, les animaux présentent un ballonnement abdominal considérable qui persiste voire empire jusqu'à la mort qui a lieu entre le 3<sup>e</sup> et le 9<sup>e</sup> jour après infection.

En élevage, la principale observation est l'augmentation de mortalité brutale dans les lots associée aux ballonnements abdominaux, et un ralentissement du transit intestinal se traduisant par une diarrhée peu profuse.

Les lésions typiques de l'EEL ont également été décrites avec précision sur les cas expérimentaux. À nouveau, avant ouverture du cadavre, la lésion dominante est le ballonnement abdominal qui, à l'ouverture du cadavre, rend compte d'une très sévère dilatation de l'estomac et, parfois, à des degrés divers, de tous les segments de l'intestin grêle. On observe un contenu intestinal très liquide, mais sans évidence de lésion d'entérite aiguë ou chronique, ni d'hémorragies intestinales. La dilatation du gros intestin est souvent présente (figure 6.14, planche 11). L'EEL est donc bien une entéropathie primaire, et non une entérite à proprement parler. Dans 40 à 60 % des cas, une impaction partielle ou totale du contenu cæcal avec présence d'une quantité variable de mucus dans le côlon est observée. Au début de l'épidémie, des lésions pulmonaires amenant à établir des diagnostics de pneumonies aiguës ont erronément été liées à l'EEL. Cette observation ne doit plus être retenue comme un critère diagnostique à ce jour. Chez les animaux d'élevage, le tableau lésionnel typique, principalement l'absence de lésions inflammatoires, est très souvent modifié par le développement de complications bactériennes secondaires qui compliquent le tableau. Néanmoins, dans tous les cas, un ballonnement stomacal très important, lié à la présence d'un contenu stomacal beaucoup trop abondant et excessivement liquide, sera observé sur l'ensemble des animaux autopsiés et sera un critère diagnostique majeur.

En dépit de nombreuses études, l'étiologie est toujours inconnue à ce jour. L'origine infectieuse est avérée et l'hypothèse la plus probable est une infection bactérienne, avec un rôle de l'alimentation comme facteur favorisant. Cette hypothèse est fondée sur des observations directes ou par élimination. Aucun des inocula de référence ne contient de parasites ni de toxines mycotiques connues, ce qui élimine ces hypothèses. De même, les expériences de centrifugation différentielle des inoculum de références avec fractionnement par différentes méthodes ont permis d'éliminer les agents viraux tout en confirmant l'hypothèse infectieuse. Notamment, bien que les premiers inoculum contiennent des souches de rotavirus, l'EEL n'a jamais pu être reproduite par inoculation de ces souches virales, alors que l'EEL pouvait être reproduite avec des inocula dans lesquels ces rotavirus étaient absents.

À ce stade, seule persiste l'hypothèse bactérienne, qui a été étayée par plusieurs observations, notamment par le fait que l'inoculum de référence contient au moins deux facteurs. Le premier a une taille inférieure à 0,45  $\mu$  et permet de reproduire la phase précoce de la maladie visible dès J1 après inoculation. Le second a une taille supérieure à 0,45  $\mu$  et reproduit principalement la phase plus tardive, visible dès J2-J3 après inoculation. L'administration conjointe des deux facteurs permet la reproduction d'une EEL typique. Enfin, chez des animaux EOPS inoculés, il est possible d'observer la présence de bactéries en surface et entre les cellules de l'épithélium intestinal, parfois même dans les entérocytes, sans que des lésions des structures nerveuses, telles que celles de la *grass sickness* des chevaux ou du Key-Gaskell chez les chats, ne soient présentes. Les observations en microscopie électronique à transmission ou à balayage confirment la présence de bactéries



d'une taille approximative de 1 500 nm par 700 nm, avec une paroi bactérienne potentiellement de type Gram négatif.

Malheureusement, les études de bactériologie classique ou de bactériologie moléculaire n'ont toujours pas permis de déterminer l'(les) espèce(s) bactérienne(s) intervenant dans l'étiologie de l'EEL. Ces études ont néanmoins permis d'éliminer des hypothèses (*Cl. perfringens*, *Enterococcus faecium*, *Ent. faecalis*, *Pseudomonas luteola*, *Bacillus firmus*, *Bacillus licheniformis*, etc.). Enfin, les études de microbiologie moléculaire indiquent que la richesse et la densité du microbiote bactérien cœcal ne sont pas affectées durant une reproduction expérimentale de l'EEL, ce qui plaide pour un facteur étiologique unique.

Bien que l'étiologie ne soit pas connue, des traitements permettant de contrôler de manière relativement efficace les cas d'EEL en élevage ont été développés. À ce jour, les deux traitements le plus souvent recommandés sont la bacitracine de zinc ou la tiamuline, la première se montrant souvent plus efficace. La maladie peut être contrôlée tant que l'antibiotique est distribué dans l'eau de boisson. Des reprises de mortalité sont régulièrement signalées 3 à 5 jours après arrêt des traitements. La tentation de ne pas intervenir et de « laisser passer » les attaques d'EEL, comme cela a parfois été recommandé, ne se traduit jamais par une amélioration durable. À l'inverse, le renforcement drastique des mesures d'hygiène générale (pédiluve entre les locaux, manipulation stratégique des cadavres, utilisation de gants, changement d'habits, etc.) permet d'améliorer la situation. En parallèle, lors de la gestion de cas d'EEL, il est capital de mettre en place des méthodes de diagnostic, de traitement et de gestion des autres maladies digestives qui favorisent l'explosion de l'EEL et en augmentent les conséquences (interaction coccidiose subclinique/EEL notamment).

En prévention, on peut retenir l'efficacité des stratégies de limitation de l'ingéré après le sevrage, qui intègrent en général une pause digestive (ou jeûne) de 10 à 12 heures. Ces stratégies de restriction peuvent être associées à l'utilisation d'aliments plus riches en fibres. De plus, le suivi précis de la vitesse de croissance des lapins permettra à l'éleveur de mieux déterminer le niveau souhaitable de restriction alimentaire.

Plus généralement, le respect d'une ingestion minimum de fibres permet de réduire les risques de troubles digestifs chez le lapin en croissance (voir chapitre 5).

## Maladies abcédatives du lapin

Les maladies abcédatives (pyogènes) provoquent l'apparition d'abcès ou de phlegmons chez le lapin : les abcès sont des amas encapsulés situés dans des cavités ou des tissus, les phlegmons sont des accumulations diffuses sans « coque ». Ces lésions contiennent du pus de consistance crémeuse à caséeuse (comme du fromage), des débris tissulaires et bactériens, des cellules de défense de l'organisme. Elles sont la conséquence d'une infection bactérienne locale ou générale.

Les abcès sous-cutanés sont faciles à mettre en évidence par simple examen de l'animal ; les abcès internes et les phlegmons sont beaucoup plus difficiles à diagnostiquer sans examen complémentaire. Les éleveurs habitués à palper les animaux (pour le

diagnostic de gestation notamment) discernent parfois des « boules anormales » quand celles-ci se situent dans l'utérus ou à proximité de celui-ci.

Il ne faut pas confondre les myxomes cutanés (nodules), observés dans la myxomatose, avec des abcès. Une palpation des nodules et les autres signes associés à cette maladie doivent permettre de faire le diagnostic différentiel assez aisément (voir p. 187).

## Staphylococcie

La plus connue des maladies abcédatives chez le lapin est la staphylococcie : le germe causal, *Staphylococcus aureus*, est bien connu pour provoquer des maladies abcédatives de la peau et des tissus mous dans plusieurs espèces animales y compris l'Homme ; ce germe de portage revêt son caractère pathogène à la faveur d'effractions de la peau et des muqueuses, même minimales. Les lésions inflammatoires conduisent à la réparation tissulaire physiologique et à la formation de pus ; le staphylocoque possède un arsenal génétique capable d'élaborer des lésions complexes conduisant à la persistance du germe et à sa dissémination.

Chez le lapin, la staphylococcie peut toucher le lapereau très tôt après la naissance ; les blessures (griffures), l'humidité du nid et, de façon plus générale, l'inconfort du nid facilitent la transmission du germe. La lésion la plus courante chez le lapereau nouveau-né est la pustule cutanée située principalement en face interne des cuisses. Différents types d'abcès apparaissent ensuite entre 8 et 15 jours : abcès sous-cutanés (dos, nez, pattes, etc.) (figure 6.15, planche 12) et arthrites (jarret, coude, à la suite de morsures ou de très petites érosions).

Chez l'animal adulte, les abcès peuvent aussi concerner l'appareil génital et la mamelle pour la femelle ; les jeunes reproducteurs sont le plus souvent victimes dans un élevage touché, avec un grand nombre d'abcès staphylococciques. La fréquence d'isolement de ce germe dans les lésions de pododermatite (figure 6.15, planche 12) (appelés plus communément « maux de pattes ») et la réforme des reproducteurs présentant des abcès en font un des facteurs majeurs de fonte (par réforme) du cheptel dans un élevage atteint.

D'autres organes peuvent être concernés par les abcès : reins, foie, poumons, cœur. Ces lésions apparaissent lors de l'examen nécropsique d'un animal sacrifié ou mort (voir tableau 6.6 et figure 6.16, planche 12). En effet, les lésions semblent pouvoir évoluer durant une certaine période sans aucun symptôme apparent sur l'animal. Le staphylocoque doré est la première bactérie retrouvée dans les utérus des lapines envoyées à l'analyse et, quand il est présent, aucune lésion macroscopique n'est identifiable dans plus de deux cas sur trois. Ces chiffres permettent de comprendre la forte proportion de porteurs sains et la facilité de diffusion du germe dans le troupeau en pratique courante d'élevage (adoptions, manipulations en série, etc.).

En faune sauvage, les arthrites septiques ou les abcès proches des articulations sont souvent consécutifs à des morsures profondes lors de combats, à des abrasions traumatiques, ou liés à des morsures d'arthropodes. Les abcès staphylococciques sont rencontrés chez le lapin de garenne et chez le lièvre, animal chez lequel des pyodermites à *S. warneri* ont aussi été décrites.

Certaines formes de staphylococcie diffusent rapidement dans l'élevage et s'installent durablement avec de nombreux animaux porteurs sains à partir desquels la maladie diffuse facilement. Les souches causant la maladie la plus persistante ont fait l'objet d'études génotypiques : l'association de certains gènes détermine les souches de haute virulence (souches HV) et, selon Vancraeynest, ces souches seraient issues d'un même clone européen.

Les solutions techniques pour réduire la staphylococcie consistent, d'une part, à limiter la fonte du cheptel et, d'autre part, à limiter la diffusion dans le troupeau. En effet, les jeunes lapines étant les plus sujettes à exprimer les signes cliniques abcédatifs, il faut veiller à limiter la fonte car le cercle vicieux du renouvellement important conduit à avoir beaucoup d'animaux sensibles et donc diffusant le germe facilement par les lésions abcédatives (mammaires notamment). De plus, la diffusion doit être limitée par les précautions de biosécurité visant les nids, les mains, les injections, la mise à la reproduction (voir p. 219).

La prise en charge thérapeutique de la staphylococcie n'est pas facile du fait du portage sain cutanéomuqueux ; pour les souches HV, l'autovaccination, en complément des traitements antibiotiques, peut permettre de mieux maîtriser l'incidence de la maladie. Le vide sanitaire reste la solution d'éradication de choix pour ce type de souches. Pour les souches de faible virulence (LV), la problématique se situe sur la gestion des germes environnementaux et l'équilibre de l'animal avec son environnement. Mais il ne faut pas exclure l'apparition d'un nouveau clone bactérien pathogène qui ne serait pas détecté par la technique de diagnostic moléculaire décrite par Vancraeynest.

## Pasteurellose

La pasteurellose est la plus répandue des maladies bactériennes dans les élevages de lapins. Les lapins de garenne sont aussi touchés par cette maladie : d'après les données du réseau Sagir, la pasteurellose a été diagnostiquée en moyenne annuellement dans 3 % des cas de mortalité (pour un échantillon moyen annuel d'environ 280 individus de 1993 à 2011). Ces chiffres reflètent probablement des taux réels supérieurs car la bactérie résiste mal à la congélation. Le germe en cause est *Pasteurella multocida*.

Le portage asymptomatique est très courant. Les formes respiratoires sont les plus connues et les plus identifiables par les éleveurs (voir p. 184). La pasteurellose est cependant une maladie abcédative d'importance pour le lapin. Coudert *et al.* (1986) considèrent que, en élevages professionnels, 60 % des lapines présentent des otites moyennes suppurées dues aux pasteurelles en élevages.

Les abcès les plus visibles sont à localisation sous-cutanée ; ils concernent les animaux à partir de 7-8 semaines mais peuvent apparaître sur des animaux adultes. À l'âge de 7-8 semaines, les localisations céphaliques des abcès sont fréquentes : les oreilles, après un épisode inflammatoire sévère, sont très fréquemment le siège d'abcès évoluant vers la nécrose (figure 6.17, planche 13) ; la face (mandibules, joues, gorges) est aussi un site de prédilection des abcès ou phlegmons sous-cutanés (figure 6.17, planche 13) avec une nette éléction des parties déclives : à

l'abattoir, il n'est pas rare de constater que des lapins présentent des phlegmons courant le long de la ligne blanche (ventrale) et remontant jusqu'à la gorge. Bien évidemment, des phlegmons sous-cutanés dans la région postérieure (cuisses) peuvent aussi apparaître suite à des morsures à partir de 10-12 semaines d'âge. Les infections oculaires purulentes sont aussi décrites : conjonctivite purulente (figure 6.18, planche 13), dacryocystite purulente. Ces lésions sont également décrites chez l'animal sauvage.

Chez la lapine adulte, outre les localisations précédemment citées, les abcès peuvent apparaître sur l'appareil génital, avec une forte proportion de lésions marquées à la mamelle.

Les lésions internes sont parfois discrètes et découvertes à la faveur d'autopsies d'animaux sacrifiés mais elles sont le plus souvent étendues et identifiées lors d'autopsies d'animaux morts ou malades : trachéites purulentes (bouchons muco-purulents dans la trachée), bronchite purulente, pleuropneumonies purulentes, pleurésies-péricardite fibrino-crayeuses, bronchopneumonies purulentes, péritonites purulentes ou fibrineuses avec des infections purulentes par contiguïté, infection des capsules splénique et hépatique, pyomètres, salpingites purulentes, pyélonéphrites (tableau 6.6 et figure 6.18, planche 13). Toutes ces formes cliniques abcédatives sont retrouvées sur le lapin de garenne et certaines lésions sont aussi décrites chez le lièvre.

Des œdèmes à localisation postérieure sont parfois observés lors de pasteurellose, en élevage comme en nature.

La pasteurellose sous la forme pyogène semble difficile à éradiquer et les actions thérapeutiques visent surtout à limiter l'apparition des signes cliniques. Les formulations injectables de molécules antibiotiques de bonne diffusion sont les plus utilisées pour mieux cibler les catégories de lapines traitées. Dans le cadre des pratiques d'élevage, il faut veiller à diminuer les stress les plus intenses pour les adultes et les futurs reproducteurs, afin d'améliorer l'immunité d'animaux porteurs sains. Par exemple, les changements de salles, de cages, d'ambiance, doivent limiter au maximum les perturbations trop importantes et éviter l'immunodépression transitoire qui s'ajouterait avec celle de la mise-bas pour la lapine (voir chapitre 6).

## Autres maladies abcédatives

Certaines maladies ont émergé avec la généralisation de l'insémination artificielle dans les élevages : certaines infections par des germes environnementaux, déjà décrites dans d'autres espèces, sont apparues en élevage cunicole. C'est le cas notamment pour les infections à *Trueperella* (anciennement *Arcanobacterium pyogenes*).



**Tableau 6.6.** Arbre de classification des lésions abcédatives.

Type lésionnel	Visibilité des lésions	Situation des lésions	Localisation ou aspects lésionnels	Agent causal ou origines possibles (liste non exhaustive)
Abcès	Lésions externes	Abcès sous-cutanés	Abcès sur le nez (« nez de clown »)	<i>S. aureus</i> , <i>P. multocida</i> , morsure
			Abcès à la mandibule ou sous l'œil, abcès dentaire	<i>P. multocida</i> , <i>S. aureus</i> , malocclusion ou malposition dentaire
			Abcès à la gorge	<i>P. multocida</i>
			Abcès aux oreilles	<i>P. multocida</i> , morsures
			Abcès sur le dos	<i>S. aureus</i> , mauvaise asepsie des injections, morsures
			Abcès dans la région postérieure du corps	<i>P. multocida</i> , <i>S. aureus</i> , streptocoques, pseudomonas, morsures
			Abcès à la mamelle	<i>P. multocida</i> , <i>S. aureus</i> , <i>Streptococcus</i>
			Abcès de sièges divers	<i>Fusobacterium necrophorum</i>
			Arthrite septique tibiotarsienne (jarret)	<i>S. aureus</i>
			Abcès génitaux	<i>S. aureus</i> , <i>P. multocida</i>
			Abcès labiaux	
			Pustules cutanées (nouveau-né)	<i>S. aureus</i>
			Pseudo-abcès dermiques, nodules (oreilles, paupières surtout)	Poxvirus (myxomatose)

.../...

Tableau 6.6. Arbre de classification des lésions abcédatives (suite).

Type lésionnel	Visibilité des lésions	Situation des lésions	Localisation ou aspects lésionnels	Agent causal ou origines possibles (liste non exhaustive)
Abcès	Lésions internes	Poumons	Abcès miliaires disséminés ou gros abcès pulmonaires	<i>S. aureus</i> , <i>P. multocida</i> , <i>B. bronchiseptica</i>
		Diaphragme	Abcès face viscérale	
		Foie	Abcès en surface et en profondeur du parenchyme	<i>P. multocida</i> , <i>S. aureus</i> , hygiène de nid défaillante, coccidiose hépatique
		Appareil digestif	Abcès dans l'épaisseur de la muqueuse	<i>S. aureus</i>
		Reins	Abcès disséminés dans le cortex et la médulla du rein	<i>S. aureus</i>
		Cavité abdominale	Abcès libres dans la cavité abdominale	<i>S. aureus</i> , <i>P. multocida</i>
		Utérus	Abcès enchâssés dans la muqueuse ou la séreuse utérine	
		Face	Phlegmon plus ou moins étendu, en nappe sur la face	<i>S. aureus</i> , <i>P. multocida</i> , morsure
		Ventre	Phlegmon centré sur la ligne blanche	<i>P. multocida</i>
		Œil	Écoulement de pus à l'angle interne de l'œil	<i>S. aureus</i> , <i>P. multocida</i>
Phlegmons	Lésions externes	Oreilles	Phlegmon étendu sur la surface du pavillon auriculaire après une phase de cyanose importante	<i>P. multocida</i>
		Cuisses	Phlegmon en nappe circonscrite sur la cuisse	<i>S. aureus</i> , <i>P. multocida</i>
		Péritonite purulente	Phlegmon prenant en masse les viscères, le foie, la rate	<i>S. aureus</i> , <i>P. multocida</i> , <i>Trueperella</i>
		Péricardite	Pus crémeux à crayeux	<i>P. multocida</i>
		Salpingite	Pus dilatant les oviductes	<i>S. aureus</i> , <i>P. multocida</i>

## RHD : maladie hémorragique virale, rappels et nouveautés

### Définition et importance

La maladie hémorragique virale du lapin (VHD ou RHD, pour *Viral haemorrhagic disease* ou *Rabbit haemorrhagic disease*) est une maladie hautement infectieuse et souvent fatale pour le lapin domestique et sauvage (lapin de garenne). Elle est provoquée par un calicivirus, le RHDV, virus très résistant dans l'environnement où il reste infectieux plusieurs mois. Son apparition dans les années 1980 en Chine et en Europe a causé d'importantes pertes économiques dans les élevages de lapins, qu'ils soient familiaux ou professionnels, et une perturbation écologique des écosystèmes en Europe occidentale dont le lapin de garenne est une espèce clé. Malgré le développement de vaccins efficaces permettant de contrôler la maladie, la RHD reste une maladie d'importance économique majeure pour la cuniculture mondiale. Dans les pays où le lapin de garenne est présent, elle constitue une des principales causes de mortalité dans les populations sauvages et ses effets sur les écosystèmes y sont durables.

À partir de l'été 2010, plusieurs cas cliniques de RHD ont été décrits dans des élevages du nord et du nord-ouest de la France, entraînant des mortalités du cheptel reproducteur vacciné, montrant pour la première fois un échappement de la maladie à la vaccination. À cette même période et dans les mêmes régions, des foyers de RHD d'importance inhabituelle ont été enregistrés, par l'Office national de la chasse et de la faune sauvage (ONCFS) et le Réseau de surveillance épidémiologique de la faune sauvage (Sagir-réseau ONCFS/Fédérations nationale et départementales de chasseurs), dans de nombreuses populations de lapins de garenne. Les analyses ont mis en évidence la présence d'un variant du virus de la RHD, génétiquement distinct des RHDV qui circulaient auparavant, et qui a été nommé RHDV2. Des études ont montré qu'il échappe partiellement à l'immunité induite par les souches de RHDV classiques, suite à la vaccination ou à une infection naturelle. Ce virus s'est propagé très rapidement puisque, moins d'un an après sa découverte, il était présent sur l'ensemble de la France métropolitaine, dans les populations sauvages et dans les élevages. En outre, depuis l'automne 2011, le RHDV2 a remplacé presque totalement les RHDV classiques qui ne sont plus caractérisés qu'épisodiquement. Son apparition a ainsi eu pour conséquence la réémergence de la maladie, induisant pour les élevages de nouvelles pertes économiques, en France mais aussi en Europe, puisqu'il a été caractérisé dès 2011 en Espagne et en Italie, puis peu après au Portugal, en Allemagne, en Angleterre et en Belgique.

Les données disponibles à ce jour montrent que le RHDV2 est devenu le principal responsable des cas de RHD en France, en Espagne et au Portugal. S'il est présent dans d'autres pays, rien n'indique qu'il y soit dominant ou qu'il y ait remplacé les souches de RHDV classiques. En Italie par exemple, RHDV et RHDV2 coexistent actuellement. Il semble donc qu'à l'échelle mondiale les deux formes de virus coexistent, mais on ignore si cette coexistence peut être durable ou non.

## La maladie et sa nouvelle forme RHD2

La RHD peut prendre deux formes différentes. Dans sa forme aiguë, l'évolution de la maladie est très rapide et les mortalités (taux pouvant dépasser 80 % en conditions expérimentales) apparaissent 2-6 jours après inoculation et s'étalent sur 3-4 jours. Quelques heures avant la mort, les symptômes les plus fréquemment rencontrés sont une anorexie et une prostration, des difficultés respiratoires, des hémorragies oculaires, une cyanose des muqueuses et, parfois, du sang autour des narines. En élevage, les symptômes sont très frustes : l'animal, juste avant la mort, connaît une phase d'agitation brève et intense, et de souffrance intense (soubresauts, cri). À l'autopsie, les signes cliniques sont une hépatite nécrosante (lésion du foie qui apparaît hypertrophié, congestionné ou décoloré, voire jaunâtre) parfois associée à de l'ictère, la présence de sang non coagulé dans la trachée, une pneumopathie plus ou moins hémorragique, des reins congestionnés parfois hémorragiques, une hypertrophie assez fréquente du thymus, souvent congestionné et parsemé de pétéchies (petits points hémorragiques rouges) ainsi que de la rate (figure 6.19, planche 14). Dans sa forme chronique, telle que définie par l'OIE, la cinétique de la maladie est différente puisque les mortalités apparaissent 3-9 jours après inoculation et s'étalent sur 5-6 jours, et les taux de létalité sont en moyenne plus faibles (40-50 % en conditions expérimentales). En plus des lésions caractéristiques de la RHD, les carcasses présentent fréquemment une dégénérescence du foie ainsi que des ictères avec coloration jaunâtre de la muqueuse oculaire, des oreilles, muqueuses et graisses, une urine jaune intense, presque fluorescente. Les lapins meurent d'hémorragies dans les cas de RHD aiguë, alors qu'ils meurent de dysfonctionnement hépatique dans les cas de RHD chronique.

Lorsqu'elle est causée par le RHDV, la maladie est généralement de forme aiguë avec de rares cas de forme chronique. Avec l'émergence du RHDV2, on a observé une évolution de son expression vers plus de formes chroniques, même si les formes aiguës et subaiguës restent présentes. Par ailleurs, la RHD sous sa forme originelle, causée par le RHDV, touche essentiellement les animaux âgés de plus de 2 mois. Les lapins de moins de 4 semaines d'âge sont résistants, puis la proportion d'animaux sensibles augmente progressivement avec l'âge pour être pratiquement totale à l'âge de 8 semaines. En revanche, le RHDV2 touche plus fréquemment les jeunes lapereaux de 3-4 semaines, des cas ayant même été rapportés sur des animaux d'une dizaine de jours.

Rien n'indique à ce jour que RHDV et RHDV2 diffèrent en termes de diffusion et de voie d'infection. Les voies d'infection principales sont les voies respiratoires et orales. La transmission de la maladie peut donc se faire par contact direct entre animaux malades (le virus est notamment présent dans le sang, les sécrétions, sur la peau, au niveau des muqueuses, et est excrété dans le milieu extérieur en très grande quantité *via* les urines et les matières fécales) ou contact indirect par l'intermédiaire de l'eau, de végétaux, de matériel d'élevage contaminés, ou de vecteurs passifs multiples (Homme, animaux non réceptifs, véhicules). La transmission mécanique du virus par piquûre d'insectes a également été documentée en Australie. À grande échelle, la diffusion du virus peut se faire par l'intermédiaire de déjections d'animaux nécrophages (carnivores, oiseaux) ayant consommé des lapins infectés



ou des cadavres de lapins morts de RHD, et aussi par l'intermédiaire de cadavres et de carcasses congelées d'animaux infectés.

## Prévention et surveillance

En l'absence de traitement, il est nécessaire de mettre en place dans les élevages une prophylaxie à deux niveaux : mesures de biosécurité pour limiter les risques d'introduction du virus dans les élevages et vaccination préventive du cheptel. Les mesures de biosécurité doivent maîtriser une contamination fécale-orale avec un agent fortement résistant dans l'environnement (voir p. 219).

L'efficacité des vaccins développés contre le RHDV est excellente et leur innocuité presque parfaite à condition de respecter les protocoles vaccinaux (dose vaccinale, rappels de vaccination) et de déparasiter les animaux préalablement à la vaccination. Ils induisent une protection dans les sept jours suivant la vaccination. Même s'il est possible de vacciner l'ensemble du cheptel en cas de maladie déclarée dans un élevage afin de sauver les lapins non encore infectés, la bonne utilisation de la vaccination est préventive. En effet, compte tenu de la contagiosité de la maladie, la vaccination d'urgence est une prophylaxie à risque.

La protection croisée entre RHDV et RHDV2 est faible, et les vaccins initialement développés contre le RHDV sont donc peu efficaces contre le RHDV2. Les résultats de la surveillance de l'évolution des RHDV-RHDV2 français entre 2010 et 2014 ont montré la quasi-disparition des RHDV au profit du RHDV2. Cette information est d'importance majeure pour l'élaboration des stratégies vaccinales des élevages de lapins de chair puisqu'elle doit conduire à se diriger vers l'utilisation de vaccins spécifiques au RHDV2. Cependant, la réémergence du RHDV reste possible, notamment parce que l'immunité développée au sein des populations sauvages depuis 2011 est essentiellement dirigée contre le RHDV2, ce qui offre au RHDV une possibilité de re-diffuser au sein de ces populations. Ainsi, la définition des stratégies vaccinales contre la RHD devra désormais tenir compte de la nature des souches virales en circulation.

Pour y parvenir, il serait utile de mettre en place un suivi des souches virales au sein de la filière cunicole, en complément du suivi réalisé par le réseau Sagir au sein des populations sauvages. Cet outil permettrait d'augmenter la réactivité en cas d'évolution des souches pouvant s'accompagner d'un échappement à la vaccination.

### Encadré 6.1. La RHD en pratique.

La maladie hémorragique virale peut être due à des virus classiques ou au RHDV2 : le suivi épidémiologique des souches au moyen d'analyses par PCR différentielle entre les souches RHDV et RHDV2 est donc nécessaire. Le prélèvement est constitué par un morceau de foie suspect. Pour tous les élevages, quels qu'ils soient, les mesures de biosécurité sont très importantes et doivent être centrées sur l'absence de contamination, directe ou indirecte, par des déjections de lapins. La prévention est obtenue par une pratique vaccinale adaptée aux souches virales présentes : bien étudier les valences vaccinales disponibles.

## Maladies parasitaires

### Parasites externes

#### La gale

La forme de gale la plus fréquente chez le lapin est l'otacariose due à *Psoroptes cuniculi*, acarien responsable de lésions de l'oreille. C'est une gale superficielle et les agents responsables ne creusent pas de galeries (vivent à la surface) : le rostre ainsi que les déjections des acariens causent des réactions inflammatoires, ainsi que l'accumulation de dépôts jaune-brunâtres en feuillets secs ou pâteux dans le conduit auditif (figure 6.20, planche 15). Comme ce dernier est long chez le lapin, l'éleveur s'aperçoit en général tardivement de la présence de ces dépôts et relève plutôt des symptômes prurigineux : secouement des oreilles qui peut aboutir à un othématome, grattage des pavillons et excoriations (causées par les griffes des animaux) sur les pavillons auriculaires, nervosisme de l'animal, une surinfection bactérienne étant possible avec un risque de syndrome vestibulaire. La gale des oreilles peut s'étendre sur la région péri-auriculaire si elle n'est pas traitée.

Cette maladie, très contagieuse, peut être limitée au sein des élevages en appliquant les mesures suivantes :

- éviter les contacts entre animaux atteints et non atteints ;
- maintenir une hygiène rigoureuse de l'habitat et de la litière ;
- éviter si possible tout le matériel en bois ;
- soins de l'oreille : ramollissement du magma croûteux (produits de nettoyage auriculaire) puis retrait avant traitement acaricide ; si le tympan ou la peau sont fragilisés, certains produits acaricides peuvent être neurotoxiques et entraîner l'apparition de symptômes méningés. ;
- soins généraux : sur les lapins non destinés à la consommation, des traitements par voie transcutanée sont possibles (pipettes à appliquer sur la peau entre les omoplates) avec des molécules de la famille des avermectines.

Les gales du corps dues à *Notoedres cuniculi*, plus rarement due au genre *Sarcoptes* (vivant dans l'épaisseur de la peau), sont peu fréquentes. Elles induisent des lésions cutanées appelées « boutons de gale » : les dépilations sont irrégulières, le prurit consécutif à l'inflammation est souvent intense.

Les traitements de la gale doivent s'étendre au minimum sur trois semaines, avec deux traitements locaux par semaine.

Chez les lagomorphes sauvages (lièvre et lapin de garenne), il a été signalé, dans la littérature, la présence de *Notoedres cuniculi* chez le lièvre et le lapin de garenne et de *Psoroptes cuniculi* chez le lapin de garenne. Il n'est pas rare non plus d'observer d'autres acariens, comme les acariens dits « pilicoles », au niveau des poils mais très peu pathogènes.

#### Les cheylétielles

Les cheylétielles sont des acariens bien connus et répandus au printemps, qui peuvent infester les lapins en plein air, mais restent absents en élevage en

claustration. Les symptômes observés sont des dépilations irrégulières associées à un squamosis plus ou moins important (« pellicules ») avec une inflammation modérée de la peau. Les traitements font appel aux avermectines et leur application doit durer six semaines.

Plusieurs espèces ont été signalées chez les lagomorphes sauvages (lièvre et lapin de garenne), dont *Cheyletella parasitivorax*, *Neotrombicula autumnalis* (ou aoûtat).

### Les tiques

Les tiques sont des acariens qui peuvent parasiter les lapins ayant accès à l'extérieur, car la tique se situe plutôt dans les zones forestières ou arbustives, en parties basses des branchages. Par conséquent, l'infestation par des tiques concerne plutôt les lapins élevés au sol en extérieur, mais aussi les lapins sauvages plutôt que ceux en élevage clos. Chez les lagomorphes sauvages, il est bien difficile de répertorier les différentes espèces possibles du fait que l'ensemble des stades (larves, nymphes, adultes) peuvent éventuellement se nourrir sur ces hôtes. On peut toutefois citer, parmi les espèces principales, *Ixodes ricinus* (vecteur reconnu de la maladie de Lyme en Europe) et d'autres espèces des genres *Pholeoixodes*, *Haemaphysalis*.

### Les puces et les poux

Les puces spécifiques du lapin, mais aussi celles des animaux de compagnies (chien et chat), peuvent infester le lapin dès lors qu'il peut être en contact avec des animaux familiers infestés ou qu'il fréquente un lieu de repos infesté, situation rarement observée en élevage confiné. La présence de puce (*Spilopsyllus cuniculi* mais aussi celle du chien, *Ctenocephalides canis*) est plus fréquente chez les lièvres et les lapins de garenne ; cette parasitose s'observe sur la faune sauvage ou sur les lapins nains en contact direct ou indirect avec des animaux familiers infestés. L'infestation se traduit par un prurit modéré à intense. La mise en évidence de puces ou de crottes de puces dans le pelage est facile.

Les poux sont rares en élevages clos, mais peuvent infester des lapins ayant accès à l'extérieur (poux hématophages du genre *Haemodipsus ventricosus*). Le prurit est intense et le squamosis peut être important.

Pour lutter contre toutes les maladies parasitaires dues à des acariens ou des insectes, la gestion des litières et du matériel (bois) est essentielle.

### Les myiases

L'infestation du lapin par les larves de mouches s'observe sur les animaux vivant en extérieur, ou sur les lapins nains quand la litière n'est pas entretenue régulièrement : les larves se logent dans les replis cutanés humides où elles trouvent une chaleur optimale et la nourriture nécessaire à leur évolution. Plusieurs espèces peuvent être incriminées.

Les traitements associent les soins locaux à la gestion de l'environnement (litière, population de mouches et de larves).

## La teigne

Cette parasitose due à un champignon n'est pas rare en élevage et les deux agents les plus fréquents sont *Trichophyton mentagrophytes* et *Microsporum canis*.

La teigne provoque des lésions de dépilations cutanées régulières, nummulaires (forme arrondie) et réparties dans les zones humides et chaudes : yeux, bouche, nez, oreilles (plutôt en face interne de la conque auriculaire, figure 6.21, planche 15), mais elles peuvent s'étendre aux pattes lors du toilettage. La teigne due à *Microsporum* est plutôt tondante avec des squames furfuracées sur une zone dépilée d'érythème modéré ; *Trichophyton* provoque plutôt l'apparition de kérions, zones dépilées fortement érythémateuses et facilement surinfectées.

Cette zoonose (groupe de danger 2, article R4421-3 du Code du travail français) doit être combattue par la gestion de l'environnement (aspiration et brûlage des poils, application de produits fongicides), l'isolement et le traitement des animaux atteints. Néanmoins, la teigne est une parasitose qui persiste facilement dans les élevages et demande de gros efforts de traitements (environnement, animaux), des gestes techniques réfléchis (limitation des stress, prise de conscience de la présence de porteurs sains, gestion de la contamination des tenues de travail) et de la persévérance dans les actions entreprises car les spores de teigne ont une longévité importante dans l'environnement. Notons que la teigne peut affecter tous les mammifères.

## Parasites internes

### Les vers ronds (oxyuridose)

Les vers les plus fréquemment rencontrés en élevage sont les oxyures (*Passalurus ambiguus*). Ces vers ronds parasitent le gros intestin plus ou moins massivement (figure 6.22, planche 16). Les animaux parasités n'ont en général aucun symptôme : ils ne perdent pas de poids, mais peuvent faire plus fréquemment leur toilette dans la région anale (démangeaisons provoquées par les vers qui migrent aux marges de l'anus pour pondre). Le diagnostic peut se faire sur crottes ou lors de l'autopsie, après filtration et lavage des contenus digestifs (figure 6.23, planche 16). À l'échelle d'un troupeau, la gestion rigoureuse des performances de reproduction permet toutefois d'observer des dégradations irrégulières des résultats et une fréquence plus élevée de pododermatites sur les animaux reproducteurs.

En élevage plein air (lapin de garenne notamment) ou chez le lapin sauvage, un autre parasite peut être rencontré : *Graphidium strigosum*. Il s'agit d'un ver rond, fin, de couleur rouge du fait de son hématophagie (se gorge de sang), que l'on trouve dans l'estomac. À moins qu'elle soit massive, cette infestation est asymptomatique.

Les traitements de ces parasites font appel aux benzimidazoles par voie orale.

### Les coccidies

Les coccidies sont des protozoaires bien connus dans de nombreuses espèces animales (mais ce sont des espèces qui sont spécifiques à un hôte ou à un groupe



d'hôtes) ; de nombreuses coccidies peuvent infester l'intestin, mais aussi les canalicules biliaires hépatiques (comme *E. stiedae*) et certaines peuvent être plus pathogènes (voir p. 195). Les lésions hépatiques sont découvertes au moment de l'abattage sauf si l'infestation massive provoque une insuffisance du fonctionnement hépatique.

Les traitements anti-coccidiens sont détaillés dans la section Coccidiose (p. 205).

### La cysticerose

Les lapins au contact direct ou indirect (végétaux, eau, homme) d'excréments de chiens ou de renards infestés par *Taenia pisiformis* peuvent être touchés par cette cestodose larvaire ; le lapin est alors un hôte intermédiaire du cycle : celui-ci se termine par ingestion des viscères du lapin contaminé par le chien.

Les larves gagnent le foie par la veine porte hépatique et des lésions hépatiques nécrotiques peuvent alors être observées. Le cycle de ce ténia s'interrompt chez le lapin avec la formation de formes intermédiaires de contamination du carnivore : les larves sont emprisonnées dans des petits kystes ressemblant à des gouttes d'eau contenant chacune un point blanc (cysticerque). Ces cysticerques sont le plus souvent appendus dans la cavité abdominale autour du foie ou de la rate. Le traitement consiste à vermifuger correctement les chiens (vermifuge ténicide) et à éviter le contact éventuel des lapins avec des fèces de carnivores potentiellement infestés.

Chez les lagomorphes sauvages, les principales formes larvaires de *Taeniidae* citées dans la littérature sont celles de *Taenia pisiformis*, de *Taenia serialis* (*Multiceps serialis*).

Remarquons que, du fait des conditions d'élevage, les lapins domestiques ne représentent pas des cibles de choix pour les infestations par les strongles pulmonaires. Ceci est lié au fait que les infestations ne se réalisent qu'en présence de mollusques gastéropodes terrestres, hôtes intermédiaires indispensables au déroulement du cycle et chez lesquels se trouve la forme infestante pour un nouvel hôte. En revanche, la bronchite vermineuse est une maladie fréquente chez les lièvres, due à plusieurs espèces de protostrongles.

## Mesures préventives non-thérapeutiques

### Principe de la biosécurité

La biosécurité est une protection contre les agents pathogènes selon leur mode d'introduction et leur mode de propagation au sein de l'élevage. L'analyse préalable des dangers et des risques potentiels est indispensable. Pour chaque danger, il est nécessaire de définir les vecteurs et les réservoirs, de mesurer l'importance de chacun pour prioriser les actions, et de préférer se focaliser sur les mesures adaptées au danger et au risque plutôt que de vouloir obtenir une perfection généralisée, illusoire dans la durée. Par exemple, le virus de la maladie hémorragique virale du lapin est excrété dans les fèces, les mesures de biosécurité externe et interne doivent donc viser toute transmission fécale directe ou indirecte (insectes ou mammifères qui sont au contact de matières fécales contaminées).

À l'intérieur du périmètre de l'élevage, tout intrant doit être contrôlé, soit de façon « générale », soit de façon dirigée (germes responsables de problèmes sanitaires d'actualité) :

- contrôle des animaux d'autres espèces. Les animaux domestiques et sauvages sont totalement proscrits dans le périmètre de l'élevage, une enceinte de clôture est idéale (figure 6.24, planche 16). Les rongeurs et les insectes constituent des vecteurs potentiels difficiles à contrôler : la biosécurité nécessite des mesures permanentes de dératisation et de désinsectisation ;
- contrôle des animaux de la même espèce. Les animaux nouvellement introduits dans l'élevage sont admis dans une zone de quarantaine permettant l'observation et l'adaptation de l'animal, et d'éventuelles analyses. Cette quarantaine n'est pas toujours applicable : par exemple, les lapereaux de renouvellement de 1 jour sont obligatoirement introduits directement dans les maternités pour être allaités ;
- contrôle des véhicules. Tout véhicule qui n'a pas nécessité de livrer ou enlever des charges lourdes ne pénètre pas dans l'enceinte d'élevage ; il est impératif qu'aucun véhicule ne puisse se garer devant les entrées d'air de l'élevage. Dans le périmètre de l'élevage, les véhicules ont des aires de circulation et de parking dédiées ; les chauffeurs ne pénètrent pas dans les bâtiments d'élevage (mettre une sonnette et une boîte à lettres pour les documents de livraison). Les aires de parking et d'enlèvement sont nettoyables (béton). Les cadavres éventuels sont des contaminants importants et sont stockés en périphérie de la zone d'élevage, le camion d'équarrissage ne pénètre pas dans l'enceinte d'élevage ; les bacs d'équarrissage sont nettoyables et désinfectables ;
- contrôle de la circulation des personnes. Les visiteurs de l'élevage entrent dans les bâtiments au niveau d'un sas sanitaire bi-zoné : le visiteur passe d'une zone « sale » (ou externe) à une zone « propre » (ou interne) en enfilant une tenue propre à l'élevage après s'être lavé les mains avec du savon. De plus en plus d'éleveurs proposent des bottes ou des sabots désinfectables, une tenue de type « bleu de travail » ou une cotte d'élevage ainsi qu'une charlotte. Les visites respectent le principe de marche en avant : animaux les plus jeunes en premier, animaux à risque (réformes, infirmeries) en dernier ;
- contrôle des intrants alimentaires. L'aliment doit être entouré de précautions vis-à-vis des contaminations, notamment par les rongeurs et les oiseaux. Les élevages professionnels prêtent une attention soutenue à la qualité de l'eau distribuée aux animaux. En 2010, une enquête Itavi menée en France auprès d'élevages cunicoles a montré que la différence entre les élevages selon la qualité de leur eau constitue le premier facteur de réussite : les élevages présentant une bonne qualité d'eau vendent en moyenne 2,4 kg/IA/an de plus que les élevages distribuant une eau de qualité moyenne à mauvaise ;
- à chaque nouveau danger ou à chaque changement dans le niveau de risque, la biosécurité doit être repensée. Cette approche sanitaire doit vivre et s'adapter à son environnement. En bref, la biosécurité est une discipline en nécessaire évolution.

## Encadré 6.2. Les bases de la biosécurité.

Risque = Danger + Exposition

Faire un schéma de l'élevage, délimiter les circuits (véhicules, personnes, animaux), déterminer les mesures adaptées à l'agent pathogène selon ses vecteurs et son mode de transmission. Biosécurité = bio-exclusion (empêcher d'entrer) + bio-compartimentation (empêcher de diffuser quand c'est entré) + bio-confinement (empêcher de sortir) + bio-préservation (empêcher que cela persiste dans l'environnement) + bio-prévention (empêcher la diffusion à l'Homme).

## Nettoyage et désinfection

Les opérations de décontamination des bâtiments sont importantes dans les mesures de biosécurité. La décontamination correspond à l'ensemble des opérations effectuées pour limiter au maximum la transmission de pathogènes entre deux lots d'animaux. Elle doit être appliquée à l'ensemble des locaux et matériels en contact avec les animaux. Selon le type de bâtiment, ces opérations seront plus ou moins simples à réaliser.

Dans un fonctionnement de type « tout plein-tout vide », les salles d'élevage sont vidées toutes les 12 semaines, ce qui permet de les nettoyer et de les décontaminer.

Dans le cas d'un élevage avec « salle fixe », ces opérations sont réalisées pour les locaux d'engraissement toutes les 6 semaines mais difficiles à réaliser en maternité. Des opérations de nettoyage plus sommaires sont faites régulièrement en présence des femelles et/ou un nettoyage complet est effectué annuellement en déplaçant tous les animaux. La variété des types de bâtiments (tout plein-tout vide, maternité fixe) et de gestion des déjections (raclage journalier, fosses profondes ou semi profondes) rend difficile l'élaboration d'un programme « type » de la décontamination ; il est plus constructif d'en expliquer les principes pour les appliquer à chaque cas. Dans tous les cas, il est nécessaire de décontaminer le sas sanitaire, les éventuels sas de préparation d'air et la salle de stockage très régulièrement.

L'ensemble des opérations de décontamination débute dès le départ des animaux, du lavage à l'application du désinfectant. L'étape la plus importante est celle du nettoyage/lavage ; c'est l'opération qui permet d'éliminer toutes les traces de matières organiques (poils, crottes, copeaux, poussières...) dans le bâtiment et les sas de préparation d'air. Le lavage est réalisé dès le départ des animaux après le retrait d'aliment résiduel dans les mangeoires et les trémies. Il est facilité par l'usage de mousse alcaline ou « dégraissante » qui, appliquée avant lavage, favorise la pénétration dans les anfractuosités et l'élimination des matières organiques. L'usage de laveurs à eau chaude en haute pression facilite également le nettoyage. Ces opérations de lavage doivent concerner tout le bâtiment une fois le petit matériel retiré (voir ci-dessous pour les nids et autre matériel) : sols, murs, plafonds, sas, cages, chariot de transport ; l'eau de lavage doit être correctement évacuée vers l'extérieur soit par les fosses de raclage, soit dans les fosses profondes.

Une fois le lavage du bâtiment effectué, on procède à la première décontamination avec un désinfectant homologué bactéricide, fongicide, virucide à la concentration adaptée. La solution désinfectante est appliquée sur toutes les surfaces sèches à raison de 3 à 4 l/m<sup>2</sup> de surface désinfectée ; un repère facile consiste à utiliser autant

de litres de solution que de surface de fosses dans le bâtiment. Le choix du désinfectant est guidé par son efficacité et l'absence d'agressivité vis-à-vis du matériel.

Après application du désinfectant, le bâtiment est en vide sanitaire. Cette période est mise à profit pour assurer une remise en bonnes conditions du matériel et de l'ambiance du bâtiment avant l'arrivée des animaux, en séchant et en ventilant. Cette durée étant assez courte, il y a rarement une double désinfection (désinfection de contact complétée par une nébulisation avant arrivée des animaux). Il est préférable, faute de temps, de privilégier un très bon nettoyage suivi d'une désinfection de contact correcte. Lors de ces opérations, les protections nécessaires doivent être utilisées (masque, gants, etc.). Il faut aussi veiller au nettoyage du système de distribution d'eau : les circuits d'eau, depuis les bacs de réserve jusqu'aux extrémités de canalisations, doivent être vidangés, nettoyés et désinfectés. Le protocole est le suivant :

- vidange de la totalité des circuits d'eau puis rinçage pour évacuer tout volume mort ;
- mise en place d'un nettoyeur alcalin pendant un temps limité à 45 minutes environ sur la totalité des circuits ;
- brossage des bacs avec une solution alcaline avant vidange et rinçage ;
- vidange et rinçage des circuits (à l'eau) ;
- désinfection des circuits d'eau avec un acide fort (rôle détartrant) ou un peroxyde stabilisé par un acide minéral (désinfectant et nettoyeur). Tout le circuit est concerné depuis les bacs réserves.

Les silos d'alimentation doivent également être régulièrement nettoyés et désinfectés. Ces opérations nécessitent des silos vides. Le risque le plus important étant surtout fongique, l'usage de « bougies » antifongiques est adapté.

Les nids sont retirés avant les opérations de nettoyage et de décontamination du bâtiment. Dès leur retrait, procéder à un lavage soigné et à une désinfection de contact ou par trempage (application sur matériel sec). Les nids sont ensuite stockés au sec à l'abri des recontaminations. À la mise en place dans les cages, ils seront à nouveau désinfectés soit dans la salle en fonctionnement « tout plein-tout vide », soit en maternité en « salle fixe », à la remise en place des femelles avant la mise-bas.

L'ensemble du petit matériel doit également être régulièrement désinfecté et stocké à l'abri des recontaminations après chaque usage (seringues, appareils de vaccination, pinces à tatouer, balances de pesées, etc.). Pour chaque type de matériel, procéder d'abord au lavage puis à la désinfection avec un produit efficace et non agressif (alcool à 70°), puis stocker à l'abri des recontaminations ; pour le matériel en contact avec des vaccins vivants, désinfecter en chaleur humide ou sèche selon le matériel (voir notice du fabricant).

L'efficacité des procédures de décontamination peut être contrôlée en premier lieu par un contrôle visuel du nettoyage. Ensuite, peuvent intervenir des contrôles bactériologiques, soit généraux avec des boîtes contact pour quantifier la flore résiduelle, soit ciblés avec des chiffonnettes et recherches spécifiques de certains pathogènes majeurs. Pour la décontamination des circuits d'eau, le contrôle de l'efficacité se fait par l'analyse de l'eau à la suite des opérations de décontamination, en bout de canalisation.



### Encadré 6.3. Importance de la décontamination.

La décontamination des locaux et des matériels d'élevage est une opération fondamentale pour limiter la transmission de pathogènes entre les animaux. Ces opérations doivent être adaptées à chaque type de locaux et à chaque type de conduite d'élevage. En production cunicole, le temps de transfert entre deux bandes étant court, les opérations de décontamination doivent être rapides et efficaces.

### Qualité de l'eau

Pour tout animal, la qualité bactériologique et chimique de l'eau sont des critères importants, *a fortiori* s'il est nourri avec un aliment déshydraté, car sa consommation d'eau sera élevée. Quelques enquêtes ont établi une relation positive entre qualité d'eau et performances des élevages cunicoles. En France, les résultats d'analyse d'eau montrent que des progrès restent à réaliser dans ce domaine.

L'eau en élevage cunicole provient souvent de puits ou de forages. Les qualités bactériologiques sont variables à l'arrivée dans les élevages : potables pour les réseaux d'adduction, moins potables pour les puits ou forages. Sur le plan chimique, l'eau de réseau est souvent d'un pH neutre à légèrement basique et d'une dureté élevée. Pour les eaux de forages, le pH est variable suivant la région, la dureté est souvent faible mais la présence de fer ou de manganèse est régulièrement observée. Ces aspects qualitatifs de l'eau peuvent avoir un impact sur la santé des animaux mais également sur les bonnes pratiques de traitement par interaction avec les molécules médicamenteuses ou les compléments alimentaires, ou tout simplement avec les agents de sanitation de l'eau (chlore par exemple).

Les circuits d'abreuvement en élevages cunicoles sont souvent complexes avec de nombreux coudes et réservoirs, ainsi que des débits (180 à 200 ml par minute) et des pressions faibles, ce qui facilite la formation du biofilm. Les consommations en maternité varient de 500 ml par cage mère avant mise-bas à environ 2 litres avant sevrage, avec un rythme variable dans la journée. En engraissement, celles-ci sont plus régulières en quantité (160 ml/kg de poids vif juste après sevrage, 100 ml/kg en fin d'engraissement), sauf si une stratégie de restriction alimentaire est appliquée après sevrage : ainsi, 90 % de la consommation quotidienne d'eau (et d'aliment) est réalisée en environ 12 heures pour des animaux alimentés en un seul repas quotidien (pause digestive d'environ 12 heures).

Il est nécessaire de contrôler la qualité de l'eau sur des critères bactériologiques et chimiques, annuellement, à l'arrivée du circuit, en bout de rampe et après les opérations de nettoyage des circuits d'eau, afin d'évaluer la potabilité de l'eau consommée par les animaux et l'efficacité des opérations d'entretien des circuits d'eau.

Compte tenu de l'ensemble des risques liés à l'eau en élevage, il est nécessaire d'effectuer une potabilisation continue des circuits et d'en contrôler l'efficacité par des analyses. Ces méthodes de potabilisation, dont les plus fréquentes sont l'utilisation de chlore sous diverses formes ou de peroxydes, doivent être fiables et contrôlées. Leur impact n'étant pas toujours neutre sur certains produits de traitement, les doses doivent être maîtrisées et les interactions limitées pour éviter tout risque.

## Pour en savoir plus

- Abrantes J., Van der Loo W., Le Pendu J., Esteves P.J., 2012. Rabbit haemorrhagic disease (RHD) and rabbit haemorrhagic disease virus (RHDV): a review. *Veterinary Research*, 43, 12.
- Agnoletti F., Ferro T., Guolo A., Marcon B., Cocchi M., Drigo I., Bano L., 2009. A survey of *Clostridium spiroforme* antimicrobial susceptibility in rabbit breeding. *Veterinary Microbiology*, 136 (1-2), 188-191.
- Baillargeon P., 2002. La biosécurité à la ferme : une conscience à développer. *26<sup>e</sup> symposium sur les bovins laitiers*, 24 octobre 2002, Université de Sherbrooke, Sherbrooke, Canada, CRAAQ, Québec, Canada.
- Boucher S., Le Gall-Reculé G., Plassiart G., Sraka B., 2011. Description clinique, nécropsique et histologique de cas de la maladie hémorragique virale (VHD) à virus variant, survenus dans 60 élevages de lapins de chair (*Oryctolagus cuniculus*) vaccinés ou non vaccinés en France en 2010/2011. *Compte rendu des 14<sup>e</sup> journées de la recherche cunicole*, Le Mans, 22-23 novembre 2011, 143-146, Itavi éd., Paris. <http://www.cuniculture.info/Docs/Magazine/Magazine2012/fichiers-pdf-JRC/143-Boucher.pdf>
- Boullier S., Milon A., 2006. Rabbit colibacillosis. In : *Recent Advances in Rabbit Sciences* (Maertens L., Coudert P., eds.), ILVO, Melle, Belgium, 171-179.
- Cheng A.G., De Dent A.C., Schneewind O., Missiakas D., 2011. A play in four acts: *Staphylococcus aureus* abscess formation. *Trends Microbiology*, 19 (5), 225-232.
- Coudert P., Rideaud P., Balençon M., 1986. Pasteurellose non respiratoire en élevage intensif : l'otite moyenne des lapines reproductrices. *Cuni-Sciences*, 3, 1-6.
- Dewree R., Meulemans L., Lassence C., Desmecht D., Ducatelle R., Mast J., Licois D., Vindevogel H., Marlier D., 2007. Experimentally induced epizootic rabbit enteropathy: clinical, histopathological, ultrastructural, bacteriological and haematological findings. *World Rabbit Science*, 15 (2), 91-102.
- Fenner F., Fantini B., 1999. *Biological Control of Vertebrate Pests. The History of Myxomatosis, an Experiment in Evolution*. CABI Publishing, Oxon.
- Fenner F., Marshall I.D., 1957. A comparison of the virulence for European rabbits (*Oryctolagus cuniculus*) of strains of myxoma virus recovered in the field in Australia, Europe and America. *The Journal of Hygiene*, 55, 149-191.
- Fournier A., 2002. Mesures minimales de biosécurité lors de la visite de fermes bovines. <http://www.agrireseau.qc.ca/bovinslaitiers/rechercheview.asp>
- Gavier-Widén D., Meredith A., Duff J.P. (eds), 2012. *Infectious Diseases of Wild Mammals and Birds in Europe*, Blackwell Publishing Ltd., Slimbridge, UK.
- Huybens N., Houeix J., Licois D., Mainil J., Marlier D., 2011. Epizootic rabbit enteropathy inoculum (TEC4): antibiograms and antibiotic fractionation. *Veterinary Research Communications*, 35 (1), 13-20.
- Joubert L., Leftheriosis E., Mouchet J., 1972. *La myxomatose, tomes I et II*, L'expansion scientifique française, Paris.
- Kerr P.J., 2012. Myxomatosis in Australia and Europe: A model for emerging infectious diseases. *Antiviral Research*, 93, 387-415.
- Lavazza A., Capucci L., 2012. Rabbit haemorrhagic disease. In : *OIE Manual of Diagnostic Tests and Vaccines for Terrestrial Animals* (OIE, eds), OIE, Paris, 941-955.

- Le Bouquin S., Jobert J.L., Larour G., Balaine L., Eono F., Boucher S., Huneau A., Michel V., 2009. Risk factors for an acute expression of Epizootic Rabbit Enteropathy syndrome in rabbits after weaning in French kindling-to-finish farms. *Livestock Science*, 125 (2/3), 283-290.
- Le Gall-Reculé G., 2003. Le virus de la maladie hémorragique virale du lapin ou RHDV. *Virologie*, 7 (3), 203-215.
- Le Gall-Reculé G., Lavazza A., Marchandeau S., Bertagnoli S., Zwingelstein F., Cavadini P., Martinelli N., Lombardi G., Guérin J.L., Lemaitre E., Decors A., Boucher S., Le Normand B., Capucci L., 2013. Emergence of a new lagovirus related to Rabbit haemorrhagic disease virus. *Veterinary Research*, 44, 81.
- Le Gall-Reculé G., Lemaitre E., Zwingelstein F., Decors A., Portejoie Y., Faure E., Marchandeau S., 2013. Suivi de la propagation dans les populations françaises de lapins de garenne du nouveau virus de la maladie hémorragique virale du lapin (VHD) caractérisé en 2010. *15<sup>e</sup> journées de la recherche cunicole*, 19-20 novembre 2013, Le Mans, Inra-Itavi, 237-240, Itavi éd., Paris.
- Le Normand B., Chatellier S., 2007. Synthèse des analyses bactériologiques de routine sur utérus de lapines, relation avec la clinique et les lésions. *12<sup>e</sup> journées de la recherche cunicole*, 27-28 novembre 2007, Le Mans, Inra-Itavi 231-234, Itavi éd., Paris.
- Licois D., Marlier D., 2008. Infectious pathologies in intensive meat rabbit production. *Inra Productions Animales*, 21 (3), 257-267.
- Licois D., Wyers M., Coudert P., 2005. Epizootic rabbit enteropathy: experimental transmission and clinical characterization. *Vet. Res.*, 36 (4), 601-613.
- Marlier D., Dewree R., Lassence C., Licois D., Mainil J., Coudert P., Meulemans L., Ducatelle R., Vindevogel H., 2006. Infectious agents associated with epizootic rabbit enteropathy: Isolation and attempts to reproduce the syndrome. *The Veterinary Journal*, 172 (3), 493-500.
- Pakandl M., Hlaskova L., Poplstein M., Chroma V., Vodicka T., Salat J., Mucksova J., 2008. Dependence of the immune response to coccidiosis on the age of rabbit suckling. *Parasitology Research*, 103 (6), 1265-1271.
- Vancraeynest D., Haesebrouck F., Hermans K., 2007. Multiplex PCR assay for the detection of high virulence rabbit *Staphylococcus aureus* strains. *Vet. Microbiol.*, 121 (3-4), 368-372.





# Génétique et sélection

Hervé Garreau, Emmanuel Fournier, Daniel Allain, Mélanie Gunia

## Amélioration génétique du lapin

La sélection animale existe depuis les débuts de la domestication, datée de 12 000 ans environ. C'est G. Mendel (1822-1884) qui définira le premier la manière dont les gènes se transmettent de générations en générations. Ce n'est qu'en 1937 que l'Américain J. L. Lush proposera une théorie générale de l'amélioration génétique des animaux d'élevage, applicable aussi bien à la transmission héréditaire des caractères de production, qu'à l'estimation de la valeur génétique des reproducteurs ou aux effets de la sélection. Dans les années 1960, l'ouvrage de D.S. Falconer, *Introduction to Quantitative Genetics*, et l'apport décisif de l'outil informatique vont considérablement améliorer l'efficacité des programmes d'amélioration génétique. Ces méthodes ont été appliquées au lapin domestique dès les années 1970, avec les travaux pionniers de l'Inra de Toulouse (Rouvier, 1981). De plus, le lapin est une espèce qui, par son faible intervalle entre générations, permet un progrès génétique assez rapide. Le faible coût d'entretien de population de lapins est aussi un avantage pour des études de méthodologie génétique.

## Principes de l'amélioration génétique

### *Effets des gènes et du milieu*

Les gènes, supports de l'information génétique, sont portés par les chromosomes qui sont au nombre de 22 paires chez le lapin ( $2n = 44$ ). Ces paires sont constituées par la fusion des gamètes (spermatozoïdes et ovules) au moment de la fécondation. Les gamètes sont haploïdes (22 chromosomes chez le lapin) car ils résultent de la méiose qui réduit de moitié le nombre de chromosomes. Ainsi, le père et la mère transmettent chacun la moitié de leurs gènes à leurs descendants. Un *locus* est une position dans le génome. La dimension du *locus* n'est pas définie (elle peut aller de quelques dizaines de bases à plusieurs centaines de milliers de bases). La nature du *locus* n'est pas non plus définie : ce peut être un gène ou une région anonyme. Un allèle est une séquence d'ADN présente au niveau du *locus*.

Au niveau de l'individu, un animal diploïde possède deux allèles à chaque *locus*, l'un hérité de son père, l'autre de sa mère.

Comme indiqué au chapitre 1, certains caractères de coloration et de caractéristique du pelage sont gouvernés par un petit nombre de gènes ou parfois même un seul gène. Ces gènes sont appelés gènes majeurs, car leur action est importante et facile à mettre en évidence. Cependant, la plupart des caractères d'intérêt sont sous l'influence d'un très grand nombre de gènes qui ont chacun une action faible ou très faible sur ces caractères. Leur déterminisme génétique est donc appelé polygénique.

Par ailleurs, des facteurs non génétiques, que l'on appelle le milieu ou l'environnement, influencent ces caractères. Le milieu a de nombreuses composantes (climat, hygrométrie, température, matériel et techniques d'élevage, alimentation, etc.) qui vont, en plus du génotype, affecter les performances de l'animal. La résultante des effets des gènes (valeur génotypique) et des effets de milieu est la valeur phénotypique. La valeur phénotypique d'un animal est la mesure de l'expression du caractère, c'est-à-dire d'une performance (nombre de nés vivants par portée, poids à 70 jours, indice de consommation, etc.). Le modèle classique de la génétique quantitative suppose que la valeur phénotypique est la somme de la valeur génotypique et des effets du milieu. Génotype et milieu sont supposés agir de façon indépendante. Lorsque ce n'est pas le cas, on parle d'interaction génotype  $\times$  milieu, et l'estimation de chacune des composantes devient plus compliquée. En général, on considérera alors que des performances réalisées dans des milieux différents sont des caractères différents.

La valeur génotypique résulte elle-même, d'une part, des effets génétiques additifs (la valeur génétique additive est égale à la somme des effets moyens des gènes), et, d'autre part, des effets d'interaction des allèles d'un même *locus* (dominance) ou de plusieurs *loci* (épistasie). Seule la valeur génétique additive est transmise à la descendance qui reçoit la moitié de la valeur génétique additive de chacun de ses parents. Un programme de sélection va chercher à augmenter la valeur génétique additive moyenne de la population. La valeur génétique additive d'un individu n'est pas observable. Seule la performance est mesurable. Tout l'art du sélectionneur consistera donc à estimer la part des effets génétiques additifs et celle des effets de milieu dans l'expression de la performance : c'est l'évaluation génétique. Les effets d'interaction sont quant à eux mis à profit par les croisements.

### *Variabilité phénotypique et génétique*

La comparaison de races dans un même milieu fait apparaître des particularités zootechniques qui sont dues aux différences de valeurs génotypiques moyennes de chacune des races. L'exploitation de la variabilité entre races se fait essentiellement par le croisement (voir p. 234). Il existe également une variabilité au sein même de chaque race ou lignée. La variation ainsi observée au niveau des performances, ou variabilité phénotypique, est due à la fois à une variation d'origine génétique et à une variation due aux effets de milieu. L'héritabilité ( $h^2$ ) est un coefficient qui indique quelle est la part de la variabilité phénotypique qui est d'origine génétique additive. L'héritabilité se calcule comme le rapport

de la variance génétique additive sur la variance phénotypique, encore appelée variance totale. L'héritabilité varie donc entre 0 et 1. La sélection sera d'autant plus efficace que  $h^2$  est proche de 1, c'est-à-dire que les différences de production sont transmissibles.

Pour un même caractère, les valeurs d'héritabilité peuvent varier dans le temps et dans l'espace selon la nature des données utilisées pour l'estimer. Par ailleurs, en changeant la fréquence des allèles qui déterminent les caractères, la sélection se traduit par une lente diminution de l'héritabilité. C'est la raison pour laquelle l'héritabilité doit être estimée dans la population à sélectionner et réévaluée périodiquement, au moins une fois toutes les 5 à 10 générations environ.

La corrélation génétique est un autre paramètre fondamental de l'amélioration génétique. La corrélation génétique entre deux caractères est une mesure de la liaison entre les valeurs additives pour ces deux caractères. La corrélation varie entre -1 et +1. Plus elle est élevée, plus l'intensité de la liaison génétique entre les caractères est forte. Si elle est nulle, les caractères sont indépendants. La corrélation génétique de +0,70 entre le poids au sevrage et le poids à 70 jours indique que ce sont presque toujours les mêmes individus qui ont la valeur génétique la plus élevée, ou la plus faible, pour ces deux caractères. Cela signifie qu'une amélioration génétique obtenue sur le poids à 70 jours s'accompagnera d'une amélioration génétique sur le poids au sevrage. En revanche, une corrélation négative n'est pas toujours défavorable ; ainsi, la sélection pour améliorer la vitesse de croissance a diminué indirectement le niveau génétique de l'indice de consommation, grâce à la corrélation génétique négative existant entre les deux caractères.

L'estimation des paramètres génétiques, héritabilités et corrélations génétiques, repose sur des méthodes d'estimation des composantes de la variance. Dans tous les cas, elles doivent être réalisées à partir de données d'individus apparentés et en grand nombre (plusieurs milliers). Dans la plupart des cas, on doit estimer ces composantes de la variance à partir de données déséquilibrées (avec des nombres très différents de descendants par père et avec des degrés de parenté très divers) et sélectionnées. La méthode de référence est le REML (*Restricted Maximum Likelihood* ou maximum de vraisemblance restreinte). Elle prend en compte la perte d'information liée à l'estimation des effets de milieu mais aussi les conséquences de la sélection et des accouplements dirigés sur l'évolution de la variance génétique. De nombreux logiciels appliquant la méthode du REML sont disponibles : VCE, ASReml, REMLF90, GIBBSF90, BGF90, DFREML, WOMBAT, etc.

## Évaluation génétique

Dans un programme de sélection intra population, on cherche à augmenter la valeur génétique additive, en retenant, comme reproducteurs à chaque génération, les individus ayant la valeur génétique additive la plus élevée. L'évaluation génétique, ou indexation, a pour but d'estimer au mieux la valeur génétique des animaux potentiellement reproducteurs (Boichard *et al.*, 1992). Cette estimation est réalisée à partir des performances du candidat à la sélection et/ou sur ses apparentés. Pour estimer la part respective des effets génétiques additifs

et des effets de milieu dans l'expression de la performance, on utilise le modèle statistique utilisé pour l'estimation des paramètres génétiques. Une modélisation correcte des effets de milieu est tout à fait importante. Parmi ces effets de milieu, on peut distinguer :

- un effet de milieu particulier, la moyenne générale de la population ;
- les effets de milieu identifiés et enregistrés, dont on pense qu'ils ont une influence sur la performance. On sait par exemple que l'année et la saison ont une influence sur les caractères de reproduction et de croissance ;
- les effets de milieu non enregistrés ou non enregistrables, tel que l'état de santé de l'animal au moment de sa performance ou l'erreur faite au moment de la mesure, qui ont un effet sur la performance mais ne peuvent être pris en compte car il s'agit d'une information difficile ou impossible à recueillir.

On supposera que cette dernière catégorie inclut de nombreux effets ayant chacun un faible effet sur la performance. Ils seront assimilés à l'erreur du modèle, encore appelée effet résiduel, que l'on cherchera à minimiser. La modélisation va consister à retenir, parmi les effets identifiés et enregistrés, tous ceux, et seulement ceux, qui ont une influence essentielle ou « significative » sur l'expression de la performance. Si un effet significatif n'est pas pris en compte, l'évaluation sera biaisée et le classement des animaux sera mauvais. À l'inverse, la prise en compte d'effets non significatifs va accroître le nombre de paramètres à estimer et réduire ainsi la précision de l'évaluation.

La méthode de calcul appelée Blup (*Best Linear Unbiased Predictor* ou meilleur prédicteur linéaire non biaisé) est devenue la méthode de référence de l'évaluation génétique car elle permet une estimation non biaisée (en moyenne l'erreur est nulle) et simultanée des effets de milieu et de la valeur génétique des animaux, appelée index Blup. Toute l'information est prise en compte, en particulier celle des apparentés, et de façon optimale : la précision du calcul est maximale. L'évaluation génétique Blup repose sur la résolution d'un système d'équations qui utilise les valeurs préalablement estimées des paramètres génétiques – héritabilités, corrélations génétiques et phénotypiques. La résolution des équations, avec plusieurs milliers d'inconnues a été rendue possible par les progrès de l'informatique et le développement d'algorithmes efficaces utilisés par un grand nombre de logiciels : PEST, BLUPF90, ASReml ou encore le logiciel GENKIT développé par l'Inra.

Les index ne sont que des estimations de la valeur génétique vraie des animaux dont la précision dépend de la quantité d'informations utilisée. La précision de l'index est mesurée par son coefficient de détermination (CD), dont la valeur varie de 0 (aucune information disponible) à 1 (la valeur génétique vraie devient connue). Si le candidat n'est connu que sur l'information de ses ascendants (index sur ascendance), le CD est inférieur à 0,5. Si le candidat n'est connu que sur sa performance propre, le CD est inférieur ou égal à l'héritabilité du caractère. Le CD d'un index sur descendance peut atteindre théoriquement la valeur 1 si les descendants sont très nombreux.

Les avancées récentes du séquençage du génome des animaux et du génotypage haut débit bouleversent complètement les méthodes d'évaluation génétique. La



sélection génomique consiste à sélectionner des reproducteurs sur la base de leur valeur génétique, prédite à partir d'un grand nombre de marqueurs génétiques répartis sur tout le génome. Ces nouvelles méthodes sont décrites p. 252.

### Réalisation du progrès génétique

Par la sélection, l'éleveur s'efforce généralement d'augmenter (ou de diminuer selon le cas) la performance moyenne de la population, et ce de génération en génération. Le résultat de cette sélection et son efficacité se caractérisent par le progrès génétique, le plus souvent désigné par le symbole  $\Delta G$ .

Le progrès génétique est fonction de quatre paramètres :

- la variabilité génétique additive du caractère dans la population, dont la valeur est donnée par l'écart-type génétique  $\sigma_A^2$ . Pour progresser, il faut une variabilité génétique suffisante, c'est-à-dire des individus génétiquement différents. Le sélectionneur doit veiller à maintenir la variabilité génétique de la population. La taille réduite de la population, l'utilisation excessive d'un nombre limité de reproducteurs ou toute cause d'accroissement de la consanguinité peuvent entraîner une diminution de la variabilité génétique. Le sélectionneur dispose de méthodes pour assurer une bonne gestion génétique de ses populations (voir p. 233) ;
- l'intensité de la sélection,  $i$ , est fonction du pourcentage d'individus retenus comme reproducteurs parmi tous les candidats à la sélection. Si le pourcentage d'individus retenus est faible, l'intensité de la sélection sera forte ;
- la précision de l'évaluation génétique dépend de l'héritabilité du caractère, du nombre de mesures réalisées et de la relation de parenté qui existe entre le candidat à la sélection et les autres individus sur lesquels sont réalisées les mesures de performances. Ainsi, pour une sélection sur la taille de portée, la précision augmente si on accroît le nombre de portées enregistrées par femelle de une à trois. La précision de l'évaluation génétique est mesurée par le CD (voir p. 229) ;
- l'intervalle de génération est l'âge moyen des parents lors de la naissance de leurs descendants. Plus il est court, plus le progrès génétique sera élevé. Cet intervalle augmente si on choisit des femelles après leur troisième portée, au lieu de les choisir après leur première. On remarque qu'il y a opposition entre la volonté d'améliorer la précision de la sélection et le souhait de réduire l'intervalle de génération. Pour définir la meilleure stratégie, il conviendra de calculer le progrès génétique avec les différentes valeurs de paramètres selon la formule :

$$\Delta G = \frac{i \cdot \sqrt{CD} \cdot \sigma_A}{\text{intervalle de génération}}$$

### Définition des objectifs de sélection

L'objectif de sélection est caractérisé par la liste des caractères que l'on cherche à améliorer, ou dont on cherche à contrôler l'évolution génétique dans une population, et par l'importance relative accordée à chacun de ces caractères. Il se concrétise par la construction d'un indice de sélection global qui sera utilisé pour le classement des reproducteurs et la sélection. L'indice de sélection global, noté  $H$ ,

est une combinaison linéaire des valeurs génétiques, estimées «  $A$  », de chacun des caractères considérés, pondérés par un coefficient  $\omega$ . Si l'objectif de sélection comprend trois critères, on aura alors, pour tout individu candidat à la sélection :

$$H = A_1\omega_1 + A_2\omega_2 + A_3\omega_3$$

Il faut donc définir la liste des caractères à retenir, les hiérarchiser et quantifier, au travers des poids (coefficients de pondération  $\omega$ ), cette hiérarchisation. Le choix des critères de sélection dépend en premier lieu du type de lignée sélectionnée. Ainsi, dans les lignées maternelles, l'objectif de sélection intègre préférentiellement des caractères de reproduction (par exemple taille de portée) et secondairement des caractères de croissance ou de production (par exemple quantité de lait ou de viande). En revanche, dans les lignées paternelles, l'objectif de sélection intègre essentiellement des caractères de production.

Il existe deux approches principales pour définir un objectif de sélection. Dans les deux cas, les effets de la sélection ne se manifestant qu'après un délai plus ou moins long, il faut faire des études prospectives : de quels types d'animaux aurons-nous besoin dans les prochaines années ?

### *L'approche économique*

Les poids respectifs à accorder aux différents caractères peuvent être calculés sur la base d'un raisonnement économique. On définit, à l'échelle d'un élevage, une fonction de revenu, qui permet de traduire en termes de coûts et de recettes les principales performances zootechniques. Le poids à accorder à un caractère est alors égal au gain de revenu pour une augmentation d'une unité (un écart-type par exemple) de ce caractère, indépendamment des autres. Les caractères ayant un fort poids économique, en cuniculture professionnelle européenne, pour la production de viande sont l'indice de consommation, la prolificité, la fertilité et la survie des jeunes en croissance.

### *L'approche gains désirés*

Cette approche est majoritairement retenue pour la sélection du lapin de chair car certains caractères n'ont pas de valeur économique propre, ou leur valeur économique est difficile à estimer, alors qu'ils apparaissent importants pour les acteurs de la filière cunicole. Ces caractères peuvent avoir une importance zootechnique (aptitudes maternelles), environnementale (diminution des rejets, de l'utilisation des antibiotiques) ou sociétale (qualité du produit, santé et bien-être animal). Connaissant le poids accordé à chaque caractère et les paramètres génétiques de l'ensemble des caractères, il est possible de prédire le progrès génétique de chaque caractère à l'issue d'une génération (voir paragraphe précédent). On peut alors comparer les évolutions prédites, selon la valeur des poids accordés, et retenir celles qui permettent d'obtenir le progrès génétique désiré pour chacun des caractères, compte tenu des attentes de la filière ou du citoyen consommateur.

## Consanguinité et croisement

### *Effets et gestion de la consanguinité*

La consanguinité résulte de l'accouplement d'individus apparentés. Deux individus sont apparentés s'ils ont au moins un ancêtre commun. La probabilité que deux individus quelconques aient plusieurs ancêtres en commun est d'autant plus forte que la taille de la population est faible et que l'on remonte loin dans le temps. La notion de consanguinité est donc relative et il faut considérer l'évolution du niveau de consanguinité au cours des générations successives.

Le coefficient de consanguinité d'un individu se calcule à partir de son pedigree, ce qui revient à calculer le coefficient de parenté entre ses deux parents. Deux méthodes peuvent être utilisées. La méthode des chemins recense les ancêtres communs à deux individus parents et reconstitue les chaînes de parentés les reliant l'un à l'autre. La méthode tabulaire repose sur la construction d'une matrice, qui comprend autant de lignes et de colonnes que d'individus et qui renseigne le degré de parenté de chacun des individus entre eux. Les deux méthodes, qui donnent bien entendu les mêmes résultats, sont utilisées par le logiciel Pedig développé par l'Inra.

La principale conséquence de l'augmentation de la consanguinité est l'augmentation de l'homozygotie, c'est-à-dire l'augmentation de la fréquence des gènes pour lesquels l'allèle reçu du père est identique à celui de la mère. Il en résulte une augmentation de la fréquence de défauts héréditaires récessifs ainsi qu'une dépression de consanguinité, qui se traduit par une diminution des performances, en particulier pour les caractères de reproduction et d'adaptation. Chez le lapin, on estime par exemple que, si la consanguinité augmente de 10 %, la taille de portée est réduite de 0,6 et 0,8 lapereau, alors que la vitesse de croissance est réduite de 0,57 g par jour.

La consanguinité est parfois largement utilisée par les sélectionneurs, en particulier par les détenteurs de lapins de race pour homogénéiser les individus en fixant les caractères. L'utilisation excessive de mâles récompensés à des concours de standard de races, parfois accouplées avec leurs filles, contribue fortement à l'accroissement de la consanguinité des races patrimoniales. L'amélioration génétique par la sélection s'accompagne nécessairement d'une augmentation de la consanguinité puisque les meilleurs reproducteurs ont en moyenne plus de descendants, qui seront à leur tour conservés comme géniteurs. Il en résulte une diminution de la variabilité génétique, avec, comme conséquence, une réduction de l'efficacité de la sélection (voir p. 231). Mais on ne peut faire de sélection sans augmenter la consanguinité. La gestion d'une population animale a donc pour but de combiner deux objectifs antagonistes : l'accumulation du progrès génétique et le maintien de la variabilité génétique.

Il existe de nombreuses méthodes de gestion de la variabilité génétique, avec différents niveaux de contraintes, et plus ou moins fondées sur les pedigrees. Trois niveaux d'action sont possibles : les accouplements, le choix des reproducteurs mâles et femelles, et le poids de chacun des mâles dans la descendance. Dans les populations d'élevage, les reproducteurs mâles sont ceux qui auront le plus d'impact sur l'évolution de la variabilité génétique car ils sont les moins nombreux.

Le choix et l'utilisation des reproducteurs mâles doivent respecter trois principes : ils doivent être aussi nombreux que possible, renouvelés rapidement et les effectifs de leur descendance doivent être homogènes. La première règle est bien entendu d'éviter les accouplements entre frères et sœurs ou entre parents et progéniture. L'originalité des mâles sera recherchée, au mieux, en choisissant ceux qui présentent le coefficient de parenté le plus faible avec les principaux ancêtres de la population, grâce à la connaissance des pedigrees ou, à défaut, à partir d'élevages éloignés. En l'absence de paternité connue, on peut échanger des mâles entre élevages avec la seule connaissance de l'élevage d'origine et l'année de naissance de chaque mâle. D'autres méthodes proposent de gérer les échanges ou l'utilisation de mâles entre plusieurs élevages. Elles reposent toutes sur la mise en place d'une gestion collective de la population avec l'adhésion d'éleveurs motivés.

La gestion d'une population en groupes de reproduction est une méthode simple et efficace pour conserver une augmentation lente et régulière de la consanguinité. Elle est couramment utilisée pour la gestion des lignées en sélection. Chaque groupe comporte des mâles et des femelles accouplés ensemble. Les nouveaux mâles sont maintenus dans le groupe de leur père tandis que les nouvelles femelles sont réparties dans tous les autres groupes. La lignée 1077 de l'Inra, sélectionnée pour la prolificité et le poids à 63 jours, était ainsi divisée en 14 groupes de 14 femelles et de 3 mâles (un titulaire et deux remplaçants). La méthode des contributions optimales est la plus rigoureuse pour combiner l'obtention de progrès génétique et la préservation de la variabilité. Une première stratégie consiste à maximiser le progrès génétique sous la contrainte d'une augmentation maximale de la consanguinité. Cette stratégie permet de retenir les meilleurs reproducteurs mâles et femelles ainsi que leur contribution relative à la nouvelle génération. Cette méthode est utilisée pour la gestion de la lignée Inra 1777 (sélectionnée pour la prolificité, les effets directs et maternels du poids au sevrage) à l'aide du logiciel Gencont (Garreau *et al.*, 2005). Une seconde stratégie, appliquée chez les bovins laitiers, consiste à minimiser l'augmentation du coefficient de consanguinité sous la contrainte d'un progrès génétique donné. Ces méthodes sont très efficaces, mais elles nécessitent de disposer des informations généalogiques et génétiques, et d'avoir accès à de puissants calculateurs.

### *Utilisation du croisement*

Le croisement consiste à accoupler des reproducteurs de lignées ou races différentes. Il permet d'exploiter des caractères différents, parfois antagonistes mais le plus souvent complémentaires, présents dans plusieurs races ou lignées. Il est souvent plus facile de sélectionner des races maternelles pour des caractères d'élevage (fertilité, prolificité, qualités maternelles, longévité) et des races paternelles pour des caractères de production bouchère (vitesse de croissance, efficacité alimentaire, rendement de carcasse). Cela permet de lever les contraintes dues aux corrélations défavorables entre caractères et de limiter le nombre de critères de sélection de chaque race, ce qui augmente le progrès génétique pour chacune d'elles. Certaines populations locales sont plus adaptées à un milieu d'élevage donné, par exemple aux températures élevées dans les pays chauds, mais peuvent présenter des performances de



croissance ou de reproduction faibles. Le croisement de ces populations avec des lignées sélectionnées pour la productivité permettra de bénéficier des qualités de chacune des populations. Le premier intérêt du croisement est donc d'exploiter la complémentarité des races, mais cela impose de bien gérer les populations des races d'origine.

Le croisement permet également de bénéficier de l'effet d'hétérosis, ou vigueur hybride. L'effet d'hétérosis est la supériorité phénotypique des animaux croisés par rapport à la moyenne des individus des populations parentales. L'hétérosis et la dépression de consanguinité constituent les deux facettes complémentaires du même phénomène. L'hétérosis résulte en effet des effets d'interaction des allèles hétérozygotes d'un même *locus* (dominance) ou de plusieurs *loci* (épistasie). Ainsi, l'effet de dépression de consanguinité résultant de l'augmentation de l'homozygotie est restauré par l'hétérozygotie amenée par le croisement. La valeur de l'hétérosis est maximale à la première génération de croisement (F1). Si la population est grande et se reproduit ensuite sans apport extérieur, l'hétérosis devient stable dès la seconde génération (F2) et demeure à la moitié de sa valeur initiale. En règle générale, l'hétérosis est d'autant plus élevé que les races sont éloignées génétiquement. Par ailleurs, les caractères à faible héritabilité (fertilité, qualité de la semence, prolificité, viabilité) sont en général soumis à un fort effet d'hétérosis, entre 10 et 20 % en moyenne. Les caractères plus héritables manifestent un effet d'hétérosis faible (entre 5 et 8 % pour la croissance et l'efficacité alimentaire) ou même nul (caractères de carcasse et de qualité de viande). Des lapines croisées issues de la lignée Inra A1077 et d'une lignée commerciale, toutes deux sélectionnées sur la prolificité, produisent 1,03 lapereau de plus que les femelles non croisées.

En Europe et dans la majorité des pays, la production de lapin de chair repose sur le croisement de trois ou quatre lignées spécialisées maternelles et paternelles. La femelle parentale, mère du lapin de chair, est produite par le croisement de deux lignées sélectionnées principalement sur des caractères maternels (fertilité, prolificité, qualités maternelles, durée de la carrière reproductive). Ce croisement permet de bénéficier des effets positifs de l'hétérosis, de la dissipation de la dépression de consanguinité, résultant de la sélection dans les lignées pures, et de l'éventuelle complémentarité des races. Pour produire le lapin de chair terminal (destiné à être consommé), la femelle parentale croisée est elle-même accouplée avec un mâle d'une lignée paternelle ou avec un mâle croisé issu de deux lignées paternelles, sélectionnées principalement pour des caractères de croissance et de rendement de carcasse.

## Amélioration des caractères maternels

Dans les lignées maternelles, le principal objectif est d'améliorer le nombre de lapereaux sevrés annuellement par la lapine, soit la productivité numérique au sevrage. La productivité numérique annuelle est le produit du nombre de portées sevrées par an (qui dépend de la fertilité), du nombre de nés vivants par portée (la prolificité) et du taux de survie des lapereaux entre la naissance et le sevrage, qui dépend en partie des qualités maternelles. La prolificité peut elle-même se diviser en plusieurs composantes : le taux d'ovulation, le taux de fertilisation des ovules,

la survie embryonnaire et la survie périnatale. L'héritabilité des caractères maternels est généralement faible, ce qui limite l'efficacité de leur sélection (tableau 7.1).

**Tableau 7.1.** Héritabilité de quelques caractères maternels.

Caractère	Héritabilité	Référence
Fertilité	0,05 à 0,07	Piles <i>et al.</i> , 2005
Taux d'ovulation	0,16 à 0,24	Mocé et Santacreu, 2010
Prolificité	0,07 à 0,11	Mocé et Santacreu, 2010
Durée de la carrière reproductive	0,17 à 0,19	Piles <i>et al.</i> , 2006

En raison de son importance économique (voir p. 231), la prolificité (nombre de nés vivants ou nombre de sevrés par portée) est le caractère le plus couramment sélectionné dans les lignées maternelles. Les progrès génétiques réalisés sont compris entre 0,07 et 0,17 lapereau par portée et par génération. Deux approches expérimentales ont été proposées pour améliorer le progrès génétique réalisé sur la prolificité. La première consistait à sélectionner la capacité utérine, c'est-à-dire le nombre maximal de fœtus qu'une lapine peut porter lorsque le taux d'ovulation n'est pas un facteur limitant. La sélection portait alors sur des lapines hémiovariectomisées, ce qui permettait de doubler le taux d'ovulation pour la corne utérine adjacente. La seconde approche consistait à sélectionner le taux d'ovulation mesuré par endoscopie. Dans les deux cas, la réponse à la sélection sur la prolificité n'était pas supérieure à celle obtenue en sélectionnant directement la taille de portée.

Différents critères ont été proposés pour améliorer la survie des jeunes et l'aptitude des femelles à élever leurs lapereaux. La sélection pour l'homogénéité des poids de naissance intra-portée, utilisant la méthode de la sélection canalisante qui estime les effets génétiques de la variabilité d'un caractère, permet de réduire la mortinatalité, et la mortalité entre la naissance et le sevrage (Garreau *et al.*, 2008a). Elle se traduit par l'accroissement de la longueur et de la capacité d'élongation des cornes utérines chez les lapines en reproduction. La sélection pour accroître la moyenne des poids à la naissance (Loussouarn et Garreau, 2013) ou le poids du plus petit lapereau de la portée (Lenoir *et al.*, 2013) est également appliquée dans les schémas de sélection français. La lignée Inra 1777, créée pour améliorer conjointement la prolificité et le poids au sevrage, est sélectionnée sur le nombre de nés vivants et deux composantes génétiques du poids au sevrage : les effets directs, influence du génotype du lapereau sur sa croissance, et les effets maternels, incidence du génotype de la mère sur la croissance de ses lapereaux.

La durée de la carrière reproductive des femelles a fait l'objet d'études récentes. Les scientifiques espagnols ont créé une lignée « hyper longève », baptisée LP, en prélevant, dans les populations en sélection de la lignée V, des femelles ayant réalisé au moins 28 portées avec une prolificité moyenne d'au moins 7,5 nés vivants. Bien qu'elles semblent moins sensibles à l'environnement, les femelles de la lignée LP n'ont pas une longévité supérieure à celles de la lignée V (El Nagar *et al.*, 2012). À l'Inra, une sélection divergente pour la longévité fonctionnelle, basée sur un index

estimé par la méthode de l'analyse de survie, a permis de mettre en évidence une différence significative de survie entre les deux lignées divergentes sans affecter les caractères de reproduction (Larzul *et al.*, 2014). Le bilan énergétique et l'évolution des réserves adipeuses ont été mesurés dans les deux lignées : une teneur en énergie corporelle plus élevée et un bilan nutritionnel plus favorable en début de carrière reproductive illustrent une meilleure aptitude des femelles de la lignée à forte longévité à constituer des réserves corporelles. La méthode de l'analyse de survie a été transférée aux professionnels de la sélection cunicole.

## Amélioration des caractères de production

Par opposition aux caractères maternels, les caractères de production sont essentiellement ceux mesurés chez le jeune entre le sevrage et l'abattage, et sont généralement sélectionnés dans les lignées paternelles. Ces caractères ont une héritabilité de valeur moyenne à forte (tableau 7.2).

**Tableau 7.2.** Héritabilité de quelques caractères de production.

Caractère	Héritabilité	Référence
Poids à 63 jours	0,22 à 0,32	Larzul et Gondret, 2005
Gain de poids moyen quotidien	0,11 à 0,48	Larzul et Gondret, 2005
Indice de consommation	0,22 à 0,31	Drouilhet <i>et al.</i> , 2013
Consommation résiduelle	0,16 à 0,45	Drouilhet <i>et al.</i> , 2013
Rendement de carcasse	0,24	Garreau <i>et al.</i> , 2008b
	0,55	Larzul et Gondret, 2005

La vitesse de croissance post-sevrage ou le poids à la vente sont les caractères de production les plus couramment sélectionnés. Le progrès génétique par génération est compris entre 18 et 35 g pour le poids en fin d'engraissement, et entre 0,45 et 1,50 g/jour pour la vitesse de croissance.

L'alimentation représentant environ 60 % des coûts de production du lapin de chair, l'indice de consommation (aliment consommé/gain de poids vif), qui est une mesure de l'efficacité alimentaire, est devenu le critère présentant le poids économique le plus important. L'amélioration de l'efficacité alimentaire permet aussi de réduire les rejets et donc de limiter l'impact environnemental de l'élevage. Les caractères de croissance sont corrélés favorablement avec l'efficacité alimentaire. La sélection sur la croissance a donc permis d'améliorer indirectement l'efficacité alimentaire. D'une part, les lignées à croissance rapide ou « lourdes » ont une meilleure efficacité, d'autre part, leur utilisation a permis de diminuer l'âge à l'abattage à poids constant, diminuant ainsi l'indice de consommation qui est d'autant plus faible que l'animal est jeune. Une autre stratégie pour améliorer l'efficacité alimentaire consiste à diminuer par la sélection la consommation résiduelle, c'est-à-dire la fraction d'aliment consommé qui n'est pas utilisée pour les besoins d'entretien et les besoins de croissance, ces derniers étant estimés à partir du poids moyen et du gain de poids des animaux (Drouilhet *et al.*, 2013). Le progrès génétique estimé par génération est de -46 g d'aliment et de -0,03 point d'indice de

consommation. Cette stratégie nécessite toutefois d'enregistrer la consommation individuelle d'aliment, ce qui est assez coûteux.

En France, le poids économique du rendement de carcasse devient de plus en plus important, en raison de la demande des abattoirs. Les sélectionneurs français ont mis en place une sélection sur ce caractère à partir de mesures sur collatéraux. Il existe toutefois une corrélation légèrement défavorable entre le rendement de carcasse et la croissance des animaux. En Hongrie, la lignée « Terminal Pannon » est sélectionnée sur la vitesse de croissance post-sevrage et sur le volume de la cuisse mesuré par tomographie (rayons X). Ce programme présente peu d'intérêt en France car les abatteurs ne souhaitent pas augmenter le volume actuel de la cuisse, jugé suffisant pour la commercialisation des produits découpés.

À l'avenir, des caractères de production de semence pourraient être sélectionnés dans les lignées paternelles (voir p. 90), notamment la motilité massale, le pourcentage ou le nombre de spermatozoïdes motiles par éjaculat sont en effet phénotypiquement corrélés avec les performances reproductives des mâles (Piles *et al.*, 2013). Les auteurs rappellent toutefois que la composante génétique de la contribution du mâle à la fertilité et à la prolificité est très faible.

## Amélioration des caractères de fourrure et de fibres

L'amélioration génétique de la production de fibres et de fourrures chez le lapin est basée sur des schémas de sélection de races pures spécialisées : le lapin de race Angora porteur homozygote de la mutation *ll* pour la production de fibres, et essentiellement le lapin de phénotype rex porteur homozygote de la mutation *rr* pour la production de fourrures.

### Amélioration du lapin Angora pour la production de fibres

Il existe deux types de lapin Angora produisant des toisons aux caractéristiques différentes, résultant d'une sélection adaptée à la méthode de récolte de la toison par tonte ou par dépilation : le type français produisant un poil long et jarreux, principalement élevé en France, et le type allemand produisant un poil laineux plus court, élevé dans les autres pays dont, principalement, la Chine. Le lapin Angora produit 1,2 à 1,5 kg de poil/an avec une récolte toutes les 10-12 et 14-15 semaines respectivement chez les lapins Angora de type allemand et français.

Le principal caractère d'intérêt est le poids total de toison à la récolte, un caractère très héritable ( $h^2 = 0,39$ ), simple et facile à mesurer lors de la récolte quel que soit le système d'élevage et de production. Ce caractère est en corrélation génétique et phénotypique favorables avec tous les critères de qualité de la toison.

La sélection pour augmenter le poids de toison a des effets favorables sur les différentes caractéristiques de la toison : longueur et finesse des poils, densité de follicule pileux, composition pondérale et qualitative de la toison.



## *Amélioration du lapin Rex pour la production de fourrure*

Il existe deux types de peaux utilisés dans l'industrie de la fourrure : celles provenant de l'élevage du lapin de chair collectée dans les abattoirs et celles issues de l'élevage des lapins de phénotype rex.

Les peaux provenant de lapins de chair sont collectées en abattoir pour une valorisation à l'export sous forme de peaux brutes, vers la Chine principalement. Après un tri intense, les meilleures peaux sont orientées vers l'industrie de la fourrure, les autres sont transformées pour collecter le poil à destination de l'industrie textile. Il s'agit d'un marché spéculatif très fluctuant. Le lapin de chair ne fait l'objet d'aucune amélioration de la qualité de la peau.

Le lapin Rex est élevé spécialement pour la production d'une fourrure très différente de celle issue de l'élevage du lapin de chair. La fourrure de lapin est plus ou moins dépourvue de poils grossiers, lui donnant un aspect très doux et soyeux. L'élevage de lapin Rex pour la production exclusive de fourrure s'est rapidement développé à partir de 1919 (identification de la mutation rex) jusque vers 1950. L'amélioration du lapin Rex pour une production à double finalité, fourrure et viande, s'est développée en France et en Chine depuis 1990.

Le principal obstacle à la production de fourrure de qualité est l'âge de l'abattage : la peau doit être de taille assez grande, entièrement mature et ayant une densité élevée de fourrure. Les animaux sont abattus à un âge de 20 à 30-35 semaines d'âge, quand les peaux sont de taille suffisante et mature.

Les caractères d'intérêt pour améliorer la production de fourrure sont nombreux.

La maturité de la fourrure et la progression des mues sont évaluées en observant l'extension et l'intensité de la pigmentation bleue de la peau, un indicateur de l'activité des follicules pileux et de la croissance de poils. Cette pigmentation est due à la mélanogénèse dans les follicules pileux au cours de la croissance des poils. Lorsque la peau est mature, cette pigmentation disparaît sur toute la surface du corps. Ce caractère est faiblement héritable ( $h^2 = 0,10$ ).

La composition, la structure et la densité de la fourrure sont des caractères importants déterminant la douceur et la compacité d'une fourrure. Si la mutation rex altère, voire supprime, le développement des poils longs et grossiers du pelage externe, il subsiste des poils grossiers résiduels. Leur nombre et leur longueur, que l'on peut évaluer visuellement ou mesurer, déterminent la douceur de la fourrure. La compacité de fourrure, qui correspond à la densité des fibres ou des follicules pileux par unité de surface de la peau, peut être évaluée par maniement du pelage ou mesurée à l'aide d'un compacimètre.

Les autres caractéristiques d'une fourrure – taille de la peau, hauteur et coloris du pelage – ont une incidence sur le classement et l'utilisation de la fourrure par l'industrie. La taille de la peau est déterminée par le poids à l'abattage des animaux. La hauteur du pelage est facilement mesurable. Les variations de la couleur de la fourrure au sein d'un génotype de couleur sont évaluées par l'intermédiaire de différents critères, tels que la présence et la dimension de l'entre-couleur du poil, l'intensité et l'homogénéité de la couleur de la robe. Ces traits sont évalués

lors du classement et du tri des fourrures avant commercialisation, mais peuvent également être pris en compte dans les programmes d'élevage.

La sélection sur les caractéristiques du pelage rex pour améliorer la production de fourrure a prouvé son efficacité (Vrillon *et al.*, 1998 ; Thébault *et al.*, 2000).

## Amélioration de la résistance aux maladies

Il est possible de sélectionner les lapins sur leur résistance aux maladies. Les caractères de résistance aux maladies sont basés sur l'observation de signes cliniques (abcès, coryza, diarrhée, signes d'infection externes, maigreur...) et, dans certains cas, sur l'autopsie des animaux pour identifier des lésions sur différents organes. La morbidité, la mortalité et les croissances anormales constituent autant de phénotypes utilisables pour la sélection. Il n'est pas obligatoirement nécessaire d'identifier une maladie ou son étiologie pour sélectionner les animaux sur leur résistance. Chez le lapin, on a pu ainsi identifier un effet génétique du père sur la résistance aux troubles digestifs de ses descendants, qu'ils soient non spécifiques (induits par un régime pauvre en fibre) ou spécifiques (coccidiose ou EEL).

D'autres études, présentées dans le tableau 7.3, ont montré que différents caractères de santé étaient hérissables, et donc sélectionnables. Les corrélations génétiques entre ces caractères et certains caractères de production semblent être plutôt favorables ; les animaux génétiquement plus résistants ont aussi un meilleur poids et un meilleur rendement en carcasse (Eady *et al.*, 2004 ; Garreau *et al.*, 2008b).

**Tableau 7.3.** Héritabilité de différents caractères de résistances aux maladies.

Infection ou syndromes	Caractère observé	Héritabilité	Référence
Infection respiratoire (pasteurelles, bordetelles)	Note de lésion des poumons à 70 jours	0,12 à 0,28	Baselga <i>et al.</i> , 1988
Infection bactérienne (pasteurelles, staphylocoques)	Incidence de troubles infectieux (syndromes respiratoires, abcès, et autres signes d'infection) à 9 ou 10 semaines d'âge	0,04 à 0,38	Eady <i>et al.</i> , 2004
Infection bactérienne (pasteurelles, staphylocoques)	Incidence de troubles infectieux (abcès, coryza, lésion des poumons et autres signes d'infection) de 5 à 10 semaines d'âge	0,02 à 0,12	Eady <i>et al.</i> , 2007
Troubles digestifs	Présence de diarrhée ou troubles digestifs à 63 jours, ou mortalité causée par des troubles digestifs	0,08	Garreau <i>et al.</i> , 2008b
Entéropathie épizootique du lapin (EEL)	Mortalité, résilience (survie et croissance normale) et croissance anormale durant 33 jours après infection expérimentale à l'EEL	0,05 mortalité 0,07 résilience 0,28 croissance anormale	Garreau <i>et al.</i> , 2005

La sélection sur la résistance aux maladies a prouvé son efficacité. Des lignées sélectionnées pendant plusieurs générations, sur la résistance aux troubles digestifs (Garreau *et al.*, 2013) ou sur la longévité, présentent une moindre mortalité aux troubles digestifs face à un challenge (infection expérimentale ou naturelle). Les recherches continuent sur cette question, avec des programmes portant sur la résistance à la pasteurellose, utilisant l'information de marqueurs du génome du lapin (voir p. 248).

En résumé, il existe une composante génétique à la sensibilité et à la résistance aux maladies. Les animaux fréquemment malades ou moribonds ne seront pas utilisés comme reproducteurs. En plus du danger qu'ils représentent en tant que source de contamination dans le cheptel, ils risqueraient de transmettre à leur descendance leur plus grande sensibilité aux maladies.

Des enregistrements de symptômes de maladies, détectables en élevage, à âge fixe (par exemple en fin d'engraissement), peuvent servir d'outils de tri. Seuls les lapins sains seront gardés comme reproducteurs pour renouveler le cheptel.

## Schémas de sélection et lignées commerciales actuels

### Organisation de la sélection

#### *Place de la sélection dans la filière cunicole*

##### *Attentes de la filière*

La sélection est le maillon le plus en amont de la filière cunicole. Elle tient compte de la demande des différents acteurs : éleveurs, abatteurs, distributeurs, consommateurs. On peut dire de façon simplifiée qu'il s'agit de produire au moindre coût une carcasse ou une viande de bonne qualité. Le premier objectif de coût de production concerne principalement l'éleveur. Ce coût est influencé par la productivité numérique pour la partie maternité, et par le coût de production du lapin pendant sa phase d'engraissement en tant que tel. Le poste aliment étant le plus important pour cette phase, l'objectif premier est d'augmenter l'efficacité alimentaire. La réduction des pertes d'animaux est aussi une priorité en cuniculture. En ce qui concerne la qualité, elle peut être prise au sens large du terme. Il s'agit de satisfaire les différents acteurs de la filière aval. Peuvent être cités le rendement carcasse (rapport du poids de carcasse sur le poids vivant), le poids des différentes pièces (épaules, cuisses, râbles). De nouvelles préoccupations qualitatives peuvent également prendre de l'importance à l'avenir, à savoir, la couleur du gras et les qualités sensorielles et technologiques de la viande.

##### *Gestion d'un programme de sélection*

Un programme de sélection demande beaucoup de rigueur afin de répondre aux attentes de la filière. Il est basé sur deux piliers principaux : la collecte de données de performances et la connaissance des généalogies. Les objectifs de sélection sont poursuivis sur plusieurs générations d'animaux afin d'obtenir des progrès génétiques

visibles. Les principaux programmes sont conduits avec plusieurs lignées, lapins de lignées mâles et lapins de lignées femelles. La sélection des lapins de lignées paternelles est orientée vers des aptitudes bouchères, croissance, rendement carcasse. La sélection des lapins des lignées maternelles est quant à elle orientée vers des critères de taille de portée et de poids au sevrage, afin notamment de mesurer la production laitière des mères.

La collecte des données de performances se fait en même temps sur les performances propres du lapin « candidat » (par exemple le poids à 70 jours) et sur les performances des ascendants, des collatéraux (rendement carcasse...) et des descendants (taille de portée). L'ensemble de toutes ces informations permet d'estimer la valeur génétique. Les lapins d'une même lignée sont ensuite classés selon leur valeur génétique, les meilleurs sont gardés pour produire la génération suivante.

La connaissance des généalogies, père et mère, de chaque lapin ayant des performances dans le programme de sélection est nécessaire car les animaux apparentés se ressemblent en termes de performance. Cette connaissance des généalogies et des performances permet d'utiliser les outils de sélection tels que le Blup décrit dans les chapitres précédents.

### *Populations sélectionnées*

L'élevage de lapins de race pure est très peu utilisé dans le cadre de la production commerciale. Depuis les années 1970, tout d'abord par l'Inra, des schémas de sélection se sont mis en place en créant des lignées hybrides. Ces lignées ont été créées à partir de lapins de race californienne et de race néo-zélandaise. Sont également entrés dans ces lignées des animaux des races Grand Russe, Petit Russe, Fauve de Bourgogne, Argenté de Champagne, Blanc de Vienne, Géant Blanc du Bouscat, etc.

### *Principales lignées commerciales*

Les recherches sur la génétique et la sélection du lapin ont débuté, en France, à l'Inra en 1961 en lien avec le Syndicat national d'élevage et d'amélioration du lapin de chair (SNEALC). Un schéma national de sélection du lapin de chair a été engagé sur la base de création de lignées spécialisées « mâle » et « femelle », puis de leur utilisation en croisement. La sélection des mâles de croisement terminal a été réalisée ensuite par les sélectionneurs privés. Deux lignées maternelles ont été créées en 1972 à l'Inra pour améliorer les performances de reproduction, à partir d'animaux Néo-Zélandais Blanc, de Grand Russes, puis de Californiens. Grâce à un schéma de démultiplication faisant appel à des partenaires privés, l'Inra a pu amplifier la diffusion de son travail de sélection auprès d'un grand nombre d'éleveurs à partir des années 1980-1990. Cette organisation persiste encore de nos jours pour la co-sélection d'une de ces lignées maternelles (1777) avec un sélectionneur français. Les autres sélectionneurs privés ont adopté une stratégie similaire basée sur les mêmes races. Des programmes similaires ont été également développés, en Espagne à l'Université polytechnique de Valence, ainsi qu'en Hongrie à l'université de Kaposvar, pour créer à leur tour d'autres lignées spécialisées pour la production de lapin de chair.



### Exemple de quelques lignées commerciales françaises

La société Eurolap a débuté la sélection de lapins de chair en 1974 et commercialise ses reproducteurs sous la marque Hyla®. Les lignées actuelles sont conduites depuis 1999 en lignée fermée et indexées selon le modèle statistique « Blup », en lien avec les conseils de l'Inra, sur les critères mentionnés au tableau 7.4.

L'entreprise Hycole est spécialisée dans la sélection du lapin de chair depuis 1985. Les cinq lignées de son schéma génétique sont sélectionnées à l'aide de la méthode Blup, en lien avec les conseils de l'Inra, sur les critères mentionnés au tableau 7.5.

Le sélectionneur Hypharm, entreprise du groupe Grimaud, a démarré la sélection cunicole en 1984 sous la marque Hyplus®. Un travail commun de sélection sur une de ses lignées commerciales est encore poursuivi aujourd'hui avec l'Inra. L'ensemble des lignées sont sélectionnées à l'aide de la méthode Blup, avec l'appui scientifique et logistique de l'Inra. Les critères de sélection des différentes lignées Hyplus sont résumés au tableau 7.6.

### Autres exemples de lignées commerciales

À part la France, qui compte donc trois schémas de sélection conduits par des structures privées, d'autres pays sélectionnent des lignées commerciales pour la production de lapins de chair, avec des méthodes et schémas de sélection similaires. En Espagne, l'université de Valence et l'Irta de Barcelone diffusent des lignées grands-parentales à des multiplicateurs. Zika en Allemagne et Panon en Hongrie sont les deux autres principaux sélectionneurs.

**Tableau 7.4.** Lignées sélectionnées et produits de la société Eurolap.

Type de lignée	Lignées sélectionnées	Critères de sélection	Produits commerciaux
Lignées mâles	AGP A	Croissance 35 à 70 jours ; rendement carcasse ; indice de consommation	Mâle Hyla Max (AxB)
	AGP B	Croissance 35 à 70 jours ; rendement carcasse ; indice de consommation	Mâle Hyla Max (AxB)
	AGP E	Poids à 70 jours ; portées 100 % colorées	Mâle Hyla Coloré (ExE)
Lignées femelles	AGP C	Prolificité ; poids à 1 jour, homogénéité du poids à la naissance	Mâle GPC (Cx C) Femelle Hyla NG (Cx D)
	AGP D	Prolificité ; poids au sevrage : effet direct et maternel ; homogénéité du poids sevrage	Femelle GPD (Dx D) Femelle Hyla NG (Cx D)

**Tableau 7.5.** Lignées sélectionnées et produits commerciaux Hycol®.

Type de lignée	Lignées sélectionnées	Critères de sélection	Produits commerciaux
Lignées mâles	AGP X	Surface de muscle au niveau du râble (rendement carcasse) ; viabilité en engraissement ; croissance 28-68 jours en alimentation rationnée	Mâle blanc (XxX) Mâle mixte (XxM)
	AGP H	Viabilité en engraissement ; croissance 28-68 jours en alimentation rationnée ; lignée colorée homozygote	Mâle coloré (HxH)
	AGP M	Surface de muscle au niveau du râble (rendement carcasse) ; viabilité en engraissement ; croissance 28-65 jours en alimentation rationnée	Mâle mixte (XxM)
Lignées femelles	AGP C	Poids et nombre de lapereaux sevrés ; nombre de mamelles ; fertilité ; prolificité	Mâle GP C (CxC) Femelle parentale (CxD)
	AGP D	Poids du lapereau le plus léger ; prolificité ; évolution du poids la femelle ; longévité fonctionnelle ; poids et nombre de lapereaux sevrés ; nombre de mamelles	Femelle GP D (DxD) Femelle parentale (CxD)

**Tableau 7.6.** Lignées sélectionnées et produits commerciaux Hyplus®.

Type de lignée	Lignées sélectionnées	Critères de sélection	Produits commerciaux
Lignées mâles	AGP 59 (AGP A)	Poids à 70 jours ; rendement carcasse ; indice de consommation ; résistance aux problèmes digestifs	Mâle PS 59 (AxA) Mâle PS 40 (AxB)
	AGP 11 (AGP A')	Poids à 70 jours ; portées 100 % colorées	Mâle PS 119 (A'xA')
	AGP 39 (AGP B)	Poids à 63 jours ; rendement carcasse ; indice de consommation ; résistance aux problèmes digestifs	Mâle PS 40 (AxB)
Lignées femelles	AGP 22 (AGP C)	Prolificité ; poids à 1 jour ; homogénéité du poids à la naissance	Mâle GD 24 (CxC) Femelle PS 19 (CxD)
	AGP 77 (AGP D)	Prolificité ; poids au sevrage : effet direct et maternel ; longévité des femelles	Femelle GD 14 (DxD) Femelle PS 19 (CxD)

## Diffusion du progrès génétique

### *Diffusion par la voie femelle*

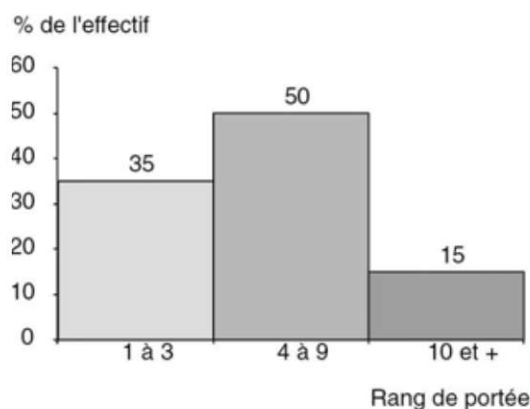
L'arrivée de nouveaux animaux dans un élevage est un événement important. Tous les équipements de l'élevage (logement, distribution d'eau et d'aliment, etc.) doivent être fonctionnels. En cuniculture professionnelle européenne, il est fréquent que les futures reproductrices soient livrées très jeunes (1 à 9 jours après leur naissance) pour être adoptées par des femelles de l'élevage. Cette conduite permet de limiter le risque de transmission de pathogènes.

Pour maintenir une production stable et un bon statut sanitaire de l'élevage, la gestion du troupeau doit être rigoureuse. À chaque cycle, le nombre de femelles inséminées doit être constant. Des jeunes reproductrices intègrent le troupeau et le même nombre de femelles doit en sortir. Les causes de sortie des femelles du troupeau sont de trois types : mortalité, réforme sanitaire, réforme pour infertilité.

Le nombre de jeunes femelles introduites représente souvent de l'ordre de 14 % du nombre d'IA à chaque bande.

La mortalité de femelles est un phénomène normal de l'élevage de lapins. Cependant, elle doit être analysée et maîtrisée. Ainsi, il est important de relever le nombre de femelles mortes à chaque cycle et le rang de portée de chacune de ces femelles. Ces relevés sont ensuite un outil d'analyse précieux du niveau sanitaire du cheptel, les variations globales de mortalité ou celles de femelles d'un même rang de portée sont des indicateurs permettant d'adapter la conduite de l'élevage. Cette mortalité est normalement située pour 60 % autour de la mise-bas (une semaine avant et après). La seconde phase de sensibilité se situe entre la troisième et quatrième semaine après mise-bas.

La réforme sanitaire est un outil de gestion sanitaire de l'élevage. Il s'agit de réformer les femelles présentant un signe clinique : maux de pattes, abcès sous-cutanés, mouchage, jetage, conjonctivite, amaigrissements anormaux. La réforme sanitaire est réalisable à tout moment du cycle. Les manipulations d'animaux durant les opérations d'élevage sont un moyen efficace de constater les anomalies sanitaires.



**Figure 7.1.** Exemple de pyramide des âges des lapines par rang de portée.

La réforme pour infertilité ou faible productivité est un outil de gestion des performances du cheptel. Cette réforme est réalisée principalement à deux périodes du cycle : entre mise-bas et insémination, à la palpation, ou deux semaines après l'insémination. Selon les objectifs de l'élevage, il faut se donner des seuils liés à la fertilité, la prolificité, l'aptitude à sevrer et l'âge de la femelle.

L'analyse de la pyramide des rangs de portée du troupeau de reproductrice est un outil important de gestion de l'élevage. Une pyramide équilibrée démontre la stabilité de l'état sanitaire et favorise de bonnes performances d'élevage (figure 7.1).

### *Technique d'introduction de femelles parentales*

L'introduction de femelles nullipares de qualité favorisera le bon fonctionnement de l'élevage et sa future productivité. Il s'agit également du facteur ayant le plus d'influence sur l'amélioration du statut sanitaire du cheptel. Ces nouvelles lapines doivent être éventuellement issues d'un schéma de sélection dont les objectifs correspondent aux besoins de l'éleveur. Elles peuvent arriver à différents âges. L'introduction d'animaux jeunes, de moins de 10 jours, apporte les meilleures garanties en matière de logistique, sanitaire et d'adaptation des futurs reproductrices dans un élevage ; cependant, cette technique est très dépendante du statut sanitaire des lapines adoptant ces animaux de sélection. La réussite de l'adoption de lapereaux passe avant tout par la capacité de la femelle d'adoption à allaiter correctement les lapereaux.

Sont sélectionnées en priorité des femelles entre leur 3<sup>e</sup> et leur 6<sup>e</sup> lactation. Les femelles adoptives choisies doivent être irréprochables sur le plan sanitaire. Toutes les mères adoptives présentant ou ayant présenté, au cours de leur carrière, un des signes cliniques suivants seront écartées : mouchage, maux de pattes, nids souillés, anormalement amaigries, abcès. Pour diminuer le risque, les lapereaux livrés doivent être répartis sous plusieurs femelles. Pour un résultat optimum des adoptions, il est recommandé de choisir les femelles adoptives la veille de la livraison des lapereaux, les nids doivent être fermés à ce moment-là. Le nid est remplacé par un nid propre et désinfecté. À la livraison, chaque nid est complété avec des lapereaux futurs reproducteurs femelles ; dès la mise en place des lapereaux, il faut procéder à une première tétée. Les nids et la qualité de l'allaitement de la femelle sont contrôlés de façon rigoureuse au cours des jours suivants.

Un premier tri des femelles futures reproductrices sera réalisé au sevrage ; il a pour principal intérêt d'écarter les portées qui ont pu connaître un problème en cours de lactation et d'écarter les femelles les moins lourdes. Ne sont retenues que les femelles les plus développées, présentant le meilleur aspect extérieur et pour lesquelles auront été réalisés les points de contrôle suivants : absence d'abcès, absence de diarrhées ou zone anale souillée, bon état corporel, absence de mouchage, absence d'œil irrité, vulve saine, pattes saines et sèches.

Un second tri avec les mêmes contrôles doit être réalisé entre 10 et 12 semaines d'âge. À ce stade, les femelles gardées sont logées en cages individuelles le plus tôt possible. Jusqu'à la mise à la reproduction, de nouveaux contrôles (tels que décrits ci-dessus) seront réalisés et amèneront à écarter d'autres femelles. Une pesée des



animaux à 18 semaines d'âge permettra de s'assurer du poids moyen des animaux et de leur homogénéité, et d'écarter les femelles dont l'état n'est pas satisfaisant.

### *Introduction de femelles grands-parentales*

Les femelles parentales venant d'un schéma de sélection sont issues d'un croisement entre deux lignées, généralement appelées lignées grands-parentales (GP). En introduisant dans un élevage des femelles GP et de la semence GP, il est possible de conduire un groupe de femelles qui assurera le renouvellement en femelles parentales de ce même élevage. Ce nombre de femelles GP est compris entre 7 et 8 % du cheptel total. Cet effectif permet d'assurer correctement le renouvellement comme décrit dans le chapitre précédent. La conduite de ces animaux, de l'entrée jusqu'à la première IA, se réalise de façon similaire à celle des femelles parentales.

### *Autorenouvellement*

L'autorenouvellement est une technique utilisée par des élevages de petites tailles ou qui ne peuvent pas faire entrer d'animaux issus de schémas de sélection, pour des raisons de logistique, de coût ou de barrières sanitaires. Les performances dans ces élevages n'auront rien de comparables avec celles d'élevages renouvelés selon les méthodes décrites ci-dessus, la maîtrise de la consanguinité et la recherche d'amélioration de critères souvent antagonistes, tels que prolificité et GMQ par exemple, étant des plus aléatoires. C'est la raison pour laquelle cette technique tend à disparaître dans les élevages professionnels.

Les femelles doivent être sélectionnées selon leur état sanitaire et les performances de leur mère (taille de portée, aptitude à sevrer, etc.). Il est conseillé de garder des femelles issues de mères confirmées, sur les bases des résultats obtenus après au moins trois sevrages. Une identification et une notation rigoureuse des performances doivent être conduites en continu afin d'avoir un suivi et un tri de bonne qualité.

La sélection des mâles est beaucoup plus compliquée. En effet, les mâles doivent à la fois apporter des critères bouchers, en tant que père des futurs lapereaux de chair, et des critères maternels, en tant que pères des futures reproductrices. Ces deux types de critères sont antagonistes. L'idéal sera de donc garder deux types de mâles, des mâles issus de mères bonnes reproductrices, et des mâles présentant les meilleures performances de croissance et de développement musculaire. Il est très important d'éviter l'accouplement de reproducteurs apparentés, pour ne pas accroître la consanguinité moyenne du troupeau. On peut aussi conseiller d'acheter des mâles à l'extérieur, en vérifiant bien leur état sanitaire.

### *Diffusion par la voie mâle*

Que ce soit par la saillie naturelle, ou l'insémination artificielle, l'amélioration génétique du cheptel vient également par la voie mâle. Plusieurs femelles, et même de nombreuses femelles pour l'insémination artificielle, peuvent être fécondées avec la semence d'un seul mâle. Comme ses descendants hériteront d'une partie de son patrimoine génétique, ce mâle est choisi en fonction de ses valeurs génétiques et de ses qualités phénotypiques.

## Développement des outils moléculaires et de leurs applications

### Cartes génétiques et séquençage du génome

Le caryotype (arrangement des chromosomes dans une cellule) du lapin a été décrit pour la première fois en 1926 par T. S. Painter. La cartographie génétique consiste à déterminer la position des *loci*. Une carte chromosomique comparée entre l'Homme et le lapin a été publiée en 1997. Cette carte est basée sur les résultats de la peinture chromosomique réciproque : des sondes spécifiques (séquences d'ADN recherchées) de chacun des chromosomes de lapin ont été hybridées (appariement spontané avec la séquence complémentaire) sur des métaphases humaines et, réciproquement, les sondes spécifiques de chacun des chromosomes humains ont été hybridées sur des métaphases de lapin. En 2003, seuls une vingtaine de gènes étaient localisés sur les chromosomes. Entre 2003 et 2006, plusieurs laboratoires de l'Inra se sont associés pour produire une carte de marqueurs microsatellites. Les marqueurs microsatellites sont des régions de l'ADN qui présentent des variations dans le nombre de répétitions d'une séquence. La carte Inra, comportant 111 marqueurs, a permis de confirmer la localisation des caractères de pelage *albinos* et *angora*, sur les chromosomes 1 et 15 respectivement. Plus de 250 nouveaux gènes, répartis sur tous les chromosomes, ont ainsi été cartographiés.

Par sa position dans l'arbre phylogénétique des mammifères et pour son rôle d'espèce modèle dans les recherches biomédicales, le lapin a été sélectionné pour les programmes *Encode* et *Mammalian Genome Project* réalisés par le Broad Institute (Boston). Ces projets ont pour but d'identifier des séquences conservées entre espèces, afin d'améliorer l'annotation du génome humain et de réaliser un atlas complet des séquences d'ADN. Le génome d'une lapine de race néo-zélandaise a ainsi été entièrement séquencé une première fois, à faible densité (OryCun1.0), puis une deuxième fois, de façon plus dense (OryCun2.0) et en incluant le séquençage de chromosomes artificiels (BAC) fournis par l'Inra. L'annotation du génome, c'est-à-dire la localisation et la description de la fonction biologique des gènes, a été réalisée par la plateforme génomique Ensembl, en utilisant notamment le séquençage de brins d'ARN (RNA-Seq) de tissus de lapins fournis par l'Inra et l'annotation orthologue humaine (gènes similaires partagés par les deux espèces). Un total de 19 118 gènes codant pour des protéines ont pu être identifiés dans le cadre de ce projet.

L'université d'Upsalla (Suède) et l'université de Porto (Portugal) ont récemment séquencé l'ADN de lapines domestiques issues de six races et de lapins sauvages français et espagnols appartenant aux deux sous-espèces *O. c. algirus* et *O. c. cuniculus* (voir chapitre 1 ; Carneiro *et al.*, 2014). Ce séquençage a permis d'identifier 51 millions de marqueurs de type SNP (*Single Nucleotid Polymorphism*), c'est-à-dire des régions du génome qui présentent des différences entre individus pour une seule base azotée. Les SNP représentent la source de variation la plus abondante du génome. Le génotypage est la discipline qui vise à déterminer la nature des allèles (variations) des marqueurs. La standardisation et la mécanisation des techniques de génotypage permettent aujourd'hui de connaître rapidement la séquence de plusieurs dizaines ou centaines de milliers de marqueurs SNP. Dans le cadre du

projet européen *Rabbit Genome Biology*, un échantillon de 200 000 marqueurs SNP est en cours de sélection pour la production d'une puce SNP commerciale, un outil biotechnologique pour le génotypage à haut débit. Ces nouvelles techniques ouvrent la voie à de nouvelles méthodes d'amélioration génétique.

## Prospectives pour la sélection assistée par gènes et la sélection génomique

Les données de génotypage haut débit du lapin seront bientôt disponibles et permettront de développer deux nouvelles approches pour l'amélioration génétique : l'identification de mutations causales et la sélection génomique.

Les études d'association ont pour objectif d'identifier des régions chromosomiques impliquées dans l'expression des caractères d'intérêt. Elles reposent sur la mise en évidence d'un lien entre le génotype de certains marqueurs, tous localisés sur le génome, et la valeur phénotypique des caractères. Les régions chromosomiques ainsi identifiées sont explorées afin de découvrir les gènes, dont la variation (mutation) est responsable de la variabilité du caractère. La découverte de la mutation causale ou, à défaut, de marqueurs très proches de cette mutation autorise une sélection efficace, qui s'affranchit de la mesure du phénotype : c'est la sélection assistée par gènes. Les programmes d'amélioration génétique de la résistance à la tremblante ovine sont ainsi fondés sur la variabilité d'un gène majeur, appelé *PrP*, et visent à éradiquer les allèles de susceptibilité à la maladie dans les populations. Cependant, la découverte de mutations causales est souvent longue, difficile et onéreuse. Par ailleurs, les caractères sont le plus souvent gouvernés par un grand nombre de gènes. Pour pallier ces difficultés, une autre méthode d'amélioration génétique est apparue récemment dans les schémas de sélection animaux et végétaux : la sélection génomique.

La sélection génomique repose sur une nouvelle méthode d'évaluation génétique des animaux candidats à la sélection. Son principe est d'utiliser l'information d'un très grand nombre de marqueurs SNP, d'estimer l'effet de chacun de ces marqueurs sur les caractères d'intérêt dans une population de référence phénotypée et génotypée, puis de calculer la valeur génomique des animaux candidats en additionnant les effets estimés des marqueurs portés par ces candidats. En comparaison avec une sélection classique utilisant le Blup, la sélection génomique doit accroître le progrès génétique en réduisant l'intervalle de génération (la sélection des candidats peut être réalisée très tôt, à la suite de leur génotypage), en augmentant l'intensité de sélection (la sélection inclut davantage de candidats) et en augmentant la précision de l'évaluation génétique (grâce à l'apport d'information moléculaire). Ce gain de précision dépend lui-même de la taille effective de la population en sélection, de l'héritabilité du caractère, de la taille de la population de référence et de la distance génétique entre les candidats à la sélection et les animaux de la population de référence.

Chez le lapin, l'intérêt de la sélection génomique réside essentiellement dans l'amélioration de la précision de la sélection car l'intervalle de génération, déjà très court, serait peu réduit et les intensités de sélection sont déjà très élevées. La sélection génomique présente également un intérêt pour les caractères difficiles à mesurer

chez des candidats à la sélection, comme la résistance aux maladies, la mesure du phénotype (infection naturelle ou expérimentale) portant seulement sur les animaux de la population de référence. Plusieurs contraintes rendent toutefois la sélection génomique difficile à mettre en place dans les schémas génétiques cunicoles. Une population de référence de plusieurs milliers d'individus est nécessaire pour obtenir une précision d'évaluation génétique au moins égale à celle obtenue avec les dispositifs actuels. Or la taille des noyaux de sélection cunicoles est généralement faible (une à quelques centaines de femelles) et permet difficilement de générer autant d'individus en contrôle. De plus, les populations de référence devront être renouvelées fréquemment pour préserver la qualité de l'estimation des valeurs génomiques et cela d'autant plus que l'intervalle de génération est très court chez le lapin. Le coût d'un génotypage est le même pour un lapin que pour un porc ou un taureau laitier. Chez les bovins laitiers, la mise en place de la sélection génomique (dès 2009), en se substituant à un testage sur descendance très coûteux (40 000 euros par candidat mâle testé en France), a permis de réaliser des économies considérables couvrant les frais de génotypage. Actuellement, chez le lapin, le seul gain de progrès génétique espéré par la sélection génomique couvrira difficilement ces coûts. On peut toutefois espérer une baisse des prix du génotypage ou l'utilisation de puces dédiées à faible densité, et donc moins coûteuse, dans un avenir proche.

## Pour en savoir plus

Baselga M., Deltoro J., Camacho J., Blasco A., 1988. Genetic analysis on lung injury in four strains of meat rabbit. *In : Proceeding of the 4th World Rabbit Congress*, 10-14 octobre, Budapest, Hongrie, 120-128.

Boichard D., Bonaïti B., Barbat A., Briend M., 1992. Le modèle sous-jacent à l'évaluation des valeurs génétiques. *In : Inra Productions Animales*, hors série « Éléments de génétique quantitative et applications aux populations animales », Inra, Paris, 75-81, <http://www6.inra.fr/productions-animales/1992-Volume-5/Numero-Hors-Serie-1992/L-evaluation-des-reproducteurs-Le-modele-sous-jacent-a-l-evaluation-des-valeurs-genetiques>

Carneiro M., Rubin C.J., Di Palma F., Albert F.W., Alföldi J., Barrio A.M., Pielberg G., Rafati N., Sayyab S., Turner-Maier J., Younis S., Afonso S., Aken B., Alves J.M., Barrell D., Bolet G., Boucher S., Burbano H.A., Campos R., Chang J.L., Duranthon V., Fontanesi L., Garreau H., Heiman D., Johnson J., Mage R.G., Peng Z., Queney G., Rogel Gaillard C., Ruffier M., Searle S., Villafuerte R., Xiong A., Young S., Forsberg-Nilsson K., Good J.M., Lander E.S., Ferrand N., Lindblad-Toh K., Andersson L., 2014. Rabbit genome analysis reveals a polygenic basis for phenotypic change during domestication. *Science*, 345 (6200), 1074-1079.

Chantry-Darmon C., Urien C., Rochambeau H. de, Allain D., Pena B., Hayes H., Grohs C., Cribiu E.P., Deretz-Picoulet S., Larzul C., Save J.C., Neau A., Chardon P., Rogel Gaillard C., 2006. A first-generation microsatellite-based integrated genetic and cytogenetic map for the European rabbit (*Oryctolagus cuniculus*) and localization of angora and albino. *Animal Genetics*, 37, 335-341.

Drouilhet L., Gilbert H., Balmiss E., Ruesche J., Tircazes A., Larzul C., Garreau H., 2013. Genetic parameters for two selection criteria for feed efficiency in rabbits. *Journal of Animal Science*, 91 (7), 3121-3128.



Eady S.J., Garreau H., Hurtaud J. 2004. Heritability of resistance to bacterial infection in commercial meat rabbit populations. *In : Proceeding of the 8<sup>th</sup> World Rabbit Congress*, 7-10 septembre, Puebla, Mexique, 137-142.

Eady S.J., Garreau H., Gilmour A.R., 2007. Heritability of resistance to bacterial infection in meat rabbits. *Livestock Science*, 112, 90-98.

El Nagar A.G., Sánchez J.P., Ragab M., Mínguez C., Baselga M., 2012. Functional longevity in four spanish maternal lines of rabbits, *In : Proceeding of the 10<sup>th</sup> World Rabbit Congress Index Genetics*, 3-6 septembre 2012, Sharm El-Sheikh, Egypt, 49-53.

Garreau H., Duzert R., Tudela F., Baillot C., Ruesche J., Grauby G., Lille-Larroucau C., Rochambeau H. de, 2005. Gestion et sélection de la souche Inra 1777 : résultats de trois générations de sélection. *In : 11<sup>e</sup> journées de la recherche cunicole*, 29-30 novembre 2005, Inra-Itavi, Le Mans, France, 19-22, Itavi éd., Paris.

Garreau H., Bolet G., Larzul C., Robert-Granié C., Saleil G., San Cristobal M., Bodin L., 2008a. Results of four generations of a canalising selection for rabbit birth weight. *Livestock Science*, 119 (1-3), 55-62.

Garreau H., Eady S.J., Hurtaud J., Legarra A., 2008b. Genetic parameters of production traits and resistance to digestive disorders in a commercial rabbit population. *In : Proceedings of the 9<sup>th</sup> World Rabbit Congress*, 10-13 juin 2008, Verona, Italy, 103-107.

Garreau H., Brad S., Hurtaud J., Guitton E., Cauquil L., Licois D., Schwartz B., Balmiss E., Tircazes A., Combes S., Gidenne T., 2013. Sélection divergente pour les troubles digestifs dans deux lignées commerciales : réponse de lapins « sensibles » ou « résistants » à une inoculation expérimentale de *Escherichia Coli* 0103. *In : 15<sup>e</sup> journées de la recherche cunicole*, 19-20 novembre, Le Mans, France, Inra-Itavi, 217-220, Itavi éd., Paris.

Larzul C., Gondret F., 2005. Aspects génétiques de la croissance et de la qualité de la viande chez le lapin. *Inra Productions Animales*, 18 (2), 119-129.

Larzul C., Ducrocq V., Tudela F., Juin H., Garreau H., 2014. The length of productive life can be modified through selection: An experimental demonstration in the rabbit. *Journal of Animal Science*, 92 (6), 2395-2401.

Lenoir G., Maupin M., Leloire C., Garreau H., 2013. Analyse de la longévité des lapines d'une lignée commerciale. *In : 15<sup>e</sup> journées de la recherche cunicole*, 19-20 novembre, Le Mans, France, Inra-Itavi, 181-184, Itavi éd., Paris.

Loussouarn, V., Garreau, H., 2013. Paramètres génétiques du poids du lapereau à la naissance dans une lignée sélectionnée sur les performances de reproduction. *In : 15<sup>e</sup> journées de la recherche cunicole*, 19-20 novembre, Le Mans, France, Inra-Itavi, 83-87, Itavi éd., Paris.

Mocé M.L., Santacreu M.A., 2010. Genetic improvement of litter size in rabbits: A review. *In : Proceedings of the 9<sup>th</sup> World Congress on Genetics Applied to Livestock Production*, 1<sup>er</sup>-6 août 2010, Leipzig, Allemagne, 121-129.

Piles M., Rafel O., Ramon J., Varona L., 2005. Genetic parameters of fertility in two lines of rabbit of different aptitude. *Journal of Animal Science*, 83, 340-343.

Piles M., Garreau H., Rafel O., Larzul C., Ramon J., Ducrocq V., 2006. Survival analysis in two lines of rabbits selected for reproductive traits. *Journal of Animal Science*, 84, 1658-1665.

Piles M., Tusell L., Lavara R., Baselga M., 2013. Breeding programs to improve male reproductive performance and efficiency of insemination dose production in paternal lines: feasibility and limitations. *World Rabbit Science*, 21 (2), 61-75.



- Rochambeau H. de, Licois D., Gidenne T., Verdelhan S., Coudert P., Elsen J.M., 2004. Genetic variability of the resistance for three types of enteropathy in the growing rabbit. *In : Proceeding of the 8<sup>th</sup> World Rabbit Congress*, 7-10 septembre, Puebla, Mexique, 137-142.
- Rouvier R., 1981. Les travaux de recherche français sur la sélection du lapin au cours des 10 dernières années (1970-1980). *Comptes rendus de l'Académie d'agriculture de France*, 61, 151-159.
- Thébault R.G., Allain D., Rochambeau H. de, Vrillon J.L., 2000. Selection scheme and genetic improvement of Orylag for fur production. *In : Proceedings of the VIIth International Congress in Fur Animal Production*, 13-15 septembre 2000, Kastoria, Macedonia, Greece, 81-86.
- Verrier E., Rognon X., Rochambeau H. de, Laloë D., 2008. Les outils et méthodes de la génétique pour la caractérisation, le suivi et la gestion de la variabilité génétique des populations animales. *Ethnozootechnie*, 76, 67-82.
- Vrillon J.L., Thébault R.G., Allain D., Rochambeau H. de, 1998. La fourrure Orylag : une nécessaire relation de séduction associée à la démarche d'amélioration génétique, *In : 7<sup>e</sup> journées de la recherche cunicole*, 13-14 mai 1998, Inra-Itavi, Lyon, 91-98, Itavi éd., Paris.

# Glossaire

---

*Acid Detergent Fibre* (ADF) : critère d'analyse des fibres alimentaires, correspondant environ à la somme de la cellulose et des lignines, selon la méthode de Van Soest (Van Soest P.J., Robertson J.B., Lewis B.A., 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and non starch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*, 74, 3583-3597).

*Acid Detergent Lignin* (ADL) : critère d'analyse des fibres alimentaires, correspondant environ aux lignines, selon la méthode de Van Soest (Van Soest P.J., Robertson J.B., Lewis B.A., 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and non starch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*, 74, 3583-3597).

Acides gras volatils (AGV) : acides gras à chaînes courtes (2 à 5 carbones) produits par fermentation par les micro-organismes du tube digestif (surtout dans le cæcum pour le lapin) ; ils sont un substrat énergétique pour l'animal dans la mesure où ils sont absorbés par la muqueuse digestive.

Allèle : un allèle est une séquence d'ADN présente au niveau du *locus*. Au niveau de l'individu, un animal diploïde possède deux allèles à chaque *locus*, l'un hérité de son père, l'autre de sa mère.

Anticorps : protéine utilisée par le système immunitaire pour détecter et neutraliser les agents pathogènes de manière spécifique. Les anticorps sont sécrétés par des cellules dérivées des lymphocytes B : les plasmocytes. Les anticorps font partie des immunoglobulines.

Antigène : molécule naturelle ou synthétique qui, reconnue par des anticorps ou des cellules du système immunitaire d'un organisme, est capable de déclencher chez celui-ci une réponse immunitaire.

Autovaccin : vaccin créé à partir du germe prélevé sur l'animal malade et destiné à être utilisé sur les animaux du même élevage.

Bases azotées : les bases azotées (aussi appelées bases nucléiques ou nucléobases) sont des molécules qui font partie des nucléotides, qui sont eux-mêmes des éléments de l'ARN et de l'ADN. C'est par les liaisons hydrogène entre paire de bases azotées que sont liés deux brins de l'hélice d'ADN. Il existe cinq principales bases azotées présentes dans l'ADN et l'ARN : adénine, cytosine, guanine, thymine et uracile.

Cæcotrophie et cæcotrophes : ensemble physiologique et comportemental qui correspond à l'excrétion de deux types de fèces, les crottes dures, qui sont rejetées au

sol, et les cæcotrophes (ou crottes molles), qui sont ingérées en totalité par l'animal. Ceci permet au lapin, mais aussi à tous les lagomorphes et à quelques rongeurs, de recycler des digesta très riches en bactéries, et contenant donc des nutriments essentiels (acides aminés) et des vitamines hydrosolubles. Comparée à la rumination, c'est une autre stratégie nutritionnelle permettant de valoriser une alimentation à base d'herbe. La cæcotrophie ne doit pas être confondue avec la coprophagie.

**Cholérétique** : médicament qui augmente la sécrétion d'acides biliaires formés par le foie et stockés dans la vésicule biliaire.

**Clone** : ensemble de micro-organismes identiques issus d'un même micro-organisme originel.

**Délétion** : la délétion est une mutation génétique caractérisée par la perte de matériel génétique sur un chromosome. La taille des délétions varie (d'une paire de bases à toute une région chromosomique) et les délétions peuvent survenir n'importe où sur le chromosome.

**Durabilité d'un granulé d'aliment** : c'est une mesure de la résistance à l'abrasion d'un granulé. Cette mesure peut être effectuée en introduisant une quantité précise de granulé dans un bidon rotatif pendant un temps donné. La pesée de la quantité restante de granulé mesure la durabilité.

**Dureté d'un granulé d'aliment ou résistance à l'écrasement** : c'est la force nécessaire pour casser un granulé. Cette force est exercée sur la longueur du granulé, elle est exprimée en kilogrammes et peut varier de 5 à 12 selon la composition du granulé.

**Énergie digestible (ED)** : part de l'énergie ingérée qui passe la barrière digestive. Elle est généralement estimée par la différence entre la quantité d'énergie ingérée et la quantité d'énergie rejetée dans les fèces.

**Enzootie, enzootique** : désigne une maladie présente dans une population animale avec un nombre constant de nouveaux cas dans le temps (incidence plus ou moins constante). Le terme équivalent en médecine humaine est « endémie ».

**Enzyme** : molécule d'origine protéique qui joue un rôle de catalyseur biologique (ou biocatalyseur), c'est-à-dire qui facilite une réaction chimique sans en modifier les produits.

**Épistatique** : l'épistasie désigne l'interaction existant entre deux ou plusieurs gènes. Il y a épistasie lorsqu'un ou plusieurs gènes (dominant ou récessif) masquent ou empêchent l'expression de facteurs situés à d'autres lieux génétiques (loci).

**Épizootie, épizootique** : désigne une maladie présente dans une population animale avec un nombre de nouveaux cas brutalement élevé. Le terme équivalent en médecine humaine est « épidémie ».

**Exon** : chez les organismes eucaryotes, les exons sont les fragments d'un ARN primaire qui se retrouvent dans l'ARN cytoplasmique après épissage, par opposition aux introns (fragments d'ARN primaire éliminés au cours de l'épissage)

**Expeller** : méthode mécanique d'extraction d'huile à partir de matières premières. Les matières premières sont comprimées sous haute pression en une seule étape en flux continu.

**Extra-chaueur** : perte d'énergie due aux phénomènes digestifs et métaboliques liés à la digestion de l'aliment. Cette extra-chaueur, nommée aussi « action dynamique spécifique », est généralement proportionnelle à la quantité d'énergie consommée et représente environ 10 % des apports énergétiques quotidiens. Elle est influencée par la nature des macronutriments consommés (glucides, protéines, lipides). Par exemple, les lipides bénéficient d'une faible extra-chaueur (environ de 2 à 3 % de leur concentration énergétique), ce qui leur confère une rentabilité énergétique élevée.

**Extrusion** : procédé technologique alimentaire utilisé notamment pour texturer les protéines végétales extraites d'oléagineux et consistant à faire passer sous pression, à travers un orifice de faible diamètre, une pâte chauffée.

**Fécondité** : cela exprime la capacité des espèces vivantes, animales ou végétales de se reproduire et d'assurer la perpétuation de l'espèce. C'est le contraire de la stérilité. Le lapin étant une espèce polytoque, la fécondité de la femelle intègre sa fertilité et son aptitude à produire un grand nombre de lapereaux.

**Fertilité** : c'est l'aptitude à la reproduction d'un individu. Une lapine peut être déterminée fertile si elle est apte à être fécondée, infertile si momentanément inapte à être fécondée, stérile si définitivement inapte à être fécondée. En élevage cunicole, la fertilité d'un groupe de lapines se mesure par le taux de fertilité, soit le rapport entre le nombre de lapines mettant bas et le nombre de lapines saillies ou inséminées.

**Flushing** alimentaire : il s'agit de distribuer pendant un court moment (quelques jours) une alimentation plus riche (ou plus intense) à l'animal en vue d'améliorer son état corporel et/ou sa fertilité. Cette pratique alimentaire est le plus souvent pratiquée chez les femelles afin de les préparer à l'accouplement.

**Hétérozygote** : se dit d'un gène qui, chez un individu (animal ou végétal), sera représenté par deux allèles (des variantes de ce gène) différents sur un même *locus*. Par extension, on parlera d'individu hétérozygote pour ce gène.

**Homozygote** : se dit d'un gène qui, chez un individu (animal ou végétal), sera représenté par deux allèles (des variantes de ce gène) identiques sur un même *locus*. Par extension, on parlera d'individu homozygote pour ce gène.

**Hormone** : molécule sécrétée par une glande endocrine, agissant à distance et par voie sanguine sur des récepteurs spécifiques d'une cellule cible. Elle joue un rôle de messenger chimique dans l'organisme.

**Immunoglobulines (Ig)** : famille de glycoprotéines circulant dans le sang ou bien positionnées sur les membranes des cellules immunitaires, impliquée dans les phénomènes de reconnaissance, de liaison et d'adhésion des cellules.

**Joules** : unité internationale de mesure de l'énergie, un joule équivaut à 0,239 calorie.

**Label AB** : ce label est défini au niveau européen pour désigner un produit obtenu selon un cahier des charges de l'agriculture biologique.

**Lagomorphe** : ordre de mammifères, tel que le lièvre et le lapin, possédant deux paires d'incisives supérieures. Cet ordre se distingue de l'ordre des rongeurs du fait de grandes différences physiologiques, écologiques et phylogénétiques. Il existe néanmoins des convergences anatomiques avec les rongeurs.

**Lignocellulose** : ensemble de la cellulose et des lignines, souvent analysé par le critère ADF, ou encore par le critère « cellulose brute » (méthode de Weende).

**Lipotrope** : se dit d'une substance chimique qui se fixe de façon élective sur les lipides, permettant soit leur dégradation dans le foie, soit leur élimination hors du foie (les principales sont la choline, le sorbitol, l'inositol, etc.).

**Locus** : un *locus* est une position dans le génome. La dimension du *locus* n'est pas définie (elle peut aller de quelques dizaines de bases à plusieurs centaines de milliers de bases). La nature du *locus* n'est pas non plus définie : ce peut être un gène ou une région anonyme.

**Méiose** : la méiose est un mode de division qui fait passer une cellule de l'état diploïde (deux exemplaires d'information génétique) à l'état haploïde (un seul exemplaire d'information génétique). Ainsi, dans la formation des gamètes, la méiose est l'ensemble des deux divisions cellulaires successives qui terminent l'ovogenèse et la spermatogénèse, et aboutissant, pour la première, à une réduction de moitié du nombre des chromosomes (état haploïde).

**Microbiote** : ensemble des micro-organismes (bactéries, levures, champignons, virus) vivant dans un environnement spécifique. On distingue le microbiote intestinal, anciennement appelé flore intestinale ou microflore digestive, qui constitue l'ensemble des micro-organismes vivant dans l'intestin.

**Neutral Detergent Fibre (NDF)** : critère d'analyse des fibres alimentaires, correspondant environ à la somme des hémicelluloses, de la cellulose et des lignines, selon la méthode de Van Soest (Van Soest P.J., Robertson J.B., Lewis B.A., 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and non starch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*, 74, 3583-3597).

**Nidicole** : se dit d'une espèce de mammifères dont la mère (ou les parents) construit un nid dans lequel les nouveau-nés vont poursuivre leur développement jusqu'à maturité et dans lequel ils interagiront de façon privilégiée, voire exclusive, avec la mère, notamment dans le cadre de l'allaitement.

**Parentéral, parentérale** : se dit de l'administration d'un médicament qui se fait par injection (intramusculaire, intraveineuse, etc.) et non par le tube digestif (voie dite entérale).

**Pathovars** : le pathovar correspond à un classement fondé sur les symptômes et les caractéristiques de pathogénicité. Il permet de différencier, au sein d'une même espèce, certaines souches d'autres souches de la même espèce ou d'une sous-espèce, en fonction des symptômes observés chez un ou plusieurs hôtes.

**Phéromone** : composé odorant ou mélange de seulement quelques composés odorants chimiquement identifiés, produits par un organisme émetteur d'une espèce donnée à destination d'un ou plusieurs organismes receveurs de la même espèce, chez qui la phéromone en question provoque une modification comportementale ou physiologique reproductible et bénéfique à l'individu qui la perçoit. Outre sa spécificité, une phéromone agit de façon sélective et spontanée (sans apprentissage).

**Phylum** (synonyme « embranchement ») : en systématique, correspond au deuxième niveau de classification des espèces vivantes derrière le règne (animal, végétal...) et devant la classe (mammifères, oiseaux...).



Poids métabolique (Pm) : c'est le poids vif porté à la puissance 0,75. Il donne une indication de la surface d'un corps de poids connu. En effet, le métabolisme est plus lié à la surface corporelle qu'au poids.

ppm : partie par million. Un ppm correspond à un rapport de  $10^{-6}$ , soit, par exemple, un milligramme par kilogramme. Au sens large, un ppm correspond à un milligramme pour un litre d'eau. Le ppm n'est pas une concentration mais un rapport, c'est-à-dire un quotient sans dimension, à l'instar d'un pourcentage.

Précocité : la précocité est le fait, pour un organisme vivant, d'atteindre son état de maturité plus rapidement que la moyenne de l'espèce ou que d'autres espèces. En élevage, cela désigne par exemple, des races d'animaux à croissance et à rythme de reproduction rapide.

Premix ou pré-mix : de l'anglais *premixed*, qui signifie littéralement « mélangé à l'avance ». Prémélange de vitamines, d'oligoéléments, de minéraux, et éventuellement de médicaments ou additifs. Ces produits, en faible quantité, sont mélangés à un support, souvent de calcaire ou d'argile, l'ensemble constituant le premix. Ce dernier est incorporé, à un taux entre 0,5 et 2 %, à un aliment composé pour animaux d'élevage.

Prolificité : en élevage cunicole, la prolificité est la taille de la portée à la naissance ; elle s'exprime en nombre de lapereaux nés vivants ou nés totaux.

Protéines digestibles (PD) : part des protéines ingérées qui passent la barrière digestive. Elles sont généralement estimées par différence entre la quantité de protéines ingérée et la quantité de protéines rejetée dans les fèces.

Récessif : se dit d'un allèle qui ne s'exprime pas dans un génome qui contient un allèle dominant du même gène. Pour s'exprimer, il faut que les deux allèles d'un même gène soient récessifs (pour un organisme diploïde).

Toastage : appliqué à la graine d'oléagineux (soja), c'est un traitement thermique (110-130 °C) par chauffage direct et injection de vapeur d'eau pendant un temps assez long (jusqu'à 30 minutes).

*Total Dietary Fibre* (TDF) : critère d'analyse des fibres alimentaires, correspondant à l'ensemble des fibres alimentaires, mesuré par pesée d'un résidu après action d'enzymes sur l'échantillon à analyser (McCleary B.V., De Vries J.W., Rader J.L., Cohen G., Prosky L., Mugford D.C., Champ M., Okuma K., 2010. Determination of total dietary fiber (Codex Definition) by enzymatic-gravimetric method and liquid chromatography: collaborative study. *Journal of AOAC International*, 93, 221-233).

Tourteau : les tourteaux sont les résidus solides obtenus après extraction de l'huile des graines ou des fruits oléagineux (soja, colza, tournesol, etc.). Ce sont les coproduits de la trituration, c'est-à-dire l'industrie de fabrication de l'huile. Ils représentent généralement de 50 à 75 % de la masse des graines.

Tout plein-tout vide : mode de conduite de l'élevage en bande unique, où les lots d'animaux dans un bâtiment (ou une salle) sont au même stade physiologique et élevés ensemble pendant l'intégralité de la phase d'élevage considérée. Ce mode de conduite implique de disposer de deux salles ou bâtiments identiques (et proches) équipés de cages mixtes (utilisables pour les femelles ou les lapins en

croissance). Ces deux salles vont servir tour à tour de maternité et d'engraissement. Au sevrage (environ 33 jours), soit environ 8 jours avant la mise-bas suivante, les lapines sont transférées dans une salle préalablement nettoyée et désinfectée. Les lapereaux demeurent dans leur cage de naissance et y poursuivent leur croissance jusqu'à leur vente (environ 70 jours). Ce système permet notamment d'effectuer régulièrement un vide sanitaire complet à chaque cycle de production (toutes les 12 semaines pour un cycle de reproduction à 6 semaines), à la fois en maternité et en engraissement.

Ubiquiste : capacité pour un agent pathogène à être présent dans plusieurs lieux (organes, tissus).

Utéro-tubaire : qui concerne l'utérus et l'oviducte.

# Abréviations et acronymes

---

2M2B : 2-méthyl-2-buténal.

AA : acide aminé.

ACTH : *Adrenocorticotropin Hormone*.

ADF : *Acid Detergent Fibre*.

ADL : *Acid Detergent Lignin*.

ADN : acide désoxyribonucléique.

AGV : acides gras volatils.

AMM : autorisation de mise sur le marché (procédure centrale pour tout médicament humain ou vétérinaire).

BALT : *Bronchus Associated Lymphoid Tissue*. Organe lymphoïde secondaire constitué par des amas lymphoïdes annexés à l'arbre respiratoire.

Blup : *Best Linear Unbiased Predictor* (meilleur prédicteur linéaire non biaisé).

CD : coefficient de détermination.

CMH : complexe majeur d'histocompatibilité.

CO<sub>2</sub> : dioxyde de carbone.

CRH : *Corticotrophin Releasing Hormone*.

CUDa : coefficient d'utilisation digestive apparent.

DMSO : diméthylsulfoxyde.

Dopa : dopamine.

ED : énergie digestible.

EE : *Ether Extract*, représente le taux de matières grasses d'un composé.

EEL : entéropathie épizootique du lapin.

EOPS : exempts d'organismes pathogènes spécifiques.

EPEC : *Escherichia coli* entéropathogènes.

FIV : fécondation *in vitro*.

FSH : *Follicle-Stimulating Hormone*.

GALT : *Gut Associated Lymphoid Tissue*.

GMQ : gain moyen quotidien.

GnRH : *Gonadotrophin Releasing Hormone*.

Hz : Hertz (unité de mesure de la fréquence).

HV : *High Virulence*.

IA : insémination artificielle.

ICSH : *Interstitial Cell Stimulating Hormone*.

ICSI : *Intra Cytoplasmic Sperm Injection*.

*i.e.* : expression latine signifiant « c'est-à-dire ».

Ig : Immunoglobulines (IgA, IgD, IgE, IgG, IgM).

Inra : Institut national de la recherche agronomique.

Itavi : Institut technique de l'aviculture.

J : joules.

LH : *Luteinizing Hormone*.

LV : *Low Virulence*.

MALT : *Mucosa Associated Lymphoid Tissue*.

MM : matières minérales.

MS : matière sèche.

MYXV : virus myxomateux.

NALT : *Nasal Associated Lymphoid Tissue*.

NDF : *Neutral Detergent Fibre*.

OIE : Organisation mondiale de la santé animale (auparavant Office international des épizooties).

ONCFS : Office national de la chasse et de la faune sauvage.

ORL : oto-rhino-laryngologie (la sphère ORL désigne la zone anatomique oreilles-nez-gorge).

PCR : *Polymerase Chain Reaction* (réaction de polymérisation en chaîne).

PD : protéine digestible.

pg : picogramme.

PGE : prostaglandine E.

PGF2 $\alpha$  : prostaglandine F2 $\alpha$ .

Pm : poids métabolique.

PM : phéromone mammaire.

PMSG : *Pregnant Mare Serum Gonadotropin*.

ppb : signifie « partie par billion », par exemple 1 ppb = 1 mg par tonne.

ppm : partie par million, par exemple 1 ppm = 1 g par tonne.

PV : poids vif.

REML : *Restricted Maximum Likelihood* (maximum de vraisemblance restreinte).

REPEC : *E. coli* entéropathogènes du lapin.

RHD : *Rabbit Haemorrhagic Disease* (maladie hémorragique virale du lapin).

SFV : virus du fibrome de Shope.

SNP : *Single Nucleotid Polymorphism*.

TDF : *Total Dietary Fibre*.

UFC : unité formant colonie.

VHD : *Viral Haemorrhagic Disease* (maladie hémorragique virale).

# Index

---

2-méthyl-2-buténal 128

17 $\beta$ -œstradiol 97

## A

Abcès 185, 186, 207, 208, 209

Abreuvement 167

Acaricide 216

Acariens 217

Accouplement 55, 229

*Acid Detergent Fibre* 149

*Acid Detergent Lignin* 149

Acide acétique 200, 201

Acides aminés 147

Acides gras volatils (AGV) 46

Acrosome 58, 67

ADN 30

Adoption 123

Agouti 23, 25

AGV 51

Albinisme 26

Alimentation 56, 137

Allaitement 121

Allaitement contrôlé 97, 98, 122

Allèle 26, 228

Alopécie 191

Amidon 46, 146

Ammoniac 34

Ampoule 16

Angora 26, 29, 36

Annotation du génome 248

Anœstrus 87

Anorexie 214

Antibiogramme 194, 200

Antibiothérapie 194

Antibiotique 40, 202

Anticorps 2, 72

Anti-inflammatoires 194

Antrum 20

Aoûtat 217

Apnée 192

Appareil respiratoire 33

Appendice cæcal 21

Appendice vermiforme 38

Archées 49

Argenté Anglais 27

Argenté de Champagne 29

Arthrites 208

Arthropodes 208

Atélectasie 192

Audition 42

Autorenouvellement 247

Auto-vaccin 195

Avermectines 216

Avortements 202

Azote non protéique 147

## B

Bacitracine 207

Bactérie anaérobie 200

Bactéries 50

Ballonnement 206

Barbes 25

Bélier 27

Benzimidazoles 218

Besoins nutritionnels 144, 146

Biofilm 223

Biosécurité 209, 215, 219, 221

Biostimulations 92, 94, 96

Biotechnologies 100

Blanc de Chine 27

Blanc de Vienne 26

Blastocyste 68, 102

Boîte-à-nid 71, 119

Boîtes contact 222



*Bordetella bronchiseptica* 184  
 Bordetellose 184  
 Bouchon vaginal 83  
 Boutons de gale 216  
 Bradypnée 192  
 Bronchite 184, 210  
 Bronchopneumonies 210  
 Butyrate 51

## C

Cæcotrophes 20, 46, 52, 143  
 Cæcotrophie 13, 137, 139, 144, 148  
 Cæcum 21, 38  
 Calcium 158  
 Calicivirus 213  
 Californien 26, 29  
 Canal pancréatique 20  
 Canines 15  
 Capacitation 58  
 Capacité utérine 236  
 Caractères sexuels secondaires 60  
 Caractéristiques biologiques 90  
 Cartographie génétique 248  
 Caséines 40  
 Castorrex 29  
 Cellules de Leydig 61  
 Cellulose 148  
 Cellulose brute 148  
 Centre d'insémination 158  
 Cervix 60, 70  
 Chassie 191  
 Cheylétielles 217  
 Chinchilla 26  
 Chlore 159  
 Chromosomes 227  
 Clapiers 24  
 Clonage 100, 104  
*Clostridium piliforme* 201  
*Clostridium spiroforme* 200  
 Coccidies 219  
 Coccidiose 195, 203  
 Coccidiose hépatique 204  
 Coccidioses intestinales 203  
 Coccidiostatiques 204  
 Colibacilles 11  
 Colidysbactériose 196-197  
 Collecte des embryons 101  
 Côlon 46  
 Côlon distal 21

Côlon proximal 20  
 Colostrum 39, 72  
 Comportement alimentaire 137, 143  
 Comportement maternel 120  
 Comportement sexuel 55  
 Comportements sociaux 114  
 Conduite en bande 77  
 Conduite « tout plein-tout vide » 83  
 Congélation 102  
 Congélation de la semence 100  
 Conjunctivite 184, 188, 210  
 Consanguinité 233  
 Conservation de ressources génétiques 100  
 Coprocultures 196  
 Coprophagie 138  
*Corana radiata* 67  
 Corne utérine 16, 236  
 Corps jaune 63, 66, 88, 95  
 Corrélacion génétique 229  
 Coryza 33, 184  
 Couleur 25  
 Croisement 234  
 Croissance 146  
 Croissance folliculaire 64, 97, 101  
 Cryobanque nationale lapins 103  
 Cryoprotecteurs 102  
*Ctenocephalides canis* 217  
 Cuivre 159  
 Cyanose 192  
 Cycle œstrien 65  
 Cysticerque 219

## D

Dacryocystite 210  
 Décontamination 221  
 Défauts de gestation 86  
 De Graaf 62  
 Délivrance 119  
 Densité 42  
 Dentelle utérine 69  
 D'entérites non spécifiques 196  
 Dents 15  
 Dépilations 216, 218  
 Dératisation 220  
 Désinfectant 221  
 Désinsectisation 220  
 Diagnostic 70  
 Diarrhée 198, 202, 203, 205  
 Diastème 15

Digestibilité 148  
 Digestion 46  
 Diploïde 228  
 Dispersion natale 133  
 Domestication 24  
 Dose optimale 92  
 Durabilité 164  
 Dureté 164  
 Dutch 26  
 Duvets 25  
 Dyspnée 184, 192

## E

Eau 43, 167, 220  
 Eau (analyse de l') 223  
*E. coli* 197  
 ED 156  
 Effets directs 236  
 Effets maternels 236  
*Eimeria* 203  
 Éjaculation 64, 83  
 Embryon 45, 68  
 Énergie digestible 146  
*English* 26  
 Entérites non spécifiques 197  
 Entérocolite épizootique du lapin 205  
 Entéropathie épizootique 195  
 Entérotoxémie 200  
 Entérotoxines 198  
 Enzymes spécifiques 47  
 Épididyme 56  
 Épiphora 191  
 Épistaxis 191  
 Estomac 20  
 État physiologique 87, 92, 94, 101  
 Eucaryotes 49

## F

Facteurs génétiques 93  
 Fauve de Bourgogne 29  
 Fèces dures 138  
 Fécondation 56, 58, 60, 61, 67, 89, 103  
 Fécondité 29  
 Femelle 55  
 Femelle parentale 28, 246  
 Femelles grands-parentales 247  
 Fer 159  
 Fertilité 87, 99

Fertilité optimale 92  
 Fibres alimentaires 46, 140, 146, 148  
 Fibres textiles 26  
 Fibrome de Shope 187, 190  
*Fitness* 123  
 Flagelle 58  
 Flore 1  
 Flore barrière 48  
*Flushing* alimentaire 98, 151, 170  
 Foetus 69  
 Foie 21, 219  
 Follicule de De Graaf 65-66  
*Follicule Stimulating Hormone* 60  
 Folliculite 186  
 Forages 223  
 Formule dentaire 15  
 Fourrure 25, 178  
 Fréquence d'ovulation 86  
 FSH 101  
 Fundus 20  
*Fusus coli* 21

## G

Galactopoïèse 72  
 Gale 216  
 Gale des oreilles 216  
 Gales du corps 216  
 Gamètes 60, 227  
 Garenne 24, 108, 118  
 Géant 27  
 Géant Blanc du Bouscat 29  
 Géant des Flandres 29  
 Géant Espagnol 29  
 Géant Papillon Français 29  
 Gène 30  
 Généalogies 242  
 Génétique 227-229  
 Génome 30, 227  
 Génotypage 231  
 Génotypique 228  
 Gestation 45, 55, 69, 118, 153  
 Glandes mammaires 45  
 Glandes préputiales 16  
 Globules blancs 38  
 Globules polaires 104  
 Globules rouges 45  
 GnRH 85, 88, 97  
 Gonadotropines 64  
 Gouttelette cytoplasmique 56, 59

Grand Chinchilla 30  
 Grand Russe 26  
*Graphidium strigosum* 218  
 Grattage 167, 216  
 Groupe social 114

**H**

*Haemodipsus ventricosus* 217  
 Haploïdes 227  
 Hématies 38  
 Hémicelluloses 148  
 Hémochorial 69  
 Hémorragies 214  
 Hépatite 214  
 Héritabilité 91, 228  
 Hétérosis 93, 235  
 Hétéropermie 92  
 Hétérozygotie 235  
 Hiérarchie 107  
 Himalayan 26, 27  
 Hollandais 26  
 Homéostasie 43  
 Homogénéité 236  
 Homospermie 90, 92  
 Homozygotie 233  
 Hormones 60  
 Hygiène 40  
 Hypophyse 60  
 Hypothalamus 60  
 Hypoxie 194

**I**

Immunité 37, 213  
 Immunoglobulines 39  
 Implantation 70, 101  
 Incisives 15  
 Indexation 229  
 Indice de consommation 237  
 Ingestion 137  
 Ingestion énergétique 141  
 Insectes 189, 217, 220  
 Insémination artificielle 16, 66, 82, 89, 93, 210  
 Intensité d'ovulation 86, 89  
 Intestin 38  
 Intestin grêle 20  
 Isthme 16  
*Ixodes ricinus* 217

**J**

Japonais 29  
 Jarres 25  
 Jetage 184, 188  
 Jeunes femelles 150, 155  
 Jonction utéro-tubaire 16

**K**

*Klebsiella pneumoniae* 185, 202  
 Kystes 219

**L**

Label AB 175  
 Laboratoire 196  
 Lactation 72, 87, 89, 153  
 Lactogénèse 73  
 Lactose 74  
 Lagomorphes 13, 15, 22  
 Lait 40, 47, 73  
 Langue 43  
 Lapin Angora 178  
 Lapin de chair 235  
 Lapin de garenne 187, 209, 213, 216, 218  
 Lapin fourrure 178  
 Lapin nain 217  
 Larves 217, 219  
 Laurices 24  
*Leporaria* 24  
*Leporidae* 22  
*Lepus* 22  
 Leucocytes 38  
 LH 97  
 Libido 91  
 Lièvre 210, 216  
 Lièvre Belge 30  
 Lignée 28  
 Lignines 148  
 Lipase gastrique 48  
 Lipides 46, 146  
*Locus* 199, 227  
 Longévité 237  
*Luteinizing Hormone* 60  
 Lutéolyse 66, 88

**M**

Macrophages 38  
 Maladie de Tyzzer 201  
 Maladie hémorragique virale 213

Mâle 55, 157  
 Mamelle 72, 208, 210  
 Mammites 185  
 Mammogénèse 73  
 Marqueurs génétiques 30  
 Maternelles 235  
 Maturation folliculaire 64  
 Maturité sexuelle 89  
 Maux de pattes 186, 208  
 Méiose 227  
 Mélange d'odorants 130  
 Mélanges hétérospermiques 85, 92  
 Méthane 50  
 Métrites 185  
 Microbiote 1, 46  
*Microsporium canis* 218  
 Minéraux 158  
 Mise-bas 70, 71  
 Morbidité 240  
 Mortalité 240  
 Mortinatalité 236  
 Morula 68, 102  
 Motiles 90  
 Motilité 57, 60, 83, 91  
 Mouches 217  
 Mucus 206  
 Multipares 92  
 Muscle 15  
 Mutations 25, 249  
 Mycobactérie 187  
 Mycoplasmoses 185  
 Mycotoxines 165  
 Myxomatose 11, 187, 208  
 Myxomes 188, 208

## N

Nains de couleur 30  
 Néo-Zélandais 26  
 Nettoyage 221  
*Neutral Detergent Fibre* 148  
 Nez 43  
 Nicard 27  
 Nid 118, 208  
 Nidicoles 118  
*Notoedres* 216  
 Nullipares 16, 71, 87, 99

## O

Ocytocine 60, 67, 121

Odorat 42  
 Œil 42  
 Œsophage 19  
 Œstrogènes 60, 63, 89, 95  
 Œstrus 60, 64, 87  
 Œuf 68  
 Olfaction 118  
 Oligoéléments 159  
 Omoplate 14  
 Oocystes 196, 203, 204  
 Organogénèse 69  
*Oryctolagus cuniculus* 22  
 Otacariose 216  
 Othématome 216  
 Otite 184, 209  
 Ovaire 16, 45, 70  
 Oviducte 16, 58, 60, 67  
 Ovogénèse 16, 61  
 Ovulation 55, 67  
 Ovule 62, 65, 227  
 Oxyure 205, 218

## P

Palpation 70  
 Pancréas 21  
 Papillon 26  
 Papillon Anglais 30  
 Parasites 216  
 Parasites internes 218  
 Parentale 235  
 Parité 87, 97  
 Parturition 71  
*Passalurus ambiguus* 205, 218  
*Pasteurella multocida* 184, 209  
 Pasteurellose 184, 209, 241  
 Paternelles 235  
 Pavillon 16  
 Pelage 25, 34  
 Péricardite 210  
 Péritonite 185, 210  
 Péroné 14  
 Petit Chinchilla 30  
 Petit Russe 26  
 Phénols 203  
 Phénotypique 228  
 Phéromone mammaire 129  
 Phlegmons 207, 210  
 Phosphore 43, 158  
 Photopériode 97

Pièce intermédiaire 58  
 Placenta 45, 68  
 Plaques de Peyer 20, 38  
 Plasma 43  
 Plasma séminal 58  
 Pleurésie 184, 210  
 Pleuropneumonies 210  
 PMSG 92, 94  
 Pneumonie 184-185  
 Pneumopathie 214  
 Pneumothorax 192  
 Pododermatite 186, 208, 218  
 Poids métabolique 152  
 Poils 34  
 Polonais 30  
 Polynucléaires 39  
 Polypnée 192  
 Polytoque 87  
 Portée 71  
 Potabilisation 223  
 Potassium 158  
 Poumons 33, 183, 184  
 Poux 217  
 Poxvirus 190  
 Précocité 29  
 Premix 160  
 Primipares 87, 88, 97, 128  
 Production spermatique 90  
 Productivité 93  
 Productivité numérique 235  
 Progestérone 60, 63, 66, 67, 70, 88, 89, 96  
 Progrès génétique 100, 231, 242  
 Prolactine 97  
 Prolificté 28, 29, 87, 235  
 Prostaglandine 60, 66, 95  
 Prostate 18  
 Prostration 214  
 Protéines 46, 147  
 Protozoaires 49, 219  
 Prurit 216, 217  
 Pseudogestation 66, 88  
*Psoroptes* 216  
 Puberté 55, 77  
 Puces 217  
 Puits 223  
 Pustule 186, 208  
 Pyélopnéphrites 210  
 Pyomètres 185, 210

## Q

Quarantaine 220

## R

Rabouillère 115  
 Race 25, 27  
 Rate 214  
 Ratio PD  
 Réaction acrosomiale 67  
 Réaction inflammatoire 39  
 Réceptives 88  
 Réceptivité sexuelle 64, 87, 89, 93, 95-99  
 Recommandations 150  
 Reins 43  
 Rejets 237  
 Rendement de carcasse 238  
 Réponse immunitaire 37  
 Reproduction 56  
 Réserves lipidiques 36  
 Réservoirs 219  
 Résistance aux maladies 240  
 Respiration 33  
*Rete testis* 57  
 Rex 26, 36  
 RHD 213  
 RHDV 213  
 RHDV2 213  
 Rhinite 43  
 Rongeurs 15, 220  
 Rotavirus 197, 206  
 Rythme cardiaque 34  
 Rythme circadien 121  
 Rythme de reproduction 65, 80, 88, 93, 98  
 Rythme respiratoire 34  
 Rythmes de collecte 91

## S

*Sacculus rotundus* 38  
 Saison 91  
 Salpingites 210  
 Sang 45  
 Sarcoptes 216  
 Satin 27, 29  
 Sélection 228, 231  
 Sélection canalisante 236  
 Sélection génomique 249  
 Semence 58, 158



Séparation mère-jeunes 96  
 Séquençage 231, 248  
 Séro-biotypage 199, 200  
 Sérotype O103 199  
 Sevrage 124, 140, 198, 200, 201  
 Sexe des spermatozoïdes 100, 103  
 Sialorrhées 191  
*Single Nucleotid Polymorphism* 248  
 Sinus 33, 183, 184  
 Sinusite 195  
 SNP 30  
 Sodium 158  
 Souches 27  
 Soufre 159  
 Spermatogénèse 17, 56  
 Spermatozoïde 55, 56, 58, 67, 91, 227, 238  
 Sperme 55  
*Spilopsyllus cuniculi* 217  
 Spores 218  
 Sporulation 203  
 Squames 218  
 Squamosis 217  
 Stade de lactation 88  
 Staphylococcie 186, 208  
*Staphylococcus aureus* 186  
 Staphylocoques 11  
 Stimulation lumineuse 97  
 Stress 195  
 Strongles 219  
 Substances pectiques 148  
 Sulfamides 204  
 Superovulation 101  
 Survie des jeunes 236  
 Survie embryonnaire 86, 89  
*Sylvilagus* 22  
 Système immunitaire 38  
 Système lymphoïde 37  
 Système nerveux 31

## T

*Taenia pisiformis* 219  
 Taux de fécondation 86  
 Taux d'ovulation 65  
 TDF 52  
 Teigne 218  
 Terrier 108, 118  
 Testicules 17, 55  
 Tétée 63, 138  
 Tétracycline 202

Thermorégulation 34  
 Thymus 214  
 Tiamuline 207  
 Tibia 14  
 Tiques 217  
*Total Dietary Fibre* 148  
 Tout plein-tout vide 110, 221  
 Toxine 200  
 Trachéites 210  
 Transfert de gènes 100, 104  
 Transfert d'embryons 100, 101, 102  
 Transit digestif 148  
 Transit épидидymaire 57  
 Trichobezoard 178  
*Trichophyton mentagrophytes* 218  
 Troubles digestifs 149, 241  
*Trueperella* 213  
 Tuberculose 187

## U

Urètre 18  
 Urine 43  
 Utérus 45, 58, 60, 67

## V

Vaccination 190, 215  
 Vaccins 41, 215  
 Vagin 45  
 Vagin artificiel 83  
 Valeur génétique 230  
 Variabilité génétique 30  
 Variance phénotypique 229  
 Vecteurs 214, 219  
 Ver rond 205, 218  
 Vers 218  
 Vésicule biliaire 20  
 VHD 213  
 Vibrisses 43  
 Vide sanitaire 202, 209, 222  
 Virus 213  
 Vision 42

## Z

Zinc 159  
 Zoonose 218  
 Zoonotiques 202



## Liste des auteurs

---

Daniel ALLAIN

Inra Toulouse, UMR 1388 GenPhySE, CS 31326 Castanet-Tolosan cedex

Stéphane BERTAGNOLI

École nationale vétérinaire de Toulouse, UMR IHAP, 23 chemin des Capelles,  
BP 87614, 31076 Toulouse cedex 3

Laure BIGNON

Itavi, Centre Inra de Tours, 37390 Nouzilly

Samuel BOUCHER

Labovet Conseil, BP539, rue Olivier de Serres, 85505 Les Herbiers

Sylvie COMBES

Inra Toulouse, UMR 1388 GenPhySE, CS 31326 Castanet-Tolosan cedex

Gérard COUREAUD

CNRL, Équipe Codage et Mémoire Olfactive, Inserm U1028 - CNRS UMR  
5292 - UCBLyon1, 50 avenue Tony Garnier, 69366 Lyon cedex 07 (ancienne  
adresse : Centre des Sciences du Goût et de l'Alimentation, UMR 6265 CNRS,  
UMR 1324 INRA, Université de Bourgogne-Franche Comté, Dijon)

Chantal DAVOUST

InVivo Nutrition et Santé Animales, INZO, rue de l'Eglise, Chierry CS 90019,  
02402 Château-Thierry cedex

Anouk DECORS

Office national de la chasse et de la faune sauvage, Direction de la Recherche  
et de l'Expertise, Unité sanitaire de la faune, 5 rue Saint-Thibaud, Domaine  
de Saint-Benoît, 78610 Auffargis

Benoît DILÉ

Labovet Conseil, rue des Forges, ZI Evre et Loire, 49600 Beaupréau

Paul DORCHIES

MixScience, Centre d'affaire Odyssée, ZAC Cicé Blossac,  
CS17228, 35172 Bruz cedex

Joël DUPERRAY

Evalis France-InVivo NSA, Talhouet, 56250 Saint-Nolff

Hubert FERTÉ

EA4688, « Vecpar », Faculté de Pharmacie, Université de Reims  
Champagne-Ardenne, 51 rue Cognacq-Jay, 51096 Reims cedex

Laurence FORTUN-LAMOTHE

Inra Toulouse, UMR 1388 GenPhySE, CS 31326 Castanet-Tolosan cedex

Emmanuel FOURNIER

Eurolap Eurl, Le Germillan, BP 21, 35140 Gosné

Hervé GARREAU

Inra Toulouse, UMR 1388 GenPhySE, CS 31326 Castanet-Tolosan cedex

Thierry GIDENNE

Inra Toulouse, UMR 1388 GenPhySE, CS 31326 Castanet-Tolosan cedex

Mélanie GUNIA

Inra Toulouse, UMR 1388 GenPhySE, CS 31326 Castanet-Tolosan cedex

Ghislaine LE GALL-RECUÉ

Anses, Laboratoire de Ploufragan-Plouzané, Site de Ploufragan,

41 rue Beaucemaine, BP 53, 22440 Ploufragan

Bernadette LE NORMAND

Clinique vétérinaire des Marches de Bretagne, 47 boulevard Leclerc,

35460 St-Brice-en-Cogles

François LEBAS

Cuniculture, 87A chemin de Lasserre, 31450 Corronsac

Stéphane MARCHANDEAU

Office National de la Chasse et de la Faune Sauvage, Unité FP, Parc

de la Rivière, 8 boulevard Albert Einstein, CS 42355, 44323 Nantes cedex 3

Didier MARLIER

Faculté Vétérinaire, Quartier Vallée, 2 boulevard de Colonster, 180, 4000 Liège, Belgique

Gwenaël REBOURS

Techna, BP 10, 44220 Couëron

Heiko G. RÖDEL

Laboratoire d'Éthologie Expérimentale et Comparée, EA 4443, Université

Paris 13, Sorbonne Paris Cité, 99 avenue J.B. Clément, 93430 Villetaneuse

Davi SAVIETTO

Inra Toulouse, UMR 1388 GenPhySE, CS 31326 Castanet-Tolosan cedex

Michèle THEAU-CLÉMENT

64, chemin del prat, 31320 Auzeville-Tolosane (ancienne adresse :

Inra Toulouse, UMR 1388 GenPhySE, CS 31326 Castanet-Tolosan cedex)

Angélique TRAVEL

Itavi, Centre Inra de Tours, 37390 Nouzilly

Mise en page : Desk  
Édition : Yann Lézénès  
Impression : Sepec  
Dépôt légal : décembre 2015





La cuniculture, ou élevage du lapin, se développe au niveau mondial, particulièrement en Asie, mais aussi en Afrique. Animal de rente (viande, toison, fourrure) ou de compagnie, le lapin fait également l'objet d'un intérêt scientifique croissant, cette espèce étant utilisée comme modèle d'étude dans des disciplines diverses (génétique, physiologie, éthologie, neurosciences, médecine, etc.).

Premier manuel spécifiquement consacré à la biologie cunicole, cet ouvrage raconte l'histoire du lapin domestique et synthétise les connaissances actuelles. Sont d'abord décrits l'anatomie, la physiologie et la reproduction, puis le comportement, la nutrition, ainsi que les différentes pathologies. Les races et la génétique cunicole sont ensuite présentées.

Cet ouvrage apporte également des recommandations concrètes de pratiques d'élevage cunicole, tant pour l'élevage familial que professionnel, ou encore pour le lapin de compagnie. La rédaction a été assurée, dans chaque domaine, par un collège de chercheurs, d'enseignants et de professionnels, dont les compétences et l'expertise sont reconnues.

Destiné aux professionnels comme aux amateurs éclairés, ainsi qu'aux enseignants, étudiants et scientifiques, il permettra aux lecteurs de comprendre comment la biologie de cet animal module les techniques de l'élevage cunicole.

Directeur de recherche à l'Inra, **Thierry Gidenne** a consacré son activité professionnelle aux systèmes cunicoles. Avec son équipe, il a transmis son expérience dans plus d'une centaine d'articles scientifiques et dans de nombreuses synthèses sur l'alimentation et la nutrition cunicole. Il est très impliqué au niveau national et international dans la diffusion des connaissances sur la cuniculture.

En couverture, rond central : © Mathias Appel ; petits ronds haut et bas : © Chantal Davoust ; petit rond central : © Emmanuel Fournier.



35 €

ISBN : 978-2-7592-2416-6

éditions  
**Quæ**

 **INRA**  
SCIENCE & IMPACT



Éditions Cirad, Ifremer, Inra, Irstea  
[www.quae.com](http://www.quae.com)

ISSN : 1952-1251  
Réf. : 02512