



18èmes Journées de la Recherche Cunicole

Nantes 27-28 mai 2019

LEBAS F., 2019. *Besoins en iode du lapin : Carence, excès, recommandations* – *Revue bibliographique* . 18^{èmes} Journées de la Recherche Cunicole, 27 – 28 mai 2019, Nantes, France , 112-118

Texte complet

+

Ficher de présentation orale

Besoins en iode du lapin : Carence, excès, recommandations – Revue bibliographique

Lebas F.

Cuniculture, 87 A Chemin de Lasserre , 31450 Corronsac

Correspondant : lebas@cuniculture.info

Résumé : Jusque dans les années 2010, les auteurs de revues de nutrition considéraient qu'il n'y avait aucun travail scientifique publié permettant de chiffrer les besoins en iode des lapins. Des publications récentes avec des apports en gamme, permettent de fixer le besoin minimum des jeunes en croissance à 0,7-0,9 mg d'iode par kg d'aliment fini. Pour les lapines allaitantes, la valeur de 0,9 mg/kg est proposée et 0,4 mg/kg couvrent les besoins en iode des lapins adultes au repos ou des lapines en gestation. La limite supérieure de sécurité au delà de laquelle les performances commencent à être dégradées, est de 2,0 à 2,5 mg/kg d'aliment, valeur nettement inférieure au maximum légal de 10 mg I/kg applicable en Europe aux aliments pour lapins. Cette revue fournit la teneur moyenne en iode d'un quarantaine de matières premières courantes entant dans les aliments pour lapins. Leur teneur varie généralement entre 0,05 et 0,10 mg d'iode /kg, valeurs tout à fait insuffisantes pour couvrir les besoins, et nécessitant donc une supplémentation en iode. Toutefois quelques matières premières comme la mélasse, le carbonate de calcium, la farine de poisson ou les coquilles d'huitre ont des teneurs sensiblement plus fortes en iode : de 1 à 10 mg/kg. Une attention toute particulière doit être portée à la teneur en iode de l'aliment fini en cas d'inclusion d'algues parmi les matières premières. En effet leur teneur peut varier de 1 mg/kg à 10 g/kg de matière sèche (1%) dans le cas des laminaires. Enfin, il est rappelé que le sel de mer brut (non iodé artificiellement) contient de très faibles quantités d'iode (<2 voire <0,7 mg/kg de sel selon les auteurs), teneur notoirement insuffisantes pour couvrir les besoins en iode des lapins.

Abstract : - Iodine requirements of rabbits : deficiency, excess and recommendations – A review - Until the 2010s, the authors of nutrition reviews considered that there was no published scientific paper able to quantify the rabbit's needs for iodine. Recent publications with progressive iodine additions make it possible to set the minimum requirement for growing rabbits at 0.7-0.9 mg of iodine per kg of finished feed. For lactating does, the value of 0.9 mg I / kg is proposed and 0.4 mg I / kg covers the iodine requirements of adult rabbits at rest or of pregnant does. The upper safety limit beyond which performance begins to be degraded is 2.0 to 2.5 mg I / kg of feed, well below the legal maximum of 10 mg / kg applicable in Europe to rabbit feeds. This review provides the average iodine content of some 40 common raw materials used in rabbit feeding. Their content generally varies between 0.05 and 0.10 mg iodine / kg, values quite insufficient to cover the needs, and thus requiring iodine supplementation. However some raw materials such as molasses, calcium carbonate, fish meal or oyster shells have significantly higher levels of iodine: 1 to 10 mg / kg. Special attention should be given to the iodine content of the finished feeds when using algae among the raw materials of the feed. Indeed their content may vary from 1 mg / kg to 10 g / kg of dry matter (1%) in the case of laminaria. Finally, it is recalled that raw sea salt (not artificially iodized) contains very small amounts of iodine (<2 or <0.7 mg / kg of salt according to the authors), which are notoriously insufficient to cover rabbit iodine requirements.

Introduction

Les revues récentes sur les besoins alimentaires du lapin (Halls, 2010, Mateos et al., 2010) soulignent qu'il n'existe pas d'étude sur le besoin en iode, qu'il s'agisse de lapins en croissance ou en reproduction. Les recommandations disponibles dans la littérature sont basées surtout sur l'observation des apports pratiques appliqués aux aliments commerciaux. Elles varient de 0,2 à 1,1 mg/kg d'aliment pour le lapin en croissance comme pour les lapines allaitantes (voir la revue de Mateos et al., 2010). Des observations et des travaux récents ont apporté un nouvel éclairage sur les besoins en iode des lapins. En les confrontant aux résultats antérieurs il nous a semblé possible d'arriver à déterminer les besoins effectifs des lapins et de faire des recommandations basées sur des mesures expérimentales.

Rôle de l'iode dans le métabolisme

L'iode est un élément constitutif des deux hormones thyroïdiennes T3 (3-iodothyronine) et T4 (thyroxine). Celles-ci sont des hormones clé du métabolisme

énergétique (glucides, lipides, protéines) L'iode permet de faire fonctionner le métabolisme de la thyroïde et par conséquent l'organisme en général. La vitesse du métabolisme général de l'organisme du lapin, des animaux en général, est calculée sur celle du métabolisme de la thyroïde : sans iode, pas d'hormones thyroïdiennes. L'iode est donc un élément indispensable et en cas de carence, le métabolisme est d'autant plus ralenti que la carence est marquée. Outre son rôle essentiel dans le fonctionnement de la thyroïde, l'iode intervient aussi directement dans l'athérosclérose. Ainsi chez des lapins adultes supplémentés en cholestérol, la distribution d'iode [à forte dose], protège les artères contre le dépôt de cholestérol, indépendamment du rôle de la T4 (Cann, 2006). Enfin l'iode joue le rôle d'antioxydant dans l'organisme, particulièrement au niveau oculaire (Elstner et al., 1985 ; Llin et Nersesyan, 2013)

Carence en iode

En cas carence en iode, la thyroïde se développe exagérément, le signe extérieur évident est l'apparition

d'un goitre. Mais attention, le goitre peut avoir pour origine d'autres problèmes métaboliques, y compris l'excès d'iode comme cela est observé chez l'homme au Japon ou dans une partie de la Chine (Eastmann et Zimmermann, 2018)

La relation entre carence en iode et apparition du goitre chez l'homme a été établie dès le début du 19^e siècle (Coindet, 1821). Chez le lapin, la relation goitre et carence en iode a été décrite pour la première fois par Webster et Chesnay en 1930, en relation avec la consommation exclusive de chou.

En cas d'hypothyroïdie les teneurs sanguines en T3 et en T4 sont faibles et en même temps l'hypophyse produit de fortes quantités de TSH, l'hormone stimulant le fonctionnement de la thyroïde, pour essayer de lui faire produire plus de T3 et de T4.

Besoin minimum : suppression de la carence

En 1958 Keener et Thacker, ont montré qu'un trèfle cultivé aux USA sur un sol hyperfertilisé était carencé en iode pour les jeunes bovins et les lapins. Sa teneur en iode était de 0,035 mg d'iode/kg. Un apport d'iodure de potassium (KI) fournissant 0,25 mg d'iode par kg d'aliment avait supprimé l'hyperthyroïdie associée à la distribution aux lapins d'une ration contenant 75% de ce trèfle carencé, la ration ne contenant que 0,032 mg I/kg d'aliment fini.

En 2010 Liu et al, ont montré qu'un aliment ne contenant que 0,22 mg d'iode par kg est encore déficient en iode pour les lapins de 1 à 2 mois. Effectivement, bien que les lapins n'aient aucun trouble apparent avec 0,22 mg d'iode/kg, une supplémentation de 0,1 ou mieux 0,5 mg d'iode /kg d'aliment améliore significativement ($P < 0,05$) la vitesse de croissance des animaux ainsi que le taux sanguin d'immunoglobulines A, d'hormone T3 mais pas celui de la T4. La supplémentation plus élevée (2,5 mg/kg d'aliment) ramène la vitesse de croissance à une valeur proche de celle du témoin, signe d'un apport un peu excessif. Selon ces auteurs, le besoin des jeunes lapins serait couvert par un aliment contenant 0,72 mg d'iode /kg.

L'ordre de grandeur de cette valeur est confirmé par un travail de Shen et al (2018). Ces auteurs ont en effet distribué pendant 60 jours à des lapins de 3 mois au départ, des suppléments en iodure de potassium fournissant 0,0 - 0,2 - 0,4 - 0,8 ou 1,6 mg I/kg d'un aliment qui contenait au départ 0,12 mg I/kg. Sur la base de la vitesse de croissance, de l'efficacité alimentaire et de la qualité de la fourrure (il s'agissait de lapins Rex) les auteurs ont conclu que la supplémentation optimum était de 0,8 mg I/kg, conduisant à un apport total de 0,92 mg I/kg de l'aliment distribué aux lapins. Une supplémentation plus élevée (1,6 mg I/kg) n'offre aucun avantage (tableau.1).

Une expérience similaire conduite avec des lapins de chair (Yang et al., 2007) arrive à la même conclusion avec un optimum à 0,925 mg I/kg d'aliment. Un tel niveau de supplémentation permet d'obtenir des taux de T3 ou de T4 significativement plus élevés que chez le témoin non supplémenté, ainsi qu'une teneur plus faible en TSH (Yang et al, 2008).

Tableau 1 : Performances de croissance de lapins Rex de 3 mois au départ recevant une supplémentation croissante d'iode (mg/kg d'aliment) pendant 60 jours (Shen et al., 2018)

Suppl. iode	0,0	0,20	0,40	0,80	1,60
Iode total	0,12	0,32	0,52	0,92	1,72
P. initial g	1741	1765	1732	1756	1754
P. final g	2885	2896	2921	3033	2901
Cons. g/j	173	180	181	184	180
Indice. Cons	9,22	9,34	9,19	8,81	9,27

Pour le lapin en croissance (1-3 mois) on peut donc admettre que le besoin en iode est couvert par un aliment contenant 0,7 à 0,9 mg d'iode par kg. Des apports plus élevés ne présentent aucun avantage.

Pour être complet, il faut mentionner le travail de Qin et al (2018) chez des lapins sub-adultes (4 mois au départ), montrant que la supplémentation d'un aliment (teneur de base de 0,36 mg I/kg) avec 0,2 - 2,0 ou 4,0 mg I/kg ne modifie pas la croissance des lapins ni les performances d'abattage. Par contre le taux de T3 circulant est réduit avec la supplémentation de 2 mg I/kg par rapport aux deux autres suppléments (0,2 et 4,0 mg/kg). Ainsi pour le jeune adulte le besoin minimum en iode semble couvert par un aliment contenant 0,36 mg d'iode par kg, et il pourrait tolérer des apports sensiblement plus importants allant jusqu'à 4 mg/kg.

Nous n'avons malheureusement pas trouvé dans la littérature internationale de travail expérimental similaire permettant d'estimer le besoin minimum en iode des lapines reproductrices. A défaut on pourra prendre la norme minimal retenue pour les lapins en croissance pour la lapine en gestation : 0,7 mg / kg d'aliment voire 0,4 mg/kg si on suit les observations de Qin et al. (2018) pour les lapins sub-adultes. Pour la lapine allaitante, compte tenu de l'exportation d'iode dans le lait, on pourra prendre pour recommandation minimal, la norme la plus élevée retenue pour les lapins en croissance, à savoir 0,9 mg I /kg aliment. Mais ces suggestions devront être confirmées par l'expérimentation.

Seuil de tolérance et toxicité de l'iode

Au cours des années 1960-70, plusieurs études ont été publiées sur la toxicité de l'iode chez le lapin. Par exemple, Arrington et al. (1965) ont montré que la lapine en fin de gestation est beaucoup plus sensible aux excès d'iode que le rat, le hamster ou le porc. Ainsi la distribution d'un aliment contenant 250 ou 500 mg d'iode par kg seulement 2 jours avant la mise bas entraîne une mortalité périnatale de 70%, mais tous les lapereaux vivants à 3 jours le sont encore à 28 jours (Tableau 2), démonstration d'une période d'hypersensibilité des fœtus à l'excès d'iode en fin de gestation. Effectivement, Logothetopoulos et Scott (1956) ont montré que la teneur en iode du sérum des fœtus est plus de 2 fois plus élevée que celui de leur mère, avec un pic atteignant une valeur 4 à 6 fois plus forte spécifiquement au 27^e jour de gestation, entraînant un décrochement des placentas lorsque l'apport d'iode de la mère est excessif.

Les mères par elles-mêmes ou les jeunes en croissance étaient moins, voire insensibles à ces apports massifs d'iode. Par exemple lorsque l'alimentation sur-dosée en iode a été retirée, les lapines expérimentales se sont par la suite reproduites normalement (Arrington et al. 1965).

Tableau 2 : Mortalité et croissance avant 28 jours des lapereaux issus de mères de race 'Hollandais' recevant un aliment supplémenté en iode distribué peu avant la mise bas (aliment témoin contenant 0,55 mg d'iode par kg – 5 à 20 mises bas par lot) (Arrington et al., 1965)

Supplément iode	Jours avant MB	Nés totaux /MB	Mortalité des lapereaux		Poids laperx 28 j.
			0-3 j.	3-28 j.	
témoin	-	4,3	9%	0%	465
250 mg/kg	2	6,2	70%	0%	395
500 mg/kg	2	4,5	71%	0%	302
500 mg/kg	5	4,2	97%	0%	313
500 mg/kg	10	4,8	100%	-	-

Des résultats proches de ceux de Arrington et al (1965) ont été obtenus par Lebas (1966) avec un apport excessif un peu plus faible de « seulement » 160 mg/kg chez des lapines Fauve de Bourgogne : le taux de mortalité a été multiplié par 2,5 (Tableau 3). Le poids des morts nés était significativement plus faible que celui des lapereaux nés vivants : 37 vs 52 g, preuve d'un mortalité *in utero* aux environs de 28 jours de gestation.

Tableau 3 : Performance à la mise bas de lapines ayant reçu en continu un aliment contenant 160 mg ou 1,6 mg d'iode par kg (témoin) (Lebas, 1966)

Lot	A	B	A/B
Teneur en iode (mg/kg)	160	1,6	100
Nombre de Mises Bas	198	79	-
Nés totaux / MB	8,52	9,63	0,88
Nés vivants / MB	5,68	8,52	0,67
Nés morts / MB	2,84	1,12	2,54
Portée totalement mortes	21%	3%	7,00

Limite supérieure de sécurité

Les informations anciennes sur les risques associés à un grand excès d'iode n'ont plus d'intérêt que pour résoudre d'éventuels cas d'intoxication accidentelle. En effet, depuis 2015 la teneur en iode dans les aliments pour animaux ne doit légalement pas dépasser 10 mg/kg (10 mg/kg) sauf pour les ruminants laitiers et les poules pondeuses 5 mg/kg, les poissons 20 mg/kg et les chevaux 4 mg/kg (Union Européenne, 2015). Ces seuils ont été déterminés essentiellement pour la protection des hommes consommant les produits issus de ces animaux (viande, lait, œufs, ...).

Il convient donc de déterminer si, pour le lapin, entre le besoin minimum proposé plus haut (0,4 à 0,9 mg/kg d'aliment selon le type de lapin) et la borne légale de 10 mg/kg, il existe un risque associable à un apport trop important d'iode.

Dans les études en gamme mentionnées plus haut, ayant permis de proposer un besoin minimum en iode (Liu et al., 2010 ; Shen et al., 2018) la gamme comportait une supplémentation, de 1,6 ou 2,5 mg/kg d'iode. Un apport

de 1,6 mg/kg n'a pas entraîné d'amélioration ni de détérioration des performances de croissance. Par contre, une supplémentation avec 2,5 mg/kg d'iode a entraîné une réduction significative des performances de croissance. Il semble donc raisonnable de proposer un apport maximum de 2 mg/kg d'aliment, valeur au-delà de laquelle il y a un risque de baisse des performances de croissance, mais sans accident notable pour la santé des lapins.

Le travail de Qin et al. (2018) avec des mâles Rex de plus de 4 mois n'a montré aucun effet de l'apport d'iode sur la croissance finale ou les performances d'abattage des lapins nourris avec un aliment supplémenté par 0,4 – 0,6 – 2,4 ou 4,4 mg I /kg ajoutés à un régime contenant 0,36 mg d'iode /kg. Par contre l'activité thyroïdienne des lapins était maximale avec l'aliment supplémenté par 2 mg I /kg, mais réduite avec la supplémentation plus élevée. Pour ces lapins sub-adultes l'apport total d'iode ne devrait donc pas dépasser 2 à 2,5 mg/kg d'iode.

Comme pour l'établissement du besoin minimum pour les lapins en croissance, nous n'avons pas trouvé de travail publié avec des lapines en reproduction proposant un apport maximum sur la base d'une supplémentation expérimentale en sel d'iode.

Toutefois Okab et al. (2013) ont donné 1% ou 2% d'une algue, la laitue de mer (*Ulva lactuca*), contenant 185 mg d'iode /kg d'algue, à des lapins reproducteurs. L'incorporation de l'algue dans l'aliment représente un apport de 1,85 ou 3,70 mg d'iode / kg d'aliment fini. Les auteurs n'ont observé aucun problème de reproduction particulier pour les 30 lapines expérimentales (10 par lot). Avec l'apport de 2% d'algue, certaines fonctions de reproduction des mâles ont été significativement améliorées (taux de testostérone, motilité des spermatozoïdes,...) tandis que d'autres étaient significativement dégradées (concertation du sperme, pourcentage de spermatozoïdes vivants, ...). Bien que les phénomènes décrits ne puissent être attribués exclusivement à la présence d'iode dans la laitue de mer, l'apport d'iode du régime de base étant de 0,2 mg/kg, il semble raisonnable de conseiller de ne pas dépasser une teneur totale d'iode de 2 mg/kg dans l'alimentation des lapins reproducteurs.

Ainsi, quelque soit le type de lapin considéré - en croissance, en reproduction ou adulte - il est conseillé de ne pas dépasser une teneur en iode de 2 mg par kg d'aliment.

Bien que ce point ne semble pas avoir fait l'objet d'études spécifiques chez le lapin, il convient de rappeler qu'un apport excessif d'iode provoque un hypothyroïdisme et l'apparition de goitre tout comme la carence en iode (Zimmerman et al., 2005). L'apparition d'un hyperthyroïdisme doit donc faire penser à un trouble du métabolisme de l'iode par carence ou excès. Dans ce cas, une analyse plus fine des conditions d'apparition du goitre doit donc être conduite avant de porter des conclusions.

Recommandations

Les recommandations pratiques pour la couverture des besoins en iode sont résumées dans le tableau 4.

Il semble important de souligner que les besoins minimum retenus ici sont plus importants que ceux proposés antérieurement par la majorité des auteurs : 0,2 à 0,5 mg I/kg (voir la revue de Mateos et al., 2010). D'un autre côté la limite supérieure de sécurité est nettement inférieure à la limite légale de 10 mg/kg maximum.

Tableau 4 : Apports d'iode minimum et maximum conseillés pour les lapins des différentes catégories, exprimés en mg d'iode par kg d'aliment

Catégories de lapins	Teneur minimum	Limite supérieure de sécurité
- Jeunes de 1 à 3 mois	0,7 - 0,9	2
- Sub-adultes 3-6 mois	0,4	2
- Reproducteurs	0,4 – 0,7	2
- Lapines allaitantes	0,9	2,5

Couverture pratique du besoin en iode.

Tableau 5 : Teneur en iode de diverses matières premières exprimée sauf exception en mg par kg d'aliment brut (source principale : Tables INRA-CIRAD-AFZ, 2019)

Matière première	Iode	Matière première	Iode	Matière première	Iode
Céréales		Graines entières		- Son de riz	0,30
- Avoine	0,10	- Lin	0,40	Produits divers	
- Blé dur	0,06	- Pois fourrager	0,30	- Brisures de riz	0,05
- Blé tendre	0,06	- Soja extrudé	0,09	- Farine de poisson type 62	3,00
- Maïs	0,09	Tourteaux		- Mélasse de betterave	1,00
- Orge	0,09	- de colza	0,09	- Mélasse de canne	4,00
- Sorgho	0,08	- de coprah	1,00	Minéraux	
- Triticale	0,09	- de lin	0,20	- Carbonate de calcium	3,00-
Sous produits industriels		- de palmiste	0,10	- Coquilles d'huitre	10,00
- Corn gluten feed	0,10	- de soja 48	0,10	- Iodate de calcium anhydre	65%
- Drèches distillerie blé orge	0,20	- de soja 50	0,20	- Iodure de potassium	76%
- DDGS	0,03	- de tournesol non décort.	0,09	- Sel de mer brut	< 2,0
- Pulpes de betterave	0,10	Sources de fibre		Algues et assimilés	
- Pulpes d'agrumes	0,09	- Herbe déshydratée	0,40	- <i>Laminaria</i> Spp	0,5-1%
- Remoulage bis de blé	0,09	- Luzerne 16-18% protéines	0,40	- <i>Schizochytrium</i> spp	1,6-185
- Son de blé	0,08	- Luzerne 22-25% protéines	0,70	- Spiruline (Cyanobactérie)	0,30-1,5
- Coproduits de boulangerie	0,09	- Coques de tournesol	0,09	- <i>Ulva lactuca</i>	185

Si dans leur majorité les matières premières courantes contiennent entre 0,06 et 0,10 mg d'iode par kg et sont donc loin de pouvoir couvrir à elles seules les besoins en iode des lapins (Tableau 5) il faut retenir que certaines matières premières usuelles comme les mélasses peuvent contenir de 1 à 4 mg d'iode par kg. Pour les produits de la mer, la teneur élevée en iode des coquilles d'huitre (10 mg/kg) est souvent «oubliée» lors de la formulation. Ainsi l'incorporation de 3% de coquilles d'huitres pour apporter du calcium dans la ration fournit également 0,3 mg d'iode par kg d'aliment fini. Ceci permet de couvrir une partie importante des besoins en iode : environ 40% des besoins du lapin en croissance ou plus de 70% des besoins d'un lapin adulte.

Pour les algues marines, la teneur en iode est extrêmement variable en fonction de l'espèce botanique considérée. Elle peut par exemple atteindre 0,75 à 1,2% de la matière sèche dans les algues laminaires (Gall et al., 2004). Mais la teneur en iode peut aussi varier de 1 à 100 en fonction du lieu et des conditions de productions. Par

La première étape pour s'assurer de la couverture du besoin en iode des lapins consiste à déterminer l'apport d'iode fourni par les matières premières de l'aliment et éventuellement par l'eau de boisson. Il est parfois utile de prendre en compte les apports par l'eau de boisson, en effet, dans certaines régions du monde l'eau de boisson disponible est très chargée en iode, comme en Chine par exemple où l'eau peut contenir jusqu'à 0,6 mg d'iode par litre (Ma et al, 1982 ; Zhao et al., 1998 ; Andersen et al., 2009). Par contre ce risque d'apport trop important d'iode par l'eau de boisson ne semble pas exister en France où les eaux contiennent de 10 à 30 µg d'iode par litre, avec une teneur maximale de 60 µg/litre (0,06 mg/kg) pour les eaux minérales les plus chargées en iode (Anses, 2005).

A titre d'information nous avons réuni au tableau 5 la teneur moyenne en iode pour une quarantaine de matières premières plus ou moins courantes.

exemple on a trouvé 185 mg/kg d'iode pour *Schizochytrium* spp cultivé sur les côtes du Vietnam (Hong et al., 2011 et seulement 1,6 mg/kg pour le même type d'algue cultivé sur les côtes de Californie (Costa et al., 2016).

Enfin il semble important de souligner que le sel de mer brut (non iodé artificiellement) contient relativement peu d'iode : moins de 2 mg/kg en France (Ciquel, 2017) voire moins de 0,7 mg/kg pour 81 échantillons de sel naturel provenant de 21 pays (Aquaron, 2000). Ainsi un apport classique de 0,5% de sel de mer brut dans l'aliment apporte moins de 0,01 mg/kg d'iode à cet aliment, ce qui est pratiquement négligeable. La raison est une évaporation de l'iode présent dans l'eau de mer au cours du séchage et une cristallisation sélective de l'iode qui reste dans la liqueur mère (Dasgupta et al., 2008). Il faut donc oublier les affirmations faites par certains auteurs qui estimaient à tort que « les besoins en iode des lapins seraient pleinement satisfaits si du sel marin était utilisé dans les aliments » (Cheeke, 1987 ; Mateos et al., 2010).

C'est d'ailleurs en raison de cette pauvreté en iode du sel « naturel » que les autorités sanitaires du monde entier prônent l'addition d'iode dans le sel utilisé en consommation humaine pour éviter la carence en iode des populations (Sullivan et al., 1995).

Iode et crucifères

Les crucifères tels que le colza, la moutarde ou le chou contiennent naturellement des glucosinolates qui en se dégradant donnent par exemple des thiocyanates (Bell, 1984). Les molécules issues de cette dégradation entrent en compétition pour le transport de l'iode en se fixant sur la protéine de transport permettant à l'iode de franchir les parois cellulaires et de pénétrer dans la thyroïde ou la glande mammaire (Dasgupta et al., 2008). Si la teneur en thiocyanates est trop élevée et que simultanément la teneur en iode de l'aliment est à la limite inférieure permettant de couvrir les besoins, il en résulte une carence en iode et un hypothyroïdisme avec des taux très faibles de T3 et de T4, associé l'apparition de goitres et d'un hyper-développement du foie (Schöne et al., 2001). Pour l'organisme de l'animal tout se passe comme si l'apport d'iode était plus faible que celui qui devrait découler de la teneur dans l'aliment. Il suffit donc d'accroître la teneur en iode de l'aliment pour que le besoin soit effectivement couvert comme cela a été démontré par exemple chez le porc ou la vache laitière (Schöne et al., 1990 ; Franke et al., 2009)

Chez le lapin, les travaux déjà anciens de Lebas et Colin (1977) ont montré qu'un aliment contenant 15% d'un tourteau de colza riche en thioglucosides (variété Primor), mais contenant aussi 1,9 mg/kg d'iode (supplémentation en iodure de potassium) n'entraîne aucune altération des performances de croissance (GMQ, IC) ni du poids de la thyroïde ou du foie. Avec la même supplémentation en iode, et le même type de tourteau, au cours de deux essais ayant duré 4 ou 6 mois, nous avons également montré que l'emploi du tourteau de colza au taux de 15 ou 17% dans l'aliment n'entraîne aucune différence de performance des lapines reproductrices, en comparaison avec du tourteau de tournesol (Lebas, 1978)

Au cours des années 80-90 les généticiens végétaux ont obtenus des colza dits double zéro, ne contenant pratiquement plus d'acide érucique et surtout très peu de glucosinolates: 5 à 20 μ moles/g de MS (Evrard, 2005). Cela a permis par exemple de réduire la teneur en isothiocyanate de 2,22 mg à 0,85 mg/g MS et celle du viny-thio-oxazolidone de 5,18 à 1,58 mg/g de MS dans les tourteaux de colza (Bourdon et al., 1981). De ce fait, un apport d'iode dans l'aliment légèrement supérieur à la stricte couverture des besoins en iode (+0,1 à +0,3 mg/kg d'iode), permet d'utiliser les tourteaux de colza actuels sans restriction concernant la présence de thioglucosides résiduels.

Supplémentation par l'eau de boisson

Dans certains pays dits « goitrigènes » où la teneur en iode des végétaux est très faible comme les pays d'Europe de l'Est, des essais ont montré que l'iode peut être apportée via l'eau de boisson, par exemple chez la poule pondeuse (Miskiniene et al., 2010). Compte tenu de la consommation d'eau des lapins, la supplémentation

pratiquée dans cette espèce est équivalente à un apport de 0,33 mg/kg d'iode dans l'aliment et permet une amélioration des fonctions reproductrices chez les lapins mâle ou femelle (Abadjieva et al., 2016, 2018). Dans d'autres conditions, un apport relativement massif d'iode (5 mg/kg dans l'eau de boisson) a eu un effet favorable sur la vitesse de croissance des lapins élevés en Egypte (El-Mahdy et al., 1995). Mais les auteurs de ce travail n'ont fourni aucune indication sur la teneur en iode du régime de base, ni surtout sur la stabilité de l'apport d'iode dans l'eau de boisson.

En tout état de cause il est nécessaire de rappeler que la supplémentation permanente en iode de l'eau de boisson des animaux est interdite en Europe. Cette voie de supplémentation, pour autant qu'elle soit fiable en raison de l'instabilité de l'iode dans l'eau, ne doit être envisagée que dans les pays où cette forme d'apport est autorisée.

Conclusion

Les lapins ont un besoin minimum en iode qui nécessite une supplémentation pour arriver à un apport de 0,4 à 0,9 mg/kg d'iode dans l'aliment en fonction du type de lapin. Même si les lapins adultes non reproducteurs ou les lapins en croissance peuvent supporter des apports d'iode extrêmement importants (250-500 mg/kg voire plus) il existe une limite supérieure de sécurité, au-delà de laquelle les performances zootechniques sont réduites. Cette limite se situe à 2,0-2,5 mg/kg d'iode quelque soit le type de lapin, bien en deça du maximum de 10 mg/kg imposé en Europe par la législation relative à l'alimentation animale. Les matières premières courantes ne contiennent pas assez d'iode pour couvrir les besoins des lapins, ce qui nécessite une supplémentation en iode, le plus souvent sous forme d'iodure de potassium ou d'iodate de calcium. Si dans la très grande majorité des cas cette supplémentation est incluse dans l'aliment, le cas échéant elle peut être apportée par l'eau de boisson, si la législation du pays le permet, ce qui n'est pas le cas des pays européens (UE).

Si comme nous venons de le voir, les matières premières alimentaires contiennent trop peu d'iode, certaines d'entre elle comme les mélasses ou les coquilles d'huitres peuvent en contenir des quantités conséquentes qu'il convient de prendre en compte lors de la formulation des aliments

Une attention toute particulière doit être apportée à la teneur en iode de l'aliment fini si celui-ci contient des algues. En effet la teneur des algues en iode est très variable en fonction de l'espèce ou des conditions de production. Elle peut dépasser 1% d'iode (10 000 mg/kg) pour certaines algues de la famille des laminaires.

Enfin il semble nécessaire de rappeler que le sel de mer est pauvre en iode, ce qui explique qu'il soit nécessaire d'y ajouter de l'iode pour éviter la carence en iode chez l'homme.

Références

Abadjieva, D., Grigorova, S.V., Petkova, M., 2016. Testicular morphometry and histology of rabbit bucks supplemented with iodine in drinking water. *Asian J. Anim. Vet. Adv.* 11, 491-497.

- Abadjieva, D., Petkova, M., Grigorova, S., Kistanova, E., 2018. Iodine supplementation activates folliculogenesis in rabbit ovary. *Polish journal of veterinary sciences*. 21 (3); 539-566.
- Andersen, S., Guan, H., Teng, W., Laurberg, P., 2009. Speciation of iodine in high iodine groundwater in China associated with goitre and hypothyroidism. *Biological trace element research*, 128 (2), 95-103.
- ANSES, 2005. Evaluation de l'impact nutritionnel de l'introduction de composés iodés dans les produits agroalimentaires. Rapport final, Anses éditeur, 120 pp
- Aquaron, R., 2000. Iodine content of non-iodized salts and iodized salts obtained from the retail markets worldwide. *8th World Salt Symposium*, Vol. 2, 935-940 (citée par Dasgupta et al., 2008)
- Arrington, L.R., Taylor, R.N., Ammerman, C.B., Shirley, R.L., 1965. Effect of excess dietary iodine upon rabbits, hamster, rats and swine. *J. Nutr.*, 87, 394-398.
- Bell, J. M., 1984. Nutrients and toxicants in rapeseed meal: a review. *Journal of Animal Science*, 58 (4), 996-1010.
- Bourdon, D., Perez, J. M., Baudet, J. J., 1981. Utilisation de nouveaux types de tourteaux de colza par le porc en croissance-finition. Influence des glucosinolates et du dépelliculage. *Journ. Rech. porcine en France*, 13, 163-178.
- Cann, S. A. H., 2006. Hypothesis: dietary iodine intake in the etiology of cardiovascular disease. *Journal of the American College of nutrition*, 25 (1), 1-11.
- Cheeke, P.R., 1977. Rabbit feeding and nutrition. *Academic press Inc.*, p128.
- Ciqual, 2017. Table de composition nutritionnelle des aliments, *On line publication de l'ANSES*. <https://ciqual.anses.fr/#/aliments/11083/sel-marin-gris-non-iode-non-fluore> (version 2017)
- Coindet, J.F., 1821. Nouvelles recherches sur les effets de l'iode et sur les précautions à suivre dans le traitement du goitre par ce nouveau remède. *Ann Chim Phys. Ser 2*, 16, 345-346 (Citée par Monay 1833)
- Costa, D. F. A., Quigley, S. P., Isherwood, P., McLennan, S. R., Poppi, D. P., 2016. Supplementation of cattle fed tropical grasses with microalgae increases microbial protein production and average daily gain. *Journal of animal science*, 94(5), 2047-2058.
- Dasgupta, P. K., Liu, Y., Dyke, J. V., 2008. Iodine nutrition: iodine content of iodized salt in the United States. *Environmental science & technology*, 42 (4), 1315-1323.
- Eastman, C., Zimmermann, M.B., 2018. The iodine deficiency disorders. In *Endotext [Internet]. MDText.com, Inc.. (Last Update: February 6, 2018.)*
- Elstner, E.F., Adamczyk, R., Kromer, R., Furch, A., 1985. The uptake of potassium iodide and its effects as an antioxidant in isolated rabbit eyes. *Ophthalmologica*. 191, 122-126.
- Evrard, J., 2005. Les tourteaux d'oléagineux, source de protéines en alimentation animale. *Oléagineux, Corps gras, Lipides*, 12 (3), 224-227.
- Franke, K., Meyer, U., Wagner, H., Flachowsky, G., 2009. Influence of various iodine supplementation levels and two different iodine species on the iodine content of the milk of cows fed rapeseed meal or distillers dried grains with solubles as the protein source. *Journal of dairy science*, 92 (9), 4514-4523.
- Gall, E. A., Küpper, F. C., Kloareg, B., 2004. A survey of iodine content in *Laminaria digitata*. *Botanica Marina*, 47 (1), 30-37.
- Halls, A.E., 2010. Nutritional Requirements for Rabbits. *A Shur-Gain, Nutreco Canada Inc publication*, 10 pp.
- Hong, D.D., Anh, H.T.L., Thu, N.T.H., 2011. Study on biological characteristics of heterotrophic marine microalga—*Schizochytrium mangrovei* PQ6 - isolated from Phu Quoc island, Kien Giang province, Vietnam. *Journal of phycology* 43, 944-954.
- Ilin, A., Nersesyan, A. 2013. Toxicology of iodine: A mini review. *Archive of oncology*, 21 (2), 65-71.
- Keener, H.A., Thacker, E.J., 1958. Growth Studies with Calves and Rabbits Fed Timothy Hay Grown on Heavily Fertilized Soils. *Journal of Dairy Science*, 41, 182-189.
- Lebas, F., 1966. Conséquences d'un apport excessif d'iode sur la mortalité périnatale des lapereaux. *Mémoire interne INRA*, 10 pp
- Lebas F., Colin M., 1977. Utilisation du tourteau de colza dans l'alimentation du lapin en croissance. Influence du dépelliculage. *Ann. Zootech.*, 26, 93-97
- Lebas F., 1978. Le tourteau de colza, source de protéines pour les lapines reproductrices. *2^{èmes} Journées de la Recherche Cunicole en France - Toulouse 4-5 avril 1978 - Communication n° 12*
- Liu, H., Ma, M., Li, X., Xin, L., Li, F., 2010. Effects of Dietary Iodine Supplementation Levels on Growth Performance and Serum Biochemical Indices of Growing Meat Rabbits from Weanling to 2-month-old. *Chinese Journal of Animal Nutrition* [2010], on line abstract.
- Logothetopoulos, J., Scott, R.F., 1956. Active iodide transport across the placenta of the guinea pig, rabbit and rat. *The Journal of physiology* 132, 365-371.
- Ma T., Yu Z., Lu T., Wang S., Dong C., Hu X., Zhu H., Liu R., Yuan C., Wang G., Cai H., Wang Q., 1982. High-iodide endemic goiter. *Chinese Medical Journal*, 95, 692-696.
- Mateos, G.G., Rebollar, P.G., De Blas, C., 2010. Minerals, vitamins and additives. in De Blas C. & Wiseman J., *The nutrition of the rabbit*, CABI Publishing, Wallingford, UK, , 119-150.
- Miskiniene, M., Kepaliene, I., Bobiniene, R., Gudaviciute, D., Eider, J., 2010. Application of "jodis" as a stable source of iodine in the nutrition of laying hens. *Bull. Vet. Inst. Pulawy*, 54, 389-392.
- Monay H. C., 1833. Dissertation sur le goitre, *Thèse Faculté de Médecine de Paris*, 18 pp.
- Okab, A.B., Samara, E.M., Abdoun, K.A., Rafay, J., Ondruska, L., Parkanyi, V., Pivko, J., Ayoub, M.A., Al-Haidary, A.A., Aljumaah, R.S., Massanyi, P., Lukac, N., 2013. Effects of dietary seaweed (*Ulva lactuca*) supplementation on the reproductive performance of buck and doe rabbits. *Journal of Applied Animal Research*, 41, 347-355.
- Qin, F., Pan, X., Yang, J., Li, S., Shao, L., Zhang, X., Li, J., 2018. Dietary Iodine Affected the GSH-Px to Regulate the Thyroid Hormones in Thyroid Gland of Rex Rabbits. *Biological trace element research* 181, 251-257.
- Schöne F., Jahreis G., Lange R., Seffner W., Groppe B., Hennig A., Lüdke H.: 1990. Effect of varying glucosinolate and iodine intake via rapeseed meal diets on serum thyroid hormone level and total iodine in the thyroid in growing pigs. *Endocrinologia Experimentalis*, 24, 415-427
- Schöne, F., Leiterer, M., Hartung, H., Jahreis, G., Tischendorf, F., 2001. Rapeseed glucosinolates and iodine in sows affect the milk iodine concentration and the iodine status of piglets. *British Journal of Nutrition*, 85 (6), 659-670.
- Shen, L., Liu, G.G., Zuo, W.S., Zhao, X.Y., Liu, L., Li, F.C., 2018. Effect of dietary iodine supplemental level on growth performance, slaughter performance, meat quality and fur quality of growing rabbits. *Chinese Journal of Animal Nutrition* 30, 156-162
- Sullivan, K.M., Houston, R., Gorstein, J., Cervinkas, J., 1995. Monitoring universal salt iodization programmes. *UNICEF- PAMM edit*, 101 pp
- Sun, Q.W., 2010. Study of Relevance of Dietary Iodine and Accumulation of Rabbit Muscle and Liver. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2, 78.
- Tables INRA-CIRAD-AFZ. 2019 - Composition et valeur nutritionnelles des matières premières pour bovins, ovins, caprins, porcs, volailles, chevaux, lapins et salmonidés – Teneur en Iode - <https://feedtables.com/fr/content/iodo>, consultation du 6 février 2019
- Union Européenne, 2015. Règlement d'exécution (UE) 2015/861 de la Commission du 3 juin 2015 concernant l'autorisation de l'iodure de potassium, de l'iodate de calcium anhydre et des granulés enrobés d'iodate de calcium anhydre en tant qu'additifs pour l'alimentation de toutes les espèces animales. *Journal officiel de l'Union européenne*, 4 juin 2015, L137/1 à 7. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/PDF/?uri=CELEX:32015R0861&from=FR>
- Webster, B., Chesney, A.M., 1930. Studies in the Etiology of Simple Goiter. *The American journal of pathology*, 6 (3), 275-284.

-
- Yang, G.Z., Sun, Q.W., Wu, Z.F., Zhang, Y.P., Li, F.X., 2007. The effect of iodine on performance in meat rabbits. *Progress in Veterinary Medecine* 11, 1
- Yang, G.Z., Wu, Z.F., Sun, Q.W., Zhang, Y.P., Wu, S.Q., Wang, X.P., 2008. Effects of Iodine levels on Biochemical Parameters in Meat Rabbits. *Journal of Hebei North University* 2008 (1), 15.
- Zhao, J., Chen, Z., Maberly, G., 1998. Iodine-rich drinking water of natural origin in China. *Lancet*, 352 (9145), 2024.
- Zimmermann, M. B., Ito, Y., Hess, S. Y., Fujieda, K., Molinari, L., 2005.. High thyroid volume in children with excess dietary iodine intakes-. *The American journal of clinical nutrition*, 81 (4), 840-844.
-

Besoins en iode du lapin

Carence, excès, recommandations

Revue bibliographique

François LEBAS

Directeur de Recherches honoraire INRA

Biosynthèse des hormones thyroïdiennes

- Iode joue un rôle majeur dans le métabolisme des hormones thyroïdiennes
- Composant essentiel
 - T3 : 3 atomes d'iode (3-iodothyronine)
 - T4 : 4 atomes d'iode (tyroxine)

Iode fixé par la thyroïde



T3 et T4 sont des hormones
clé du métabolisme
énergétique
(glucides, lipides, protéines)

Fixation de l'iode sur les
résidus tyrosyl de la
thyroglobuline et formation
des hormones

Synthèse des hormones

Carence en iode ⇒ hypofonctionnement thyroïdien

Source : d'après T. DANTIN (2009)

Les rôles principaux de l'IODE dans le métabolisme général

- Fonctionnement de la Thyroïde
- Protection des artères contre l'athérosclérose
- Métabolisme hépatique
- Rôle d'antioxydant dans l'organisme en particulier au niveau de l'œil

Carence en iode (ou excès)

=> **goitre** = hyper-développement de la thyroïde

Les recommandations disponibles dans la littérature sur les apports souhaitables en IODE étaient basées jusqu'en 2010 surtout sur l'observation des apports pratiques appliqués aux aliments commerciaux. **Elles varient de 0,2 à 1,1 mg/kg** d'aliment pour le lapin en croissance comme pour les lapines allaitantes

Alors que la littérature internationale était quasi muette sur les besoins en iode des lapins avant les années 2000, des travaux récents conduits surtout depuis les années 2010 environ, ont apporté des informations expérimentales nouvelles concernant ce besoin

En 1958 Keener et Thacker, ont montré qu'un trèfle cultivé aux USA sur un sol hyperfertilisé était carencé en iode pour les jeunes bovins et les lapins. Sa teneur en iode était de 0,035 mg d'iode/kg. Un apport d'iodure de potassium (KI) fournissant 0,25 mg d'iode par kg d'aliment avait supprimé l'hyperthyroïdie associée à la distribution aux lapins d'une ration contenant 75% de ce trèfle carencé , la ration ne contenant que 0,032 mg l/kg d'aliment fini.

En 2010 Liu et al, ont montré qu'un aliment ne contenant que 0,22 mg d'iode par kg est encore déficient en iode pour les lapins de 1 à 2 mois. Effectivement, bien que les lapins n'aient aucun trouble apparent avec 0,22 mg d'iode/kg, une supplémentation de 0,1 ou mieux 0,5 mg d'iode /kg d'aliment améliore significativement ($P < 0.05$) la vitesse de croissance des animaux ainsi que le taux sanguin d'immunoglobulines A, d'hormone T3 mais pas celui de la T4. Par contre un apport de 2,5 mg / kg réduit les performances .

Tableau 1 : Performances de croissance de lapins Rex de 3 mois au départ recevant une supplémentation croissante d'iode (mg/kg d'aliment) pendant 60 jours (Shen et al., 2018)

Suppl. iode	0,0	0,20	0,40	0,80	1,60
<i>Iode total</i>	<i>0,12</i>	<i>0,32</i>	<i>0,52</i>	<i>0,92</i>	<i>1,72</i>
P. initial g	1741	1765	1732	1756	1754
P. final g	2885	2896	2921	3033	2901
Cons. g/j	173	180	181	184	180
Indice. Cons	9,22	9,34	9,19	8,81	9,27

Selon ce travail l'apport souhaitable serait proche de 0,9 mg/kg d'aliment pour le lapins sub-adulte

D'autres travaux récents recommandent des apports d'iode de **0,4 à 0,9 mg d'iode par kg d'aliment** pour les jeunes lapins croissance après le servage quel que soit le type de production (chair, poil,)

Pour la lapine en reproduction il y a moins d'informations, mais il est raisonnable de recommander un apport minimum de **0,4 mg/kg pour la lapine gestante** et de **0,9 mg/kg pour la lapine allaitante**, en raison des fortes exportations (relatives) dans le lait

Les travaux anciens (années 60 - 70) avaient surtout concerné les effets de l'excès d'iode

Apport d'iode en excès qq jours avant mise bas

Supplément iode	Jours avant MB	Nés totaux /MB	Mortalité des lapereaux		Poids laperx 28 j.
			0-3 j	3-28 j.	
témoin	-	4,3	9%	0%	465
250 mg/kg	2	6,2	70%	0%	395
500 mg/kg	2	4,5	71%	0%	302
500 mg/kg	5	4,2	97%	0%	313
500 mg/kg	10	4,8	100%	-	-

Arrington et al., 1965

Seule la lapine en fin de gestation est réellement sensible à l'excès d'iode.
Cause : décrochement précoce des placentas

Excès d'iode en continu dans l'aliment

Lot	A	B	A/B
Teneur en iode (mg/kg)	160	1,6	100
Nombre de Mises Bas	198	79	-
Nés totaux / MB	8,52	9,63	0,88
Nés vivants / MB	5,68	8,52	0,67
Nés morts / MB	2,84	1,12	2,54
Portée totalement mortes	21%	3%	7,00

Lebas, 1966

Les informations anciennes sur les risques associés à un grand excès d'iode n'ont plus d'intérêt que pour résoudre d'éventuels cas d'intoxication accidentelle.

En effet, depuis 2015 la teneur en iode dans les aliments pour animaux ne doit légalement pas dépasser 10 mg/kg (10 ppm) sauf pour les ruminants laitiers et les poules pondeuses 5 ppm, les poissons 20 ppm et les chevaux 4 ppm (Union Européenne, 2015).

Il convient donc de déterminer si, pour le lapin, entre les apports proposés ci-dessus (0,4 à 0,9 mg/kg d'aliment selon le type de lapin) et la borne légale de 10 mg/kg, il existe un risque associable à un apport trop important d'iode.

Les travaux récents sur les apports d'iode n'ont **pas montré de toxicité réelle** entre les apports recommandés (0,4-0,9 mg/kg) et la limite maximum légale (10 mg/kg). Par contre des baisses de performances ont été observées entre ces deux bornes , ce qui conduit à une recommandation de **limite supérieure de sécurité**, qui a pour but d'éviter les contreperformances

Recommandations mini et maxi : mg d'iode par kg d'aliment

Catégories de lapins	Teneur minimum	Limite supérieure de sécurité
- Jeunes de 1 à 3 mois	0,7 - 0,9	2
- Sub-adultes 3-6 mois	0,4	2
- Reproducteurs	0,4 - 0,7	2
- Lapines allaitantes	0,9	2,5

Couverture des besoins

- La grande majorité des matières premières courantes a une teneur insuffisante pour couvrir les besoins (< 0,10 mg / kg), ce qui nécessite un apport raisonné d'iode dans les formules
- Quelques unes approchent la couverture du besoin avec des teneurs de 0,4 à 0,7 mg/kg, telle la luzerne, le pois fourrager, le son de riz, ou le tourteau de coprah
- Les mélasses sont en général riches en iode : 1 à 4 mg/kg
- Les produits de la mer peuvent être très riches en iode : 3 – 4 mg d'iode / kg pour les farines de poisson ou les carbonates de calcium, voire 10 mg/kg pour les coquilles d'huitre
- Les algues marines ont des teneurs en iode très variables en fonction de l'espèce et du mode de récolte : 0,3 à 200 mg /kg ou + => attention
- Enfin il faut rappeler que le sel de mer n'est pas une source d'iode, à tel point que les autorités sanitaires mondiales recommandent d'ajouter de l'iode au sel destiné à la consommation humaine.

CONCLUSIONS

L'analyse des travaux récents nous a permis de proposer des recommandations basées sur l'expérimentation pour les lapins des différentes catégories,

et ainsi de proposer des recommandations avec une **borne basse** (apport minimum) et une **borne haute** (limites maximum de sécurité)

MERCI
pour votre attention

