



**HAL**  
open science

## Récentes avancées sur les facteurs de variation des concentrations en vitamines du lait chez les ruminants

Benoit Graulet

► **To cite this version:**

Benoit Graulet. Récentes avancées sur les facteurs de variation des concentrations en vitamines du lait chez les ruminants. INRAE Productions Animales, 2022, 35 (2), pp.139-154. 10.20870/productions-animales.2022.35.2.7080 . hal-03800999

**HAL Id: hal-03800999**

**<https://hal.inrae.fr/hal-03800999>**

Submitted on 6 Oct 2022

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

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

# Récentes avancées sur les facteurs de variation des concentrations en vitamines du lait chez les ruminants

Benoît GRAULET

Université Clermont Auvergne, INRAE, VetAgro Sup, UMR Herbivores, 63122, Saint-Genès-Champanelle, France

Courriel : benoit.graulet@inrae.fr

■ Les vitamines présentes dans le lait des ruminants ont été très peu étudiées jusqu'à la fin du xx<sup>e</sup> siècle. De nouvelles connaissances ont été acquises récemment sur leurs facteurs de variation. L'évolution des conditions d'élevage pour répondre aux problématiques liées aux aléas climatiques, à la transition agroécologique, à l'évolution des habitudes alimentaires et aux souhaits d'augmentation de la qualité nutritionnelle des produits des consommateurs renforce l'intérêt d'approfondir le sujet et de compléter les lacunes.

## Introduction

La demande croissante de denrées alimentaires, liée à l'explosion démographique mondiale, intègre les produits animaux, dont ceux de ruminants. Cependant, assurer la durabilité de l'élevage, semble une tâche difficile. Entre autres défis, l'agriculture doit rivaliser dans l'utilisation des surfaces arables pour la production d'aliments pour l'homme ou pour les animaux, et prendre en compte les préoccupations environnementales incluant le rôle négatif de l'élevage en termes de rejets (azote et gaz à effet de serre) et celui positif dans le maintien des prairies et d'espaces ouverts, la préservation de biodiversités, le dynamisme économique et démographique des territoires ruraux, les services de production. La transition agroécologique des systèmes agricoles est un chemin pour assurer leur durabilité (Dumont *et al.*, 2013). Elle devrait

conduire à des adaptations dans les systèmes d'élevage de ruminants, celles-ci pouvant affecter la qualité globale des produits. Il conviendra donc d'évaluer l'impact de ces évolutions sur les produits, ceci pouvant participer comme critère d'acceptation, en particulier dans certaines filières proposant des produits à haute valeur ajoutée (dans les filières AOP par exemple).

Sous l'angle de la santé publique, il semble également important d'accroître l'accès des populations, au niveau local comme mondial, à des aliments présentant une densité nutritionnelle optimale. L'ensemble des déterminants de la valeur nutritionnelle des aliments est concerné. L'apport en vitamines doit donc être pris en compte dans l'analyse de la densité nutritionnelle des aliments puisque la couverture des besoins quotidiens est loin d'être acquise (World Health Organization, 1995 ; 2008), et pour plusieurs vitamines (A, B<sub>2</sub>, B<sub>5</sub>, B<sub>9</sub>,

B<sub>12</sub>), la consommation de produits d'origine animale est essentielle à celle-ci (Coudray, 2011 ; Drewnowski, 2011 ; Vissers *et al.*, 2011).

Les facteurs de variation des teneurs en vitamines dans le lait restent encore mal connus, en particulier pour certaines d'entre elles, mais de nouvelles données ont été publiées ces dix dernières années. Dans une première partie, cette synthèse rappellera brièvement les fonctions biologiques impliquant les vitamines, l'effet d'apports insuffisants sur la santé du consommateur et l'intérêt des produits laitiers dans la couverture des apports. Dans une seconde partie elle présentera l'état actuel des connaissances sur les facteurs de variation de leurs teneurs dans le lait des ruminants, en traitant d'une part, les facteurs inhérents à l'animal et, d'autre part, les facteurs extrinsèques, incluant les pratiques d'élevage et en particulier l'alimentation des ruminants.

## 1. Intérêts nutritionnels des vitamines du lait

### ■ 1.1. Les vitamines, une famille de composés indispensables

#### a. Les différentes familles de vitamines

Il existe 13 vitamines connues (tableau 1), réparties en deux groupes selon leur solubilité ; vitamine A (rétinol), vitamine D (calciférols), vitamine E (tocophérols), et vitamine K (phyllo- et ménaquinones) constituent le groupe des lipophiles alors que les huit vitamines B (thiamine, riboflavine, vitamine PP, acide pantothénique, vitamine B<sub>6</sub>, biotine, acide folique et vitamine B<sub>12</sub>) et la vitamine C (acide ascorbique) sont hydrosolubles. Les vitamines ont été caractérisées comme des facteurs nutritionnels, indispensables à de très faibles concentrations pour le bon fonctionnement de l'organisme. Elles ne peuvent pas être synthétisées par l'homme (ou bien pas en quantité suffisante lorsqu'une synthèse est possible comme pour la vitamine D par exemple), et par conséquent, doivent être apportées par l'alimentation, pour certaines (la plupart des vitamines B) quotidiennement car elles ne peuvent pas être stockées par l'organisme.

#### b. Fonctions biologiques et modes d'action

##### • Vitamines A et D

Les vitamines A et D ont une activité de type hormonal régulant l'expression de nombreux gènes *via* des récepteurs

nucléaires spécifiques (comme les stéroïdes ou les hormones thyroïdiennes).

Les déficiences d'apport en vitamine A (le rétinol et ses composés apparentés, principalement l'acide rétinoïque et 11-*cis*-rétinaldéhyde) restent un problème de santé publique dans le monde (Blaner *et al.*, 2021). Par conséquent, ses propriétés biologiques, ses mécanismes d'action (tant au niveau cellulaire que moléculaire), son métabolisme et sa régulation ont été très étudiés (Carazo *et al.*, 2021). Les rétinoïdes ont des rôles essentiels et bien connus dans la vision (le 11-*cis* rétinol principalement). Le rétinol peut également agir comme cofacteur enzymatique. Par ailleurs, l'acide rétinoïque, principale forme active, est impliqué dans le développement et la croissance embryonnaire, foetale et postnatale, dans l'immunité, dans le maintien de l'intégrité des barrières épithéliales, dans le fonctionnement du système nerveux et la régulation du métabolisme énergétique par l'intermédiaire d'un récepteur nucléaire spécifique (Carazo *et al.*, 2021).

Comme la vitamine A, la vitamine D agit *via* le récepteur de la vitamine D (VDR), présent dans tous les tissus. Le terme « vitamine D » comprend plus de 30 composés de la famille de l'ergocalciférol (sous-famille D2) et du cholécalférol (sous-famille D3). Ils sont tous les deux produits sous l'action du rayonnement solaire par les champignons, les levures et certaines plantes pour l'ergocalciférol ou dans la peau des animaux pour le cholécalférol. L'ergocalciférol et le cholécalférol

sont des pro-hormones qui doivent être converties par hydroxylation, d'abord dans le foie en 25-hydroxyvitamine D puis dans les reins, pour devenir pleinement actives sous forme de 1,25-dihydroxyvitamine D (Dominguez *et al.*, 2021). Les formes actives régulent l'expression de nombreux gènes *via* le VDR, agissant comme facteur de transcription nucléaire (Dominguez *et al.*, 2021). Les gènes cibles connus de la vitamine D affectent l'homéostasie du calcium (et du phosphore) au niveau de l'absorption intestinale, la minéralisation osseuse et la réabsorption rénale, mais également de nombreuses fonctions majeures comme l'immunité, le métabolisme, la fonction cardiovasculaire, la reproduction et la force musculosquelettique (Pludowski *et al.*, 2013 ; Dominguez *et al.*, 2021).

##### • Vitamines C et E

Les vitamines C et E sont deux antioxydants naturels majeurs en raison de leur capacité à piéger des radicaux ou à échanger des électrons ou atomes d'hydrogène. Ainsi, chacune à leur niveau (phases aqueuses pour la vitamine C, membranes pour la vitamine E), elles protègent les autres composants des cellules vivantes ou des fluides biologiques des processus d'oxydation et de peroxydation.

La forme la plus active de vitamine E chez les animaux est l' $\alpha$ -tocophérol (Blaner *et al.*, 2021). En tant que composant liposoluble, l' $\alpha$ -tocophérol est situé dans les membranes cellulaires et les enveloppes lipoprotéiques où il protège les Acides Gras Poly-Insaturés (AGPI) environnants de dommages

### Encadré 1. Rappels sur les vitamines.

Les vitamines constituent une famille de composés organiques de natures chimiques diverses, vitaux pour assurer le bon fonctionnement des organismes en jouant un rôle protecteur, régulateur ou fonctionnel toujours indispensable.

Ces composés peuvent être produits par les cellules de certains organismes (végétaux, bactéries, animaux) mais les capacités de synthèse varient selon les espèces ou les ordres au sein de chaque règne, ou encore selon les types cellulaires. Pour exemples :

i) certains types bactériens sont capables de produire des vitamines B alors que les voies de synthèse manquent pour d'autres,

ii) les primates ne peuvent pas synthétiser la vitamine C en raison de l'absence d'une enzyme hépatique alors que la plupart des autres espèces de mammifères en ont la capacité.

Ainsi, chez les animaux, les vitamines qui ne peuvent pas être synthétisées par un organisme doivent donc être apportées par l'alimentation. Ces nutriments sont nécessaires en quantités variables selon leurs rôles, les besoins individuels, les capacités de stockage corporel. Les apports insuffisants induisent des dysfonctionnements qui peuvent être très graves, voire mortels.

**Tableau 1. Caractéristiques biochimiques, modes d'action et principales fonctions biologiques des vitamines (d'après Graulet et al., 2013).**

Nom	Principales formes chimiques	Solubilité	Modes d'action	Principales fonctions biologiques
<b>A</b>	Rétinol, rétinol, acide rétinoïque	Liposoluble	Régulation de l'expression de gènes via un récepteur nucléaire	Vision, immunité, organogenèse, différenciation tissulaire, intégrité épithéliale, reproduction
<b>B<sub>1</sub></b>	Thiamine, thiamine- phosphate	Hydrosoluble	Cofacteur enzymatique	Métabolismes des sucres, des acides aminés ramifiés
<b>B<sub>2</sub></b>	Riboflavine, flavine- mono- ou di-nucléotide phosphate	Hydrosoluble	Cofacteur enzymatique	Métabolismes des sucres, des acides gras, production d'énergie
<b>B<sub>3</sub>(PP)</b>	Niacine, nicotinamide	Hydrosoluble	Cofacteur enzymatique	Métabolismes des sucres, des acides gras, production d'énergie
<b>B<sub>5</sub></b>	Acide pantothénique, coenzyme A	Hydrosoluble	Cofacteur enzymatique	Métabolismes des acides gras, production d'énergie
<b>B<sub>6</sub></b>	Pyridoxine, pyridoxamine, pyridoxal, pyridoxal-5-phosphate	Hydrosoluble	Cofacteur enzymatique	Métabolismes des acides aminés, synthèse de l'hème
<b>B<sub>8</sub></b>	Biotine	Hydrosoluble	Cofacteur enzymatique	Transports de bicarbonate activé pour des réactions de carboxylation dans la synthèse des lipides, du glycogène et des acides aminés
<b>B<sub>9</sub></b>	Acide folique, folates, acide tétrahydrofolique	Hydrosoluble	Cofacteur enzymatique	Transports de groupements monocarbonés pour des réactions de méthylation impliquées dans la synthèse des acides nucléiques, des lipides, d'hormones, de protéines, de la myéline
<b>B<sub>12</sub></b>	Cobalamines	Hydrosoluble	Cofacteur enzymatique	Activation des folates, oxydation des acides aminés ramifiés, des acides gras à chaîne impaire et du propionate
<b>C</b>	Acide ascorbique	Hydrosoluble	Antioxydant	Antioxydant ou agent réducteur participant comme cofacteur de l'hydroxylation du collagène, de la synthèse de norépinephrine, de l'amidation d'hormones peptidiques, du métabolisme de la tyrosine
<b>D</b>	Cholécalciférol, ergocalciférol	Liposoluble	Régulation de l'expression de gènes via un récepteur nucléaire	Homéostasie du calcium et du phosphore, minéralisation osseuse, contraction musculaire, conduction nerveuse
<b>E</b>	Tocophérols	Liposoluble	Antioxydant	Antioxydant protecteur des membranes cellulaires et de leurs composants dont les acides gras polyinsaturés
<b>K</b>	Phylloquinone, ménaquinone	Liposoluble	Cofacteur enzymatique	Coagulation sanguine, régulation du cycle cellulaire

oxydatifs. La vitamine E exerce son effet antioxydant en piégeant les radicaux lipidiques et/ou en bloquant les chaînes de réactions oxydantes. Ce faisant, elle favorise le bon fonctionnement des cellules du corps et des lipoprotéines, agit sur la fluidité membranaire qui est particulièrement importante pour la transduction des signaux impliqués dans de nombreux processus biologiques (Blaner *et al.*, 2021).

La vitamine C possède une action complémentaire en favorisant la réduction de la forme oxydée de l' $\alpha$ -tocophérol (Blaner *et al.*, 2021). Elle exerce également sa propriété antioxydante en agissant comme un cofacteur d'enzymes impliquées dans des voies de biosynthèse (catécholamines, carnitine, cholestérol, acides aminés, peptides hormonaux), dans le maintien des fonctions cérébrales et la protection du système nerveux central, l'angiogénèse, la survie cellulaire, le métabolisme du glucose, l'homéostasie du fer. La capacité antioxydante de la vitamine C suggérerait qu'elle participe à la protection face au développement de cancers résultant d'attaques oxydatives sur l'ADN. Dans les faits, les données de la littérature, que ce soient des données expérimentales ou épidémiologiques, sont contrastées puisque des effets protecteurs, neutres ou aggravant ont pu être observés. Pour le cancer du sein, une interaction entre les doses de suppléments de vitamine C et le niveau d'apport de cette même vitamine par la diète expliquerait ces contradictions (Cadeau *et al.*, 2016).

#### • Vitamines B et K

Comme l'acide ascorbique, les vitamines B et la vitamine K sont des cofacteurs enzymatiques. La vitamine K agit comme cofacteur des  $\gamma$ -glutamyl-carboxylases, enzymes qui effectuent la conversion moléculaire de certains résidus glutamate en  $\gamma$ -carboxyglutamates au niveau de certaines protéines au cours de leur processus de sécrétion, permettant leur activation post-traductionnelle. Ces protéines sont principalement impliquées dans l'hémostase sanguine (facteurs de coagulation) et l'homéostasie calcique (ostéocalcine, matrice-Gla protéine). D'autres encore sont des facteurs régulant l'apoptose

cellulaire (GAS-6), la transduction du signal ou le développement de la croissance (Graulet *et al.*, 2013). Des études épidémiologiques ont montré plus récemment des relations d'incidence entre les niveaux d'apports en vitamine K et le risque de développer des symptômes dépressifs ou des maladies cardio-coronariennes (Kuwabara *et al.*, 2021).

Les vitamines B sont activées par plusieurs processus : la phosphorylation pour la thiamine et la famille des pyridoxines ; l'addition de nucléotides pour la cobalamine, la riboflavine, la niacine et l'acide pantothénique ; la déconjugaison du glutamate et la réduction pour l'acide folique. Sous forme activée, ce sont des cofacteurs enzymatiques, indispensables au métabolisme cellulaire des acides gras, des acides aminés, des glucides, à la production d'énergie, la synthèse de l'hème et des acides nucléiques et qui participent à la régulation du statut antioxydant cellulaire (tableau 1).

Ainsi, il est évident que les vitamines sont essentielles à la vie, en maintenant le fonctionnement efficace des cellules et l'intégrité des tissus.

### ■ 1.2. Apports en vitamines et santé du consommateur

Pour la plupart des vitamines, les recommandations proposées sont considérées comme répondant aux besoins de 97,5 % de la population (selon l'âge, le sexe et pour les femmes, l'état physiologique). Les besoins sont très différents selon les vitamines, allant de quelques microgrammes par jour pour la vitamine B<sub>12</sub> et la vitamine D, à plus de 100 milligrammes par jour pour la vitamine C (tableau 2). Les recommandations varient avec l'âge et atteignent généralement des valeurs maximales après la puberté, lorsque la taille a tendance à se stabiliser. Néanmoins, rapportés en fonction du poids corporel, les besoins sont nettement plus importants chez les nourrissons, les enfants et les adolescents que chez les adultes.

Les carences en vitamines induisent des maladies spécifiques (tableau 2).

Malgré les programmes de l'UNICEF, la carence en vitamine A reste une préoccupation majeure. Sa carence est de loin la plus fréquente ; il a été estimé que trois millions d'enfants développaient une xérophtalmie chaque année, 250 millions en considérant les déficiences subcliniques détectées par les mesures sanguines (FAO/WHO, 2001). Les sujets à risque sont les enfants de moins de trois ans, car il s'agit d'une période de croissance rapide, de transition nutritionnelle de l'allaitement vers d'autres aliments qui peuvent ne pas être de bonnes sources de vitamine A, et d'infections sévères. Les facteurs de risque non négligeables de carence en vitamine A sont la consommation prédominante de vitamine A sous forme de caroténoïdes provenant d'une alimentation pauvre en graisses qui limite leur absorption, ou le décalage saisonnier entre l'accès à une alimentation riche en énergie et en macronutriments favorisant la croissance de l'enfant et l'accès à un régime riche en fruits (comme les mangues) contenant des niveaux élevés de  $\beta$ -carotène (FAO/WHO, 2001).

Les carences subcliniques en vitamines B restent un problème de santé publique dans plusieurs régions du monde (Asie et Afrique principalement) en raison de régimes alimentaires de mauvaise qualité en termes d'apport en micronutriments. De même, la carence en vitamine C affecte les personnes consommant une quantité insuffisante de légumes et de fruits par jour. Les populations déplacées et les réfugiés vivant dans les camps sont les plus susceptibles de développer des carences en vitamines en raison de la consommation d'aliments céréaliers qui sont pauvres en micronutriments. Les carences en vitamines B affectent particulièrement les bébés allaités dont les mères ont une alimentation déficiente. De plus, malgré sa large distribution dans les aliments, une carence en folates ou un statut sous-optimal est assez courant en raison d'un apport relativement faible combiné à des pertes importantes lors de la récolte, du stockage, de la transformation ou de la cuisson des aliments. Comme pour les autres vitamines, la grossesse et l'allaitement augmentent les besoins en folates ; cependant, répondre aux

**Tableau 2. Recommandations alimentaires en vitamines, conséquences d'apports insuffisants et sujets à risque chez l'Homme (d'après Anses, 2016a ; Anses, 2016b ; FAO/WHO, 2001).**

Vitamine	Unité	RNP et AS <sup>3</sup>		Conséquences des déficiences	Sujets identifiés à risque
		Enfants <sup>2</sup>	Adultes <sup>2</sup>		
<b>A</b>	µg ER <sup>1</sup> /j	250 - 400	600 - 750	Xérophtalmie, pertes d'efficacité de reproduction, anémie, retard de croissance	Plusieurs millions d'enfants en âge préscolaire et de femmes enceintes par an, essentiellement dans les pays en voie de développement
<b>B<sub>1</sub></b>	µg/MJ	100 <sup>4</sup>	100 <sup>4</sup>	Beri-beri, polyneurite	Endémique en Asie
<b>B<sub>2</sub></b>	µg/j	600 - 700	1 400 - 1 600	Arabinoflavine, mal de gorge, hyperémie, œdème pharyngé, stomatite angulaire	Individus présentant des troubles de la digestion : enfants des pays en voie de développements atteints d'infections gastro-intestinales, patients présentant une intolérance au lactose, une maladie cœliaque, une tumeur maligne ou une résection de l'intestin grêle, une diminution du transit gastro-intestinal, un alcoolisme sévère.
<b>B<sub>3</sub>(PP)</b>	µg EN <sup>1</sup> /MJ	1 600	1 600	Pellagre : dermatite, démence, diarrhée	Endémique dans les zones les plus pauvres d'Inde, de Chine et d'Afrique
<b>B<sub>5</sub></b>	µg/j	4 000 - 5 000	5 000 - 6 000	Irritabilité, détresse épigastrique, hypotension orthostatique, rythme cardiaque rapide, engourdissement et picotements des mains et des pieds, réflexes tendineux hyperactifs et faiblesse des muscles des doigts	Rarement trouvé isolément
<b>B<sub>6</sub></b>	µg/j	600 - 1 000	1 400 - 1 700	Convulsions, lésions cutanées, anémie, dysfonctionnement du système nerveux et du système immunitaire	Enfants, et populations présentant des désordres alimentaires ou de mauvaises conditions nutritionnelles
<b>B<sub>8</sub></b>	µg/j	20 - 25	35 - 40	Dermatite, conjonctivite, alopecie, anomalies du système nerveux central, retard de croissance chez l'enfant, dépression, hallucinations et paresthésie chez l'adulte	Principalement observé chez les sujets normaux avec une consommation élevée de blancs d'œufs crus ou chez les patients atteints de malabsorption (syndrome de l'intestin court...)
<b>B<sub>9</sub></b>	µg EFA <sup>1</sup> /j	120 - 200	270 - 330	Anémie mégaloblastique, défauts de développement du tube neural chez le fœtus pouvant conduire à un spina bifida voire une anencéphalie	Fréquent pour les personnes ayant un régime pauvre en folates, les sujets atteints du syndrome de malabsorption, les femmes enceintes et allaitantes (en raison de l'augmentation de la demande en folates pour la croissance du conceptus ou la sécrétion dans le lait, respectivement)



Vitamine	Unité	RNP et AS <sup>3</sup>		Conséquences des déficiences	Sujets identifiés à risque
		Enfants <sup>2</sup>	Adultes <sup>2</sup>		
B <sub>12</sub>	µg/j	1,5	2,5 - 4,0	Anémie pernicieuse (neuropathie et/ou anémie)	Personnes ayant un régime sans produits animaux, patients âgés souffrant d'anémie pernicieuse ou plus couramment de gastrite atrophique
C	µg/j	20 000 - 45 000	70 000 - 110 000	Anémie, scorbut	Populations dont le régime est pauvre en fruits et légumes
D	µg/j	15	15	Rachitisme chez l'enfant, fracture de la hanche chez les personnes âgées	Nourrissons allaités en raison de besoins importants pour la croissance squelettique mais de faibles apports liés à la pauvreté du lait maternel ; Populations ayant une exposition réduite au soleil ce qui limite la biosynthèse endogène (saison, latitude, culture ou raisons sociales) ; Personnes âgées
E	µg/j	7 000 - 9 000	8 000 - 10 000	Symptômes neurologiques	Patients souffrant de dénutrition sévère, de troubles de l'absorption ou du métabolisme lipidique, de mucoviscidose
K <sub>1</sub>	µg/j	29 - 45	45 - 79	Troubles de l'absorption des lipides	-

<sup>1</sup> ER : équivalent rétinol ; EN : équivalent niacine ; EFA : équivalent acide folique.

<sup>2</sup> Les valeurs présentées ici sont pour les enfants, considérés de 1 à 10 ans, et pour les adultes, les individus mâles ou femelles (non gestantes, non allaitantes) dont l'âge est supérieur à 10 ans incluant donc les adolescents.

<sup>3</sup> Les données présentées sont des Références Nutritionnelles pour la Population (RNP) ; une RNP est l'apport qui couvre en théorie le besoin de presque toute la population considérée (97,5 % dans la plupart des cas), tel qu'estimé à partir des données expérimentales. Lorsque la RNP ne peut pas être estimée, faute de données suffisantes, mais que des études d'observations de population à long terme montrent des effets sur la santé, comme par exemple la prévention de maladie, elles peuvent être prise en compte pour définir un apport satisfaisant (AS). Ainsi, les données sont des AS pour les vitamines B<sub>5</sub>, B<sub>6</sub>, B<sub>12</sub>, D, E et K.

<sup>4</sup> Soit en moyenne 1,5 mg de vitamine B<sub>1</sub>/j pour un homme et 1,2 mg/j pour une femme.

besoins en folates est particulièrement important au début de la grossesse pour une multiplication cellulaire adéquate dans l'embryon et ensuite la formation de tissus chez le fœtus. L'augmentation des besoins très tôt au cours de la grossesse a conduit à des politiques d'enrichissement alimentaire dans 42 pays d'Amérique (USA, Canada, Mexique, presque tous les pays d'Amérique du Sud), en Arabie mais pas en Europe où le rapport bénéfice/risque de l'enrichissement en acide folique est encore débattu (Food Safety Authority of Ireland, 2006). En effet, l'interprétation des résultats d'études sur les effets de la fortification en acide folique d'ingrédients pour l'alimentation humaine est parfois rendue difficile par les interactions et dépendances métaboliques entre les vitamines B<sub>9</sub> et B<sub>12</sub> (et

B<sub>6</sub>) et la fortification combinée par de l'acide folique et de la vitamine B<sub>12</sub> ainsi été suggérée (Selhub et Paul, 2011). D'autres facteurs de risque de carence en vitamines B sont les troubles intestinaux conduisant à leur malabsorption : infection par l'ankylostome (vitamines B<sub>1</sub> et B<sub>6</sub>), maladie de Crohn (vitamine B<sub>3</sub>), anémie pernicieuse (vitamine B<sub>12</sub>), alcoolisme chronique (vitamines B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, B<sub>3</sub>), ou encore l'âge (vitamines B<sub>1</sub>, B<sub>6</sub> et B<sub>12</sub>) (FAO/WHO, 2001). Le déficit subclinique en vitamines B est relativement répandu et fréquemment lié au développement de maladies chroniques. En effet, une carence en folate comme certaines autres vitamines B (B<sub>12</sub>, B<sub>6</sub> ou riboflavine notamment) également impliquées directement ou indirectement dans le métabolisme cellulaire monocarboné, augmente la concen-

tration plasmatique d'homocystéine qui est considérée comme un facteur de risque du syndrome métabolique, de certaines maladies coronariennes, de troubles neurologiques et de plusieurs types de cancer (Eussen *et al.*, 2013 ; Forssén *et al.*, 2000 ; McDowell, 2000 ; Tucker *et al.*, 2005).

### ■ 1.3. Intérêts du lait pour l'apport de vitamines

#### a. Consommation de lait et apports en vitamines

Le lait est un élément essentiel de l'alimentation humaine, en particulier après la naissance et pendant l'enfance. Même chez les adultes, la consommation de lait et de produits laitiers reste importante et varie de 180 kg de lait consommé par habitant et par an

en Islande ou en Finlande à 50 kg en Chine ou au Japon (Haug *et al.*, 2007). En France en 2020, avec 2,25 millions de tonnes, le lait conditionné, presque essentiellement le lait de vache demi-écrémé, non biologique, de longue conservation, est le principal produit laitier acheté (FranceAgriMer, 2021). Pour cette seule catégorie de produit laitier, cela représente 33,4 kg consommés par an et par habitant (considérant une population de 67,39 millions). À cela s'ajoutent les produits ultra-frais (1,67 million de tonnes) qui présentent des parts variables de lait dans leur composition, les fromages (0,86 million de tonnes) et enfin les crèmes conditionnées et matières grasses solides (environ 0,27 million de tonnes chacune) issues essentiellement de lait de vache (FranceAgriMer, 2021).

À ces quantités de produits laitiers achetés et consommés correspondent des quantités de vitamines ingérées. En effet, le lait de vache contient les 13 vitamines, à des concentrations variant de quelques microgrammes par litre (pour D et B<sub>12</sub>) à plusieurs milliers (pour C et B<sub>5</sub>; **tableau 3**). Lorsqu'on se place dans une situation théorique de la consommation par un humain adulte d'une portion de 250 millilitres de lait entier UHT de vache, cela représente plus de 10 % des apports recommandés en vitamine A, 15 % de la vitamine B<sub>12</sub>, autour de 20 % de la vitamine B<sub>5</sub> et 25 % pour la vitamine B<sub>2</sub> (**tableau 3**). Pour sortir de cette approche théorique et se rapprocher de situations existantes, des études épidémiologiques menées sur des cohortes d'individus en interrogeant leurs habitudes alimentaires ont montré que le lait et les produits laitiers sont parmi les principaux contributeurs de l'apport en vitamines A, D, B<sub>2</sub>, B<sub>5</sub>, B<sub>9</sub> et B<sub>12</sub> dans l'alimentation humaine en France (Coudray, 2011), aux Pays-Bas (Vissers *et al.*, 2011) ou aux États-Unis (Drewnowski, 2011). Ainsi, les données françaises issues de l'étude INCA-2 indiquent que la consommation des différents produits laitiers par les jeunes de 3 à 17 ans peut couvrir jusqu'à 38 % des recommandations en vitamine B<sub>2</sub> (devant le groupe des produits carnés, des œufs et des produits de la mer), 22 à 25 % pour les vitamines A, B<sub>12</sub> (juste après le groupe des produits carnés) et

**Tableau 3. Concentrations en vitamines et contribution du lait de vache aux apports recommandés (Valeurs estimées à partir de la consommation d'une portion de 250 mL d'un lait de vache entier UHT ; aliment 19023 Ciquai 2020).**

Vitamines	Concentrations moyennes µg/L	Estimations de la contribution de la consommation d'une portion de lait (250 ml) aux apports recommandés journaliers d'adultes (plus de 18 ans)	
		En %	
		Min	Max
Rétinol	314 <sup>a</sup>	11,1	12,8
β-carotène	219 <sup>d</sup>	ND	ND
D	< 2,5 <sup>a</sup>	4,2	4,2
E	890 <sup>c</sup>	2,1	2,2
K1	< 8 <sup>a</sup>	5,4	9,4
K2	9 <sup>b</sup>	ND	ND
B1	410 <sup>a</sup>	6,8	8,5
B2	1 700 <sup>a</sup>	23,6	28,3
B3 (PP)	< 1 000 <sup>a</sup>	1,4	1,8
B5	4 300 <sup>a</sup>	18,5	22,9
B6	200 <sup>a</sup>	2,8	3,3
B9	< 25 <sup>a</sup>	1,9	1,9
B12	2,4 <sup>a</sup>	15,0	15,0
C	< 5 000 <sup>a</sup>	1,1	1,8

Les lettres a, b, c, et d en indices illustrent le niveau de confiance à accorder aux valeurs présentées, a étant le niveau de confiance optimale. Le code confiance proposé dans la table Ciquai est symbolisé par une échelle de fiabilité allant de a (donnée très fiable) à d (donnée peu fiable). La fiabilité est principalement estimée selon la représentativité des données par rapport au marché français, leur année et la qualité de la méthode analytique.

ND : non déterminé.

B<sub>5</sub> (juste après le groupe des aliments riches en amidon), un peu moins de 20 % pour la vitamine D (juste après le groupe des produits carnés en particulier les produits de la mer). Bien que plus faibles chez les adultes (17 à 79 ans), ces valeurs atteignent 28 % pour la vitamine B<sub>2</sub> et autour de 15 % pour les vitamines A, D et B<sub>12</sub> (Coudray, 2011). Des résultats relativement similaires sont obtenus aux États-Unis et aux Pays-Bas mais des écarts sont observables du fait des bases de composition des ali-

ments et des recommandations nutritionnelles qui varient entre les États. Ces résultats sont à relier à l'évaluation globale de la couverture des besoins en ces vitamines par la ration dans ces deux derniers pays ainsi qu'en Allemagne et au Royaume-Uni sur la même période. Cette évaluation est inquiétante car elle montre que plus de 75 % de la population adulte (19-50 ans) présente des apports insuffisants en vitamines D et B<sub>9</sub>, sauf au Pays-Bas pour la vitamine D et aux États-Unis et au Royaume-Uni



pour la vitamine B<sub>9</sub> où cela concerne plutôt 5 à 50 % de la population. Hormis la vitamine B<sub>3</sub> pour laquelle les besoins seraient assez bien couverts en général, pour les autres vitamines B considérées (B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, B<sub>6</sub> et B<sub>12</sub>), les évaluations montrent que la part de la population dont les apports seraient inférieurs aux besoins varie de moins de 5 % jusqu'à 50 à 75 % selon les pays et les vitamines (Troesch *et al.*, 2012). En France, 72 % de la population adulte présente un statut en vitamine D insuffisant voire carencé, et la prévalence du risque de déficit en folates est de 13,4 % chez les femmes adultes en âge de procréer (Esen, 2016). Nous ne disposons pas de résultats équivalents pour les autres vitamines B.

#### b. Intérêts du lait pour la couverture des besoins en vitamines

Mises à part les concentrations en vitamines B du lait et des produits laitiers et les habitudes de consommation des populations, certains facteurs confèrent à ces aliments un intérêt supplémentaire pour les apports aux consommateurs. Ainsi, la meilleure digestibilité des vitamines B des produits laitiers a été démontrée chez le porc, d'une part par rapport aux produits végétaux pour les vitamines B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub> et B<sub>5</sub> (Roth-Maier et Kirchgessner, 1996), et, d'autre part, par comparaison à un apport sous forme synthétique pour la vitamine B<sub>12</sub> (Matte *et al.*, 2012 ; Bueno-Dalton *et al.*, 2018) et les vitamines B<sub>1</sub> et B<sub>2</sub> (Singh et Deodhar, 1993 ; Singh et Deodhar, 1994). Ces derniers auteurs ont démontré chez le rat que la présence de certains composants du lait favorise la biodisponibilité de ces vitamines. Pour la vitamine B<sub>9</sub>, la protéine de liaison présente dans le lait qui lui est spécifique protégerait cette vitamine lors du transit digestif, permettant ainsi une meilleure disponibilité pour le consommateur (Nygren-Babol et Jägerstad, 2012).

De plus, la bonne valeur nutritionnelle globale (en considérant les différents constituants protéiques, lipidiques et minéraux) et le coût relativement faible du lait et des produits laitiers en font des sources très attractives de nutriments, y compris de vitamines, pour les populations économiquement défavorisées, soit dans

les sociétés occidentales, soit dans les pays en développement, car ils « fournissent le plus de nutriments pour le moins d'argent » (Drewnowski, 2011).

Enfin, le lait est plus ou moins disponible tout au long de l'année. Il se conserve, se stocke et se transporte bien. Il bénéficie généralement d'une image positive auprès des populations, à travers le monde.

## 2. Facteurs de variation des concentrations en vitamines du lait

### ■ 2.1. Facteurs dépendants de l'animal

Les bovins, ovins et caprins sont les principales espèces laitières au niveau mondial bien que d'autres espèces laitières (jument, chamelle...) puissent être importantes dans certaines zones géographiques (Medhammar *et al.*, 2012). Le lait de vache est de loin celui dont la composition a été la plus étudiée, notamment pour sa teneur en vitamines. Les données sont moins complètes pour les autres espèces laitières, y compris les ovins et les caprins. Par conséquent, il est difficile d'évaluer la variabilité des concentrations en vitamines au sein et entre les espèces, en particulier pour les vitamines B. Les données de la littérature ont été synthétisées montrant la faiblesse du nombre de déterminations (Graulet *et al.*, 2013). Cependant, cette comparaison suggère que les laits de petits ruminants, en particulier celui de brebis, seraient plus riches en vitamines B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, B<sub>3</sub>, B<sub>5</sub>, B<sub>6</sub> et B<sub>8</sub> que le lait de vache. De plus, le lait de chèvre serait le plus pauvre en vitamines B<sub>9</sub> et B<sub>12</sub>. Une comparaison directe de la composition en vitamines B du lait de vaches et de chèvres de stades physiologiques, parités et régimes alimentaires équivalents a été réalisée récemment. Les concentrations en vitamine B<sub>6</sub> observées étaient alors plus élevées chez les chèvres (+ 21 %) que chez les vaches mais la concentration en vitamine B<sub>2</sub> était similaire entre les deux espèces tandis que les concentrations en vitamines B<sub>9</sub> et B<sub>12</sub> étaient respectivement 10 et 16 fois plus élevées dans le lait de vache (Graulet *et al.*, 2019).

Les écarts de concentrations en vitamines B entre races de ruminants au sein d'une espèce, bien que souvent mis en évidence, semblent provenir des effets de dilution/concentration dus aux volumes de lait produit (Graulet et Girard, 2017). Les derniers résultats obtenus au laboratoire montrent cependant que des chèvres de la race Alpine produisent des laits plus riches en vitamine B<sub>2</sub> (+ 18 %) et B<sub>9</sub> (+ 14 %) que les chèvres de race Saanen, indépendamment de leur niveau de production laitière et de leur alimentation, les concentrations en vitamines B<sub>6</sub> et B<sub>12</sub> étant équivalentes entre les deux races (Graulet, non publié).

La sécrétion dans le lait semble également modulée par des facteurs génétiques comme il a été observé chez la vache pour les vitamines B<sub>2</sub> et B<sub>12</sub>. En effet, les coefficients d'héritabilité de leurs concentrations dans le lait sont de 0,52 pour la race Holstein et 0,31 pour la race Jersey pour la vitamine B<sub>2</sub> (Poulsen *et al.*, 2015b), et pour la vitamine B<sub>12</sub> de 0,23 pour la Holstein au Canada (Duplessis *et al.*, 2016) et 0,37 pour la race Holstein-Frisonne aux Pays-Bas (Rutten *et al.*, 2013).

Les différentes études ayant tenté de détecter les variations des concentrations en vitamines B dans le lait tout au long de l'année ont été récapitulées par Graulet et Girard (2017). Mais les variations saisonnières sont très difficiles à dissocier *i)* des différences dues au stade de lactation dans les études où il n'y a qu'une ou deux saisons de vêlage *ii)* de la composition de l'alimentation. Le faible nombre de données disponibles ne permet pas de réaliser une méta-analyse à l'heure actuelle.

### ■ 2.2. Effet de l'alimentation des ruminants

#### a. Composition de la ration

Les études disponibles sur l'effet des conditions alimentaires sur la concentration en vitamines du lait ont été menées dans l'espèce bovine. Elles montrent que les teneurs en vitamines liposolubles (A, E et  $\beta$ -carotène) dans le lait dépendent des quantités consommées de ces composés (Calderon *et al.*, 2007). Ainsi, les concentrations en

$\beta$ -carotène les plus élevées se trouvent normalement au printemps et en été, lorsque les vaches sont au pâturage (2 à 5 fois plus élevées que dans le lait de vaches nourries à l'ensilage de maïs ; Nozière *et al.*, 2006). Cette différence d'apport en  $\beta$ -carotène explique les variations de concentrations en vitamine A du lait qui ont pu être observées dans un réseau de fermes commerciales européennes : laits plus riches lorsque les vaches sont au pâturage par rapport aux autres rations, les déterminants de l'enrichissement dans les rations hivernales étant la présence d'ensilage d'herbe et le niveau de complémentation en vitamine A de synthèse (Chassaing *et al.*, 2016). En conditions d'expérimentation contrôlée, il a été démontré que les concentrations en  $\alpha$ -tocophérol du lait augmentent de manière linéaire avec son apport chez les vaches (Calderon *et al.*, 2007), ce qui explique la différence observée entre le lait des vaches au pâturage et ceux des vaches nourries à base d'ensilage d'herbe, de foin ou de maïs (Martin *et al.*, 2004). Les données concernant les vitamines D et K manquent encore pour évaluer les facteurs contribuant à leurs concentrations respectives dans le lait et les moyens d'augmenter potentiellement leur sécrétion avec la matière grasse du lait.

Les vitamines B du lait des ruminants peuvent provenir de la ration si elles ne sont pas captées et utilisées par les microorganismes dans le rumen et des synthèses par certaines bactéries présentes dans le rumen. Par conséquent, tous les facteurs affectant le temps de transit, les fermentations ruminales ainsi que l'activité et l'abondance des différentes espèces bactériennes présentes dans le rumen peuvent modifier les quantités de vitamines B atteignant les sites d'absorption dans l'intestin grêle. Plusieurs études présentant des valeurs de flux digestifs des vitamines B chez les vaches laitières ont été conduites par Christiane Girard et ses collaborateurs ces dix dernières années. Ayant recours à des marqueurs indigestibles, elles ont permis de quantifier les vitamines disponibles pour absorption au niveau du duodénum et de calculer des bilans nets au niveau du rumen en considérant les quantités

ingérées avec la ration. La synthèse de ces études indique une forte variabilité entre vitamines B et pour une vitamine B considérée selon les études (Girard et Graulet, 2021). Les flux duodénaux de vitamines B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub> ni B<sub>3</sub> ne sont généralement pas corrélés avec leur apport respectif par la ration, au contraire des vitamines B<sub>6</sub> et B<sub>9</sub> (Beaudet *et al.*, 2016 ; Beaudet *et al.*, 2020 ; Castagnino *et al.*, 2016a ; Castagnino *et al.*, 2016b ; Castagnino *et al.*, 2017a ; Castagnino *et al.*, 2017b ; Castagnino *et al.*, 2017c ; Seck *et al.*, 2017). De plus, ces études montrent parfois un bilan ruminal positif ou négatif, traduisant une synthèse apparente ou une dégradation dans le rumen pour les trois vitamines B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub> et B<sub>3</sub>. Au contraire, le bilan ruminal net est toujours positif pour les vitamines B<sub>6</sub> et B<sub>9</sub> indiquant l'importance quantitative des apports alimentaires pour celles-ci. Des données équivalentes ne sont pas disponibles pour les vitamines B<sub>5</sub> et B<sub>8</sub> ou encore pour la vitamine B<sub>12</sub> puisque celle-ci est absente de la ration.

Ainsi, les relations entre les apports alimentaires de vitamines B (la composition de la ration) et leurs concentrations dans le lait ne seraient pas directes et semblent donc difficiles à établir.

L'analyse des variations de concentration en vitamines B du lait selon la composition de la ration ne considère donc pas les apports directs par les aliments (tableau 4). Ainsi, l'augmentation de l'apport protéique ou énergétique au-delà des besoins des vaches laitières n'a eu aucun effet sur les concentrations en vitamines B<sub>1</sub>, B<sub>5</sub> et B<sub>6</sub> dans le lait (Kirchgessner *et al.*, 1991). De même, limiter l'apport en protéines et en énergie à 80 et 85 % des besoins de la vache n'influence pas non plus les concentrations en vitamine B<sub>1</sub> dans le lait (Kirchgessner *et al.*, 1992). L'augmentation de la proportion de fourrage n'a eu aucun effet sur la concentration en vitamines B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub> et B<sub>6</sub> dans le lait (Shingfield *et al.*, 2005), a diminué celle en vitamines B<sub>5</sub> (Ragaller *et al.*, 2011) mais a augmenté celle en vitamine B<sub>12</sub> (Walker et Eliot, 1972). La nature du fourrage peut également affecter les concentrations en vitamines B du lait. Le remplacement de l'ensilage d'herbe par du foin diminue

la concentration en vitamine B<sub>2</sub> dans le lait de vache (Shingfield *et al.*, 2005). Par ailleurs, dans des études menées dans des réseaux de fermes laitières, Poulsen *et al.* (2015a) ont observé que la concentration en vitamine B<sub>2</sub> dans le lait produit en agriculture biologique est plus importante que dans le lait issu de modes de production conventionnels. De plus, la concentration de vitamine B<sub>2</sub> est plus élevée chez les vaches dans le lait de tank dans les systèmes à base d'herbe que dans les systèmes à base d'ensilage de maïs (Laverroux *et al.*, 2014), d'ensilages de maïs ou de foin chez les chèvres (Laurent *et al.*, 2019). Dans des travaux antérieurs, Gregory *et al.* (1958) avaient observé que le passage du pâturage l'été à une ration sèche en période hivernale s'accompagnait d'une augmentation de la concentration de vitamine B<sub>3</sub> du lait et d'une réduction de celles de la B<sub>8</sub> et de la B<sub>12</sub>, sans impacter les vitamines B<sub>2</sub>, B<sub>5</sub> et B<sub>6</sub>. Cependant, un effet confondu avec le stade de lactation en particulier ne permettait pas de conclure quant à un effet strict de la ration. La concentration en vitamine B<sub>9</sub> dans le lait des vaches au pâturage en été est également plus élevée qu'en hiver lorsque les vaches sont nourries avec des aliments secs et elle est également plus élevée que dans les troupeaux nourris au foin de luzerne et avec d'autres aliments secs tout au long de l'année (Dong et Oace, 1975). La concentration en vitamine B<sub>9</sub> est également plus élevée dans le lait des vaches qui paissent en été et nourries avec du foin en hiver que dans le lait des vaches nourries avec des régimes à base d'ensilage de maïs (Chassaing *et al.*, 2011). Dans cette dernière étude, ce qui semble se dessiner est que la concentration en vitamine B<sub>9</sub> du lait soit liée à la proportion de foin dans l'alimentation. Chez la Chèvre, les laits de tank sont plus riches en vitamine B<sub>6</sub> lorsque les animaux consomment de l'herbe fraîche comme fourrage par comparaison avec des animaux dont le fourrage est de l'ensilage de maïs (Laurent *et al.*, 2019).

Contrairement aux autres vitamines B, la vitamine B<sub>12</sub> n'est pas présente dans les plantes et n'est synthétisée que par des microorganismes,

**Tableau 4. Facteurs de variation des concentrations en vitamines B du lait de vache (mg/kg ou µg/kg pour la vitamine B<sub>12</sub>)<sup>1</sup>.**

	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>3</sub>	B <sub>5</sub>	B <sub>6</sub>	B <sub>9</sub>	B <sub>12</sub>	Références
<b>Composition de la ration</b>								
<b>Protéines</b>								
Apports > recommandations				3,78 vs 3,49 (#)	0,28 vs 0,34 (#)			Kirchgessner <i>et al.</i> (1991)
Apports = 80-85 % recommandations	0,26 vs 0,26 (#)							Kirchgessner <i>et al.</i> (1992)
<b>Énergie</b>								
Apports > recommandations	0,41 vs 0,37 (#)			3,46 vs 3,67 (#)	0,27 vs 0,24 (#)			Kirchgessner <i>et al.</i> (1991)
Apports = 80-85 % recommandations	0,26 vs 0,26 (#)							Kirchgessner <i>et al.</i> (1992)
<b>Part de fourrage</b>								
Augmentation de la part de fourrage	0,27 vs 0,29 (#)	1,37 vs 1,46 (#)		4,6 vs 6,4 (- 39 %)	0,34 vs 0,35 (#)		5,8 vs 3,8 (+ 52 %)	Shingfield <i>et al.</i> (2005) Ragaller <i>et al.</i> (2011) Walker et Elliot (1972)
<b>Nature du fourrage</b>								
Herbe (pâturage) vs rations sèches ou foin de luzerne						0,06 vs 0,04 (+ 28 %)		Dong et Oace (1975)
Foin vs ensilage d'herbe	0,27 vs 0,28 (#)	1,13 vs 1,51 (- 24 %)			0,33 vs 0,36 (#)			Shingfield <i>et al.</i> (2005)
Foin de luzerne vs ensilage de maïs			0,6 vs 1,0 (- 40 %)		0,35 vs 0,25 (+ 40 %)			Nilson <i>et al.</i> (1967)
Herbe vs ensilage de maïs		1,91 vs 1,70 (+ 12 %)				0,11 vs 0,10 (+ 6 %)	2,9 vs 3,0 (- 9 %)	Laverroux <i>et al.</i> (2014) Chassaing <i>et al.</i> (2011)
Niveau de diversité de l'herbe pâturée		1,96 vs 1,87 (#)					2,8 vs 2,9 (#)	Laverroux <i>et al.</i> (2014) Chassaing <i>et al.</i> (2011)
Bio vs conventionnel		1,74 vs 1,55 (+ 12 %)						Poulsen <i>et al.</i> (2015a)

<sup>1</sup> Les valeurs dans chaque case présentent les résultats moyens observés entre les 2 conditions comparées. Entre parenthèses, le pourcentage de variation est présenté lorsque déclaré significatif, le symbole # lorsque l'écart était non significatif. À notre connaissance, aucune étude ne présente de résultats concernant la vitamine B<sub>8</sub>.

en particulier certaines familles de bactéries (Martens *et al.*, 2002). Comme la molécule de vitamine B<sub>12</sub> contient un atome de cobalt, la

quantité de vitamine B<sub>12</sub> disponible pour la vache est dépendante de la quantité de vitamine synthétisée par les bactéries présentes dans le rumen

en fonction de l'apport de cobalt. Par conséquent, la concentration de vitamine B<sub>12</sub> dans le lait dépend dans une certaine mesure de l'apport

alimentaire en cobalt, bien qu'au-delà d'un niveau encore non clairement défini, l'augmentation de l'apport alimentaire en cobalt ne provoque pas d'augmentation de la concentration de vitamine B<sub>12</sub> du lait (Miller *et al.*, 1966 ; Kincaid et Socha, 2007 ; Akins *et al.*, 2013). De grandes différences entre les troupeaux semblent indiquer que des facteurs autres qu'alimentaires affectent la concentration de la vitamine dans le lait (Miller *et al.*, 1966 ; Rutten *et al.*, 2013). La concentration de vitamine B<sub>12</sub> dans le lait est plus faible chez les vaches (Chassaing *et al.*, 2011) et les chèvres (Laurent *et al.*, 2019) au pâturage et lorsque la proportion de fourrage dans l'alimentation est réduite (Walker et Elliot, 1972). Par ailleurs, la concentration en vitamine B<sub>12</sub> est plus élevée dans le lait des vaches nourries avec des régimes à base d'ensilage de maïs qu'avec des régimes à base d'herbe (Chassaing *et al.*, 2011).

L'identification des facteurs affectant les concentrations en vitamine B<sub>12</sub> dans le lait est particulièrement difficile car la concentration de la vitamine est très variable entre les troupeaux et entre les vaches d'un même troupeau (Gregory *et al.*, 1958 ; Miller *et al.*, 1966 ; Rutten *et al.*, 2013 ; Duplessis *et al.*, 2016). Par conséquent, des facteurs tels que l'utilisation des pâturages ou la proportion de fourrage dans l'alimentation ne semblent pas être de bons prédicteurs de la concentration en vitamine B<sub>12</sub> du lait. En effet, les régimes alimentaires des animaux au pâturage ou des régimes avec la même proportion de fourrages peuvent être complètement différents en termes de composition nutritionnelle. Une étude observationnelle dans un réseau de fermes laitières nord-américaines a permis de déterminer que la concentration en vitamine B<sub>12</sub> dans le lait est positivement corrélée à la concentration alimentaire en fibres insolubles dans les détergents acides (ADF) mais négativement corrélée à la concentration alimentaire en protéines brutes (Duplessis *et al.*, 2016). Ces résultats suggèrent que la prédiction des concentrations en vitamines B dans le lait à partir de la composition de la ration des vaches est possible.

### b. Effets de compléments de la ration

Les suppléments lipidiques riches en acides gras polyinsaturés oméga-3 distribués aux vaches induisent une augmentation des concentrations en vitamines liposolubles du lait. Puppel *et al.* (2016) ont ainsi observé des augmentations significatives du β-carotène du lait (de 0,45 à 1,11 mg/L), du rétinol (de 1,06 à 1,25 mg/L) et de l'α-tocophérol (de 1,31 à 1,88 mg/L) lorsque les vaches reçoivent 400 g/j d'un complément lipidique à base d'huile de poisson et de graines de lin entières. Des suppléments lipidiques à base de graines de lin ou de colza extrudées, de tourteau gras de colza ou le colza entier) ont également favorisé l'absorption des caroténoïdes chez des vaches nourries avec un régime à base d'herbe, soit sous forme d'ensilage et de foin en hiver, soit de pâturage au printemps-été, démontrée par l'augmentation de leurs concentrations plasmatiques (Graulet *et al.*, 2017). Cependant, dans cette même étude, une augmentation concomitante des concentrations en β-carotène dans le lait a seulement pu être observée en début de la période de pâturage chez les vaches recevant du lin extrudé ou du tourteau gras de colza, suggérant l'intervention d'autres facteurs. Dans ce travail, les concentrations en rétinol et d'α-tocophérol ont également été augmentées simultanément dans les laits de ces vaches sous l'effet des suppléments lipidiques (Graulet, non publié).

Du fait de leurs doubles origines (ration et activités microbiennes ruminales), les vitamines B du lait ont longtemps été considérées comme des composés apportés en quantités suffisantes aux ruminants, de manière stable et dont les concentrations étaient peu variables et peu modulables. Alors, les variations de leurs concentrations et leurs causes ont été peu étudiées. Cependant, il est désormais prouvé qu'il est possible de moduler les concentrations en vitamines B du lait en ajoutant un supplément dans la ration des vaches. Ainsi, dans une étude de physiologie comparée au cours de laquelle des vaches ou des chèvres ont reçu une ration à base de foin et concentré sans ou avec des suppléments lipidiques

à base d'huile de palme hydrogénée, d'huile de maïs et amidon ou de poudre d'algues (Fougère *et al.*, 2018), nous avons montré que le régime incluant le supplément d'huile de maïs et amidon a augmenté les concentrations en vitamines B<sub>2</sub> et B<sub>9</sub> dans le lait de vache (Graulet *et al.*, 2019). De plus, les concentrations en vitamines B<sub>6</sub> dans le lait ont été légèrement réduites et celle de la vitamine B<sub>9</sub> a été augmentée chez les vaches recevant le supplément de poudre d'algues. Le régime supplémenté en huile de palme hydrogénée a légèrement augmenté la sécrétion de vitamine B<sub>12</sub> dans le lait de vache. Toutefois, aucune différence de teneurs en ces vitamines n'a été observée dans le lait chez les chèvres.

Une augmentation significative de concentration dans le lait de vache a également pu être obtenue expérimentalement grâce à des suppléments spécifiques avec de la vitamine B<sub>9</sub> ou B<sub>12</sub> dans la ration (Graulet *et al.*, 2017). Les quantités apportées étaient alors très importantes (2,6 g/j pour la vitamine B<sub>9</sub> et 0,5 g/j pour la vitamine B<sub>12</sub>) car ces suppléments n'étaient pas protégés des activités ruminales. Une proportion importante devait être utilisée par les microorganismes mais les résultats observés prouvent qu'une fraction des apports en vitamines est directement disponible pour l'animal, permettant un enrichissement dans le lait (+ 50 % pour la vitamine B<sub>9</sub> et + 147 % pour la vitamine B<sub>12</sub>). Dans une étude similaire, la supplémentation de rations de proportions variables en fourrages et concentrés avec 1 g/j de vitamine B<sub>5</sub> n'avait pas permis d'enrichir le lait des vaches en cette vitamine, bien que son flux intestinal ait pu être augmenté (Ragaller *et al.*, 2011). Cela pourrait s'expliquer par un statut en vitamine B<sub>5</sub> insuffisant chez les vaches qui aurait induit une utilisation métabolique du supplément par les tissus plutôt qu'une sécrétion dans le lait. Des vitamines B protégées des dégradations ruminales commencent à être disponibles et leur efficacité a été démontrée pour la vitamine B<sub>9</sub> aussi bien chez des bovins laitiers (Du *et al.*, 2019) que des bovins à viande (Liu *et al.*, 2021) au niveau des performances animales (rendement laitier, gain moyen quotidien) et l'enrichis-



sement en vitamine B<sub>9</sub> sérique. Pour le moment cependant, aucune étude ne démontre un enrichissement en vitamine B du lait selon une telle stratégie.

## Conclusion

Les travaux sur les facteurs de variation des teneurs en vitamines du lait et des produits laitiers publié par la communauté scientifique internationale sont assez épars dans le temps et entre pays. Ainsi, les premiers facteurs de variation liés à l'alimentation, ont été mis en évidence seulement au début des années 2000. Or, le tableau est loin d'être complet. Ceci a été pointé du

doigt dans « conclusions » de l'expertise collective conduite par INRAE sur la qualité des produits animaux (Prache *et al.*, 2022). Elles suggèrent ainsi que des études devraient être conduites et les bases de données Ciqual de la composition nutritionnelle des aliments pour l'alimentation humaine (Anses, 2020) devraient évoluer pour permettre d'intégrer la variabilité de composition des produits en fonction des conditions d'élevage, dont l'alimentation des animaux. Cela permettrait ainsi de mieux prendre en compte cette variabilité pour l'appréciation des apports dans les études nutritionnelles sur cohortes humaines, par exemple. De plus, dans un contexte de réduction

de la consommation individuelle de produits d'origine animale dans les pays riches se pose la question des apports en nutriments dont ces produits sont des sources importantes dans l'alimentation humaine. Certaines vitamines sont clairement concernées (les déficiences en vitamines B<sub>9</sub> et B<sub>12</sub> sont l'objet d'inquiétudes pour l'Organisation Mondiale de la Santé ; World Health Organization, 2008) et mieux connaître les facteurs de variation de leurs concentrations dans les produits permettrait de proposer des produits dans lesquels les concentrations seraient optimales pour limiter la baisse des apports, déjà considérés comme insuffisants à l'heure actuelle.

## Références

- Akins M.S., Bertics S.J., Socha M.T., Shaver R.D., 2013. Effects of cobalt supplementation and vitamin B12 injections on lactation performance and metabolism of Holstein dairy cows. *J. Dairy Sci.*, 96, 1755-1768. <https://doi.org/10.3168/jds.2012-5979>
- Anses, 2016a. Actualisation des repères du PNNS : révision des repères de consommations alimentaires. Avis de l'Anses. Rapport d'expertise collective.
- Anses, 2016b. Actualisation des repères du PNNS : élaboration des références nutritionnelles. Avis de l'Anses. Rapport d'expertise collective.
- Anses, 2020. Tables de composition nutritionnelle des aliments (ANSES). <https://ciqual.anses.fr/>
- Beaudet V., Gervais R., Graulet B., Nozière P., Doreau M., Fanchone A., Castagnino D.S., Girard C.L., 2016. Effects of dietary nitrogen levels and carbohydrate sources on apparent ruminal synthesis of some B vitamins in dairy cows. *J. Dairy Sci.*, 99, 2730-2739. <https://doi.org/10.3168/jds.2015-10521>
- Beaudet V., Gervais R., Chouinard P.Y., Graulet B., Martin C., Doreau M., Girard C.L., 2020. Effects of increasing amounts of extruded linseed in the diet on apparent ruminal synthesis of some B vitamins in dairy cows. *Animal*, 14, 1885-1891.
- Blaner W., Shmarakov I., Traber M., 2021. Vitamin A and vitamin E: will the real antioxidant please stand up? *Ann. Rev. Nutr.*, 41, 105-131. <https://doi.org/10.1146/annurev-nutr-082018124228>
- Bueno-Dalto D., Audet I., Girard C.L., Matte J.J., 2018. Bioavailability of vitamin B12 from dairy products using a pig model. *Nutrients*, 10, 1134. <https://doi.org/10.3390/nu10091134>
- Cadeau C., Fournier A., Mesrine S., Clavel-Chapelon F., Fagherazzi G., Boutron-Ruault M.C., 2016. Vitamin C supplement intake and postmenopausal breast cancer risk: interaction with dietary vitamin C. *Am. J. Clin. Nutr.*, 104, 228-234. <https://doi.org/10.3945/ajcn.115.126326>
- Calderon F., Chauveau-Duriot B., Pradel P., Martin B., Graulet B., Doreau M., Nozière P., 2007. Variations in carotenoids, vitamins A and E, and color in cow's plasma and milk following a shift from hay diet to diets containing increasing levels of carotenoids and vitamin E. *J. Dairy Sci.*, 90, 5651-5664. <https://doi.org/10.3168/jds.2007-0264>
- Carazo A., Macakova K., Matousova K., Krcmova L.K., Protti M., Mladenka P., 2021. Vitamin A Update: Forms, Sources, Kinetics, Detection, Function, Deficiency, Therapeutic Use and Toxicity. *Nutrients*, 13. <https://doi.org/10.3390/nu13051703>
- Castagnino D.S., Kammes K.L., Allen M.S., Gervais R., Chouinard P.Y., Girard C.L., 2016a. Particle length of silages affects apparent ruminal synthesis of B vitamins in lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.*, 99, 6229-6236. <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2016-11274>
- Castagnino D.S., Seck M., Beaudet V., Kammes K.L., Linton J.A.V., Allen M.S., Gervais R., Chouinard P.Y., Girard C.L., 2016b. Effects of forage family on apparent ruminal synthesis of B vitamins in lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.*, 99, 1884-1894. <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2015-10319>
- Castagnino D.S., Harvatine K.J., Allen M.S., Gervais R., Chouinard P.Y., Girard C.L., 2017a. Short communication: Effect of fatty acid supplements on apparent ruminal synthesis of B vitamins in lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.*, 100, 8165-8169. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13087>
- Castagnino D.S., Kammes K.L., Allen M.S., Gervais R., Chouinard P.Y., Girard C.L., 2017b. High-concentrate diets based on forages harvested at different maturity stages affect ruminal synthesis of B vitamins in lactating dairy cows. *Animal*, 11, 608-615. <https://doi.org/10.1017/S1751731116001798>
- Castagnino D.S., Ying Y., Allen M.S., Gervais R., Chouinard P.Y., Girard C.L., 2017c. Short communication: Apparent ruminal synthesis of B vitamins in lactating dairy cows fed *Saccharomyces cerevisiae* fermentation product. *J. Dairy Sci.*, 100, 8161-8164. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13146>
- Chassaing C., Graulet B., Agabriel C., Martin B., Girard C., 2011. Vitamin B9 and B12 contents in cow milk according to production system. Paper presented at the 10th Int. Meeting Mountain cheese, Dronero, Italy. <https://hal.inrae.fr/hal-02746215>
- Chassaing C., Sibra C., Verbič J., Harstad O.M., Golecký J., Martin B., Ferlay A., Constant I., Delavaud C., Hurtaud C., Pongrac V.Ž., Agabriel C., 2016. Mineral, vitamin A and fat composition of bulk milk related to European production conditions throughout the year. Mineral, vitamin A and fat composition of bulk milk related to European production conditions throughout the year. *Dairy Sci. Technol.*, 96, 715-733. <https://doi.org/10.1007/s13594-016-0300-7>
- Coudray B., 2011. The Contribution of Dairy Products to Micronutrient Intakes in France. *J. American College Nutr.*, 30, 410s-414s. <https://doi.org/10.1080/07315724.2011.10719984>
- Dominguez L.J., Farruggia M., Veronese N., Barbaggio M., 2021. Vitamin D sources, metabolism, and deficiency: available compounds and guidelines for its treatment. *Metabolites*, 11. <https://doi.org/10.3390/metabo11040255>
- Dong F.M., Oace S.M., 1975. Folate concentration and pattern in bovine milk. *J. Agric. Food Chem.*, 23, 534-538. <https://doi.org/10.1021/jf60199a014>
- Du H.S., Wang C., Wu Z.Z., Zhang G.W., Liu Q., Guo G., Huo W.J., Zhang Y.L., Pei C.X., Zhang S.L., 2019. Effects of rumen-protected folic acid and rumen-protected sodium selenite supplementation on lactation performance, nutrient digestion, ruminal fermentation and blood metabolites in dairy cows. *J. Sci. Food Agr.*, 99, 5826-5833. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9853>
- Dumont B., Fortun-Lamothe L., Jouven M., Thomas M., Tichit M., 2013. Prospects from agroecology and industrial ecology for animal production in the

- 21st century. *Animal*, 7, 1028-1043. <https://doi.org/10.1017/S1751731112002418>
- Duplessis M., Pellerin D., Cue R.I., Girard C.L., 2016. Short communication: Factors affecting vitamin B12 concentration in milk of commercial dairy herds: An exploratory study. *J. Dairy Sci.*, 99,4886-4892. <https://doi.org/10.3168/jds.2015-10416>
- Drewnowski A., 2011. The contribution of milk and milk products to micronutrient density and affordability of the US diet. *J. Am. Coll. Nutr.*, 30, 422s-428s. <https://doi.org/10.1080/07315724.2011.10719986>
- Esen, 2016. (Équipe de Surveillance et d'Épidémiologie Nutritionnelle) Étude de santé sur l'environnement, la biosurveillance, l'activité physique et la nutrition (Esteban), 2014-2016. *Volet Nutrition. Chapitre Dosages biologiques : vitamines et minéraux*. Saint-Maurice : Santé publique France, 2019. 61 p. Disponible à partir de l'URL : [www.santepubliquefrance.fr](http://www.santepubliquefrance.fr)
- Eussen S.J.P.M., Nilsen R.M., Midttun O., Hustad S., IJssennagger N., Meyer K., Fredriksen A., Ulvik A., Ueland P.M., Brennan P., Johansson M., Bueno-de-Mesquita B., Vineis P., Chuang S.C., Boutron-Ruault M.C., Dossus L., Perquier F., Overvad K., Teucher B., Grote V. A., Trichopoulou A., Adarakis G., Plada M., Sieri S., Tumino R., de Magistris M.S., Ros M.M., Peeters P.H.M., Redondo M.L., Zamora-Ros R., Chirlaque M.D., Ardanaz E., Sonestedt E., Ericson U., Schneede J., van Guelpen B., Wark P.A., Gallo V., Norat T., Riboli E., Vollset S.E., 2013. North-south gradients in plasma concentrations of B-vitamins and other components of one-carbon metabolism in Western Europe: results from the European Prospective Investigation into Cancer and Nutrition (EPIC) Study. *Br. J. Nutr.*, 110, 363-374. <https://doi.org/10.1017/S0007114512004990>
- FAO/WHO, 2001. Human vitamin and mineral requirements. Report of a joint FAO/WHO expert consultation, Bangkok, Thailand. FAO, Rome. Available at <http://www.fao.org/docrep/004/Y2809E/y2809e00.htm#Contents>
- Forssén K.M., Jägerstad M.I., Wigertz K., Witthöft, C.M., 2000. Foliates and dairy products: a critical update. *J. Am. Coll. Nutr.* 19, 100S-110S. <https://doi.org/10.1080/07315724.2000.10718071>
- Fougère H., Delavaud C., Bernard L., 2018. Diets supplemented with starch and corn oil, marine algae, or hydrogenated palm oil differentially modulate milk fat secretion and composition in cows and goats: A comparative study. *J. Dairy Sci.*, 101, 8429-8445. <https://doi.org/10.3168/jds.2018-14483>
- FranceAgriMer, 2021. La consommation de produits laitiers en 2020. Les données. Édition juillet 2021. ISSN 2743-7930.
- Girard C.L., Graulet B., 2021. Methods and approaches to estimate B-vitamin status in dairy cows: knowledge, gaps and advances. *Methods*, 186, 52-58. <https://doi.org/10.1016/j.ymeth.2020.05.021>
- Graulet B., Girard C.L., 2017. B Vitamins in cow milk: their relevance to human health. *Dairy in human health and disease across the lifespan*. Watson R.R., Collier R.J., Preedy VR. (Eds). 211-224. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809868-4.00015-7>
- Graulet B., Martin B., Agabriel C., Girard C.L., 2013. Vitamins in milks. Milk and dairy products in human nutrition. Young W., Park George F.W., Haenlein D. (Eds). 200-219. <https://doi.org/10.1002/9781118534168.ch10>
- Graulet B., Pomies D., Ferlay A., Martin B., 2017. Effect of rapeseed or linseed supplements on the plasma and milk carotenoid concentrations in dairy cows fed grass-based diets. *Proceeding of the 12th Int. Meet. Mountain cheese*. 20-22 June 2017 Padova, Italy, 65-69.
- Graulet B., Bernard L., Laverroux S., Popova M., Fougère H., Girard C., 2019. Contrasted status in B vitamins between dairy cows and goats fed various lipid supplements. Paper presented at the 11th Int. Symp. Ruminant Physiol. (ISRP), Leipzig, Germany. <https://hal.inrae.fr/hal-02738156>
- Gregory M.E., Ford J.E., Kon S.K., 1958. The B-vitamin content of milk in relation to breed of cow and stage of lactation. *J. Dairy Res.*, 25, 447-456. <https://doi.org/10.1017/S002202990000950x>
- Haug A., Hostmark A.T., Harstad O.M., 2007. Bovine milk in human nutrition - a review. *Lipids Health Disease*, 6. <https://doi.org/10.1186/1476-511x-6-25>
- Kincaid R.L., Socha M.T., 2007. Effect of cobalt supplementation during late gestation and early lactation on milk and serum measures. *J. Dairy Sci.*, 90, 1880-1886. <https://doi.org/10.3168/jds.2006-283>
- Kirchgessner M., Paulicks B.R., Kreuzer M., Roth-Maier D.A., 1991. Excessive energy or protein supply of dairy-cows and the excretion of certain B-vitamins (thiamine, vitamin-B6, pantothenic-Acid) with the milk. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.*, 65, 219-226. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0396.1991.tb00259.x>
- Kirchgessner M., Roth-Maier D.A., Windisch W., 1992. Concentration of thiamine in the milk of dairy-cows treated with energy and protein deficit. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.*, 67, 51-52. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0396.1992.tb00581.x>
- Kuwabara A., Uenishi K., Tanaka K., 2021. Vitamin K intake and health, consideration from the epidemiological studies. *J. Clin. Biochem. Nutr.*, 69, 111-121. <https://doi.org/10.3164/jcbs.20-64>
- Laurent C., Graulet B., Caillat H., Girard C.L., Jost J., Bossis N., Lecaro L., Ferlay A., 2019. Characterization of milk goat composition according to feeding systems in Western France. In: *Proc. 70th Eur. Fed. Anim. Sci.*, Presented at EAAP 2019, p 218. Ghent, Belgium, 26-30.
- Laverroux S., Vallet J., Chassaing C., Girard C., Agabriel C., Martin B., Graulet B., 2014. Riboflavin secretion in cow's milk varies according to diet composition and season. Paper presented at the 1st Joint Meeting of FAO-CIHEAM Mountain Pastures and Mediterranean Forages Resources Networks and Mountain Cheese Network, Lempdes, France. <https://hal.inrae.fr/hal-02739841>
- Liu Y.J., Chen J.Z., Wang D.H., Wu M.J., Zheng C., Wu Z.Z., Wang C., Liu Q., Zhang J., Guo G., Huo W.J., 2021. Effects of guanidinoacetic acid and coated folic acid supplementation on growth performance, nutrient digestion and hepatic gene expression in Angus bulls. *Brit. J. Nutr.*, 126, 510-517. <https://doi.org/10.1017/S0007114520004341>
- Martens J.H., Barg H., Warren M.J., Jahn D., 2002. Microbial production of vitamin B-12. *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 58, 275-285. <https://doi.org/10.1007/s00253-001-0902-7>
- Martin B., Fedele V., Ferlay A., Grolier P., Rock E., Gruffat D., Chilliard Y., 2004. Effects of grass-based diets on the content of micronutrients and fatty acids in bovine and caprine dairy products. Land use systems in grassland dominated regions. *Proc. of the 20th General Meeting of the European Grassland Federation*, Luzern, Switzerland, 21-24 June 2004, 876-886.
- Matte J.J., Guay F., Girard C.L., 2012. Bioavailability of vitamin B-12 in cows' milk. *British J. Nutr.*, 107, 61-66. <https://doi.org/10.1017/S0007114511002364>
- McDowell L.R., 2000. Vitamins in animal and human nutrition. Second Edition Iowa State University Press/Ames, 1-794.
- Medhammar E., Wijesinha-Bettoni R., Stadlmayr B., Nilsson E., Charrondiere U. R., Burlingame B., 2012. Composition of milk from minor dairy animals and buffalo breeds: a biodiversity perspective. *J. Sci. Food Agric.*, 92, 445-474. <https://doi.org/10.1002/jsfa.4690>
- Miller J., Wentworth J., McCullough M.E., 1966. Effects of Various Factors on Vitamin B12 Content of Cows Milk. *J. Agric. Food Chem.*, 14, 218-221. <https://doi.org/10.1021/Jf60145a006>
- Nilson K.M., Owen F.G., Georgi C.E., 1967. Effect of abrupt ration change on rumen microorganisms and niacin and vitamin B6 content of rumen fluid and milk. *J. Dairy Sci.*, 50, 1172-1176. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(67\)87589-1](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(67)87589-1)
- Nozière P., Graulet B., Lucas A., Martin B., Grolier P., Doreau M., 2006. Carotenoids for ruminants: From forages to dairy products. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 131, 418-450. <https://doi.org/10.1016/j.anifeeds.2006.06.018>
- Nygren-Babol L., Jägerstad M., 2012. Folate-binding protein in milk: a review of biochemistry, physiology, and analytical methods. *Critic. Rev. Food Sci. Nutr.*, 52, 410-425. <https://doi.org/10.1080/10408398.2010.500499>
- Pludowski P., Holick M.F., Pilz S., Wagner C.L., Hollis B.W., Grant W.B., Shoenfeld Y., Lerchbaum E., Llewellyn D.J., Kienreich K., Soni M., 2013. Vitamin D effects on musculoskeletal health, immunity, autoimmunity, cardiovascular disease, cancer, fertility, pregnancy, dementia and mortality-A review of recent evidence. *Autoimmun. Rev.*, 12, 976-989. <https://doi.org/10.1016/j.autrev.2013.02.004>
- Poulsen N.A., Rybicka I., Poulsen H.D., Larsen L.B., Andersen K.K., Larsen M.K., 2015a. Seasonal variation in content of riboflavin and major minerals in bulk



milk from three Danish dairies. *Intern. Dairy J.*, 42, 6-11. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2014.10.010>

Poulsen N.A., Rybicka I., Larsen L.B., Buitenhui A.J., Larsen M.K., 2015b. Short communication: Genetic variation of riboflavin content in bovine milk. *J. Dairy Sci.*, 98, 3496-3501. <https://doi.org/10.3168/jds.2014-8829>

Prache S., Adamiec C., Astruc T., Baeza-Campone E., Bouillot P.E., Clinquart A., Feidt C., Fourat E., Gautron J., Girard A., Guillier L., Kesse-Guyot E., Lebreton B., Lefevre F., Le Perchec S., Martin B., Mirade P.S., Pierre F., Raulet M., Remond D., Sans P., Souchon I., Donnars C., Sante-Lhoutellier V., 2022. Review: Quality of animal-source foods. *Animal*, 100376. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2021.100376>

Puppel K., Kuczynska B., Nalecz-Tarwacka T., Golebiewski M., Sakowski T., Kapusta A., Budzinski A., Balcerak M., 2016. Effect of supplementation of cows diet with linseed and fish oil and different variants of beta-lactoglobulin on fatty acid composition and antioxidant capacity of milk. *J. Sci. Food Agr.*, 96, 2240-2248. <https://doi.org/10.1002/jsfa.7341>

Ragaller V., Lebzien P., Bigalke W., Sudekum K.H., Huther L., Flachowsky G., 2011. Effects of a pantothenic acid supplementation to different rations on ruminal fermentation, nutrient flow at the duodenum, and on blood and milk variables of dairy cows. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.*, 95, 730-743. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0396.2010.01103.x>

Roth-Maier D.A., Kirchgessner M., 1996. Investigations on the prececal digestibility of naturally occurring thiamin, riboflavin and pantothenic acid. *Zeitschrift Fur Ernahrungswissenschaft*, 35, 318-322. <https://doi.org/10.1007/BF01610549>

Rutten M.J.M., Bouwman A.C., Sprong R.C., van Arendonk J.A.M., Visker M.H.P.W., 2013. Genetic variation in vitamin B-12 content of bovine milk and its association with SNP along the bovine genome. *Plos One*, 8. [https://doi.org/ARTN\\_e62382\\_10.1371/journal.pone.0062382](https://doi.org/ARTN_e62382_10.1371/journal.pone.0062382)

Seck M., Linton J.A.V., Allen M.S., Castagnino D.S., Chouinard P.Y., Girard C.L., 2017. Apparent ruminal synthesis of B vitamins in lactating dairy cows fed diets with different forage-to-concentrate ratios. *J. Dairy Sci.*, 100, 1914-1922. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-12111>

Selhub J., Paul L., 2011. Folic acid fortification: why not vitamin B12 also? *Biofactors*, 37, 269-271. <https://doi.org/10.1002/biof.173>

Shingfield K.J., Salo-Vaananen P., Pahkala E., Toivonen V., Jaakkola S., Piironen V., Huhtanen P., 2005. Effect of forage conservation method, concentrate level and propylene glycol on the fatty acid composition and vitamin content of cows' milk. *J. Dairy Res.*, 72, 349-361. <https://doi.org/10.1017/S0022029905000919>

Singh R., Deodhar A.D., 1993. Effect of cows milk factors on the bioavailability of non-milk thiamine in rats. *Lait*, 73, 389-394.

Singh R., Deodhar A.D., 1994. Effect of cow milk factor(s) on the bioavailability of non-milk riboflavin in rats. *Intern. Dairy J.*, 4, 173-182. [https://doi.org/10.1016/0958-6946\(94\)90067-1](https://doi.org/10.1016/0958-6946(94)90067-1)

Troesch B., Hoefl B., McBurney M., Eggersdorfer M., Weber P., 2012. Dietary surveys indicate vitamin intakes below recommendations are common in representative Western countries. *Br. J. Nutr.*, 108, 692-698. <https://doi.org/10.1017/S0007114512001808>

Tucker K.L., Qiao N., Scott T., Rosenberg I., Spiro A., 2005. High homocysteine and low B vitamins predict cognitive decline in aging men: the Veterans Affairs Normative Aging Study. *Amer. J. Clin. Nutr.*, 82, 627-635.

Vissers P.A.J., Streppel M.T., Feskens J.M., de Groot L.C.P.G.M., 2011. The contribution of dairy products to micronutrient intake in The Netherlands. *J. Amer. Coll. Nutr.*, 30, 415s-421s. <https://doi.org/10.1080/07315724.2011.10719985>

Walker C.K., Elliot J.M., 1972. Lactational trends in vitamin-B12 status on conventional and restricted-roughage rations. *J. Dairy Sci.*, 55, 474-479. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(72\)85518-8](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(72)85518-8)

World Health Organization, 1995. Global prevalence of vitamin A deficiency. WHO/NUT/95.3, World Health Organization, Geneva, Suisse.

World Health Organization, 2008. Conclusions of a WHO technical consultation on folate and vitamin B12 deficiencies. *Food Nutr. Bull.* 29, S238-S244.

## Résumé

Les vitamines sont des nutriments essentiels au bon fonctionnement des cellules des mammifères mais celles-ci ne sont généralement pas capables de les synthétiser, ou pas en quantité suffisante pour couvrir les besoins de l'organisme entier. Elles participent à la plupart des fonctions biologiques cellulaires et à tous les stades physiologiques des individus. Il est important que les besoins spécifiques soient couverts par des apports nutritionnels réguliers, les capacités de stockage corporel étant parfois très limitées. Les études épidémiologiques indiquent cependant que tel ne serait pas le cas. En plus des pathologies symptomatiques bien connues des carences en chacune des vitamines (comme la xérophtalmie résultant de la carence en vitamine A), il est de plus en plus mis en lumière des liens entre ces apports subcliniques et les risques de développement de maladies en particulier avec l'âge. Les produits animaux de ruminants, les produits laitiers en particulier, peuvent être des sources d'apport intéressantes compte tenu des quantités qu'ils contiennent, de la biodisponibilité de celles-ci, de leur consommation régulière, que ce soit au niveau quotidien ou annuel, de leur bonne accessibilité (coût, transport, stockage). Cependant, les éléments de caractérisation de teneurs en vitamines dans ces produits sont encore loin d'être complets. Certaines vitamines n'ont pour le moment pas été étudiées (D, K, B<sub>1</sub>, B<sub>3</sub>, B<sub>5</sub>, B<sub>8</sub> et C), quelques facteurs de variation ont été décrits pour les autres. Les ruminants au pâturage semblent ainsi produire des laits plus riches en vitamines (A, E, B<sub>2</sub>, B<sub>9</sub>) qu'avec les autres modes d'alimentation, mais cela s'avère être au détriment de la vitamine B<sub>12</sub> pour laquelle les produits laitiers ont un rôle pourvoyeur important dans la nutrition humaine. Une connaissance plus approfondie des relations qualitatives et quantitatives entre les conditions de production (espèces, races, nature de l'alimentation en particulier) permettrait à terme de proposer les moyens de produire des laits et des produits laitiers dont les apports en vitamines pourraient être optimisés.

## Abstract

### Recent advances on the factors of variation of milk vitamin concentrations in ruminants

Vitamins are essential nutrients for the proper functioning of mammalian cells, but these cells are generally not able to synthesize them, or not in sufficient quantities to cover the needs of the whole organism. They are involved in most cellular biological functions and at all physiological stages of individuals. Specific needs have to be covered by regular nutritional intake, because of limited body's storage capacity. Epidemiological studies indicate that this is not the case. In addition to the well-known symptomatic pathologies of deficiencies in each of the vitamins (like xerophthalmia due to vitamin A deficiency), the links between these sub-clinical intakes and the risks of developing diseases with age are highlighted. Dairy products can be interesting vitamin sources because of the quantities they contain, their bioavailability, their regular consumption, whether daily or yearly, and their affordability. However, elements to characterize the vitamin content in these products are still far from complete. Some vitamins have not yet been studied (D, K, B<sub>1</sub>, B<sub>3</sub>, B<sub>5</sub>, B<sub>8</sub> and C), some variation factors have been described for others. Grazing ruminants thus seem to produce milk that is richer in vitamins (A, E, B<sub>2</sub>, B<sub>9</sub>) than in other feeding modes, but this turns out to be to the detriment of vitamin B<sub>12</sub> for which

*dairy products are important provider in human nutrition. A more detailed knowledge of the qualitative and quantitative relationships between production conditions (species, breeds, nature of the feed in particular) would eventually make it possible to propose ways of producing milk and dairy products whose vitamin content could be optimized.*

GRAULET B., 2022. Récentes avancées sur les facteurs de variation des concentrations en vitamines du lait chez les ruminants. *INRAE Prod. Anim.*, 35, 139-154.

<https://doi.org/10.20870/productions-animales.2022.35.2.7080>



Cet article est publié sous la licence Creative Commons (CC BY 4.0).

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.fr>

La citation comme l'utilisation de tout ou partie du contenu de cet article doit obligatoirement mentionner les auteurs, l'année de publication, le titre, le nom de la revue, le volume, les pages et le DOI en respectant les informations figurant ci-dessus.

