

Les besoins vitaminiques du Lapin

François LEBAS

Directeur de Recherches
INRA, Station de Recherches Cunicoles, BP 27
31326 Castanet-Tolosan Cedex France
courriel : lebas@toulouse.inra.fr

DÉFINITIONS ET RÔLE PRINCIPAL

Les vitamines sont des substances organiques sans valeur énergétique propre, qui sont nécessaires à l'organisme et que l'animal (ou l'homme) ne peut pas synthétiser. En fait, cette synthèse n'est pas possible du tout pour certaines vitamines, elle est seulement quantitativement insuffisante pour d'autres. Elles sont donc fournies à l'animal 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 faible dose, en particulier comme co-enzymes ou précurseurs de co-enzymes dans la régulation des processus métaboliques. Par contre les vitamines ne sont jamais incorporées comme élément constitutif de l'organisme, et n'ont le plus généralement aucune parenté chimique entre elles.

On considère généralement 13 substances ou groupes de substances comme des vitamines. Les principales molécules ayant une activité vitaminique sont listées dans le tableau 1. Elles ont été classées avec des lettres avec éventuellement des numéros additionnels en fonction de l'ordre de leur découverte. Suivant les cas, elles sont couramment désignées soit par la lettre (avec ou sans numéro) soit par le nom de la molécule ayant cette activité vitaminique. Les "trous" dans la nomenclature correspondent à des substances que l'on avait classées parmi les vitamines lors de leur découvertes et qui se sont avérées ensuite ne pas correspondre à la définition rappelée plus haut (en général elles sont synthétisées par l'organisme en quantité suffisante). A ce jour l'industrie chimique sait synthétiser toutes les vitamines connues.

Tableau 1 : Liste des principales substances à activité vitaminique et nom des molécules. Le nom d'usage courant est indiqué **en gras**.

Nom de la vitamine	Noms chimiques
Vitamine A	Rétinol - rétinal - rétinyl ester - acide rétinoïque -(bêta-carotène = provitamine A)
Vitamine D	Ergocalciférol (D ₂) - Cholécalficérol (D ₃)
Vitamine E	alpha-Tocophérol - bêta-Tocophérol - gamma-Tocophérol - etc
Vitamine K	Phylloquinone (K ₁) - Ménaquinone (K ₂) - Ménadione (K ₃)
Vitamine B₁	Thiamine
Vitamine B₂	Riboflavine
Vitamine B ₃ ou PP	Acide nicotinique - Nicotinamide - Niacine
Vitamine B ₅	Acide Pantothénique
Vitamine B₆	Pyridoxine - Pyridoxal - Pyridoxamine
Vitamine B ₈ ou H	Biotine
Vitamine B ₉	Acide Folique - acide ptéroylglutamique - famille des acides ptéroïques
Vitamine B₁₂	Cyanocobalamine - Aquocobalamine - Hydroxocobalamine
Vitamine C	Acide ascorbique - Acide déhydroascorbique

On classe le plus souvent les vitamines en fonction de leur solubilité : les 9 vitamines solubles dans l'eau sont celles du groupe B et la vitamine C, les 4 vitamines solubles dans les lipides (huiles, graisses) sont les vitamines A, D, E et K. Ces propriétés fondamentales ont une forte

influence sur le comportement de ces molécules à l'extérieur de l'organisme (mode de distribution et nature des supports) comme à l'intérieur (site et processus d'absorption intestinale).

Seules les vitamines A, D, E, B₁₂ et l'acide folique sont stockées dans l'organisme: la vitamine A dans le foie, la vitamine D dans les graisses et les muscles, de même que la vitamine E qui est aussi mise en réserve dans le foie. La vitamine B₁₂ et l'acide folique sont également stockés dans le foie.

LES PRINCIPALES FONCTIONS DES VITAMINES

Les vitamines liposolubles

La vitamine A : Elle 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 bêta-carotène, dont la molécule doit être scindée en 2 dans l'organisme animal pour acquérir une activité vitaminique A. Une dizaine d'autres molécules caroténoïdes sont aussi des pro-vitamine A (alpha-carotène, cryptoxanthine,...).

La vitamine D : 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 D₂) et le cholécaliférol (vitamine D₃).

La vitamine E : La vitamine E est un antioxydant, elle protège donc les membranes cellulaires, d'autant mieux qu'elle en stabilise les lipides. Elle intervient aussi dans la fonction de reproduction. On connaît au moins 7 formes moléculaires de tocophérols se différenciant par le nombre et la position des groupement méthyl (-CH₃) sur la molécule. Ils sont distingués par une lettre grecque (alpha, bêta, gamma, etc.) en fonction de l'ordre décroissant de leur activité vitaminique E.

La vitamine K : Il s'agit d'une substance antihémorragique, indispensable à la synthèse, dans le foie, des protéines de la coagulation sanguine. Il existe deux formes équivalentes de vitamine K, l'une d'origine végétale la phylloquinone ou vitamine K₁ et l'autre d'origine bactérienne la ménaquinone ou vitamine K₂. La ménadione de synthèse (vitamine K₃) a la même activité que les vitamines naturelles, en ce qui concerne la coagulation du moins.

Les vitamines hydrosolubles

La vitamine B₁ ou thiamine : La vitamine B₁ est la première vitamine qui a été décrite. Elle intervient dans le métabolisme des sucres et dans la transmission de l'influx nerveux.

La vitamine B₂ ou riboflavine : Ce pigment jaune intervient dans divers métabolismes, en particulier celui des graisses, souvent en synergie avec d'autres vitamines B. L'un de ses rôles principaux est d'intervenir le transport d'hydrogène et les processus d'oxydoréduction en général.

La vitamine PP ou niacine : Elle intervient principalement dans la respiration cellulaire (échanges d'ions hydrogène par NAD et NADP).

L'acide pantothénique : Constituant du co-enzyme A, c'est un élément important des acétylations (entre autre pour la synthèse des acides gras). Il intervient aussi dans la synthèse de l'hémoglobine.

La vitamine B₆ : Elle intervient dans le métabolisme des acides aminés (désamination, transamination, ...), mais aussi dans celui des graisses et du cholestérol. Elle a également un rôle dans le fonctionnement du système nerveux.

La biotine : Elle intervient dans les transferts de CO₂ et dans les réactions de désamination et de transamination.

L'acide folique : Il intervient dans la formation, la croissance et la division des cellules. Il joue aussi un rôle important dans les processus de méthylation.

La vitamine B12 : Elle intervient dans la formation des cellules sanguines, et notamment des globules rouges.

La vitamine C : Elle intervient entre autres dans l'oxydoréduction, la protection des cellules vis-à-vis de certaines substances toxiques. Ses autres pôles d'action sont le cartilage, le collagène, l'œil, le système de défense de l'organisme, etc.

LES VITAMINES HYDROSOLUBLES ET LE LAPIN

La flore digestive du lapin synthétise des quantités importantes de vitamines hydrosolubles. Leur mise à la disposition de l'organisme du lapin se fait en partie par absorption dans les segments postérieurs du tube digestif; mais surtout les vitamines synthétisées dans les corps bactériens sont rendues disponibles par la pratique de la caecotrophie (ingestion et lyse des bactéries). De cette manière, la totalité des besoins en vitamines du groupe B et en vitamine C est couverte pour les lapins à l'entretien comme pour ceux ayant une productivité moyenne.

Les Vitamines du groupe B

Des essais anciens réalisés au cours des années 60-70 ont montré que des lapins à croissance "rapide" pouvaient répondre positivement à des supplémentations en certaines vitamines du groupe B telles que B₁ et B₆ (1-2 ppm), B₂ (6 ppm) et acide nicotinique (30-60 ppm). Par contre, il a été impossible de carencer des lapins en acide folique, en acide pantothénique ou en vitamine B₁₂. Mais ces résultats ont été acquis avec des rations qui seraient jugées inadéquates aujourd'hui. C'est pourquoi de nouveaux travaux seraient nécessaires dans ce domaine pour confirmer les recommandations pour les lapins à forte productivité.

En ce qui concerne la choline parfois ajoutée à la liste des vitamines, un besoin minimum avait été chiffré en 1957 à 0,12% de la ration, mais ces données avaient été établies sur des rations semi-synthétiques dont l'équilibre n'est pas pleinement satisfaisant à la lumière des données actuelles. Dans la mesure où la ration des lapins apporte des quantités suffisantes de méthionine et d'acide folique, la choline nécessaire à l'organisme est synthétisée par transméthylation à partir de la méthionine et il ne semble pas nécessaire de prévoir un apport dans l'alimentation des lapins. Par mesure de prudence, certains nutritionnistes conseillent cependant d'effectuer un apport de 200 ppm de choline dans l'alimentation des lapins.

Chez le lapin souffrant de perturbations du fonctionnement digestif (diarrhées, ...), la fabrication et l'ingestion des caecotrophes n'ont plus lieu. De ce fait les vitamines synthétisées par la flore cæcale ne sont plus disponibles pour le lapin. Or le stockage des vitamines hydrosolubles est très faible, à l'exception de la vitamine B₁₂. Il paraît donc nécessaire d'apporter dans l'alimentation de ce type de lapins à risques, les vitamines du groupe B nécessaires au métabolisme des animaux. C'est ce qui justifie les apports de vitamines du groupe B dans les aliments de sevrage, une période particulièrement délicate où les troubles digestifs sont fréquents. Cependant à ce jour, aucune preuve directe expérimentale n'a été fournie à l'appui de cette pratique fondée seulement sur le raisonnement et des observations indirectes.

La Vitamine C

Une étude réalisée en 1956 a démontré que grâce aux synthèses réalisées par la flore digestive, une ration ne contenant pas de vitamine C permet un développement tout à fait normal des lapins étudiés de 6 à 31 semaines. La teneur en vitamine C des organes qui s'accroît d'ailleurs avec l'âge

qu'il y ait ou non supplémentation, est cependant plus élevés chez les lapins recevant 50 mg d'acide ascorbique par jour que chez ceux n'en recevant pas, comme l'indiquent les valeurs du tableau 2.

Tableau 2: Teneur en vitamine C des organes de lapins ayant reçu de 6 à 31 semaines d'âge un apport de vitamine C nul (témoin) ou de 50 mg/jour sous forme d'acide ascorbique ou de chou (d'après Harris et al., 1956)

teneurs en mg/100 g	Source de vitamine C alimentaire		
	Témoin	A. ascorbique	Chou
▪ Surrénales	236	246	363
▪ Foie	16	19	24
▪ Sang	0,9	1,4	1,5

Les travaux anciens datant de 1935 avaient montré qu'une addition de 1 g de vitamine C à la ration quotidienne (environ 1%), n'entraîne aucun effet positif ou négatif sur les performances de croissance de lapins recevant une alimentation par ailleurs équilibrée. Par contre, en situation de stress, il a été suggéré qu'une addition de vitamine C puisse avoir un effet bénéfique sur la santé des lapins. Cette suggestion est basée en particulier sur l'inhibition de la production de toxine par *Clostridium spiroforme*, constatée lorsque de la vitamine C est introduite *in vitro*, dans la culture bactérienne. De plus, il a aussi été montré qu'un stress thermique prolongé (8 jours à 32°C) ou un stress sonore, entraînent une réduction du taux de vitamine C dans le sang, laissant penser à un besoin plus élevé chez les lapins stressés.

A l'appui de cette théorie suggérant l'intérêt d'un apport externe de vitamine C chez les lapins stressés, des travaux réalisés en 1997 en République Tchèque ont montré que chez des lapins élevés à 25°C, c'est à dire un peu au-dessus de l'optimum de température, un apport de 30 mg de vitamine C par animal *via* l'eau de boisson deux fois par semaine, réduit significativement la mortalité des lapins en croissance ($P < 0,025$), sans modifier la croissance des animaux, ni leur efficacité à digérer la ration. De même, en 1992 il a été montré en Égypte qu'un apport quotidien de 25 mg de vitamine C chez des femelles reproductrices élevées en été (variation de 23° à 32°C entre la nuit et le jour) réduit significativement la mortalité ainsi que les pertes de lapereaux constatées au cours de la première semaine postnatale. Cet effet favorable est d'ailleurs renforcé en présence de vitamine E (25 mg/jour).

A l'inverse, un apport de 1% de vitamine C dans l'aliment accroît le besoin en cuivre : ainsi avec un tel apport un aliment contenant 3 ppm de cuivre d'avère carencé entraînant les mêmes symptômes qu'un aliment contenant seulement 2 ppm de cuivre mais sans addition de vitamine. Les recommandations pratiques pour le cuivre étant de 5 à 15 ppm selon les auteurs, le risque de carence en cuivre par excès de vitamine C peut être négligé, et nous ne retiendrons que les effets bénéfiques potentiels de tels apports chez les lapins en situation de stress (25 à 30 mg de vitamine C par animal et par jour). Cependant il faut souligner que la fragilité de la molécule rend délicate son incorporation aux aliments granulés. Pour que la vitamine C reste active, son incorporation doit être faite sous forme protégée. Par contre, son introduction dans l'eau de boisson ne pose pas de problème majeur.

LES VITAMINES LIPOSOLUBLES ET LE LAPIN

La Vitamine A

Le besoin quotidien de vitamine A pour une croissance maximum serait de 8 à 12 µg/kg de poids vif (PV) pour la croissance et de 20 µg/kg PV pour la lapine en reproduction. Par contre, un apport quotidien de 40 à 50 µg/kg PV serait nécessaire pour assurer le maintien d'une pression normale du liquide cébrospinal.

Compte tenu d'une ingestion alimentaire quotidienne de 50 à 100 g/kg PV en fonction du stade physiologique (aliment contenant 88 à 90% de matière sèche), ces différents besoins sont couverts par un aliment contenant 3000 UI de vitamine A par kg (1 UI = 0,3 µg de rétinol). En raison de la sensibilité de la vitamine A à l'oxydation, des additions un peu plus élevées, de l'ordre de 6000 à 10000 UI de vitamine A par kg, sont recommandables pour les aliments commerciaux.

L'apport de vitamine A peut être efficacement réalisé sous forme de β-carotène. La muqueuse intestinale des lapins convertit le β-carotène en rétinol: chaque molécule de β-carotène est coupée en 2 et donne naissance à une seule molécule de rétinol. Ainsi 0,6 µg de β-carotène conduisent à la libération de 0,3 µg (1 UI) de vitamine A. La muqueuse intestinale est capable de transformer quotidiennement, de 750 à 2500 µg de β-carotène en vitamine A, par kg de poids vif. Après conversion, cela représente au minimum 375 µg de rétinol par kg de poids vif, soit environ 10 fois les besoins quotidiens en vitamine A. En conséquence, on peut admettre que la totalité des besoins de vitamine A puisse être couverte par le β-carotène alimentaire. Par contre la conversion intestinale, et donc l'intégrité de la muqueuse, sont nécessaires puisque même avec des apports conséquents de β-carotène (40 à 100 mg/kg d'aliment) il n'est pas possible de déceler de β-carotène au niveau du sang, du foie ou des ovaires.

La toxicité de la vitamine A a fait l'objet d'assez nombreux travaux en raison de la regrettable habitude de certains éleveurs qui ajoutent un cocktail vitaminique dans l'eau de boisson de leurs lapins dès qu'ils considèrent que leurs animaux sont "affaiblis". Comme indiqué plus haut, tous les besoins en vitamine A sont couverts déjà par une ration additionnée de 3000 UI de vitamine A par kg et la quasi-totalité des aliments commerciaux sont plus largement supplémentés par 10 000 UI de vitamine A par kg, en sus des apports de β-carotène provenant des matières premières. Dans un aliment contenant 20% de luzerne déshydratée, cette dernière apporte à elle seule sous forme de β-carotène, au minimum l'équivalent de 20 000 à 30 000 UI de vitamine A /kg, soit déjà 10 fois le besoin. C'est dire que tout apport supplémentaire de vitamine A par l'eau de boisson est un non-sens en terme de couverture des besoins des animaux, mais en plus cela peut conduire à une intoxication par la vitamine A.

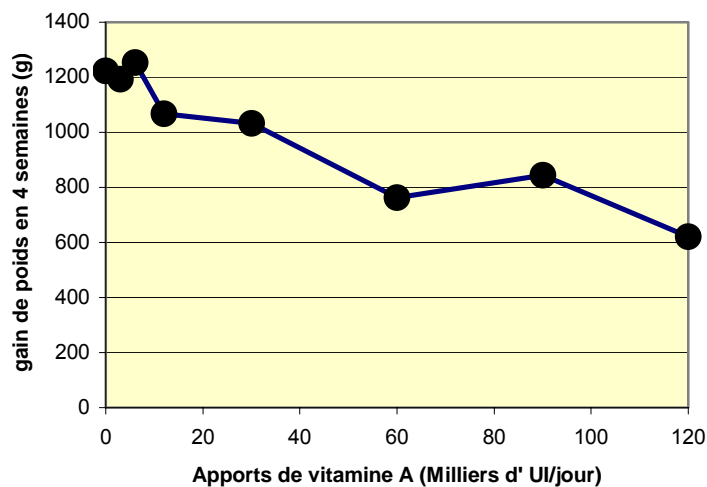
En effet, le foie des lapins peut stocker de grandes quantités de vitamine A (de 100 000 à 200 000 UI par foie), mais lorsqu'il arrive à saturation, de l'ester de rétinol est libéré dans le flux sanguin et les signes de toxicité peuvent se développer. Ainsi, une quantité de vitamine A supérieure à 150 000 UI dans le foie d'une lapine doit être considérée le signe de son intoxication par la vitamine A. D'autres auteurs ont déterminé les seuils de carence et de toxicité de la vitamine A à partir des proportions de palmitate de vitamine A et de rétinol du sérum sanguin, à partir d'une expérimentation dans laquelle des apports variés de palmitate de vitamine A avaient été mis en œuvre. Cette dernière méthodologie par analyse du sérum évite d'avoir à sacrifier l'animal seulement pour savoir s'il était carencé ou recevait un aliment trop chargé en vitamine A. Lorsque dans le sérum la proportions de vitamine A sous forme de palmitate est faible ($6,2 \pm 1,8$ %) et celle sous forme de rétinol est élevée ($92,9 \pm 3,5$), les apports de vitamine A sont satisfaisant. Il faut considérer que les lapins sont à la limite de la carence en vitamine A lorsque le palmitate de vitamine A est situé entre 8 et 21% et que le taux de rétinol représente entre 73 et 89% de la vitamine A sérique totale. Il y a intoxication par la vitamine A quand, dans le sérum sanguin, le pourcentage de palmitate de vitamine A dépasse 21% et que celui de rétinol est inférieur à 73%.

Une addition expérimentale de 190 000 UI de vitamine A /kg d'aliment s'est traduite chez les lapines gestantes, entre autre, par des avortements, la naissance de lapereaux hydrocéphales le plus souvent mort-nés (mêmes symptômes que ceux de la carence en vitamine A) et par une très mauvaise viabilité des lapereaux nés vivants. Par contre, aucun symptôme externe n'était visible chez les lapines elles-mêmes, ni d'ailleurs chez des lapereaux en croissance recevant le même aliment surchargé vitamine A.

Une concentration vraiment excessive de vitamine A peut réduire toutefois la croissance des lapins comme le montre le travail rapporté sur la figure 1. Dans ce travail conduit avec un nombre limité

de lapins par lot (8 lapereaux de 6 semaine par lot au départ), l'altération est significative à partir d'un apport de 12 000 UI par animal et par jour, ce qui, compte tenu de la teneur du régime de base correspondrait à un aliment contenant environ 100 000 UI par kg, soit 10 fois la recommandation actuelle. A l'inverse, il convient de souligner qu'un apport de 120 000 UI par jour correspondant à un aliment contenant environ 800 000 UI / kg (soit près de 100 fois la recommandation) ne réduit la croissance que de moitié, ce qui démontre une relativement bonne tolérance des lapins en croissance par rapport aux excès de vitamine A.

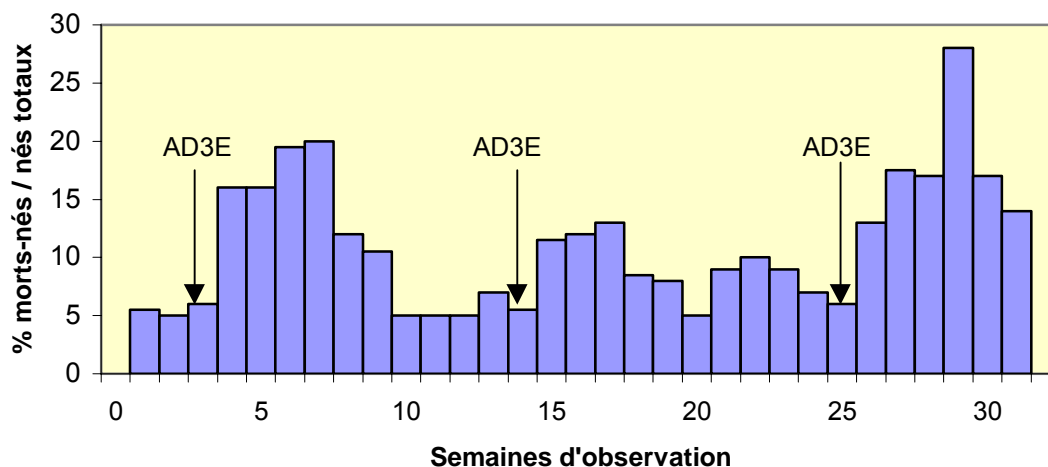
Figure 1 : Gain de poids vif en 5 semaines de lapins alimentés avec un régime de base contenant 13 200 UI de vitamine A par kg et recevant des doses croissantes de vitamine A par voie orale (palmitate de rétinol ; apport de 0 - 3000 - 6000 - 12000 - 30000 - 60000 ou 120000 UI de vitamine A par animal et par jour), d'après Ismail et collaborateurs (1992).



Les risques liés aux apports excessifs ne sont pas observés que dans des cas expérimentaux. Ainsi, lors d'une observation de terrain réalisée aux USA, on a montré qu'un aliment commercial contenant (à la suite d'une erreur de manipulation ?) 102 000 UI de vitamine A par kg au lieu des 6 000 à 10 000 UI/kg classiquement conseillés, a entraîné des résorptions fœtales, des avortements et un taux anormal de mortalité. Les lapereaux morts-nés avaient eu un développement anormal avec une forte présence d'hydrocéphalies, de microencéphalie et de fentes palatines.

Un autre exemple des effets néfastes des apports "intempestifs" de vitamines, ici *via* l'eau de boisson des lapines reproductrices, est donné sur la figure 2. Il s'agit d'un "traitement" périodique par un cocktail AD₃E effectué dans l'eau de boisson dans un élevage français. La mortalité des lapereaux s'accroît dramatiquement au cours des 2 à 4 semaines suivant chaque traitement. Il n'est pas possible de déterminer formellement s'il s'agit d'un effet de l'une ou l'autre des 3 vitamines du cocktail; mais une très forte présomption pèse sur la vitamine A compte tenu des symptômes propres à l'excès de vitamine A (mortalité élevée avec présence de lapereaux hydrocéphales), du délai généralement plus long de la réponse aux excès de vitamine D et de l'absence de toxicité de la vitamine E.

Figure 2 : Évolution du pourcentage de lapereaux morts-nés au cours de 31 semaines d'observation dans un élevage de terrain de 150 mères produisant en moyenne 55 lapereaux sevrés par lapine et par an. Des traitements de vitamines AD₃E étaient effectués dans l'eau de boisson en principe tous les 3 mois, sur l'ensemble du cheptel.



Différents efforts ont été tentés au cours des années 80 pour démontrer l'existence chez la lapine d'un besoin spécifique en β -carotène, indépendant de celui de la vitamine A, comme cela avait été démontré chez la vache. Mais dans les différents travaux publiés, la supplémentation en vitamine A du lot témoin, était toujours nettement supérieure aux recommandations classiques: 20 000 UI à 30 000 UI de vitamine A /kg d'aliment, et/ou la valeur absolue des performances du lot témoin était médiocre. En outre, il n'y avait dans ces travaux pas de d'analyse statistique des résultats, ce qui en complique l'interprétation. Quand une analyse statistique a été possible *a posteriori* sur les données, nous avons montré que les différences n'atteignaient pas les seuils classiques de signification. En plus, dans l'une des études les auteurs ont mesuré la teneur en vitamine A du foie des lapines après 7 gestations successives. Ils ont trouvé 186 000 UI /foie dans lot témoin et 54 490 UI /foie dans le lot supplémenté en β -carotène, or comme déjà mentionné plus haut, une teneur supérieure à 150 000 UI /foie doit être considérée comme un signe d'intoxication par la vitamine A; ceci conduit donc à penser que les lapines du lot témoin étaient intoxiquées par un excès de vitamine A (supplémentation par 30 000 UI/kg d'aliment), et alors le β -carotène aurait un rôle bénéfique, au moins sur le sur-stockage hépatique, par un mécanisme hypothétique dont les modalités restent à démontrer.

Dans un travail plus récent publié en 1992 en Italie, des chercheurs ont par contre plus clairement montré un effet positif d'un apport de β -carotène supplémentaire sur la reproduction des lapines (59 mg/kg vs 27 mg/kg pour le témoin; apport de vitamine A de 18 000 UI/kg). Ils ont constaté un accroissement de la taille de la portée à la naissance (9,82 nés vivants par portée vs 8,60), du pourcentage d'inséminations fécondes (78,1% vs 73,2%) et poids global plus élevé des portées lors du contrôle à 55 jours (13,72 kg vs 12,87 kg). Des travaux sont cependant encore nécessaires pour confirmer ce dernier résultat, en particulier avec des apports en gamme, de manière à pouvoir déterminer un éventuel optimum ou un minimum pour l'apport de β -carotène. En effet, dans leur travail sur le rôle respectif du β -carotène et de la vitamine A sur différents aspects de la physiologie de la reproduction chez la femelle, des auteurs autrichiens soit n'ont pas trouvé d'effet à un apport de β -carotène de 40 ppm, soit ils ont trouvé un effet qu'ils ont assimilé à celui correspondant strictement au métabolisme de la vitamine A.

La Vitamine D

Les besoins quotidiens en vitamine D, n'ont pas été clairement établis, mais d'après les travaux datant de 1974, une valeur de 10-13 UI/kg PV peut être proposée (1 UI = 0,025 μ g de vitamine

D₃). Ce niveau est celui employé pour le lot témoin dans une étude sur les effets de la carence en vitamine D. Cet apport quotidien peut être fourni en principe par un aliment contenant 100 à 200 UI de vitamine D par kg. Cependant les résultats réalisées à l'INRA en 1982, montrent qu'un apport de 300 UI par kg d'aliment est encore insuffisant. En tout état de cause, un aliment commercial supplémenté par 600 à 1000 UI /kg couvre très correctement les besoins des lapins. En cas de carence en vitamine D, l'absorption intestinale apparente du calcium et du phosphore n'est pas modifiée. Par contre l'excrétion rénale du calcium est réduite, ce qui conduit à un bilan brut ingéré-excrété plus favorable chez les animaux carencés que chez ceux recevant un supplément normal de vitamine D₃, mais bien d'autres paramètres du métabolisme minéral sont altérés.

Comme pour la vitamine A, le problème majeur rencontré dans les élevages avec la vitamine D, est celui de sa toxicité. L'une des raisons est l'utilisation par les éleveurs de cocktails vitaminiques AD₃ ajoutés à l'eau de boisson, comme déjà indiqué. L'autre raison a été longtemps une supplémentation excessive des aliments commerciaux. Les symptômes de l'excès de vitamine D - c'est à dire la calcification des tissus mous, en particulier de l'aorte, des reins,...- ont été observés avec des rations expérimentales contenant 3 250 UI de vitamine D /kg. Ce risque est accru si la teneur en calcium de la ration est située au-dessus de celle couvrant les besoins (plus de 1,2-1,3%). Il convient de souligner que dans une étude avec des apports croissants de vitamine D₃, la croissance à moyen terme des lapins (suivie pendant 70 jours) a été plus élevée avec l'aliment qui contenait 6 250 UI de vitamine D₃ qu'avec ceux contenant des doses plus faibles (1 250 ou 3 250 UI/kg) alors que des signes de calcification de l'aorte et des reins étaient visibles à partir de 4 semaines et surtout après 8 semaines d'expérience avec ce régime permettant la croissance maximum.

Une administration expérimentale de 10 000 UI de vitamine D₃ par lapine pendant 3 jours en fin de gestation (du 26^{ème} au 28^{ème} jour) fait passer le taux de fœtus trouvés morts à 29 jours, de 2,8% pour le témoin à 17,9% pour le lot traité. Un résultat similaire a été observé après des injections de 10 000 UI ou 100 000 UI de vitamine D₂ effectuées tous les 2 jours pendant les 28 premiers jours de la gestation des lapines. Enfin, la distribution d'un aliment contenant 5 000 UI de vitamine D /kg accroît significativement la calcification de la paroi de l'aorte chez l'adulte.

Ces différents résultats démontrent que des apports supplémentaires de vitamine D (dans l'eau de boisson ou dans l'aliment) peuvent présenter des inconvénients, sans espoir d'amélioration de la productivité. En pratique, les apports de vitamine D dans les aliments commerciaux devraient se situer entre 800 et 1 000 UI par kg et ne jamais dépasser 2 000 UI/kg.

Des problèmes d'anorexie, de soif intense, d'ataxie locomotrice (lapins "nageurs") et de mortalité ont été rencontrés dans des élevages de production canadiens utilisant un aliment contenant 7 230 UI de vitamine D /kg. A l'autopsie, il y avait calcification des petites et moyennes artères du cœur, de l'aorte, du foie, des surrénales et de la rate, ainsi qu'une nette altération de la minéralisation et de la structure des os. Des problèmes similaires ont été rencontrés aux USA avec des aliments contenant 13 200 UI de vitamine D. Cependant en cas de constatation de calcification de l'aorte chez lapins adultes il faut rester prudent avant de conclure à une hypervitaminose D. En effet, nous avons montré à l'occasion de l'abattage d'un troupeau de l'INRA en fin d'expérience mené en conduite classique, que sans manifestation externe quelconque, ce trouble métabolique pouvait atteindre plus de 40% des lapines ayant plus de 2 ans, sans que les apports de vitamine D, de calcium ou de phosphore n'aient dépassé les recommandations (1 000 UI/kg pour la vitamine D); la proportion de lapines ayant une calcification de l'aorte était de 1,5% chez les celles de moins d'un an et de 28% chez celles qui avaient été sacrifiées après une à deux années de carrière.

Enfin, les travaux conduits dans les années 80-90 ont montré que chez le lapin, la vitamine D₃ (1,25(OH)₂D₃) est un peu plus toxique (génératrice de calcinose) que la vitamine D₂ et que les métabolites 1α(OH)D₃ et 1α(OH)D₂ sont moitié moins toxiques que la vitamine elle-même, contrairement à ce qui est observé chez le rat. Par contre, les effets de la vitamine D₃ et de son ester palmitique sur la calcification des tissus mous sont similaires.

La Vitamine E

Le besoin quotidien en vitamine E (dl- α -tocophérol) a été estimé entre 0,32 et 1,4 mg /kg de poids vif. L'isomère d serait plus efficace que l'isomère l en raison d'une élimination du corps plus rapide pour la forme l- α -tocophérol.

La quantité minimum de vitamine E nécessaire est fournie par l'ingestion d'un aliment contenant au moins 25 mg de vitamine E /kg. Un aliment n'en contenant que 15 mg/kg doit être considéré comme déficient. Aussi, une supplémentation des aliments par 40 à 50 mg de vitamine E par kg est-elle recommandée.

Le symptôme le plus classique de la carence en vitamine E est la dystrophie musculaire. Si celle-ci se traduit par des troubles de la locomotion, elle peut aussi entraîner la mort soudaine des lapins sans signe clinique; dans ce cas, la mort est la conséquence d'une atteinte du muscle cardiaque. De nombreux cas de forte mortalité dans des élevages espagnols ont ainsi été constatés en 1988-89 en raison d'une carence en vitamine E dans les aliments commerciaux utilisés. Cette carence pourrait être en relation avec l'emploi de foin de luzerne nettement plus pauvre en vitamine E (40 mg/kg) que la luzerne déshydratée (120 mg/kg selon les tables INRA, voire 200 mg/kg selon les tables américaines). La luzerne déshydratée s'avère être d'ailleurs une bonne source de vitamine E puisqu'elle contient 10 à 20 fois plus de vitamine E que les autres matières premières courantes. Ainsi, 25% de luzerne dans un aliment apportent 30 à 50 mg de vitamine E par kg d'aliment, et couvrent ainsi les besoins. L'emploi de fortes proportions de luzerne dans les aliments fabriqués en France peut expliquer l'introduction très variable de vitamine E dans les aliments commerciaux (de 0 à 50 mg de vitamine ajoutée par kg selon les marques et les périodes), sans que des troubles de carence n'apparaissent. Mais les observations espagnoles rapportées plus haut sont là pour rappeler que l'absence de supplémentation ou un apport très faible comportent un risque si la luzerne ne contient pas la quantité de vitamine E attendue. Or la teneur en vitamine E ne fait pas partie des normes contractuelles lors de la commercialisation des luzernes déshydratées ou séchées-soleil.

En 1989, il a été signalé aux USA des élevages carencés en vitamine E, où les symptômes étaient ceux de la dystrophie musculaire déjà décrits (locomotion, cœur,...) mais où a été constatée aussi, une altération de la reproduction: réduction du taux de gestation et forte augmentation des avortements et de la mortalité *peri-partum*. La situation de ces élevages a été redressée par une distribution d'huile de germe de blé, riche en vitamine E. Le rôle favorable de la vitamine E pour la reproduction du mâle a été aussi démontrée, en particulier lors de fortes chaleurs. Un apport de 40 mg de vitamine par kg d'aliment, combiné avec du sélénium, permet de réduire l'effet du stress de chaleur sur la concentration spermatique et le taux de testostérone.

Enfin, contrairement à ce qui a été décrit plus haut pour les vitamines A et D, aucune travail n'a jamais décrit d'effet qui pourrait être relié à un excès de vitamine E.

Compte tenu de cette bonne tolérance du lapin (comme des autres espèces animales) aux teneurs élevées en vitamine E et de la fonction antioxydante de cette vitamine, de nombreux essais ont été faits pour réduire la vitesse d'oxydation des lipides lors de la conservation des viandes, par un apport massif de vitamine E dans l'aliment. Bien que certains auteurs se posent ouvertement la question de savoir si la vitamine E (testée dans leurs essais jusqu'à 500 mg/kg d'aliment) joue bien chez le lapin le rôle classique d'antioxydant vis à vis des acides gras à chaîne longue de type *n-3*, des réductions pratiques de la vitesse d'oxydation des lipides des viandes crues comme cuites ont bien été observées avec des apports de 200 mg/ kg d'aliment, comparativement à un apport de 50 mg/kg. En outre cette addition améliore la qualité des viandes (amélioration de la tendreté et de la capacité de rétention d'eau). Par contre des apports de 200 mg/kg ne modifient ni les performances de croissance des lapins, ni le rendement à l'abattage.

Cette fonction antioxydante a aussi été largement expérimentée, généralement avec succès, en tant qu'élément hypocholestérolémiant. Par exemple, des auteurs américains ont expérimenté avec un apport de 1% de vitamine E (10 000 mg/kg); ils ont effectivement démontré l'effet

hypocholestérolémiant de la vitamine E chez le lapin, mais ils ont aussi et surtout démontré la très bonne tolérance des lapins vis à vis d'apports massifs de cette vitamine. Par ailleurs, la vitamine E a un effet bénéfique sur les défenses immunitaires des lapins comme des autres espèces, cet effet semble exacerbé en présence de sélénium.

La Vitamine K

La vitamine K était connue, principalement pour son implication dans la synthèse des facteurs de coagulation du sang. Des rôles plus nombreux lui sont désormais attribués. Cette vitamine est synthétisée en quantités importantes par la flore digestive, ce qui couvre en principe les besoins quotidiens des lapins, à condition une fois encore qu'il n'y ait pas de trouble digestif. Cependant, il y a un certain nombre d'années nous avons involontairement provoqué une carence en vitamine K lors de la distribution à des lapines reproductrices, d'aliments semi-purifiés à base de tourteau de soja, d'amidon et de cellulose purifiée. Cette carence s'est développée sans trouble digestif et donc avec une flore "normale". Elle s'est traduite par un taux plus élevé d'avortements comme cela avait été décrit antérieurement et surtout par un accroissement dramatique du temps de coagulation chez les lapereaux nouveau-nés. La carence a rapidement disparu après introduction de 2 ppm de vitamine K dans l'aliment expérimental.

Compte tenu de l'apport de vitamine K par les fourrages de la ration, en particulier par la luzerne déshydratée (20-25 ppm), le risque de carence peut être négligé dans la pratique. Toutefois certains nutritionnistes conseillent d'effectuer une supplémentation en vitamine K (2 à 5 ppm) dès lors qu'il y a, par exemple, une coccidiose sub-clinique, l'usage fréquent de sulfamides ou une forte antibiothérapie prolongée.

Recommandations pratiques et notion de risque

Dans le tableau 3, nous avons résumé les recommandations de supplémentation qu'il est possible de faire actuellement. Compte tenu du petit nombre de publications prenant en compte les stades physiologiques, nous avons mentionné des apports qui peuvent être utilisés pour toutes les catégories de lapins, qu'il s'agisse de lapins en croissance, de lapines reproductrices ou de mâles adultes. Nous avons ajouté dans le tableau les limites connues pour les apports minimum et maximum qui ont été expérimentés sans trouble apparent. Nous avons aussi ajouté les teneurs connues pour provoquer soit une carence soit des effets toxiques, lorsqu'elles ont été déterminées.

Tableau 3 : *Recommandations pratiques pour les apports vitaminiques dans le aliments complets équilibrés pour lapins (Lebas , 2000).*

Vitamines (unité par kg ou ppm)	Supplémentation conseillée	Supplémentations utilisées sans trouble (aliments non purifiés)		Teneurs dans les aliments associées à des troubles	
		mini	maxi	carence	toxicité
Vitamine A (rétinol UI)	10 000 (1)	6 000	20 000	2 000	100 000
Vitamine D (UI)	1 000	600	2 000	300	3 500
Vitamine E (ppm)	50	25	10 000	17	(2)
Vitamine K (ppm)	2	0	5	0	(2)
Vit. B1 (thiamine, ppm)	2 (3)	0	(5)	-	200
Vit. B2 (riboflavine, ppm)	6 (3)	0	(5)	-	(5)
Nicotinamide (vit PP, ppm)	30 (3)	0	(5)	-	(5)
Acide pantothénique (ppm)	20 (3)	0	(5)	-	(5)
Vit B6 (pyridoxine, ppm)	4 (3)	0	(5)	-	(5)
Acide folique (ppm)	1 (3)	0	(5)	-	(5)
Vit. B12 (ppm)	0,02 (3)	0	(5)	-	(5)
Biotine (ppm)	0,10 (3)	0	(5)	-	(5)
Choline (ppm)	200 (3)	0	(5)	-	(5)
				-	
Vitamine C (ppm)	250 (4)	0	10 000	-	(2)

(1) peut être fourni par 30 ppm de β -carotène. Pas de toxicité connue du β -carotène

(2) pas d'effet néfaste connu associé à un apport massif.

(3) apport conseillé en cas de risque élevé de troubles digestifs (post-sevrage, ...)

(4) conseillé en situation de stress (chaleur, ...) à incorporer sous forme protégée.

(5) Pas de travail disponible sur des doses fortes à très fortes, mais le risque d'intoxication par excès de vitamine du groupe B est très faible en raison de faible capacité de stockage dans l'organisme des vitamines de ce groupe.