

AVIS **de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation,** **de l'environnement et du travail**

**relatif à l'impact des pratiques en alimentation animale sur la composition en iode
des produits animaux destinés à l'Homme**

1. RAPPEL DE LA SAISINE

L'Agence française de sécurité sanitaire des aliments (Afssa) s'est autosaisie le 23 septembre 2005 pour évaluer l'impact des pratiques en alimentation animale sur la composition en iode des produits animaux destinés à l'Homme.

2. CONTEXTE

La présente réflexion s'inscrit dans le prolongement du rapport « Evaluation de l'impact nutritionnel de l'introduction de composés iodés dans les produits agroalimentaires » (Afssa, 2005). La réduction de la déficience en iode constituait l'un des cent objectifs de la loi de santé publique de 2004¹. Ce rapport montrait que la couverture des besoins en iode (apports nutritionnels conseillés) était satisfaite chez tous les enfants de 3 ans et plus, et que selon les données de consommation issues de l'enquête INCA1, une partie substantielle de la population âgée de plus de 10 ans, principalement les adolescentes et les femmes, était identifiée comme étant à risque d'insuffisance d'apport en iode. Cependant, une difficulté était aussi liée au fait qu'il existait un risque de dépassement de la limite de sécurité (LS) pour l'iode chez les enfants de 3 ans, ce qui représentait donc dans cette population un risque pour la santé (dysfonctionnement thyroïdien).

Dans les pays industrialisés, les produits laitiers constituent la source principale d'apport en iode d'origine alimentaire ; en particulier, ils sont le premier vecteur d'iode chez le jeune enfant pour qui leur contribution dépasse 50 % des apports totaux ; cette population est à risque de dépassement de la LS. En 2005, l'Afssa concluait donc que la forte contribution de ce vecteur dans cette population était un frein vis-à-vis de toute recommandation destinée à enrichir les aliments en iode dans le but d'améliorer les apports dans la population générale. Plus précisément, toute proposition d'introduction d'un nouveau vecteur alimentaire enrichi en iode (tels que les produits de panification) en vue d'améliorer les apports en iode dans la population générale, paraissait subordonnée à une diminution préalable de 15 à 20 % des concentrations moyennes en iode dans les produits laitiers (de manière à maîtriser les

¹ Loi n°2004-806 du 9 août 2004 relative à la politique de santé publique. JORF n°185 du 11 août 2004, p. 14277.

risques de dépassement des limites de sécurité de l'iode chez les plus forts consommateurs et en particulier, chez les jeunes enfants).

Par ailleurs, les œufs (le jaune d'œuf principalement) et leurs produits dérivés sont des denrées alimentaires riches en iode du fait de l'utilisation d'aliments minéraux et vitaminiques en élevage aviaire. Ils seraient susceptibles de constituer un vecteur d'apport complémentaire en iode destiné à la population générale, sans risque supplémentaire pour la population des jeunes enfants, peu consommateurs de ces produits.

3. METHODE D'EXPERTISE

La présente réflexion a été réalisée par le groupe de travail « Impact des pratiques en alimentation animale sur la composition en iode des produits animaux destinés à l'Homme » dont l'avis a été adopté par les CES « Alimentation animale » et « Nutrition humaine ». Ses objectifs étaient de caractériser :

- chez la vache laitière, les quantités d'iode à apporter dans l'alimentation selon la composition du régime et en particulier de l'aliment minéral (AM) complémentaire, dans un objectif de réduction de 15 à 20 % de la teneur moyenne en iode du lait, calculée sur une année. La teneur en iode ciblée (107 µg d'iode/kg de lait) correspond à celle qui avait été constatée dans des analyses effectuées sur des laits d'été, dans des laits demi-écrémés de grande consommation (Valeix, 2003).
- chez la poule pondeuse, les quantités d'iode apportées par l'alimentation selon la composition des régimes et en particulier de l'aliment minéral (AM) complémentaire.

4. ARGUMENTAIRE

4.1. ANC et sources d'apport

Les apports nutritionnels conseillés (ANC) en iode sont de 150 µg/jour (j) pour les adolescents et les adultes, et de 200 µg/j chez la femme enceinte ou qui allaite (Afssa, 2001). Les apports en iode doivent être augmentés en présence de facteurs goitrogènes alimentaires (ion thyocyanate ou glucosides cyanogéniques) (Gaitan, 1989).

Les Mollusques (moules, huîtres) et les Crustacés (crevettes, homards, langoustes) ainsi que les poissons d'origine marine sont naturellement riches en iode alors que les produits carnés, les légumes et les fruits en contiennent peu. Le lait, les produits laitiers et les œufs sont aussi des sources importantes d'iode dans les pays industrialisés. Les sources annexes d'iode dans l'alimentation sont les colloïdes d'origine végétale marine (alginates, agar, carraghénanes) utilisés comme agents de texture alimentaire (épaississants, gélifiants) ainsi que l'érythrosine (tétraiodofluorescéine), colorant rouge orangé alimentaire (E 127). Les traitements domestiques (ébullition, grillade, friture) peuvent entraîner des pertes importantes (6-67 %) de l'iode contenu dans les aliments (Afssa, 2005).

Les enquêtes alimentaires réalisées en Europe montrent que le poisson ne contribue que pour une part modeste aux apports en iode. En France, dans la population générale, l'étude INCA1 montre que la somme des contributions des produits laitiers (27,5 à 57,5 %), des

produits de la mer (12,8 à 21 %) et des produits de boulangerie (10 à 17,5 %) représente plus des 2/3 des apports en iode. Chez les enfants, les produits carnés, les boissons (eaux, soda) et les plats préparés (plats composés, condiments et sauces) contribuent individuellement pour plus de 5 % et globalement pour 15 à 18 % à l'apport total en iode (Afssa, 2005).

L'eau de boisson a une concentration en iode relativement faible (à Paris, 10 à 25 µg/l) mais certaines eaux minérales peuvent atteindre 30 à 60 µg/l (Afssa, 2005).

Enfin, le sel alimentaire a été choisi comme vecteur d'iode avec des taux d'enrichissement variables selon les pays (5 à 100 µg/g de sel iodé) pour la prophylaxie de la déficience en iode. En France, le sel de qualité alimentaire, non destiné aux industries alimentaires, peut être iodé par addition d'iodate de potassium, d'iodate de sodium, d'iodure de sodium ou d'iodure de potassium, dans la proportion de 15 à 20 mg/kg (Arrêté du 24 avril 2007²). Toutefois, les campagnes de prévention du risque d'hypertension artérielle ont conduit à réduire la fréquence d'utilisation du sel domestique. Les recommandations du rapport "Sel" de l'Afssa (2002) en faveur d'une réduction des apports sodés, notamment *via* de meilleures pratiques culinaires et comportementales, ont également contribué à réduire l'impact du sel iodé ajouté dans la prophylaxie de la déficience en iode.

4.2. Métabolisme

L'iode est chez tous les Vertébrés un constituant indispensable des hormones thyroïdiennes, thyroxine (T₄) et tri-iodothyronine (T₃). La thyroxine (3,5,3',5'-tétraiodothyronine) contient 65,4 % (p/p) d'iode, la tri-iodothyronine (3,5,3'-tri-iodothyronine) 56,6 % (p/p). L'iode capté par la thyroïde combiné à la tyrosine forme la di-iodothyronine (T₂). Deux molécules de T₂ donnent la T₄, forme inactive et de transport de l'hormone thyroïdienne. La T₄ est stockée dans la glande thyroïde sous forme de thyroglobuline. La conversion de la T₄ en T₃, hormone thyroïdienne active, est contrôlée par trois dé-iodinases séléno-dépendantes (Arthur *et al.*, 1990).

L'importance de l'iode en nutrition est liée à l'action primordiale de la T₃ dans la régulation de l'oxydation et de la synthèse protéique cellulaires, dans le développement fœtal (en particulier du cerveau), dans le métabolisme basal, dans la thermorégulation et dans les défenses immunitaires.

4.2.1. La déficience en iode chez l'Homme

Lorsque les apports iodés sont insuffisants, la glande thyroïde maintient une sécrétion normale d'hormones thyroïdiennes pendant un à deux mois grâce à un ensemble de mécanismes adaptatifs garantissant l'euthyroïdie clinique. L'élévation du taux de fixation de l'iode et l'accélération du taux de renouvellement de l'iode intra-thyroïdienne maintiennent la concentration en iode de la thyroïde qui est épargnée par une sécrétion préférentielle de T₃. Cependant, dans un environnement de carence iodée sévère (apports en iode < 35 µg/j), la chute du taux d'iodation de la thyroglobuline et les modifications de sa configuration diminuent l'efficacité de la sécrétion hormonale avec risque d'apparition d'une hypothyroïdie clinique et biologique franche.

La carence en iode est associée principalement à un déficit en hormones thyroïdiennes pouvant être à l'origine chez le fœtus, d'anomalies du développement cérébral et de troubles psychomoteurs avec diminution du poids de naissance et augmentation de la mortalité périnatale (Hetzl, 1983). Les résultats sur le statut en iode des volontaires adultes de l'étude SU.VI.MAX (35-60 ans) ont confirmé que la France reste un pays globalement exposé à un risque de déficience légère en iode (Valeix *et al.*, 1999). Dans aucune région

² Arrêté du 24 avril 2007 relatif aux substances d'apport nutritionnel pouvant être utilisées pour la supplémentation des sels destinés à l'alimentation humaine.

française, la médiane de l'excrétion urinaire d'iode n'atteint le seuil de normalité de 10 µg/100 ml.

4.2.2. Les excès d'apports alimentaires en iode chez l'Homme

Les surcharges chroniques en iode d'origine alimentaire sont relativement rares. Cependant, dans l'enquête INCA1, environ 6 % des enfants de 3 ans et 1,2 % des enfants de 4 à 6 ans avaient des apports alimentaires en iode dépassant la limite de sécurité [valeur calculée à partir de la limite de sécurité fixée à 600 µg/24 h chez l'adulte (SCF, 2002), et rapportée à la surface corporelle pour les sujets âgés de 3 ans à 17 ans selon la formule de Du Bois et Du Bois (1916)] (Afssa, 2005).

Les conséquences d'une surcharge en iode varient selon son intensité, sa durée et l'état du parenchyme thyroïdien. Lorsque la surcharge en iode est élevée et continue, elle provoque une augmentation de la concentration intrathyroïdienne en iodure jusqu'à l'inhibition de l'hormonosynthèse (Wolff, 1969). Ce mécanisme d'adaptation est transitoire, l'activité d'iodation redevenant normale même si la concentration en iode continue à être élevée (phénomène d'échappement).

4.3. Produits

4.3.1. Le lait de vache

4.3.1.1. Digestion et métabolisme de l'iode chez la vache laitière

Chez le ruminant, l'iode est absorbé, principalement dans le rumen et la caillette, avec une très grande efficacité : 80 à 90 % de l'apport (Barua *et al.*, 1964 ; Miller *et al.*, 1975). La biodisponibilité des principales sources d'iode (iodure de potassium [KI], iodure de Na [NaI], iodate de Ca [Ca(IO₃)₂], et iodure de Ca [CaI₂]) complètent les rations de ruminants est également très élevée (Jongbloed *et al.*, 2002). Il faut ajouter comme source, la voie transcutanée par les produits d'hygiène de la mamelle (McDowell, 2003).

L'iode, lié aux protéines plasmatiques, est ensuite capté par la thyroïde selon un mécanisme actif (Na-K-ATPase) très efficace puisque 90 % de l'iode plasmatique entrant dans la thyroïde y sont stockés (Hetzl et Welby, 1997) sous forme de thyroglobuline.

Chez la vache laitière, dans des conditions normales d'apport alimentaire iodé, environ 30 % de l'iode ingéré sont incorporés dans les hormones thyroïdiennes (Miller *et al.*, 1975) ; ce taux est inférieur à 20 % en cas d'apport pléthorique (Sorensen, 1962) et peut atteindre 65 % en situation de carence (Lengemann et Swanson, 1957). L'incorporation d'iode dans les hormones thyroïdiennes augmente chez l'animal en lactation : de 1,5 mg/j au tarissement à 4-4,5 mg/j chez l'animal en lactation (Sorensen, 1962). Des substances goitrogènes (glucosinolates, thio et isothiocyanates, disulfures aliphatiques...) présentes dans certains aliments (tourteau de soja, crucifères, trèfle blanc, lin...) peuvent perturber le métabolisme de l'iode en modifiant son transport et sa captation par la thyroïde et en inhibant la formation de T₂ (Underwood et Suttle, 1999). Cette carence induite en iode n'est pas toujours corrigée par l'augmentation de l'apport alimentaire (NRC, 2001).

L'iode non utilisé ou non stocké est éliminé principalement par voie urinaire, l'excrétion fécale étant environ 40 fois moindre (McDowell, 2003). Chez l'animal en lactation, la mamelle représente un émonctoire important et la teneur du lait en iode est susceptible de grandes variations : le colostrum a une teneur en iode 5 fois plus élevée que celle du lait de pleine lactation (Lewis et Ralston, 1953). Par ailleurs, la teneur en iode du lait augmente au fur et à mesure de la lactation (Hemken, 1979) et est corrélée de manière positive à l'apport alimentaire en iode de l'animal (Underwood et Suttle, 1999).

4.3.1.2. Teneur du lait de vache en iode

Les informations sur les concentrations en iode dans les laits sont peu nombreuses et anciennes.

Une enquête nationale a été effectuée dans 537 laiteries en 1983 (70 départements) et en 1984 (64 départements) (Aumont *et al.*, 1987). Les échantillons de lait ont été collectés dans les citernes des laiteries en hiver (décembre à février) et en été (mai et juin). Cette étude a confirmé l'importance du facteur « saison » dans la variation de la teneur en iode des laits de vache, à savoir des teneurs en moyenne 2 à 3 fois plus élevées dans les laits d'hiver que dans les laits d'été (tableau 1). Néanmoins, le risque de concentration en iode supérieure à 500 µg d'iode/kg de lait est très faible pour le lait de vache³.

Tableau 1 : Concentration moyenne et variations saisonnières des concentrations en iode du lait de vache (µg/kg) dans les citernes de laiteries (Aumont *et al.*, 1987)

	hiver 1983	"été" 1983	hiver 1984	"été" 1984
effectifs	143	143	132	132
moyenne (µg/kg)	97	44	93	23
étendue (µg/kg)	9 - 894	9 - 363	8 - 384	4 - 169
> 500 µg/kg (%)	0,5		0,3	

Les analyses effectuées avant et après traitement thermique (pasteurisation, traitement UHT, déshydratation en poudre) n'ont pas montré de différences significatives des concentrations en iode.

Les études d'Aquaron (1991) et de Valeix (2003, citée dans le rapport Afssa, 2005) ont porté sur des laits de grande consommation. Les analyses ont majoritairement concerné des laits demi-écrémés en provenance de plusieurs départements (Aquaron, 1991) ou achetés dans la région parisienne (Afssa, 2005). Les concentrations en iode (moyenne, médiane) étaient supérieures à 100 µg/kg dans les deux séries (tableau 2). Dans la région parisienne, 71 % des échantillons contenaient plus de 100 µg/kg. Aucun échantillon ne présentait de concentration supérieure à 500 µg/kg². Le facteur saisonnier cité précédemment s'observe jusqu'au niveau de la consommation.

Tableau 2 : Concentrations en iode et variations saisonnières (µg/ kg) dans des laits demi-écrémés de grande consommation

	Aquaron (1986- 1988)	Valeix (1999- 2001)
iodo (µg/kg)	(n = 109)	(n = 41)
moyenne (± écart-type)	113 (± 59)	135 (± 51)
étendue	20-272	59-258
été	62 (n = 17)	107* (n = 25)
hiver	203 (n = 5)	167* (n = 16)

* médiane

Ce facteur saisonnier semble lié à un niveau d'utilisation plus élevé d'aliments minéraux apportés aux vaches, en complément de la ration fourragère en hiver, les pratiques d'hygiène à la traite (source potentielle d'iode) n'étant pas différentes d'une saison à l'autre.

³ Le National Dairy Council aux USA considère qu'un lait est impropre à la consommation humaine lorsque sa teneur en iode est supérieure à 500 µg/kg (Berg *et al.*, 1988).

Ces études montrent aussi que les teneurs moyennes en iode du lait (de citerne, de laiterie ou de consommation) ont augmenté au cours du temps. Cette évolution a été observée dans plusieurs pays d'Europe, avec des niveaux moyens plus élevés qu'en France : République Tchèque : 440 µg/kg (Travniček *et al.*, 2006) ; Royaume-Uni : 300 µg/kg (FSA, 2008) ainsi qu'en Amérique du Nord (Afssa, 2005).

En 2005, l'Afssa recommandait que l'introduction d'un nouveau vecteur d'iode (autre que le lait) pour la couverture des besoins de toutes les tranches d'âge de la population française soit précédée d'une homogénéisation des teneurs en iode du lait tout au long de l'année, par la réduction des teneurs en iode des laits d'hiver. La teneur ciblée (107 µg/kg) correspondait à celle qui avait été constatée dans les laits d'été (tableau 2) (Valeix, 2003). En conséquence, dans ce travail, cette valeur a été retenue comme valeur limite à ne pas dépasser dans les simulations de teneur recommandée en iode des aliments minéraux pour la vache laitière (*cf.* 4.3.1.4).

4.3.1.3. Apports recommandés en iode chez la vache laitière

L'iode n'a pas donné lieu à la détermination factorielle des besoins en fonction du poids et du niveau de production de la vache laitière. Les apports recommandés ont été exprimés par rapport à la quantité quotidienne de ration consommée par la vache [en mg d'iode/kg de matière sèche (MS) ingérée]. Les recommandations d'apport en iode de l'INRA (1988) sont de 0,8 mg d'iode/kg de MS de ration quotidienne pour une vache en lactation à fort niveau de production et de 0,2 mg d'iode/kg de MS pour des animaux proches de l'entretien, notamment les vaches tarées en gestation. Le niveau d'apport de 0,8 mg/kg de MS tient compte de la présence d'éventuelles substances goitrigènes dans la ration. Ce risque est en pratique limité car l'apport de chou ou de colza fourrager aux vaches laitières en pratique ne dépasse pas 3 à 4 kg de MS/j. De plus, les variétés de colza actuellement cultivées en France ne contiennent que de très basses teneurs en glucosinolates (15 µmol de GLS/g de MS *versus* 100 µmol de GLS/g de MS dans les variétés à forte teneur antérieurement utilisées). Ainsi, la teneur moyenne en progoitrine des graines de colza est réduite à 7,0 µmol/g de MS et celle des tourteaux de colza à 5,4 µmol/g de MS (Brunschiwig *et al.*, 1996). En 2006, la teneur moyenne en GLS des tourteaux de colza produits par les usines de trituration françaises était inférieure à 15 µmol de GLS/g de MS. Les recommandations du NRC (2001) sont de 0,45 mg d'iode/kg de MS de ration pour une vache en lactation. Pour compenser des interférences possibles lors d'utilisation de certaines sources azotées, le NRC (1989) a introduit un facteur de sécurité en préconisant un apport recommandé de 0,6 mg d'iode/kg de MS de ration. L'EFSA a considéré comme souhaitable un apport d'environ 0,5 mg d'iode/kg de MS de ration (2005).

4.3.1.4. Apports alimentaires en iode chez la vache laitière

La teneur moyenne en iode des aliments destinés aux vaches en lactation en France est proposée dans différentes tables d'alimentation. Un extrait est présenté dans le tableau 3.

Tableau 3 : Teneur moyenne en iode de quelques aliments pour la vache laitière (Novus-Tables, 1996, Sauvant et al., 2004 ; INRA, 2007)

Fourrages	INRA 2007 (mg/kg MS)	EFSA 2005 (mg/kg MS)
Ray-Grass anglais (RGA) en vert	0,10	0,17-0,39
Graminées, autres que RGA	0,15	0,25-0,70
Maïs ensilage	0,10	
Luzerne en vert	0,18	0,25
Autres fourrages	0,10	
Matières premières	Savant et al., 2004 (mg/kg brut*)	Novus Tables 1996 (mg/kg MS)
Blé tendre	0,06 (n=4)	0,05 – 0,60
Maïs grain	0,09 (n=3)	0,05 – 0,38
Tourteau de soja 48	0,15 (n=1)	0,20 – 0,60
Tourteau de colza 35	0,09 (n=5)	0,65
Pulpe de betterave déshydratée	2,0 (n=1)	0,5 – 1,8

(*) teneur en MS de ces aliments comprise entre 86 et 89 %

Les fourrages sont regroupés en familles pour lesquelles des teneurs en iode différentes ont été mesurées (INRA, 2007). L'impact de la technique de conservation des fourrages n'a pas été quantifié.

L'EFSA (2005) a rapporté des teneurs en iode très variables pour les fourrages à base d'herbe, sous forme verte ou en foin. Elles sont au minimum égales voire doubles de celles énoncées ci-dessus. Les variations observées entre fourrage vert et foin ne sont pas expliquées. Toutefois, l'origine des différences entre les deux groupes de références, INRA et EFSA, pourrait être liée à l'éloignement du littoral. En effet, la teneur en iode des fourrages est liée à la teneur en iode du sol qui diminue proportionnellement avec l'éloignement du littoral.

La composition des principales matières premières constituant les aliments concentrés, fabriqués ou non, est connue à partir de lots commerciaux récemment analysés (Savant et al., 2004 ; tableau 3).

L'EFSA (2005) a rapporté des valeurs moyennes associées à des variabilités très importantes de la teneur en iode des matières premières (tableau 3) en reprenant directement les valeurs des tables Novus (1996). Les références INRA-AFZ (Savant et al., 2004) se placent souvent au niveau de la valeur basse de la plage retenue par l'EFSA.

La teneur en iode de l'eau de boisson est mal connue, ce critère ne faisant pas partie des éléments de surveillance sanitaire ou réglementaire. Les résultats d'analyses de l'eau de réseau destinée à la consommation humaine, sur des prélèvements effectués dans la région parisienne, ont montré des teneurs variant de 10 à 252 µg d'iode/l d'eau (P. Valeix, données non publiées). Une variation de 5 µg/l de la teneur en iode de l'eau autour d'une valeur fréquente de 12 µg/l dans le Bassin Parisien ne modifie pas l'apport moyen en iode par l'eau (environ 1 mg/j sur un total de 15 à 20 mg/vache/j pour les situations les plus fréquentes). Néanmoins, cette valeur de 12 µg/l mesurée dans le Bassin Parisien n'est pas forcément représentative de celle rencontrée dans l'eau potable des réseaux des régions de forte production laitière. Il est à noter l'absence de données sur la teneur en iode de l'eau distribuée aux vaches laitières et des facteurs de variation de cette teneur, d'autant plus qu'une partie des vaches laitières n'est pas abreuvée à partir du réseau de distribution d'eau. A défaut d'informations plus précises, la valeur de 12 µg/l a été retenue dans ce travail.

4.3.1.5. Teneur recommandée en iode des aliments minéraux pour la vache laitière

Pour évaluer la teneur recommandée en iode des aliments minéraux complétant les rations journalières des vaches laitières, différentes rations ont été calculées pour 11 types de régimes sur la base d'apports recommandés de 0,8 mg d'iode/kg de MS de ration totale (INRA, 1988).

Le calcul des rations a été effectué selon les références zootechniques regroupées par le logiciel INRAration (version 3.22). Le principe de calcul est le suivant :

- pour un régime alimentaire défini par la nature et la quantité de fourrages, et la nature des aliments concentrés ;
- en fonction du poids vif moyen des vaches et du niveau de production laitière du troupeau ;
- une ration équilibrée en énergie et protéines est calculée en fonction de l'ingestion totale prévue ;
- le volume d'eau de boisson en est déduit ;
- la quantité d'aliment minéral (AM) à apporter a été calculée afin de satisfaire les besoins en phosphore, calcium et magnésium avec ce régime alimentaire ;
- en cas de bilan en iode déficitaire, l'apport d'iode par l'AM a été calculé pour assurer la couverture des besoins.

Ces calculs n'intègrent pas les quantités d'iode potentiellement ingérées par les vaches laitières par le léchage de pierres à lécher, du fait d'une part, de l'absence d'informations quantifiées sur les quantités ingérées et d'autre part, de la forte variabilité des teneurs en iode de ces aliments.

Les rations intègrent l'amélioration des connaissances sur l'utilisation des minéraux majeurs, au travers du Coefficient d'Absorption Réelle (CAR) du phosphore (Meschy, 2002), du calcium et du magnésium (Meschy et Corrias, 2005). Pour mieux intégrer l'évolution des pratiques agronomiques (fumure en particulier), les teneurs en minéraux des fourrages de plaine (phosphore, calcium, magnésium, cuivre, zinc, manganèse) proviennent de données récentes des Pays de la Loire (Brunschwig *et al.*, 2006). Les teneurs des fourrages de demi-montagne ainsi que les teneurs en cobalt, sélénium et iode de tous les fourrages sont celles mises à jour par l'INRA (INRAration, v3.22).

La consommation en eau de boisson a été calculée sur la base d'ingestion moyenne d'eau totale de 5 kg d'eau/kg de MS ingérée en stabulation à température inférieure ou égale à 15 °C (INRA, 1988).

Un exemple de calcul est présenté en Annexe I.

Les 11 régimes alimentaires retenus sont représentatifs d'une majorité de rations utilisées en France dans les troupeaux de vaches laitières conduits en région de plaine ou de montagne.

Les rations suivantes ont été calculées pour 3 niveaux de production du troupeau ^(a) 30 – 35 – 40 kg lait/vache/j ; ^(b) 25 – 30 – 35 kg lait/vache/j ; ^(c) 20 – 25 – 30 kg lait/vache/j) ou 2 niveaux de production ^(d) 25 et 30 kg lait/vache/j ; ^(e) 20 et 25 kg lait/vache/j) :

- ensilage de maïs, foin et tourteaux de soja ou de colza ^(b) ;
- ensilage de maïs, pulpe de betterave, foin et tourteaux de soja ^(b) ;
- 2/3 ensilage de maïs, 1/3 ensilage d'herbe, blé et tourteaux tannés de soja ^(b) ;
- 50 % ensilage de maïs, 50 % ensilage d'herbe, blé et tourteaux tannés de soja ^(c) ;
- ensilage d'herbe, foin (1^{ère} coupe), regain (2^{ème} coupe), blé et tourteaux tannés de soja ^(c) ;
- foin ventilé, foin (1^{ère} coupe fanée au sol), regain, blé et tourteaux tannés de soja ^(b) ;
- "ration sèche" avec foin (1^{ère} coupe), pulpe de betterave, blé, maïs grain et tourteaux ^(a) ;

- pâture de printemps de ray-grass anglais (RGA) ou de RGA associé au trèfle blanc (RGA-TB) et au blé^(d) ;
- pâture d'été de RGA ou de RGA-TB et blé^(e) ;
- pâture d'été de RGA complétée par de l'ensilage de maïs, du blé et du tourteau de soja^(e) ;
- pâture d'automne de RGA complétée par de l'ensilage de maïs, du blé et du tourteau de soja^(d).

La diversité des situations envisagées a abouti au calcul de 53 rations-type (Annexe II). Dans ces rations-types, la quantité d'iode à apporter quotidiennement varie de 13 à 22 mg d'iode/vache/j.

La composition souhaitable de l'aliment minéral (AM) de la vache en iode, permettant de respecter les apports recommandés, diffère selon les quantités apportées par la ration (fourrages + eau + concentrés hors aliments minéraux) et la quantité d'AM apportée (tableau 4).

Tableau 4 : Teneur en iode souhaitable (en mg/kg ou ppm) de l'aliment minéral pour la vache laitière selon les quantités d'iode apportées par les autres éléments de la ration et les quantités quotidiennes d'aliment minéral distribué

	Aliment minéral distribué (g/j)					
	50	100	150	200	250	300
Apports d'iode par les fourrages, l'eau et les concentrés hors aliments minéraux	50	100	150	200	250	300
Cas général des rations : 0,15 mg d'iode/kg de MS	235	125	85	65	55	45
Ration avec pulpe de betterave (≥ 3 kg de MS) : 0,55 mg d'iode/kg de MS	90	50	35	30	25	20

Le cas général regroupe les rations ne comportant pas ou peu de pulpes de betteraves (< 3 kg de MS). Ces rations apportent peu d'iode : fourrages, eau et aliments concentrés hors aliments minéraux apportent en moyenne 17 % (10 à 20 %) des recommandations en iode. La teneur en iode de la ration hors AM est faible, en moyenne 0,15 mg/kg de MS.

Les rations contenant 3 kg ou plus de MS de pulpe de betterave apportent plus de 50 % (60 à 75 %) des recommandations en iode. Leur teneur en iode hors aliments minéraux est en moyenne plus importante : 0,55 mg/kg de MS. A même quantité d'AM apportée, la concentration en iode de cet AM devrait être environ 2 fois inférieure à celle d'aliments minéraux corrigeant les autres rations.

L'amélioration de l'efficacité du phosphore (CAR₂₀₀₂ vs CAR₁₉₈₈) a le plus souvent conduit à une baisse des quantités d'AM distribuées pour corriger une même ration. La teneur souhaitable en iode de l'AM a, de ce fait, évolué entre 1988 et 2007 pour un même type de ration.

Si les apports quotidiens permettent de respecter les recommandations retenues de 0,8 mg d'iode/kg de MS ingérée pour des vaches consommant 18 à 24 kg de MS de ration totale, la teneur attendue du lait en iode devrait être comprise entre 40 et 49 µg/l, en lien direct avec l'alimentation d'après Binnerts (1958). De même, en s'appuyant sur la relation établie par Aldermann et Stranks (1967), la teneur en iode du lait serait comprise entre 34 et 44 µg/l. Ces relations anciennes ont été établies avant l'introduction de l'utilisation de produits d'hygiène de la traite contenant de l'iode et à des niveaux de production laitière différents de ceux connus actuellement. Elles reflètent plutôt la prévision de la teneur en iode du lait liée à l'apport alimentaire.

Les produits iodés pour le maintien de l'hygiène autour de la traite sont responsables d'une augmentation de la teneur en iode du lait. Selon Aumont (1987), le trempage du trayon avec un iodophore après la traite (post-trempage) induit une augmentation comprise entre 33 et 54 µg/l de la concentration en iode du lait, même quand la mamelle est lavée avant la traite suivante. Le post-trempage est mis en œuvre par une grande majorité des éleveurs (90 %). Les produits iodés utilisés en trempage avant la traite (pré-trempage), quoique peu utilisés par les éleveurs (seulement 15 %), sont responsables d'une augmentation de 20 µg/l de la concentration en iode du lait.

En se basant sur un apport moyen par les produits d'hygiène de traite de 50 µg d'iode/l de lait et une fréquence d'utilisation des iodophores de 60 %, ces pratiques de trempage contribueraient à un enrichissement moyen du lait de 30 µg d'iode supplémentaire/l de lait.

En cumulant l'apport d'iode alimentaire selon les recommandations et celui lié aux produits iodés d'hygiène de la traite, la teneur moyenne attendue en iode du lait serait comprise entre 64 et 79 µg/l, compatible avec la teneur maximale recherchée de 107 µg/kg correspondant à celle des laits d'été. Par ailleurs, un éleveur respectant les recommandations d'apports d'iode alimentaire, qui pratiquerait pré- et post-trempage lors de la traite, livrerait un lait dont la teneur en iode serait comprise entre 84 et 99 µg/l.

Les recommandations de teneur en iode des aliments minéraux aboutissent à une teneur en iode de la ration de 0,8 mg d'iode/kg de MS. Ceci correspond à une concentration en iode de 0,704 mg d'iode/kg de ration totale à une teneur en humidité de 12 %. Cette teneur en iode est inférieure à la teneur maximale de 5 mg/kg d'aliment complet à 12 % d'humidité autorisée pour les aliments des vaches laitières (Règlement CE n° 1459/2005).

4.3.2. Les œufs

Sauf mention contraire, les données chiffrées présentées dans cette section sont issues de la revue de synthèse de Lewis (2004).

4.3.2.1. Besoins en iode de la poule pondeuse – Carence et excès - Couverture par l'aliment

Les besoins en iode des oiseaux en général, et de la poule pondeuse en particulier, ne sont pas connus avec précision. Cependant, la carence alimentaire expérimentale provoque chez le poulet la même symptomatologie que chez les Mammifères : réduction de la synthèse des hormones thyroïdiennes (T_3 et T_4) entraînant en retour une augmentation de la synthèse de TSH qui aboutit à une hypertrophie de la thyroïde et à un goitre. Par ailleurs, du fait des effets spécifiques des hormones thyroïdiennes sur la reproduction, la carence en iode entraîne, chez la poule, une réduction de la teneur en iode de l'œuf mais surtout des troubles de la fertilité. On note principalement une baisse du taux d'éclosion, une augmentation de la durée d'éclosion responsable d'une surmortalité des poussins et un retard de la résorption du sac vitellin après l'éclosion. En cas de carence extrême, la production d'œufs s'arrête et la poule devient obèse, reproduisant en cela les troubles du métabolisme énergétique observés chez les Mammifères atteints d'hypothyroïdie.

En l'absence de besoin précisément déterminé chez le poulet en croissance ou la poule pondeuse, les aliments complets des volailles contiennent généralement 1 à 2 mg d'iode/kg. Cet iode provient essentiellement d'une complémentation. Les formes d'apport les plus couramment utilisées sont l'iodate de calcium [$Ca(IO_3)_2$] ou l'iodure de potassium (KI) dans un pré-mélange minéral, ou le sel iodé à hauteur de 3 g d'iodure de potassium/kg de sel. Les matières premières des régimes pour volailles contribuent probablement pour moins de 0,15 mg d'iode/kg d'aliment sauf si elles sont utilisées spécifiquement en raison de leur teneur élevée en iode. C'est le cas par exemple des algues marines qui apportent en moyenne 320 mg d'iode/kg de MS, la plage de variation étant de 70 à 8500 mg/kg de MS (Valeix, 2003).

La poule semble également très sensible aux excès alimentaires d'iode. La stratégie visant à augmenter les apports en iode chez l'Homme au moyen d'œufs enrichis en iode a conduit à des approches expérimentales visant à déterminer des relations dose-effet chez la poule productrice d'œufs de consommation. La bibliographie, parfois très ancienne, est hétérogène, avec des résultats variables en fonction de la source d'iode alimentaire, de sa teneur dans l'aliment et de la durée de consommation. L'effet principal des excès est une inhibition de l'ovulation. Pour des apports de l'ordre du g/kg d'aliment (de 0,35 à 5 g d'iode/kg selon les auteurs), les troubles observés vont d'une chute de la ponte accompagnée d'une baisse du poids de l'œuf pour les apports les plus faibles, et ce dès la première semaine de complémentation en iode, à un arrêt total de la ponte suivi éventuellement d'une mue pour les apports les plus élevés. Dans les mêmes conditions, les poulettes immatures subissent un retard de l'entrée en ponte, qui peut même ne jamais se produire. Chez la poule reproductrice, on note parallèlement des altérations de la fertilité, associées à une augmentation de la mortalité embryonnaire et une baisse du taux d'éclosion.

Dans des conditions d'apports physiologiques, pratiquement aucune étude récente n'aborde la question de savoir si la production d'œufs enrichis en iode par complémentation a un effet sur la production quantitative de la poule pondeuse, évaluée sur un cycle de ponte complet, et non pas seulement pendant quelques semaines.

Tableau 5 : Teneur en iode de l'œuf (μg / œuf) en fonction de la forme d'apport, de la durée de distribution et de la teneur en iode dans l'aliment (mg/kg d'aliment)

Références	1	2	3 ^a	1	2	3	1	3	2	3	2	3
Source d'iode	KIO ₃	KI	Ca(IO ₃) ₂	KIO ₃	KI	Ca(IO ₃) ₂	KIO ₃	Ca(IO ₃) ₂	KI	Ca(IO ₃) ₂	KI	Ca(IO ₃) ₂
Durée du régime (j)	28	74	210	28	74	210	28	210	74	210	74	210
Iode en mg/kg d'aliment ^b	0	0,3	1	2	3,5	4	5	7	10	13	15	25
Iode en μg /œuf ^c	7	14	10	29	29	16	51	26	64	46	177	78

1, Kaufmann *et al.*, 1998 ; 2, Travniček *et al.*, 1999 ; 3, Yalçin *et al.*, 2004.

^a, teneurs réelles en mg/kg d'aliment vérifiées par dosage : 0,9, 2,9, 5,2, 11,1, et 21,5.

^b, teneurs théoriques

^c, teneurs mesurées

Les niveaux d'apports utilisés par Kaufmann *et al.* (1998) (jusqu'à 5 mg d'iode/kg d'aliment, tableau 5) n'ont pas eu d'effets significatifs sur la production d'œufs. Yalçin *et al.* (2004), qui ont testé les effets d'apports croissants jusqu'à 25 mg d'iode/kg (tableau 5), n'ont pas observé d'effet de la dose sur le poids de la poule et sur sa consommation d'aliment. En revanche, pour les teneurs de 13 et 25 mg/kg d'aliment, comparées au groupe témoin non complémenté (1 mg/kg d'aliment), ces auteurs rapportent une faible diminution du nombre d'œufs produits (2 %) et du poids de l'œuf (1 %). Cette étude est cohérente avec la diminution faible, mais significative, de la production totale en nombre d'œufs (320 *versus* 312 œufs/poule) et du poids de l'œuf (64,4 *versus* 63,1 g/œuf) quand l'apport alimentaire d'iode passe de 3,57 à 6,07 mg/kg d'aliment (Lichovnikova *et al.*, 2003). Il semble donc que des apports d'environ 6 mg d'iode/kg d'aliment entraînent des effets négatifs sur la production.

Jusqu'en 2005, la teneur maximale en iode autorisée dans les aliments pour poules pondeuses était de 10 mg/kg d'aliment (directive 70/524/CEE). Le souci de réduire le risque d'effets préjudiciables de l'iode alimentaire sur la santé humaine a conduit, au niveau européen, à fixer le seuil maximum d'incorporation à 5 mg d'iode/kg d'aliment (EFSA, 2005). De plus, l'EFSA a estimé qu'une teneur maximale de 4 mg d'iode/kg d'aliment chez la poule pondeuse procure une marge de sécurité satisfaisante en matière de consommation d'œufs. En pratique, la teneur maximale en iode autorisée dans les aliments pour poules pondeuses a été abaissée à 5 mg/kg d'aliment (Règlement (CE) n° 1459/2005).

4.3.2.2. Enrichissement de la teneur en iode de l'œuf *via* l'alimentation

En l'absence de toute complémentation de l'aliment, la teneur de l'œuf en iode est négligeable. En pratique, les régimes sont toujours complémentés et la teneur moyenne est de 9,7 µg d'iode/œuf quand l'iode est apporté dans le pré-mélange sous forme d'iodate de calcium pour une teneur dans l'aliment de 0,8 mg d'iode/kg (Yalçin *et al.*, 2004). Pour la France, les valeurs varient entre 9 et 52 µg d'iode/100 g de fraction comestible avec une moyenne de 48 µg d'iode/100 g (Valeix, 2003). Un œuf de 60 g, dont la fraction comestible est de 54 g en moyenne, contient donc entre 4 et 28 µg d'iode, la moyenne étant de 26 µg. Les ANC en iode chez l'adolescent et l'adulte allant de 150 à 200 µg/j en fonction de l'âge et du statut physiologique, la consommation quotidienne d'un œuf standard peut couvrir de 13 à 17 % de l'ANC.

Cette large plage de variation de la teneur en iode de l'œuf laisse supposer que celle-ci est sensible aux apports alimentaires. S'il existe une bibliographie assez importante sur le sujet, certaines études ont été réalisées avec des apports totalement irréalistes, excédant largement 10 mg d'iode/kg d'aliment (teneur maximale autorisée à l'époque) et pendant des périodes très brèves (de l'ordre d'une semaine) en raison de la chute de ponte évoquée ci-dessus. A titre d'exemple, l'étude expérimentale ancienne de Marcilese *et al.* (1968) a permis d'obtenir des œufs contenant jusqu'à 7 mg d'iode/œuf en réponse à des régimes complémentés à hauteur de 5 g d'iode/kg d'aliment avant arrêt de la ponte au bout de 8 jours !

En pratique, il existe très peu d'études documentant simultanément la forme d'apport de l'iode, sa teneur dans l'aliment, sa durée d'administration et sa teneur dans l'œuf (tableau 5). Travniček *et al.* (1999) ont montré que l'apport de 3,5 mg d'iode/kg d'aliment (inférieur au seuil maximal actuel) sous forme d'iodure de potassium pendant 74 jours aboutissait à des œufs contenant 29 µg d'iode. Dans ces conditions, la consommation d'un œuf couvrirait 19 % de l'ANC chez l'adulte. Par ailleurs, pour des apports de 0,2 et 5 mg d'iode/kg d'aliment sous forme d'iodate de potassium pendant 4 semaines seulement, le coefficient de détermination entre la complémentation en iode et sa teneur dans l'œuf était $R^2=0,92$ ($p<0,001$) (Kaufmann *et al.*, 1998). Dans ce cas, le respect de la limite maximale fixée par la réglementation communautaire (5 mg d'iode/kg d'aliment complet) aboutirait à des œufs couvrant un tiers de l'ANC chez l'adulte.

La seule étude complète est celle de Yalçin *et al.* (2004) qui ont testé les effets d'apports croissants d'iodate de calcium pendant 30 semaines, à la fois sur la production d'œufs et sur leur teneur en iode. Dans cette étude, l'iode se stockait dans l'œuf proportionnellement aux apports alimentaires et toujours selon les proportions, 80 % dans le jaune et 20 % dans le blanc. Dans le cadre de la réflexion menée par l'Afssa (2005), chaque doublement de la complémentation en iode a conduit à multiplier par 1,6-1,7 la teneur en iode de l'œuf, le poids de l'œuf restant constant. Pour un apport théorique de 1 mg d'iode/kg d'aliment (0,80 mg/kg dosé), la teneur par œuf était de 9,7 µg donc dans la fourchette donnée par Valeix (2003) pour l'œuf standard. Pour un apport théorique maximal de 25 mg/kg (21,5 mg/kg dosé), la teneur par œuf atteignait 78 µg et restait donc dans la limite de sécurité d'apport total en iode pour l'Homme adulte de 600 µg/j établie au niveau européen (SCF, 2002). Pour un apport de 4 mg d'iode/kg d'aliment [inférieur à la limite maximale fixée par la réglementation communautaire mais recommandée à terme par l'EFSA (2005)], la teneur en iode était de 15,7 µg d'iode/œuf. L'œuf est donc moyennement enrichi par comparaison à un œuf standard (issu d'une poule consommant un aliment standard apportant 1 mg d'iode/kg d'aliment) : la consommation de cet œuf couvre alors 10 % de l'ANC chez l'Homme adulte (150 µg/j), au lieu de 6 % pour l'œuf standard.

Par ailleurs, pour des apports en iode équivalents, les teneurs par œuf publiées par Yalçin *et al.* (2004) sont 1,5 à 2 fois plus faibles que celles publiées par Travniček *et al.* (1999), et 2 fois plus faibles que celles publiées par Kaufmann *et al.* (1998), ces 3 études ayant utilisé respectivement de l'iodate de calcium pendant 210 jours, de l'iodure de potassium pendant 74 jours et de l'iodate de potassium pendant 4 semaines. Ainsi, la forme et la durée d'apport de l'iode jouent un rôle majeur sur les quantités stockées dans l'œuf. En accord avec les conclusions de l'EFSA (2005), il est donc nécessaire d'entreprendre une

étude systématique de l'effet des différentes formes d'apport d'iode autorisées en complémentarité chez la poule pondeuse, et ce sur la durée d'un cycle de production.

5. CONCLUSION

Différents facteurs sont susceptibles d'influer la teneur en iode du lait et des œufs. Les données actuellement disponibles, notamment concernant l'alimentation des vaches laitières et des poules pondeuses, permettent de dégager les éléments suivants :

Dans le lait de vache,

- Pour les vaches laitières, le choix de la teneur en iode de l'aliment minéral (AM) selon la quantité distribuée de cet aliment permet de respecter les recommandations d'apports (INRA, 1988) de 0,8 mg d'iode/kg de matière sèche (MS) de ration totale, soit 0,70 mg d'iode/kg de ration totale ayant une teneur en humidité de 12 %. Cette teneur en iode est inférieure à la teneur maximale réglementaire de 5 mg/kg d'aliment complet à 12 % d'humidité, autorisée pour les vaches laitières (Règlement CE n° 1459/2005).
- L'évaluation des coefficients d'absorption réelle du phosphore et du calcium, éléments déterminants dans la quantité et la composition de l'aliment minéral pour une ration déterminée, a évolué. De ce fait, les recommandations de teneurs en iode des aliments minéraux ont été révisées pour adapter les apports d'iode *via* la ration aux besoins quotidiens des animaux. Les données disponibles sur la teneur en iode des aliments conduisent à retenir deux grands types : les aliments riches en iode (aliments comportant des pulpes de betteraves) et ceux pauvres en iode.
- Avec une ration contenant moins de 3 kg de matière sèche (MS) de pulpes de betteraves, la teneur en iode de l'aliment minéral (AM) sera de 125 – 85 – 65 g/kg, respectivement, selon que la couverture des besoins des bovins en phosphate, calcium et magnésium impose de distribuer l'AM à 100 – 150 ou 200 g/j/vache. Avec une ration contenant plus de 3 kg de MS de pulpes de betteraves, la teneur en iode de l'AM sera de 50 – 35 – 30 g/kg, respectivement, selon que la couverture des besoins en phosphate, calcium et magnésium impose d'en distribuer 100 – 150 ou 200 g/j/vache. L'utilisation de ces aliments minéraux (AM) et leurs apports selon les quantités recommandées permettent de ne pas dépasser la teneur en iode du lait de 107 µg/kg [valeur mesurée pour les laits produits en période estivale et correspondant à la teneur ciblée (Afssa, 2005)].
- Néanmoins, ces résultats basés sur des calculs théoriques et des estimations successives nécessiteraient d'être validés, au vu des pratiques actuelles d'apport d'iode dans les aliments complémentaires, minéraux ou non.
- Par ailleurs, il serait souhaitable de disposer de données sur les teneurs en iode des fourrages (et des effets des modes de conservation), des matières premières en fonction de la zone géographique de production (distance à la mer) afin d'adapter éventuellement les pratiques de complémentarité en iode des aliments complémentaires minéraux.
- Enfin, les pratiques d'hygiène de la traite, la concentration en iode de l'eau de boisson (eau du réseau de distribution ou non), peu documentée, interfèrent également sur la teneur en iode du lait collecté.

Dans l'œuf,

- En l'absence de besoin en iode précisément déterminé chez la poule pondeuse, les aliments complets des volailles contiennent généralement 1 à 2 mg d'iode/kg d'aliment en

France, ce qui est bien inférieur à la teneur maximale réglementaire de 5 mg/kg. Les matières premières des régimes pour volailles étant par nature pauvres en iode, cet élément est apporté généralement sous forme d'iodate de calcium ou d'iodure de potassium dans un pré-mélange minéral.

- Il existe très peu d'études scientifiques exploitables sur l'influence de la forme d'apport d'iode sur la teneur en iode de l'œuf de consommation. L'insuffisance de données empêche d'apporter une réponse quantitative à la question posée. Cependant, les quelques données disponibles montrent, à apport alimentaire comparable, une très grande variabilité de la teneur en iode de l'œuf, probablement sous l'effet combiné de la forme chimique d'iode et de sa durée d'apport à la poule pondeuse.
- En accord avec les conclusions de l'EFSA (2005), il apparaît donc nécessaire d'entreprendre une étude systématique de l'effet des différentes formes d'apport d'iode autorisées en complémentation chez la poule pondeuse, et ce sur la durée d'un cycle de production.

L'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (Anses) conclut que :

- L'évaluation réalisée dans le cadre de cet avis montre qu'il paraît possible, en cumulant l'apport alimentaire d'iode correspondant aux besoins des vaches laitières (recommandations INRA, 1988) et celui lié à l'utilisation des produits d'hygiène de la traite, d'obtenir une teneur en iode du lait relativement stable au cours de l'année et inférieure à 107 µg d'iode/kg de lait [niveau cible identifié dans Afssa (2005) ; cette valeur correspond à une réduction de 15 à 20 % de la teneur en iode du lait produit en hiver, plus chargé en iode que le lait d'été]. Sous réserve de vérifications de ces estimations dans les conditions réelles de la filière laitière, cette réduction de la teneur en iode du lait de vache, fort contributeur en iode chez les jeunes enfants, pourrait aider à maîtriser les risques de dépassement de la limite de sécurité pour cette population.
- L'œuf avec une teneur en iode augmentée, via l'enrichissement de l'alimentation de la poule pondeuse, pourrait être un vecteur d'iode intéressant dans la mesure où il est plus fortement consommé par des populations identifiées comme à risque d'insuffisance d'apport en iode, et faiblement consommé par les enfants de 3 ans, population à risque de dépassement de la limite de sécurité de ce nutriment. Toutefois, d'autres études sont nécessaires afin de mieux identifier les teneurs potentielles en iode de cette denrée sous l'effet combiné de la forme chimique d'iode et de sa durée d'apport chez la poule pondeuse.

La poursuite de la réflexion sur ces vecteurs d'apport en iode dans l'alimentation humaine devra prendre en compte l'évolution des apports ainsi que celle du risque d'insuffisance d'apports en iode de la population française estimés à partir de l'étude INCA2, actuellement en cours d'exploitation.

Le directeur général

Marc MORTUREUX

MOTS-CLES

lode, alimentation animale, lait, œuf.

COMPOSITION DU GROUPE DE TRAVAIL (IODE)

P. Brunschwig, D. Hermier, F. Meschy, P. Schmidely (Président), P. Valeix.

ABREVIATIONS

Afssa : Agence française de sécurité sanitaire des aliments
AFZ : Association française de zootechnie
ANC : Apports nutritionnels conseillés
Anses : Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail
AM : Aliment minéral
CAR : Coefficient d'absorption réelle
EFSA : Autorité européenne de sécurité des aliments
FEEDAP : Panel on additives and products or substances used in animal feed
FSA : Food Standards Agency
GLS : Glucosinolates
INCA : Enquête individuelle et nationale sur les consommations alimentaires
INRA : Institut National de la Recherche Agronomique
j : Jour
l : Litre
LS = Limites de sécurité
MS : Matière sèche
NRC : National Research Council
p/p : poids/poids
ppm : partie par million
SCF : Scientific Committee for Food
SU.VI.MAX : Etude sur la "Supplémentation en vitamines et minéraux antioxydants"
T₂ : di-iodothyronine
T₃ : 3,5,3'- tri-iodothyronine
T₄ : 3,5,3',5'- tétra-iodothyronine (thyroxine)
TSH : Thyroïd stimulating hormone (thyroestimuline)

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Publications de l'Afssa (Agence française de sécurité sanitaire des aliments) :

- Afssa (2001). Apports nutritionnels conseillés pour la population française. Tec et Doc Editions, 3^{ème} édition, pp.161-165.
Afssa (2002). Rapport sel : évaluation et recommandations, 200 p.
Afssa (2005). Evaluation de l'impact nutritionnel de l'introduction de composés iodés dans les produits agroalimentaires, 119 p.

Publications de l'EFSA (Autorité Européenne de la Sécurité Alimentaire) :

EFSA (2005). Opinion of the Scientific Panel on Additives and Products or Substances used in Animal Feed on the request from the Commission on the use of iodine in feedstuffs, The EFSA Journal, 168, 1-42.

Textes réglementaires :

Loi n° 2004-806 du 9 août 2004 relative à la politique de santé publique. JORF n° 185 du 11 août 2004, p. 14277.

Règlement (CE) n° 1459/2005 de la Commission du 8 septembre 2005 modifiant les conditions d'autorisation de plusieurs additifs pour aliments des animaux appartenant au groupe des oligoéléments.

Directive 70/524/CEE du Conseil, du 23 novembre 1970, concernant les additifs dans l'alimentation des animaux.

Arrêté du 24 avril 2007 relatif aux substances d'apport nutritionnel pouvant être utilisées pour la supplémentation des sels destinés à l'alimentation humaine.

Articles et ouvrages scientifiques :

Alderman G. et Stranks M.H. (1967). The iodine content of bulk herd milk in summer in relation to estimated dietary iodine intake of cows. *J. Sci. Food Agric.*, 18, 151-153.

Aquaron R. (1991). Teneur en iode total des laits de femmes et des laits de vaches en France. Dans : *Alimentation et nutrition dans les pays en développement*. D. Lemonnier, Y. Yngenbleek, P. Hennart eds, Karthala-ACCT-AUPELF, Paris, pp. 585-594.

Arthur J.R., Nicol F., Becket G.J. (1990). Hepatic iodotyronine deiodinase : the role of selenium. *Biochem. J.*, 272 : 537-540.

Aumont G. (1987). Milk iodine residues after a post-milking iodophor teat-dipping. *Ann. Rech. Vet.*, 18 : 375-378.

Aumont G., Le Querrec F., Lamand M., Ressel J.C. (1987). Iodine content of dairy milk in France in 1983 and 1984. *J. Food Protection*, 50 : 490-493.

Barua J., Cragle R.G., Miller J.K. (1964). Site of gastrointestinal-blood passage of iodide and thyroxine in young cattle. *J. Dairy Sci.*, 47 : 539-545.

Berg J.N., Padgett D., McCarthy B. (1988). Iodine concentrations in milk of dairy cattle fed various amounts of iodine as ethylenediamine dihydroiodide. *J. Dairy Sci.*, 71 : 3283-3291.

Binnerts W.T. (1958). *Acta Physiol. Pharmacol. Neerlandica* 7, cité par Harding, F. (1982) Iodide in Milk and Milk Products. International Dairy federation, IDF Doc 152, Bruxelles.

Brunschwig P., Cadot M., Lemarié J. (1996). Le point sur le tourteau de colza pour les bovins. Ed. Institut de l'élevage- CETIOM, 53 p.

Brunschwig P., Bulot N., Coulon R., Jurquet J., Kernen P., Lamy J.M., Martinot Y., Mathieu Y., Roche F., Sergent M. (2006). *Alimentation minérale des vaches laitières : optimiser l'apport de minéraux*, Ed. Chambres d'Agriculture Pays de la Loire – Institut de l'Élevage – Contrôle Laitier, 12 p.

Du Bois D. et Du Bois E.F. (1916) Clinical calorimetry X. A formula to estimate the approximative surface area if height and weight be known. *Archives of internal medicine*, 17 : 863-871.

FSA (2008). Survey results on iodine levels in UK foods. Food Standards Agency, London, 51 p.

Gaitan E. (1989). *Environmental goitrogenesis*. CRC Press, Boca Raton, Florida, 250 p.

Hemken R.W. (1979). Factors that influence the iodine content of milk and meat: a review. *J. Anim. Sci.*, 48 : 981-985.

Hetzel B.S. (1983). Iodine deficiency disorders (IDD) and their eradication. *Lancet*, 2 : 1126-1129.

Hetzel B.S. et Welby M.C. (1997). Iodine. In: O'Dell, B.L. et Sunde, R.A. (eds). *Handbook of nutritionally essential minerals elements*. Marcel Dekker. New York, pp. 557-582.

INRA (1988). *Alimentation des Bovins, Ovins et Caprins*, Ed. INRA, Paris, 471 p.

INRA (2007). *Alimentation des Bovins, Ovins et Caprins – Tables Inra*, Ed. Quae, Versailles, 307 p.

Jongbloed, A.W., Kemme, P.A., De Groote, G., Lippens, M., Meschy, F. (2002). Bioavailability of major and trace elements. EMFEMA (ed) Brussels, Belgique, 118 p.

- Kaufmann S., Wolfram G., Delange F., Rambeck WA. (1998). Iodine supplementation of laying hen feed: a supplementary measure to eliminate iodine deficiency in humans ? *Zeit. Ernährungswiss.*, 37 : 288-293.
- Lengemann F.W., Swanson E.W. (1957). A study of the secretion of iodine in milk of dairy cows, using daily oral doses of ¹³¹I. *J. Dairy Sci.*, 40 : 215-222.
- Lewis P.D. (2004). Responses of domestic fowl to excess iodine: a review. *Br. J. Nutr.*, 91 : 29-39.
- Lewis R.C. et Ralston N.P. (1953). Changes in the plasma level of protein-bound iodine in the young calf. *J. Dairy Sci.*, 36 : 363-365.
- Lichovnikova M., Zeman L., Cermakova M. (2003). The long-term effects of using a higher amount of iodine supplement on the efficiency of laying hens. *Br. Poultry Sci.*, 44 : 732-734.
- Marcilese N.A., Harms R.H., Valsecchi R.M., Arrington L.R. (1968). Iodine uptake by ova of hens given excess iodine and effect upon ova development. *J. Nutr.*, 94 : 117-20.
- McDowell L.R. (2003). *Minerals in animal and human nutrition*. Elsevier Science B.V. Amsterdam. 644 p.
- Meschy F. (2002). Recommandations d'apport en phosphore absorbé chez les ruminants. *Renc. Rech. Rum.*, 9 : 279-285.
- Meschy F. et Corrias R. (2005). Recommandations d'apport alimentaire en calcium et magnésium absorbables pour les ruminants. *Renc. Rech. Ruminants*, 12 : 221-224.
- Miller J.K., Swanson E.W., Spalding G.E. (1975). Iodine absorption, excretion, recycling and tissues distribution in dairy cows. *J. Dairy Sci.*, 58 : 1578-1593.
- Novus International (1996). *Raw material compendium*, 2nd Edition. Novus Europe, Bruxelles.
- NRC Nutritional Research Council. (1989). *Nutrient requirements of dairy cattle 6th revised edition*. National Academy Press. Washington, DC.
- NRC Nutritional Research Council. (2001). *Nutrient requirements of dairy cattle 7th revised edition*. National Academy Press. Washington. 381 p.
- Sauvant D., Perez J.M., Tran G. (2004). *Tables de composition et de valeur nutritive des matières premières destinées aux animaux d'élevage*. Ed. INRA-AFZ, 301 p.
- SCF (Scientific Committee for Food) (2002). *Opinion of the Scientific Committee on Food on the Tolerable Upper Intake Level of Iodine*. Expressed on 26 September 2002. European Commission, Bruxelles, 25 p.
- Sorensen P. (1962). Studies in thyroid function in cattle and pigs. In: *Use of radioisotopes in animal biology and medical sciences*. Academic Press New York, 455 p.
- Travniček J., Kroupova V., Kratochvil P., Krabacova I. (1999). The effect of excessive iodine intake on the histology of the thyroid gland in layers. *Veterinarni Medicina*, 44 : 177-182.
- Travniček J., Herzig I., Kurša J., Kroupova V., Navratilova M. (2006). Iodine content of raw milk. *Veterinarni Medicina*, 51 : 448-453.
- Underwood E.J. et Suttle N.F. (1999). *The mineral nutrition of livestock*, 3rd edition. CABI Publishing. Oxon (UK), 614 p.
- Valeix P. (2003). L'iode dans l'alimentation. Dans : *L'iode, dossier scientifique de l'Institut Français pour la Nutrition*, Paris, 13 : 11-45.
- Valeix P., Zarebska M., Preziosi P., Galan P., Pelletier B., Hercberg S. (1999). Iodine deficiency in France. *Lancet*, 353 : 1766-1767.
- Wolff J. (1969). Iodide goiter and the pharmacologic effects of excess iodide. *Amer. J. Med.*, 47 : 101-124.
- Yalçın S., Kahraman Z., Yalçın S., Yalçın S.S., Dedeoglu H.E. (2004). Effects of supplementary iodine on the performance and egg traits of laying hens. *Br. Poult. Sci.*, 45 : 499-503.

ANNEXES

Annexe I

Exemple de détermination de la teneur en iode d'un aliment minéral

La ration à base d'herbe conservée pour un troupeau de vaches laitières produisant individuellement 25 kg de lait/jour, de poids moyen de 650 kg, est constituée de :

- 6,8 kg de MS d'ensilage de 1^{ère} coupe de ray grass anglais, apportant 0,68 mg d'iode,
- 3,0 kg de MS de foin 1^{ère} coupe de prairie permanente, apportant 0,30 mg d'iode,
- 4,4 kg de MS de foin 2^{ème} coupe de prairie permanente, apportant 0,44 mg d'iode,
- et complétée par :

- 4,75 kg de blé, apportant 0,29 mg d'iode,
- 0,55 kg de tourteaux tannés de soja, apportant 0,11 mg d'iode,
- et 80 g d'un AM de type 0/28/0.

Cette ration totale (18,9 kg MS) équilibrée en énergie, protéines, P, Ca et Mg apporte 1,82 mg d'iode/jour.

L'ingestion de la ration est accompagnée d'une ingestion d'eau totale évaluée à 94,5 l dont une consommation d'eau de boisson de 72 l apportant 0,87 mg d'iode/jour.

L'apport total en iode par les fourrages, les concentrés, le minéral sans iode et l'eau de boisson est de 2,7 mg/jour.

Les besoins moyens en iode de ce troupeau sont de 15,1 mg/jour.

Pour équilibrer cette ration, l'AM doit apporter 12,4 mg d'iode dans 80 g quotidiennement apportés. La teneur en iode de l'AM doit être de 155 mg d'iode/kg d'AM utilisé pour cette ration.

Annexe II

Rations types, niveau de production laitière, consommation de ration totale, apport d'iode recommandé, iode apporté par la ration hors aliment minéral, quantité d'aliment minéral distribué et teneur en iode recommandée pour l'aliment minéral

n°	type de ration	Production laitière (kg/vache)	Ingestion de ration totale (kg de MS/vache laitière/j)	Apport d'iode recommandé (mg/vache laitière/j)	Concentré hors AM (mg/l)	Apport d'iode par Fourrage + Eau + Concentré hors AM (%)	Part d'iode apportée par Fourrage + Eau + Concentré	Apport en aliments minéraux (g/l)	Teneur recommandée en iode de l'aliment minéral (mg/kg)
1	ensilage maïs + foin + tourteau soja	25	20,0	16,0	2,9	18	240	54	
2	ensilage maïs + foin + tourteau soja	25	20,0	16,0	2,9	18	260	51	
3	ensilage maïs + foin + tourteau soja	30	20,6	16,5	3,1	19	290	46	
4	ensilage maïs + foin + tourteau soja	30	20,6	16,5	3,1	19	260	52	
5	ensilage maïs + foin + tourteau soja	35	22,0	17,6	3,4	19	310	46	
6	ensilage maïs + foin + tourteau soja	35	22,0	17,6	3,4	19	280	51	
7	ensilage maïs + foin + tourteau colza	25	21,0	16,8	3,0	18	180	77	
8	ensilage maïs + foin + tourteau colza	30	21,3	17,0	3,0	18	200	70	
9	ensilage maïs + foin + tourteau colza	35	22,9	18,3	3,3	18	205	73	
10	ensilage maïs + pulpe betterave + foin + tourteau soja	25	19,6	15,7	10,0	64	260	23	
11	ensilage maïs + pulpe betterave + foin + tourteau soja	25	19,5	15,6	9,9	64	175	33	
12	ensilage maïs + pulpe betterave + foin + tourteau soja	30	22,6	18,1	11,7	65	350	19	
13	ensilage maïs + pulpe betterave + foin + tourteau soja	30	22,4	17,9	11,7	65	200	32	
14	ensilage maïs + pulpe betterave + foin + tourteau soja	35	23,9	19,1	12,6	66	235	28	
15	Ensilage maïs + pulpe betterave + foin + tourteau soja	35	24,0	19,2	12,6	66	350	19	
16	2/3 ensilage maïs + 1/3 ensilage Herbe + tourteau soja	25	18,5	14,8	2,6	18	210	58	
17	2/3 ensilage maïs + 1/3 ensilage Herbe + tourteau soja	25	18,5	14,8	2,6	18	180	67	
18	2/3 ensilage maïs + 1/3 ensilage Herbe + tourteau soja	30	20,0	16,0	2,9	18	235	56	
19	2/3 ensilage maïs + 1/3 ensilage Herbe + tourteau soja	30	20,0	16,0	2,9	18	210	62	
20	2/3 ensilage maïs + 1/3 ensilage Herbe + tourteau soja	35	21,1	16,9	3,1	18	280	49	
21	2/3 ensilage maïs + 1/3 ensilage Herbe + tourteau soja	35	21,1	16,8	3,1	18	250	55	
22	1/2 ensilage maïs + 1/2 ensilage Herbe + tourteau soja	20	17,7	14,2	2,5	18	105	111	
23	1/2 ensilage maïs + 1/2 ensilage Herbe + tourteau soja	20	17,7	14,2	2,5	18	105	111	
24	1/2 ensilage maïs + 1/2 ensilage Herbe + tourteau soja	25	19,0	15,2	2,7	18	130	97	
25	1/2 ensilage maïs + 1/2 ensilage Herbe + tourteau soja	25	19,1	15,2	2,7	18	145	87	
26	1/2 ensilage maïs + 1/2 ensilage Herbe + tourteau soja	30	20,7	16,6	3,0	18	172	79	
27	1/2 ensilage maïs + 1/2 ensilage Herbe + tourteau soja	30	20,7	16,6	3,0	18	175	78	
28	1/2 ensilage maïs + 1/2 ensilage Herbe + tourteau soja	30	20,7	16,6	3,0	18	160	85	
29	ensilage herbe + foin + regain + tourteau soja	20	16,6	13,3	2,4	18	60	182	
30	ensilage herbe + foin + regain + tourteau soja	25	18,9	15,1	2,7	18	80	155	
31	Ensilage herbe + foin + regain + tourteau soja	30	20,5	16,4	2,9	18	95	142	
32	foins + regain + tourteau soja	20	19,8	15,8	3,1	20	100	115	
33	foins + regain + tourteau soja	25	19,7	15,7	3,0	19	150	85	
34	foins + regain + tourteau soja	25	17,8	14,2	2,7	19	100	128	
35	foins + regain + tourteau soja	30	21,6	17,2	3,3	19	120	117	
36	foins + regain + tourteau soja	30	21,5	17,2	3,2	19	60	235	
37	ration sèche foin + pulpe + blé + maïs	30	24,5	19,6	15,0	77	100	47	
38	ration sèche foin + pulpe + blé + maïs	30	24,4	19,5	15,0	77	50	94	
39	ration sèche foin + pulpe + blé + maïs	35	26,1	20,8	16,0	77	90	55	
40	ration sèche foin + pulpe + blé + maïs	35	26,2	20,9	16,1	77	180	28	
41	ration sèche foin + pulpe + blé + maïs	40	27,3	21,8	16,8	77	250	20	
42	pâtûre RGA printemps	25	18,0	14,4	1,8	13	125	101	
43	pâtûre RGA printemps	30	19,2	15,4	2,0	13	170	79	

n°	type de ration	Production laitière (kg/l/vache)	Ingestion de ration totale (kg de MS/vache laitière/l)	Apport d'iode recommandé (mg/vache laitière/l)	Concentré hors AM (mg/l)	Apport d'iode par Fourrage + Eau + Concentré hors AM (%)	Part d'iode apportée par Fourrage + Eau + Concentré hors AM (%)	Apport en aliments minéraux (g/l)	Teneur recommandée en iode de l'aliment minéral (mg/kg)
44	pâturage RGA + TB printemps	25	18,0	14,4	1,8	13	90	140	
45	pâturage RGA + TB printemps	30	18,9	15,2	1,9	12	90	148	
46	pâturage RGA été	20	16,5	13,2	1,6	13	80	145	
47	pâturage RGA été	25	18,3	14,6	1,9	13	120	107	
48	pâturage RGA + TB été	20	16,5	13,2	1,7	13	100	115	
49	pâturage RGA + TB été	25	18,1	14,4	1,8	12	100	127	
50	pâturage RGA + ensilage maïs été	20	16,9	13,5	1,9	14	125	94	
51	pâturage RGA + ensilage maïs été	25	18,3	14,6	2,1	15	160	78	
52	pâturage RGA + ensilage maïs automne	25	18,8	15,0	2,3	16	195	65	
53	pâturage RGA + ensilage maïs automne	30	20,3	16,2	2,6	16	230	59	

RGA : Ray Grass Anglais

RGA + TB : Ray Grass Anglais et Trèfle blanc