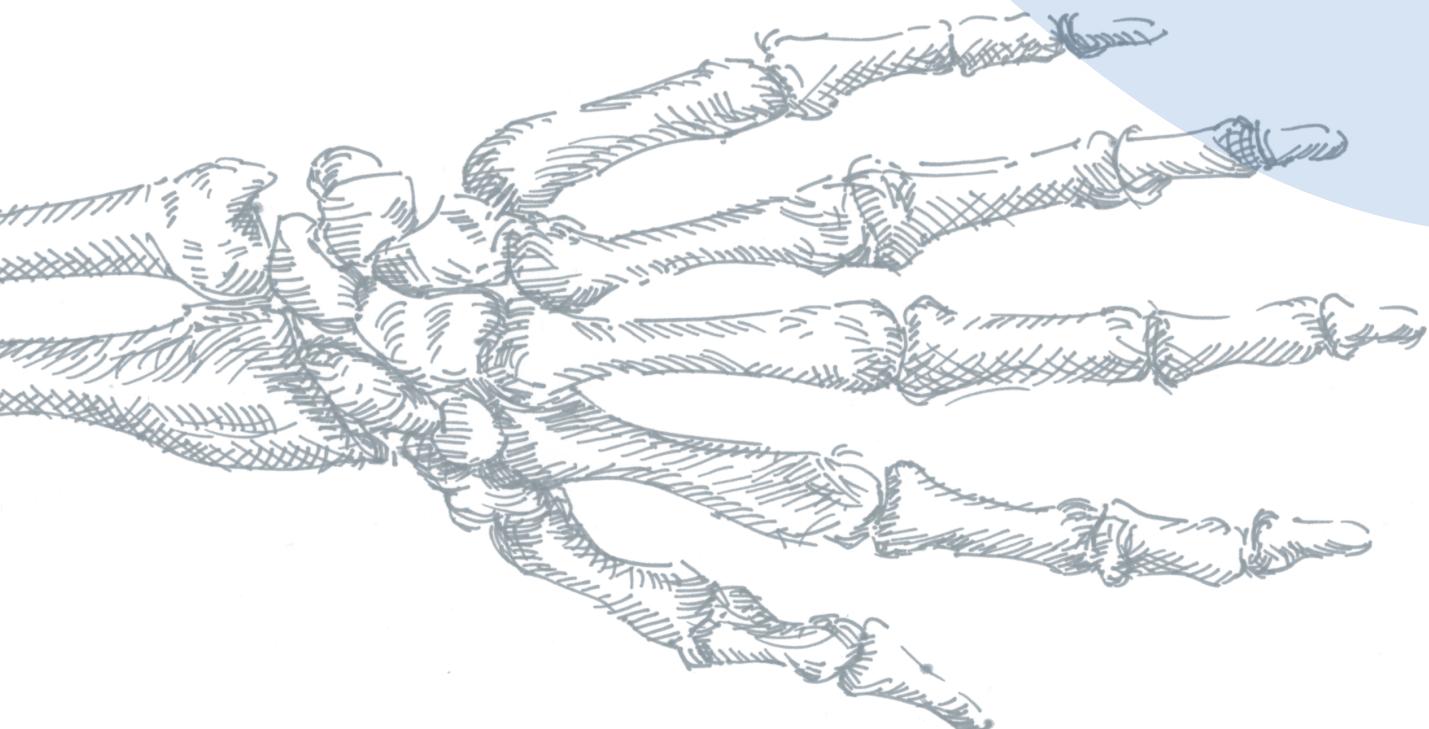




DOSSIER NUTRITION: MISE À JOUR SUR LA SANTÉ OSSEUSE

Le rôle du lait et des produits laitiers dans la santé osseuse



Ulrike Gonder, Dipl. oec. troph.
Taunusblick 21, D-65510 Hünstetten
mail@ugonder.de

Berne, novembre 2025

swissmilk

Pour beaucoup, il est établi depuis longtemps que le lait et les produits laitiers contribuent tout au long de la vie de manière décisive à la santé osseuse. Si l'importance du calcium est bien connue, les autres avantages du lait, inscrit dans un régime alimentaire sain, le sont peut-être moins. On entend aussi que le lait est mauvais pour la santé ou que, pour diverses raisons, il ne faudrait se nourrir que d'aliments végétaux. Mais quelles en sont les conséquences sur la santé osseuse?

Il est grand temps de rafraîchir les connaissances sur le sujet et de les développer sur la base des dernières découvertes.

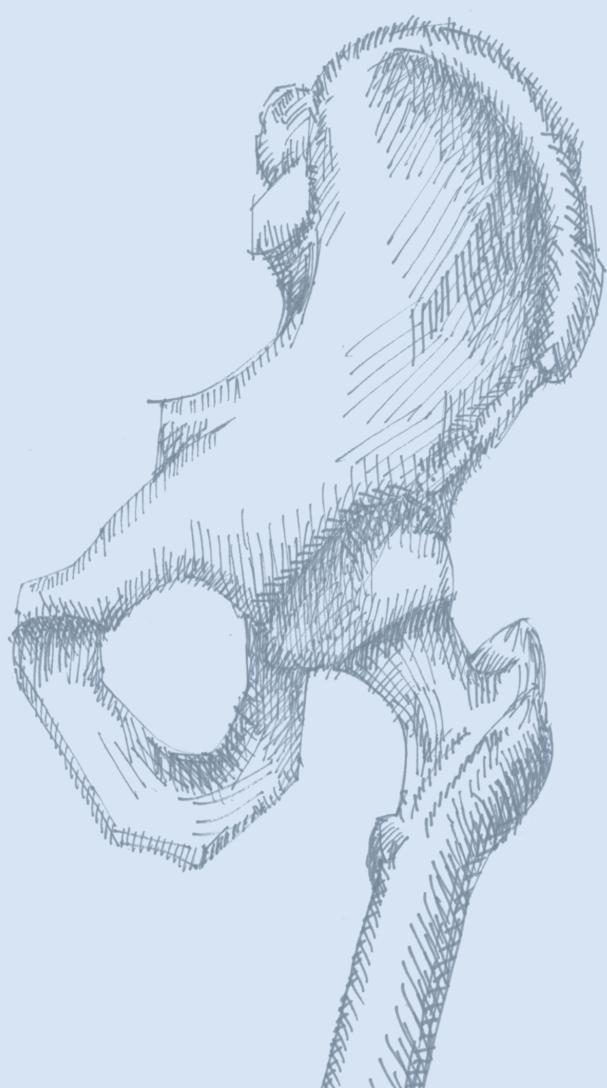


Table des matières

4	Lait et santé osseuse: mise à jour
5	Formation et préservation des os au cours de la vie
6	Formation et résorption osseuses
7	Ostéoporose
8	Lait et santé osseuse
9	Composants du lait importants pour les os
11	<i>Le calcium, stabilisateur des os</i>
12	<i>Le phosphate, nocif pour les os?</i>
12	<i>Protéines: structure, élasticité et peptides bioactifs pour les os</i>
15	Lait (produits laitiers) et marqueurs de la santé osseuse
16	<i>Adultes et personnes âgées</i>
18	Lait (produits laitiers) et risque de fracture
19	Produits laitiers fermentés
20	<i>Influence du microbiote sur la santé osseuse</i>
22	Influence de la matrice du lait et des produits laitiers
24	Le lait et les produits laitiers s'inscrivent dans une alimentation saine (pour les os)
27	Modes d'alimentation a priori
27	Modes d'alimentation a posteriori
28	Modes d'alimentation à base de plantes avec ou sans lait (ou produits laitiers)
29	Équilibre acido-basique et santé osseuse
31	Synthèse et perspectives
33	Annexe
36	Bibliographie et répertoire des sources

Impressum

© Swissmilk 2025

Éditeur: Producteurs Suisses de Lait PSL, Swissmilk, Berne

Responsable de projet: Susann Wittenberg, Oecotrophologin BSc en écotrophologie, Swissmilk

Traduction: Trait d'Union, Berne

Graphisme: Stefan Aebi, Grafik & Illustration, Stettlen

Lait et santé osseuse: mise à jour

«Les os sont les éléments les plus solides du corps humain. C'est normal, car ils doivent porter le corps en position verticale. Cependant, la raison pour laquelle les os sont si solides est à chercher ailleurs. Les os font office de coffre-fort, bien gardé par le calcium, et ils sont solides car ils protègent les cellules souches, stockées dans la moelle osseuse. Prenons l'exemple d'un problème au cœur. Celui-ci donne l'alarme et le premier appel à l'aide est envoyé aux os: libérez des cellules souches du coffre-fort! Chez les femmes, la situation peut changer à la ménopause, lorsque le taux d'oestrogènes chute. Si une femme souffre d'ostéoporose, le coffre-fort formé par les os est lui aussi touché. Des cellules graisseuses se déposent en effet dans les cellules souches, ce qui entraîne une adiposité médullaire. (...) C'est la raison pour laquelle il est important d'agir contre l'ostéoporose, et pas seulement pour prévenir les fractures.

L'ostéocalcine est une hormone contenue dans les os. Elle est sécrétée par les ostéoblastes, les cellules responsables de la formation osseuse. L'ostéocalcine passe dans les testicules et y active les spermatozoïdes, parce qu'elle stimule la synthèse de la testostérone. (...) Si les os ne fournissent pas assez d'ostéocalcine, le pancréas ne peut pas produire suffisamment d'insuline. C'est pourquoi on mesure le taux de sucre des patients atteints d'ostéoporose et inversement, la densité osseuse des patients diabétiques. Les os améliorent la production de l'insuline, qui à son tour permet d'injecter davantage de sucre dans les cellules musculaires. Les muscles sont ainsi plus performants et soutiennent mieux les os. Le même phénomène se produit dans le cerveau. (...) Dès le plus jeune âge, les os et l'ostéocalcine jouent un rôle très important, car le cerveau de l'enfant dépend de la quantité d'hormones osseuses présentes dans le squelette de sa mère.»

Ces quelques passages extraits de l'ouvrage du professeur Johannes Huber «Der holistische Mensch (L'homme holistique)» (1) illustrent parfaitement le fait que la santé osseuse ne se résume de loin pas à une masse osseuse élevée ou à un faible risque de fracture à un âge avancé, même si ces deux aspects comptent aussi. Le sous-titre du livre est très parlant à cet égard: «Nous sommes plus que la somme de nos organes». En effet, ces derniers ont un effet les uns sur les autres, tandis que les nutriments, les enzymes et les hormones exercent eux aussi des fonctions à différents endroits du corps.

La recherche sur l'ostéoporose, sa prévention et son traitement par des mesures alimentaires s'est longtemps penchée uniquement sur certaines substances, notamment le calcium. Celui-ci joue incontestablement un rôle central non seulement dans la santé osseuse, mais aussi pour les dents, les fonctions musculaire et nerveuse, les allergies et les inflammations ainsi que la coagulation sanguine. C'est pour cette raison qu'une réserve suffisante de calcium dans les os est primordiale. Cette réserve est «gardée» par les oestrogènes, mais peut être libérée en cas de besoin. La santé osseuse dépend de nombreux aspects, y compris de l'alimentation.

Sur ce point, il ne s'agit pas seulement des autres nutriments qui, avec le calcium, sont importants pour les os: phosphate, protéines, silicium, magnésium, zinc, ainsi que les vitamines D et C, mais aussi des substances végétales secondaires, qui font également l'objet d'une attention croissante, tout comme les processus de fermentation, le microbiote (2), l'ensemble du mode d'alimentation ainsi que la matrice des aliments, notamment celle des produits laitiers (3, 4). Cette mise à jour traitera donc de tous ces aspects et de l'importance du lait et des produits laitiers* dans une alimentation saine, en particulier sous l'angle des os. Un modèle alimentaire bénéfique pour les os seulement ne serait pas pertinent, car tout est lié, comme le montre si bien l'extrait du livre de J. Huber cité ci-dessus.



* Remarque: Les études portant sur le lien entre la consommation de lait et de produits laitiers et la santé osseuse incluent généralement le lait et les produits laitiers tels que le yogourt et/ou le fromage. La crème et le beurre ainsi que les produits transformés tels que les crèmes glacées ou les desserts ne sont pas pris en compte.

Formation et préservation des os au cours de la vie

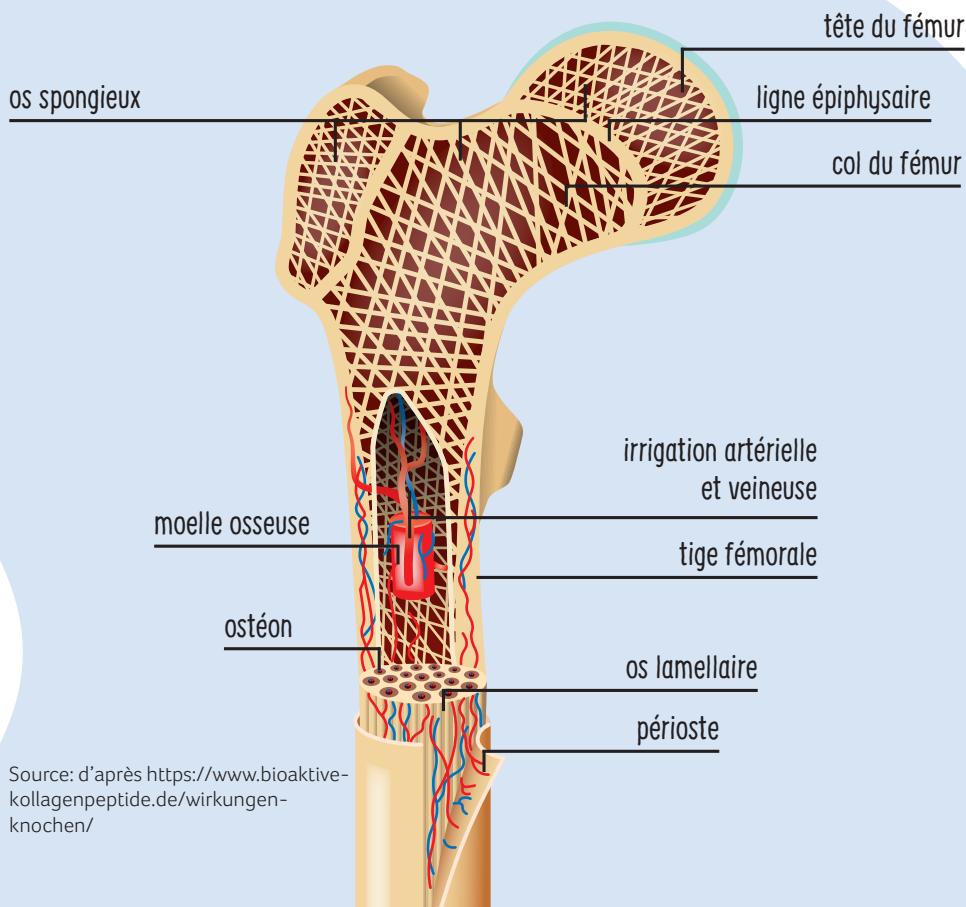
Notre squelette nous soutient, protège nos organes internes et constitue une réserve importante de minéraux, de cellules souches et de cellules hématopoïétiques. Les membres sont soutenus par de longs os tubulaires, tandis que les mains et les pieds sont soutenus par de petits os. Si le crâne, le bassin et les côtes sont constitués d'os plats, la colonne vertébrale est quant à elle formée d'os irréguliers. Le squelette humain peut comprendre jusqu'à 214 os. Les os sont constitués d'un corps ou diaphyse et de deux extrémités appelées épiphyses. À l'intérieur des articulations, les os sont protégés par une couche de cartilage, tandis qu'une membrane osseuse bien vascularisée, appelée périoste, les protège et les nourrit. Le périoste est extrêmement sensible à la douleur, ce dont on se rend bien compte quand on se cogne le tibia.

Le tissu osseux lui-même se compose d'une couche externe dense d'épaisseur variable (os compact ou cortical) et d'une structure interne semblable à une éponge (os spongieux). Malgré leur faible poids, les trabécules de l'os spongieux lui assurent une grande stabilité grâce à leur disposition spécifique. Elles

amortissent et répartissent les charges, à l'instar des piliers en acier dans les bâtiments. Chez l'adulte, on trouve surtout du tissu adipeux entre les trabécules et de la moelle osseuse hématopoïétique dans les os plats. C'est également dans la moelle osseuse que se trouvent les cellules souches dont nous avons parlé plus haut.

La substance des os se compose de différentes cellules osseuses (ostéocytes), intégrées dans une matrice. Celle-ci se compose principalement d'hydroxyapatite, qui confère leur solidité aux os, et de protéines comme le collagène, qui en assurent l'élasticité (5). Les ostéocytes sont des cellules osseuses matures qui se développent à partir des ostéoblastes, les cellules osseuses les plus nombreuses (6), dont la fonction est de former les os. Les ostéoclastes sont les cellules qui les résorbent. Ces deux types de cellules se trouvent dans le périoste, la membrane qui recouvre les os. Selon les phases de vie et l'état de santé, l'activité des cellules osseuses peut être en équilibre ou l'une peut prédominer sur l'autre.

Structure schématique d'un os long

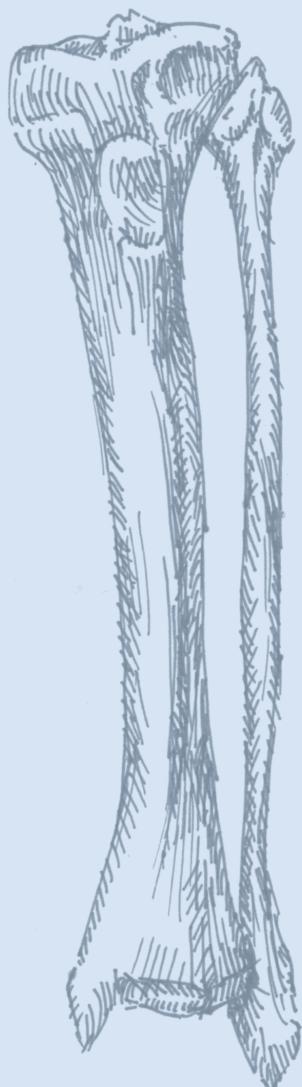


Formation et résorption osseuses

On distingue deux formes d'ostéogenèse (également appelée ossification). Lorsque les ostéoblastes, les cellules qui forment les os, synthétisent la matrice osseuse sur place, on parle d'ossification directe. Lors de ce que l'on appelle l'ossification enchondrale, du tissu cartilagineux est d'abord formé, puis progressivement ossifié. Elle est particulièrement marquée lors de la croissance osseuse chez l'enfant. Dans ce cas, des noyaux osseux cartilagineux se développent déjà dans le ventre de la mère, puis s'ossifient et fusionnent progressivement. Jusqu'à la fin de la deuxième décennie de vie, une zone étroite de cartilage épiphysaire, située entre l'épiphyse et la diaphyse, est présente pour garantir une croissance longitudinale régulière des os. Ce n'est qu'à ce moment-là qu'ils s'ossifient également, ce qui marque la fin de la phase de croissance pubertaire (7).

Or, même après la croissance, les os ne restent pas passifs, ils se modifient constamment. Tout au long de la vie, les ostéoblastes et les ostéoclastes assurent les processus de construction, de dégradation et de transformation. Ils sont principalement soumis à la génétique et au contrôle hormonal, mais aussi à l'activité physique et à la disponibilité des nutriments. Non seulement les hormones sexuelles que sont les œstrogènes et la testostérone, mais aussi les hormones ostéocalcine, issue des os, et calcitonine, issue de la thyroïde, lesquelles participent à la formation des os, ainsi que l'hormone parathyroïdienne, issue de la parathyroïde, qui résorbe les os, jouent un rôle important. La calcitonine et l'hormone parathyroïdienne sont des antagonistes qui régulent, entre autres, le taux de calcium dans le sang. La calcitonine assure l'intégration du calcium dans les os, tandis que l'hormone parathyroïdienne leur permet de mobiliser le calcium. La calcitonine inhibe également les ostéoclastes, les cellules responsables de la résorption des os. L'hormone vitamine D et la vitamine K₂ sont extrêmement importantes pour l'absorption du calcium et sa fixation sur les os.

Jusqu'à l'âge de 35 ans environ, la formation est plus importante que la résorption osseuse, la masse osseuse augmentant jusqu'à ce moment de la vie. La valeur la plus élevée est appelée pic de masse osseuse (PMO). La teneur minérale osseuse (BMC, Bone Mineral Content) et la densité minérale osseuse (BMD, Bone Mineral Density, DMO en français) constituent d'autres indicateurs mesurables de la qualité des os. Une fois le PMO atteint, la masse osseuse diminue en moyenne d'environ 1,5 % par an. Les processus immunologiques et les inflammations qui y sont associées, ainsi que le stress oxydatif, jouent également un rôle dans la santé osseuse (8). La période précédant la ménopause entraîne une nette augmentation (temporaire) de la fonte osseuse en raison de la baisse du taux d'œstrogènes. C'est pourquoi les femmes (péri)ménopausées sont plus souvent touchées par l'ostéoporose que les hommes.



Ostéoporose

Les lignes directrices S3 des sociétés scientifiques ostéologiques germanophones définissent l'ostéoporose comme une «maladie systémique du squelette, caractérisée par la diminution de la masse osseuse et une détérioration de la microarchitecture du tissu osseux» (9). La masse osseuse et la microarchitecture des os sont donc toutes deux concernées. En plus de la perte de masse osseuse, c'est surtout l'amincissement des trabécules dans l'os spongieux qui peut nuire à la stabilité des os. Ceux-ci deviennent fragiles et même un lestage faible, mais inadéquat peut provoquer une fracture. On parle alors de fractures non traumatiques, par opposition à celles qui sont provoquées par une action extérieure (traumatisme) comme un accident. Si des fractures sont déjà survenues, les lignes directrices parlent d'ostéoporose manifeste. Le stade préliminaire de l'ostéoporose est appelé ostéopénie.

Les lignes directrices s'appuient également sur la définition de l'ostéoporose de l'OMS. Celle-ci se base sur la densité minérale osseuse (DMO) en réalisant une densitométrie osseuse par DXA au niveau des vertèbres lombaires et/ou du fémur proximal (partie supérieure de la cuisse). Si la valeur mesurée s'élève à plus de -2,5 écarts-types de la moyenne pour une femme entre 20 et 29 ans ($T\text{-score} > -2,5$), une ostéoporose est confirmée. Pour les hommes, les valeurs de densité osseuse par DXA sont prises en compte à partir de 50 ans.

Facteurs de risque de l'ostéoporose

Outre l'âge et le sexe, le risque de développer une ostéoporose est influencé par une longue liste d'autres facteurs.

Parmi les facteurs qui augmentent le risque, on trouve notamment:

- les maladies endocrinologiques (p. ex. le syndrome de Cushing, l'hyperparathyroïdie, l'hyperthyroïdie, l'hypogonadisme, le diabète sucré);
- la baisse significative des œstrogènes à la ménopause;
- les maladies rhumatisantes et neurologiques;
- les maladies hépatiques et l'anorexie;
- divers médicaments (p. ex. les glucocorticoïdes, les inhibiteurs de la pompe à protons).

Parmi les facteurs liés au mode de vie, les lignes directrices mentionnent les risques influençables suivants:

- le tabagisme, l'abus d'alcool;
- l'insuffisance pondérale, la perte de poids;
- une alimentation pauvre en protéines et en calcium.

Les biomarqueurs influençables sont:

- une homocystéine et une protéine C-réactive élevées;
- une carence en acide folique et en vitamine B₁₂;
- des hyponatrémies.

Une activité physique réduite ou inexistante, qui affecte la santé osseuse par une diminution de la musculature, en augmentant la tendance aux chutes et aux fractures, joue elle aussi un rôle.

Selon les lignes directrices, l'ostéoporose se manifeste cliniquement surtout par des fractures non traumatiques et leurs conséquences. Les fractures du fémur, près de la hanche en particulier, entraînent une nette diminution de la qualité de vie en raison des douleurs et des limitations fonctionnelles. En cas de fractures vertébrales, des troubles du reflux gastrique peuvent survenir ou s'aggraver. Les fractures liées à l'ostéoporose sont également associées à une augmentation de la mortalité. Selon des données suisses, l'incidence des fractures significatives liées à l'ostéoporose chez les plus de 50 ans s'élève à 773 cas sur 100 000 chez les hommes et à 2078 cas sur 100 000 chez les femmes. On estime que 20 % des hommes de plus de 50 ans et 51 % de leurs contemporaines féminines subiront une telle fracture au cours de leur vie. L'ostéoporose a donc également une grande importance sur le plan socio-économique.

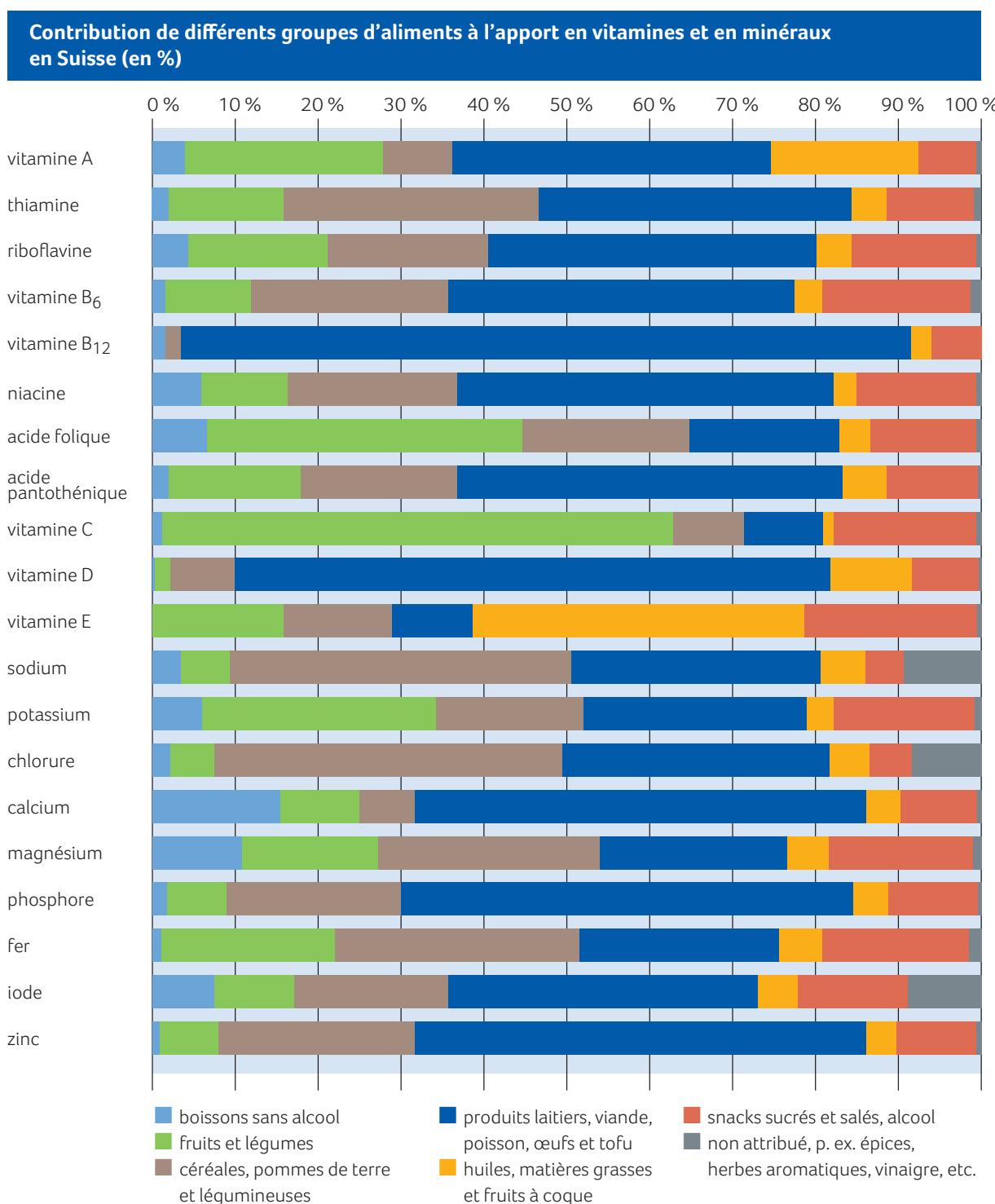
Conclusion intermédiaire:

Le squelette sert de support à l'organisme et de réserve de nutriments (p. ex. de calcium et de magnésium), d'hormones (p. ex. de calcitonine) et de cellules souches. Il est en «mouvement» tout au long de la vie, se construisant, se dégradant et se transformant en permanence. L'ostéoporose est l'une des maladies osseuses les plus importantes. Elle s'accompagne d'un risque élevé de fracture.

Lait et santé osseuse

Les Suisses vont puiser dans le lait et les produits laitiers (fromage inclus) non seulement une grande partie du calcium dont ils ont besoin, mais aussi du potassium, du phosphore, du zinc, de l'iode, de la vitamine B₂ et de son acide pantothéénique. Ces aliments sont par ailleurs d'importantes sources de

protéines et de graisses de bonne qualité, de vitamines A, D et B₁₂ ainsi que de minéraux tels que le magnésium, le sodium et le chlorure. Ainsi, le lait et les produits laitiers fournissent de nombreux nutriments importants pour les os, avec un apport énergétique modéré, et à un coût relativement faible (10).



Composants du lait importants pour les os

Si le calcium est le nutriment du lait qui a le plus d'effet sur les os, ce n'est toutefois pas le seul. Les protéines, le phosphate, les vitamines D et K, mais aussi le magnésium, sont tout aussi importants. Bien que le lait et les produits laitiers ne soient pas les principales sources de vitamine D, de vitamine K et de magnésium, ils contribuent notablement à leur apport.

La vitamine D contribue à l'absorption du calcium et du phosphate et est donc indissociable de la santé osseuse. Toutefois, la majeure partie de la vitamine D ne provient pas de l'alimentation, mais de l'exposition à la lumière du soleil ou de la supplémentation (11). Une étude portant sur du fromage enrichi en vitamine D (5,7 microgrammes de vitamine D/jour) a permis de constater une amélioration des concentrations de la forme stockée de la vitamine D 25(OH)D et une diminution de la résorption osseuse chez des femmes postménopausées dont l'apport était auparavant insuffisant (12). La carence en vitamine D est très répandue, surtout en hiver et chez les personnes âgées. Par conséquent, en raison du rôle majeur de la vitamine D dans le bilan calcique des os ainsi que pour la prévention des chutes et des fractures, les taux devraient être testés et les éventuelles carences corrigées (13).

Le magnésium est le deuxième cation le plus important de l'espace intracellulaire après le potassium. Il exerce de nombreuses fonctions, par exemple dans la conduction neuromusculaire, la production d'énergie et en tant que cofacteur de plus de 300 enzymes. 60 % du stock de magnésium se trouvant dans les os, ils en constituent également un réservoir important. Le magnésium est un cofacteur essentiel de la synthèse et de l'activation de la vitamine D et est donc impliqué dans la santé osseuse. Une carence diminue la résistance des os en réduisant les ostéoblastes, en augmentant les ostéoclastes et en mobilisant le calcium des os via l'hormone parathyroïdienne. De faibles taux de magnésium sont corrélés avec davantage d'ostéoporose, et sont fréquents chez les femmes postménopausées. L'apport recommandé pour les adultes se situe entre 310 et 400 mg de magnésium par jour. Un apport plus faible est associé à des densités minérales osseuses réduites et à des risques de fracture accrus (14). Inversement, une revue systématique a constaté qu'un apport accru en magnésium chez les personnes âgées était associé à une meilleure densité minérale osseuse au niveau de la hanche et de la tête du fémur (15).

Pour ce qui est de la **vitamine K₂** également, on constate que la santé osseuse ne dépend pas de nutriments isolés, mais de l'interaction entre de nombreux facteurs. La vitamine K est liposoluble et se présente sous différentes formes. La vitamine K₁ (phylloquinone) est synthétisée par les plantes et exerce des fonctions essentielles dans la coagulation sanguine. La vitamine K₂ est produite sous différentes variantes (diverses ménaquinones, MK-1 à MK-10) par des micro-organismes et se trouve principalement dans les aliments fermentés. Les faibles quantités de MK-4 présentes dans la viande, les œufs et les produits laitiers sont le résultat de la transformation de la vitamine K₁ contenue dans l'alimentation des animaux. Le natto se trouve en tête de liste en ce qui concerne la teneur en MK-7; il s'agit d'une spécialité japonaise à base de fèves de soja fermentées. En comparaison, les apports du lait et des produits laitiers sont plutôt faibles. Cependant, plusieurs cultures de fromage sont capables de synthétiser la MK-7, qui est particulièrement utile pour la résistance osseuse (16).

La vitamine K₂ (p. ex. MK-4 et MK-7) permet notamment d'ajouter un groupe carboxyle à l'acide glutamique de l'hormone osseuse ostéocalcine. Ce n'est qu'alors que se forme l'ostéocalcine carboxylée, capable de lier activement le calcium dans les os. Si l'ostéocalcine est «sous-carboxylée» (ucOC), elle ne peut pas remplir sa fonction et intégrer le calcium dans les os. Les études sur la vitamine K₂ et la santé osseuse ont principalement révélé des effets positifs, tels qu'une amélioration de la densité minérale osseuse, une augmentation de l'ostéocalcine carboxylée et une diminution de l'ostéocalcine sous-carboxylée. Cependant, les données issues d'études d'intervention sur l'effet des différentes vitamines K (1 et 2) sur le risque de fracture sont très hétérogènes (17). Les vitamines K et la vitamine D étant liposolubles, le lait et les produits laitiers riches en matières grasses sont mieux adaptés que ceux pauvres en matières grasses pour favoriser leur absorption.



Aperçu

		3 portions de lait* par jour couvrent les besoins quotidiens d'un adulte à hauteur de...
Le calcium	est un composant important de la structure osseuse.	76,5 %
La vitamine D	favorise l'absorption du calcium et régule le métabolisme du calcium et du phosphate.	4,0 %
Les protéines	sont des composants importants des os et augmentent la biodisponibilité du calcium, qui les renforce.	33,4 %
Le phosphore	est également un élément constitutif important des os.	101,6 %
Le magnésium	stabilise les liaisons calcium-phosphate et exerce une influence positive sur l'équilibre calcique. Il favorise la formation de la forme active de la vitamine D et stimule la sécrétion de l'hormone parathyroïdienne, qui régule le taux de calcium dans le sang.	15,2 % (femmes) 17,7 % (hommes)
Le potassium	influence le métabolisme calcique et assure l'augmentation de la teneur minérale osseuse.	18,6 %
Le zinc	favorise la formation du facteur de croissance IGF-1. Celui-ci favorise à son tour la formation et la croissance des os en stimulant les ostéoblastes, les cellules responsables de la formation des os.	29,8 % (femmes) 37,3 % (hommes)
La vitamine K	participe à la formation des protéines osseuses. Elle inhibe également la mobilisation du calcium à partir des os et réduit l'élimination de calcium dans l'urine.	3,4 %
La vitamine B₁₂ et l'acide folique	ont un effet positif sur la densité osseuse.	B ₁₂ : 35,8 % F: 7,0 %
		* 2 dl de lait, 180 g de yogourt, 30 g de fromage à pâte dure

Sources: Fonctions selon la SSN: calcium, 2023 /SSN: vitamine D, 2022 /Swissmilk: Santé osseuse 3^e partie: l'importance des protéines, 2012 /Swissmilk: Santé osseuse 4^e partie: Tout ce que le lait contient de bon pour les os, 2012 /Gröber, U: Knochenrelevante Mikronährstoffe, SZE, 2011

Calculs réalisés selon Des valeurs nutritionnelles de référence suisses, OSAV, 2024 /Base de données suisse des valeurs nutritives, OSAV, 2025



Le calcium, stabilisateur des os

Le calcium est l'élément le plus répandu dans le corps humain, et il se trouve à 99 % dans les os. En cas de besoin, les os, qui stockent le calcium, peuvent le libérer dans le sang. Le 1 % restant se trouve dans d'autres tissus, dans le sang et dans l'espace intracellulaire. Dans le métabolisme cellulaire, le calcium participe notamment à la coagulation sanguine, à l'activité cardiaque et musculaire, à la

transmission des influx nerveux et à la régulation de la pression artérielle. Il est par ailleurs un élément constitutif de nombreuses enzymes et est donc étroitement lié à de nombreuses fonctions cellulaires. Un mauvais apport en calcium est non seulement associé à une faible minéralisation osseuse, mais aussi au cancer du côlon, à l'hypertension artérielle et au surpoids (18).

Tableau 1: Valeurs de référence pour l'apport en calcium en Suisse

Âge	mg/jour
7-11 mois	280
1-3 ans	450
4-10 ans	800
11-17 ans	1150
18-24 ans (également lors de la grossesse/l'allaitement)	1000
25-65 ans (également lors de la grossesse/l'allaitement)	950
66 ans et +	1000 -1200

Source: d'après Des valeurs de référence suisses. OSAV. 2024

Un adulte perd chaque jour en moyenne 200 à 300 mg de calcium, qui doit être compensée. Cette valeur est inférieure en cas de régime pauvre en protéines (19). Une alimentation trop acidifiante (20) et une consommation élevée de sel (21) peuvent augmenter l'excrétion de calcium. La quantité de calcium alimentaire résorbé et retenu dépend notamment des facteurs suivants (22):

- de la teneur en calcium de l'aliment et de la taille des portions consommées,
- de la teneur en substances inhibitrices et stimulatrices de la résorption,
- de l'âge et du statut calcique des consommateurs,
- d'autres habitudes alimentaires, p. ex. de la consommation de protéines et de fibres,
- du taux de vitamine D.

En particulier en cas d'apport marginal en calcium, il faut veiller à un bon approvisionnement en vitamine D (23, 24). Le lait contient à la fois du calcium à bonne biodisponibilité et un peu de vitamine D, qui favorise surtout la résorption intestinale active du calcium, par le biais de protéines. Un tiers du calcium du lait se trouve sous forme soluble et est facilement assimilable. Les deux tiers restants sont liés à la caséine, une protéine du lait. Pendant la digestion, celle-ci est transformée, sous l'action d'enzymes, en phosphopeptides de caséine (CPP), à partir desquels le calcium peut être mobilisé.

D'autres protéines lactiques ainsi que le lactose augmentent également la disponibilité du calcium du lait et des produits laitiers.

Par décilitre, le lait et les produits laitiers comme le yogourt ou le lait acidulé fournissent environ 120 mg de calcium. Sa biodisponibilité, plus précisément l'efficacité estimée de son absorption pour une portion habituelle d'environ 2 dl, est évaluée à 32 %. Elle est tout aussi élevée pour le lait de table que pour le yogourt et le fromage, et elle n'est pas fondamentalement influencée par la teneur en matière grasse. L'absorption du calcium à partir de plantes est cependant entravée par des substances inhibitrices telles que l'acide oxalique, les tanins et l'acide phytique. C'est pourquoi l'assimilation du calcium provenant de nombreuses plantes est plus faible que celle du lait (25).

Les supplémentations isolées en calcium ne réduisent pas le risque de fracture ostéoporotique. Elles ont également obtenu de moins bons résultats que le calcium issu de produits laitiers, comme le fromage, en ce qui concerne l'amélioration de la croissance osseuse chez les jeunes. De plus, un apport isolé élevé en calcium peut entraîner des effets secondaires indésirables sur le système cardiovasculaire, qui n'ont pas été observés en cas d'apport en calcium issu de produits laitiers (26).

Le phosphate, nocif pour les os?

En avril 2022, on pouvait lire ce qui suit dans un article publié sur le site internet Netdoktor.de sur le thème de la prophylaxie de l'ostéoporose: «Les experts recommandent de ne consommer qu'en quantité modérée les aliments nocifs pour les os, comme la charcuterie, le fromage, les sodas, le chocolat et les cacahuètes grillées. Ceux-ci contiennent beaucoup de phosphore qui attaque les os. (...) Les additifs phosphatés dans les denrées alimentaires sont identifiés par les numéros E 338–341, 343 et 450–452.» (27) Si vous les comparez avec les ingrédients contenus dans les sodas, la charcuterie ou le fromage, vous constaterez que le lait, les produits laitiers et le fromage ne contiennent généralement pas d'additifs phosphatés (à l'exception des fromages cuits et fondus conventionnels*). Le lait fournit en revanche naturellement du phosphate, qui est aussi important que le calcium pour la santé du cartilage et des os. Ces deux minéraux sont des composants de l'hydroxyapatite, le composé qui confère sa stabilité à la matrice osseuse organique (29).

Un rapport défavorable dans l'apport de calcium et de phosphate peut perturber l'équilibre calcique et donc la santé osseuse. Pour cela, il faudrait toutefois que l'apport en phosphate dépasse l'apport en calcium de plus de 30 %. En d'autres termes: jusqu'à un rapport Ca/P de 1:1,3, il n'y a pas de problème. Les tableaux des valeurs nutritives montrent que le lait, le yogourt et les fromages à pâte molle, mi-dure et dure contiennent (nettement) plus de calcium que de phosphate. Le rapport Ca/P du lait est de 120 : 92 mg par dl, soit 1:0,77, ce qui est largement dans la zone favorable. Pour la plupart des fromages, le rapport est encore plus favorable (30). Il n'en va pas de même pour les fromages cuits et fondus conventionnels, pour la fabrication desquels des sels de fonte contenant des phosphates sont autorisés (31).

Le fromage à base de lait acidulé (p. ex. le Harzer), le fromage frais, le séré et le cottage cheese sont les seuls produits laitiers qui contiennent naturellement plus de phosphate que de calcium (32). Il n'existe cependant pas d'études scientifiques indiquant que la teneur en phosphate du lait et des produits laitiers serait problématique pour la santé osseuse (33, 34). Une méta-analyse de différentes études incluant des enrichissements en phosphate a au contraire conclu à une amélioration de l'absorption et à une diminution de l'excrétion urinaire du calcium, indépendamment de l'apport de celui-ci (35). Le phosphate contenu dans le lait ne s'attaque donc absolument pas aux os. Bien au contraire, il contribue dans une large mesure, avec le calcium, à la formation et à l'entretien des os.**

Protéines: structure, élasticité et peptides bioactifs pour les os

Le tissu osseux fait partie des tissus conjonctifs et de soutien. Il est composé d'ostéocytes réticulés intégrés dans une matrice extracellulaire, composée à 25 % d'eau, à 30 % de substances organiques et à 45 % de substances inorganiques. La dureté des os n'est due qu'à leur minéralisation par l'hydroxyapatite. Les protéines constituent les composants organiques de la matrice osseuse: il s'agit à 95 % de collagène et à 5 % de protéoglycans et d'autres protéines non-collagénées, dont fait partie l'ostéocalcine (36). Les protéines de la matrice osseuse confèrent au squelette sa résistance et son élasticité, ce qui est essentiel pour la mobilité et la prévention des fractures.

Pour construire la matrice osseuse organique, de nombreux acides aminés sont nécessaires. Les acides aminés à chaîne ramifiée valine, leucine et isoleucine stimulent également la sécrétion du facteur de croissance analogue à l'insuline 1 (IGF-1), qui a un effet anabolisant sur la croissance osseuse et musculaire. Ces acides aminés sont surtout présents en abondance dans les protéines de lactosérum du lait (37).



* Dans les produits bio, il est interdit d'utiliser des phosphates comme sels de fonte. (28)

** On parle ici de phosphate et de santé osseuse. La teneur en phosphate des aliments doit bien entendu être prise en compte, par exemple, dans le traitement diététique des patients souffrant d'insuffisance rénale et en cas de dialyse.

En 2018, Rizzoli et al. ont résumé ainsi les données disponibles sur les protéines et la santé osseuse: un apport suffisant en protéines est nécessaire pour une croissance osseuse optimale et le maintien d'un squelette en bonne santé. Des revues systématiques et des méta-analyses chez les adultes indiquent que les apports en protéines supérieurs à 0,8 g/kg/jour réduisent les pertes osseuses et le risque de fracture de la hanche, à condition que l'apport en calcium soit suffisant. Les personnes âgées atteintes d'ostéoporose ont montré une meilleure densité minérale osseuse, un ralentissement de la fonte osseuse et une réduction du risque de fracture de la hanche avec des apports protéiques plus élevés (38).

Pour la prévention de l'ostéoporose, la dernière ligne directrice S3 recommande aux personnes âgées présentant un risque accru de chute de consommer 1,0 g de protéines par kilo de poids corporel. Une revue parapluie récente, c'est-à-dire une synthèse de revues systématiques et de méta-analyses, a potentiellement conclu que des apports élevés en

protéines, par opposition à des apports faibles ($> 1,24 \text{ g/kg/jour}$ contre $< 0,95 \text{ g/kg/jour}$), réduisaient le risque de fracture de la hanche (39).

Pour réduire la perte à la fois de masse musculaire et osseuse (ostéosarcopénie), des apports en protéines de 1,2 à 1,5 g/kg/jour semblent indiqués chez les personnes âgées de plus de 65 ans (40). Les recommandations de l'OSAV pour les personnes âgées (65+) et pour les personnes particulièrement à risque d'être touchées par la fonte osseuse se situent également dans cette fourchette (voir tableau 2) (41). Cependant, près de 27 % des Suisses, et surtout des Suissesses, n'atteignent pas les recommandations en matière de protéines. Chez les personnes âgées de 65 à 75 ans, environ 50 % des hommes et des femmes consomment moins de protéines que ce qui est recommandé (42), ce qui est particulièrement préoccupant pour la santé des os et le maintien de la masse musculaire.

Tableau 2: Valeurs de référence des apports protéiques en Suisse

Âge et groupe	g/kg de poids corporel/jour
18 - 65 ans	0,8
dès 66 ans	1-1,2 (personnes à risque jusqu'à 1,5)
Femmes enceintes	0,8 (1 ^{er} trimestre +1 g/jour; 2 ^e trimestre + 9 g/jour; 3 ^e trimestre + 28 g/jour)
Femmes qui allaitent	0,8 (0-6 mois post partum + 19 g/jour; >6 mois post partum + 13 g/jour)

Source: des valeurs de référence suisses. OSAV. 2024

L'effet de l'apport de protéines sur les os dépend également de la quantité de calcium absorbé, qui doit être suffisante. On estime que c'est le cas à partir d'un rapport calcium-protéines de 16 : 1 (43).

Comme le montre le tableau ci-après, la plupart des produits laitiers présentent à cet égard d'excellentes valeurs.

Tableau 3: Rapport calcium-protéines de divers produits laitiers

Aliment	mg de calcium/100 g	g de protéines/100 g	mg de calcium: g de protéines
emmental, 45 % MG/ES	1372	28	49 : 1
parmesan	1176	31	38 : 1
gouda, 45 % MG/ES	958	22	44 : 1
yogourt nature, 3,5 % MG	120	3,1	39 : 1
lait de vache, 3,5 % MG	120	3,4	35 : 1
séré maigre, 3,5 % MG	92	11,6	8 : 1

Source: d'après Burckhardt, P et al.: Ernährung und Knochengesundheit. Osteologie 2015; 24: 107–119

Une étude australienne s'est penchée sur le sujet sous l'angle des coûts. C'est chez les personnes âgées en EMS que l'apport en protéines et en calcium est souvent en dessous des recommandations, et que le risque de fracture ostéoporotique est le plus important, ce qui entraîne des coûts élevés. Une étude d'intervention randomisée a été menée à ce sujet pendant deux ans dans 56 EMS (44). Les résidents de 27 EMS ont reçu 3,5 portions de lait et de produits laitiers par jour afin d'augmenter leur apport protéique à 69 g et leur apport calcique à 1142 mg par jour. Dans 29 autres EMS, l'apport en protéines est resté à 58 g par jour et celui en calcium à 700 mg. Le risque de fracture de la hanche et d'autres fractures en dehors de la colonne vertébrale a diminué de manière significative chez les personnes ayant reçu des produits laitiers. Selon les auteurs de l'étude, si on extrapolait les résultats à l'ensemble du pays, cela permettrait d'économiser environ 67 millions de dollars australiens sur les coûts de la santé.

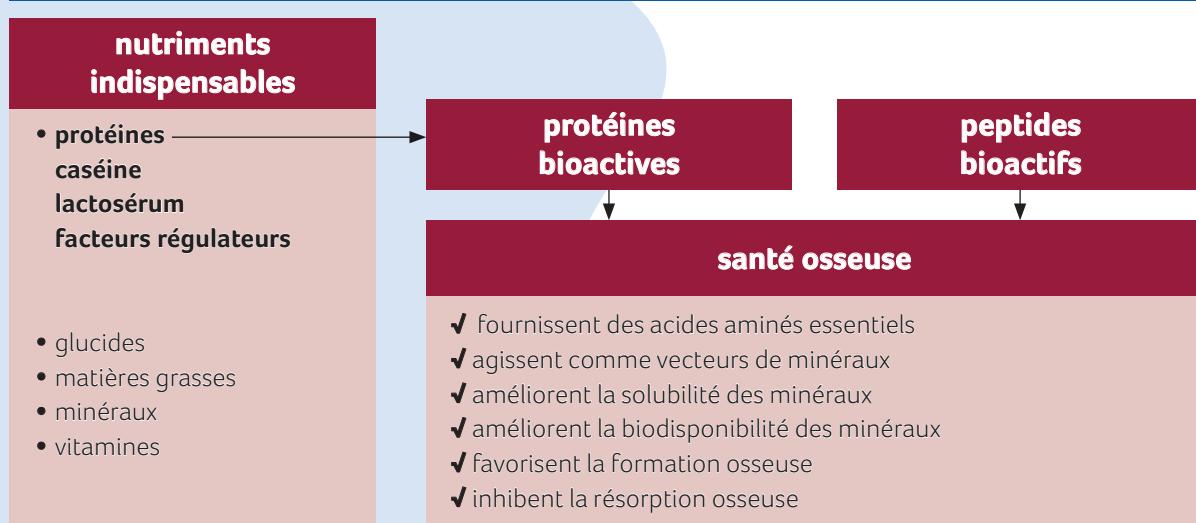
Les protéines lactiques obtiennent donc de bons résultats en matière de santé osseuse, non seulement parce qu'elles sont associées à d'autres nutriments importants pour les os, mais aussi parce qu'elles garantissent l'apport de tous les acides aminés

nécessaires. Cependant, la nature et la diversité de ces protéines jouent également un rôle. Ainsi, les protéines lactiques comprennent des facteurs de croissance, des immunoglobulines, des lactalbumines, des caséines, de la lactoferrine et de l'ostéopontine, qui, du moins en expérimentation animale, favorisent la formation et inhibent la fonte osseuses. Selon de nouvelles études, les peptides bioactifs, produits au cours de la digestion ou de la fermentation des protéines lactiques, seraient également importants pour la santé osseuse. Il s'agit par exemple des caséinophosphopeptides (CPP), qui améliorent l'absorption du calcium, mais aussi des fractions protéiques du lactosérum, qui augmentent (*in vitro* et *in vivo*) la formation et la densité minérale osseuses (45, 46).

Conclusion intermédiaire:

Le lait contribue pour environ un quart à l'apport en protéines, et se taille la part du lion dans l'apport en calcium et en autres nutriments importants pour les os, qui se complètent mutuellement en matière de santé osseuse.

Fonctions du lait, des protéines et des peptides lactiques en matière de santé osseuse



Source: d'après Bu, T et al.: Compr Rev Food Sci Food Safety 2021; 1–29

Lait (produits laitiers) et marqueurs de la santé osseuse

Étant donné qu'il existe de nombreuses études portant sur différents composants du lait ou produits laitiers, ainsi que de nombreux indicateurs de la santé osseuse (aperçu détaillé chez Wallace et al. [47]), les principaux résultats sont brièvement résumés ici.

Enfants, adolescents et jeunes adultes

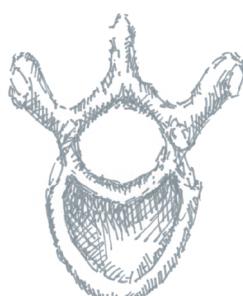
- Dans des études d'intervention portant sur le **calcium issu du lait**, la teneur minérale osseuse (BMC) du squelette périphérique augmentait chez les garçons et les filles prépubères (48).
- Une étude d'intervention menée auprès de jeunes filles prépubères a constaté une meilleure augmentation de la masse osseuse en cas **de doublement de l'apport en calcium par un supplément à base de lait** (+850 mg/jour) par rapport à un placebo. De plus, la ménarche intervenait plus tôt avec l'apport de calcium. Une ménarche plus précoce et une masse osseuse plus élevée sont toutes deux considérées comme des facteurs de protection contre l'ostéoporose (49).

- Une méta-analyse a montré que dans 8 des 11 études d'intervention incluant des enfants et des adolescents, la **consommation de produits laitiers** avait des effets significatifs sur la teneur et la densité minérales osseuses (BMC et DMO). Par exemple, après 16 mois de consommation, une augmentation de 8 % de la DMO a été observée (50).
- Les enfants qui **ne boivent pas de lait** présentent un risque de fracture plus élevé à la prépuberté (51).
- Une étude cas-témoins a révélé un risque de fracture 4,5 fois plus élevé (risque relatif de 4,6) chez les filles (et non chez les garçons) ne consommant pas de produits laitiers, par rapport aux filles qui en consommaient (52).
- Dans une étude d'intervention menée en 2020 auprès de 35 adolescentes en surpoids dans le cadre d'un programme de régime et d'exercice physique de 12 semaines visant à perdre du poids, une **consommation élevée de produits laitiers** (4 contre < 2 portions/jour) a réduit un marqueur de la perte osseuse (CTx, voir encadré) (53).

Les caractéristiques du métabolisme osseux sont p. ex. :

NTx =	télopeptide N-terminal du collagène de type 1 et
CTX =	télopeptide C-terminal du collagène de type 1, tous deux des métabolites (crosslinks) du collagène. Des valeurs élevées indiquent une résorption osseuse accrue.
BALP =	phosphatase alcaline osseuse (Bone Alkaline Phosphatase), un marqueur de la formation osseuse.
P1NP =	propeptide N-terminal du procollagène de type 1, un marqueur de la formation osseuse.
PTH =	hormone parathyroïdienne, hormone peptidique produite par la parathyroïde, activant les ostéoclastes, mobilisant ainsi le calcium des os et favorisant la réabsorption du calcium par les reins.
25(OH)D =	25-hydroxyvitamine D, favorise la résorption du calcium et initie la formation de l'ostéocalcine.
Ostéocalcine =	hormone peptidique produite par les ostéoblastes. Elle se lie à l'hydroxyapatite et au calcium sous l'influence de la vitamine K ₂ .
IGF-1 =	facteur de croissance analogue à l'insuline 1 (Insulin-Like Growth Factor 1), a également un effet anabolisant sur les os.

Source: d'après Obermayer-Pietsch, B, Schwetz, V: Z f Rheumatol 2016; 75: 451– 458 (54)



Dans 10 autres études cliniques menées entre 1995 et 2017, **diverses interventions** avec du lait, du lait enrichi en calcium, des produits laitiers ou du fromage ont généralement permis d'obtenir de meilleurs marqueurs pour différents indicateurs de la croissance osseuse (BMC, DMO ou épaisseur corticale de l'os) chez les enfants et les adolescents. Lorsque **le fromage** a été comparé à des supplémentations en calcium, on a constaté une croissance osseuse plus importante avec le fromage. Une étude de synthèse récente a également constaté un effet bénéfique sur la santé osseuse en cas de consommation accrue de produits laitiers (avec ou sans ingrédients aromatisés) chez les enfants en âge préscolaire et scolaire (55).

Toutefois, on ne dispose pas de preuves suffisantes qu'un apport élevé en calcium pendant l'enfance et l'adolescence influence le risque de fracture plus tard dans la vie. Dans une étude, une **consommation régulière de lait** avant l'âge de 25 ans était corrélée avec une meilleure DMO au niveau de la cuisse entre 44 et 74 ans. Néanmoins, on n'a toujours pas pu montrer clairement si un **pic de masse osseuse** (PMO) élevé à la fin de la phase de croissance réduit de fait le risque ultérieur de fracture (56). Une étude menée auprès de femmes américaines a révélé que celles qui avaient bu moins d'un verre de lait par jour dans leur enfance présentaient une DMO plus faible et un risque deux fois plus élevé de fracture ostéoporotique à partir de 50 ans par rapport aux femmes qui avaient bu plus d'un verre par jour dans leur enfance (57). Les observations des études américaines Nurses' Health et Health Professionals Follow-up Study, qui ont examiné le lien entre la consommation de lait à l'adolescence et les fractures ostéoporotiques ultérieures, n'ont par contre pas révélé d'avantages (58). Toutefois, ce résultat peut aussi être dû au fait que la saisie rétrospective, après des décennies, des quantités consommées est très peu fiable.



Adultes et personnes âgées

De nombreuses études d'intervention, pour la plupart de courte durée (< 4 mois), menées auprès d'adultes et de personnes âgées, se sont intéressées à l'effet de différents produits laitiers sur divers marqueurs du remodelage osseux. Certaines études portaient sur les produits laitiers, d'autres sur le lait écrémé, le lait enrichi en calcium et/ou en vitamine D et leurs produits dérivés. Chez les adultes, ce ne sont presque que des cas de femmes, souvent de femmes ménopausées, qui ont été analysés. Les hommes étaient plus souvent associés aux études portant sur les personnes âgées. En résumé, les conclusions suivantes peuvent en être tirées. La consommation de **lait/produits laitiers** a entraîné une diminution du remodelage osseux de 6 à 40 % et des taux d'hormone parathyroïdienne (PTH) chez les adultes et les personnes âgées (59). Cela montre que des interventions avec des produits laitiers (enrichis) et de la poudre de lait peuvent **réduire la perte osseuse liée à l'âge**.

Une méta-analyse récente vient élargir ces connaissances. Les données de 20 études contrôlées et randomisées sont prises en compte, dont 8 ont duré plus d'un an (jusqu'à 3 ans). Celles-ci portaient sur les liens entre différents indicateurs de la santé osseuse (voir encadré ci-dessus) et la consommation de lait ou de poudre de lait non fermentés, enrichis ou non, chez les adultes et ont constaté ce qui suit (60).

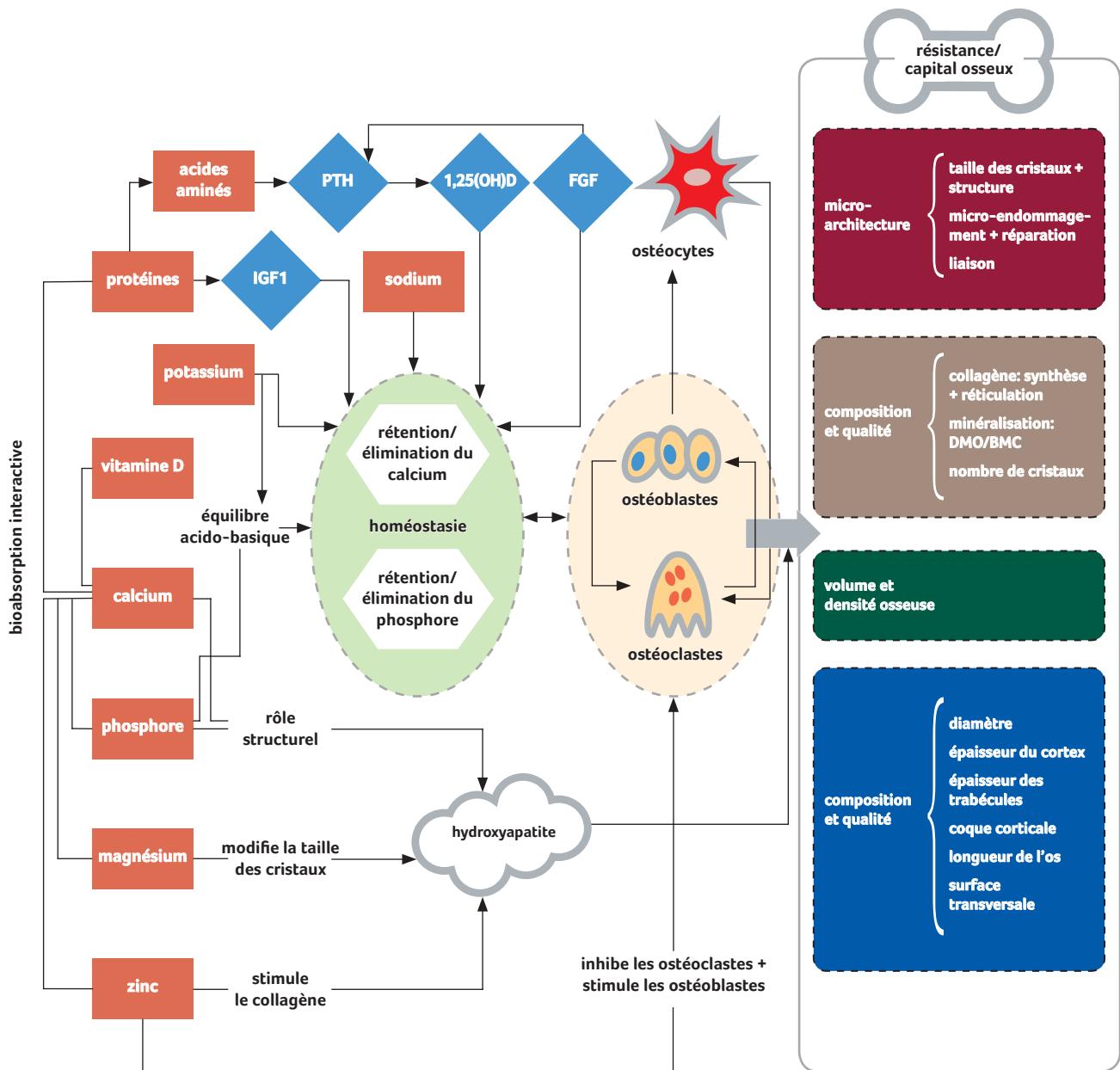
Un apport plus élevé en (poudre de) lait ...

- entraîne une **augmentation**, faible mais significative, **de la DMO** au niveau des hanches et des vertèbres lombaires,
- **réduit** la concentration des **marqueurs de remodelage osseux** P1NP, CTx et NTx,
- **diminue le taux d'hormone parathyroïdienne** et
- entraîne une **augmentation du marqueur de croissance IGF-1**.

La concentration de 25(OH)D a également augmenté lorsque les produits laitiers étaient enrichis en conséquence. Les auteurs de la méta-analyse concluent que l'augmentation de l'apport en (poudre de) lait à l'alimentation habituelle réduit la probabilité de perte osseuse. Le graphique suivant résume les effets possibles.

Les nombreux composants du lait qui ont une incidence sur les os interagissent entre eux et influencent la santé osseuse à plusieurs niveaux. L'illustration suivante en donne un aperçu.

Influences et interactions des composants du lait pour la promotion de la santé osseuse



Source: d'après Wallace, TC et al.: Crit Rev Food Sci Nutr 2021; 61: 3661–1707

Lait (produits laitiers) et risque de fracture

Il est donc bien établi que le lait et les produits laitiers contribuent notablement à une bonne minéralisation osseuse (teneur et densité minérale osseuse, BMC et DMO). En ce qui concerne le risque de fracture, les données ont longtemps été insuffisantes, notamment en raison du manque d'études d'intervention contrôlées (61). On disposait d'études d'observation pour évaluer les preuves, mais leurs résultats n'étaient pas homogènes. Deux cohortes suédoises ont fait état d'une augmentation de 9 % du risque de fracture de la hanche par verre de lait quotidien (62). Ces résultats n'ont toutefois pas été confirmés par d'autres études de cohorte. Dans deux cohortes norvégiennes présentant une consommation habituelle élevée de lait de table, aucun lien n'a été établi avec le risque de fracture (63).

Une revue datant de 2018 résume ainsi les études d'observation disponibles à ce jour. La consommation quotidienne de 2 à 2,5 dl **de lait** est associée à une **réduction d'au moins 5 % du risque de fracture** chez les femmes caucasiennes (64). La situation pour les autres ethnies, ainsi que pour les enfants et les hommes n'avait jusqu'alors guère été étudiée. Les données sont désormais un peu plus étoffées pour les personnes âgées.

Ainsi, en 2023, une étude d'observation prospective portant sur plus de 4600 personnes âgées islandaises (âge moyen: 76 ans) a été publiée. Celle-ci conclut non seulement à une corrélation positive entre la consommation de **lait et de produits laitiers** et la densité minérale osseuse (DMO), mais aussi à une corrélation inverse avec l'incidence de fractures du col du fémur. En comparant la fréquence de consommation la plus élevée (à partir de 2 fois par jour) à la plus faible (< 0,5 fois par jour), la DMO au début de l'étude était supérieure de près de 9 mg/cm³. Après environ 7 ans de suivi, le **risque relatif de fracture était significativement réduit de 31 %** (65). La corrélation inverse entre la consommation de lait et l'incidence de fractures de la hanche s'est en outre révélée linéaire. Plus la consommation de lait et de produits laitiers était élevée, moins il y avait de fractures. La Société suisse de nutrition recommande aux personnes âgées de consommer un peu plus de lait et de produits laitiers, à savoir 3 à 4 portions, afin de couvrir leurs besoins en calcium et en protéines (plus élevés) (66).

Les données relatives aux adultes d'âge moyen ont également été quelque peu étoffées. Dans deux cohortes américaines (Nurses' Health et Health Professionals Follow-up) comprenant près de 125 000 participants âgés de plus de 50 ans, on a constaté, après une période de suivi de 32 ans, **une réduction de 8 % du risque relatif de fracture de la hanche par portion de 2,4 dl de lait**. Lorsque tous les produits laitiers étaient pris en compte, le risque était significativement réduit de 6 % (67). Une publication récente de l'étude Nurses' Health parle encore plus clairement en faveur du lait. Un peu plus de 100 000 infirmières américaines (âge moyen: 48 ans) se sont prêtées à une étude sur les liens entre la consommation de lait, de yogourt, de fromage et de tous les produits laitiers réunis, et le risque de fracture non traumatique. Après 24 ans de suivi et environ 5500 fractures, les résultats suivants ont été constatés. La consommation d'**au moins deux portions de lait, de yogourt ou de fromage** par jour réduisait le risque relatif de fracture de 26 % (par rapport à une consommation inférieure à une portion par jour). Si seul le lait était considéré, le risque relatif était inférieur de 15 %. Pour le fromage (au moins une portion contre moins d'une portion/jour), ce chiffre était de 11 % (68).

Conclusion intermédiaire:

Alors que les données sur le risque de fracture ont longtemps été peu nombreuses, des études de cohorte récentes montrent des effets clairs chez les adultes. Ainsi, la consommation d'au moins deux portions de lait et de produits laitiers par jour a été associée à une réduction allant jusqu'à 31 % du risque relatif de fracture non traumatique.

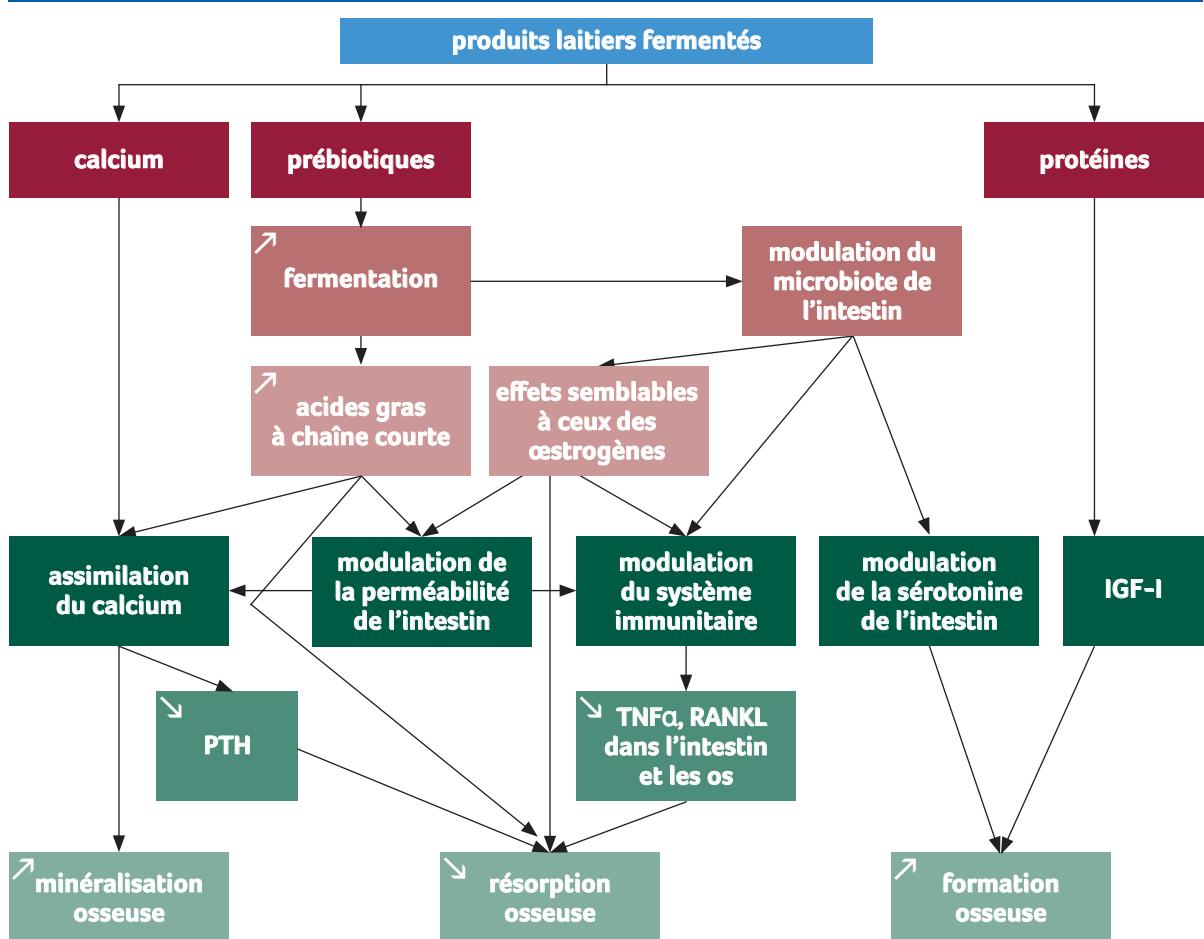


Produits laitiers fermentés

Les produits laitiers fermentés tels que le yogourt, le lait caillé, le lait acidulé, le kéfir ou le fromage ne fournissent pas seulement des nutriments importants pour les os, ils contiennent également des micro-organismes potentiellement probiotiques tels que *Lactobacillus bulgaricus* et *Streptococcus thermophilus*

ainsi que diverses cultures fromagères. Ces derniers, s'ils arrivent vivants en nombre suffisant dans le gros intestin, pourraient favoriser la santé osseuse par le biais de la modulation du microbiote intestinal. Le calcium des produits laitiers est également considéré comme favorisant la multiplication des lactobacilles dans l'intestin (69).

Produits laitiers fermentés et santé osseuse: mécanismes d'action possibles



Source: d'après Rizzoli, R, Aging Clinical Experimental Research 2022; 34: 9–24

Des études d'observation fournissent de nombreuses pistes permettant de conclure aux effets bénéfiques des produits laitiers fermentés sur la santé osseuse. Par exemple, la consommation de **yogourt** chez 482 femmes postménopausées suisses en bonne santé a eu un effet bénéfique sur la **microarchitecte** de leurs os. Les consommatrices de yogourt ont perdu moins de masse osseuse corticale en l'espace de 3 ans et elles étaient **plus minces** (présentant surtout moins de graisse viscérale). De même, elles présentaient dès le départ des marqueurs de remodelage osseux plus faibles (CTx et P1NP) ainsi qu'un taux plus faible d'hormone parathyroïdienne (70).

La diminution de la perte osseuse était toutefois indépendante de l'apport en calcium, en phosphate, en protéines et en énergie. Cependant, comme cette corrélation n'a pas été observée pour la consommation de lait ou de fromage, les auteurs supposent que la masse graisseuse viscérale plus faible des consommatrices de yogourt explique en partie les effets associés au yogourt. En effet, une **masse graisseuse viscérale** élevée est associée à une faible DMO et à un risque élevé de fracture périphérique. Un faible taux de graisse corporelle, comme chez les consommatrices de yogourt, pourrait en outre avoir amélioré la biodisponibilité de la vitamine D et, par conséquent, favorisé la stabilité osseuse.

Dans une étude transversale irlandaise portant sur 4310 personnes âgées de plus de 60 ans, une **consommation plus fréquente de yogourt** était associée à une **densité osseuse plus élevée**. Chez les femmes, chaque portion supplémentaire de yogourt était associée à une réduction de 31 % du risque relatif d'ostéoporose. Le **risque relatif d'ostéoporose** était **réduit** de 39 % chez les femmes et de 52 % chez les hommes (71). Dans plusieurs études d'intervention de courte durée, la consommation de produits laitiers fermentés (enrichis) a entraîné une diminution des taux de PTH et des marqueurs de résorption osseuse (72).

De même, dans l'étude suédoise déjà mentionnée plus haut, qui avait conclu à un risque accru de fracture de la hanche en cas de consommation élevée de lait chez les femmes, **chaque portion de yogourt** (200 g) ou **de fromage** (20 g) **réduisait** le risque de **fracture du fémur** de 10 à 15 % chez les deux sexes (73). Plusieurs **méta-analyses** récentes montrent que les **produits laitiers fermentés sont particulièrement adaptés à la prévention des fractures**: l'augmentation de la consommation de yogourt ou de fromage était corrélée avec une baisse significative du risque relatif de fracture au niveau du fémur de 22 à 32 % (voir tableau 4).

Tableau 4: Méta-analyses récentes sur l'influence du lait et des produits laitiers

Auteure/auteur	Type d'étude	Risque relatif de fracture de la hanche (fémur)			
		lait	yogourt	fromage	tous
Bian et al., 2018	10 cohortes 8 études cas-témoins	-9 % -29 %	-25 % -23 %	-32 % -23 %	-23 % -25 %
Matia-Martin et al., 2019	5 cohortes	-9 %	-13 %	-20 %	-13 %
Malmir et al., 2020	14 cohortes 9 études cas-témoins	-7 % -25 %			-10 % -14 %
Hidayat et al., 2020	9 cohortes États-Unis Scandinavie	-14 % -25 % +/-0	-22 %	-15 %	
Ong et al., 2020	3 cohortes		-24 %	-11 %	

en gras = réduction significative du risque

Source: d'après Rizzoli, R, Aging Clinical Experimental Research 2022; 34: 9–24

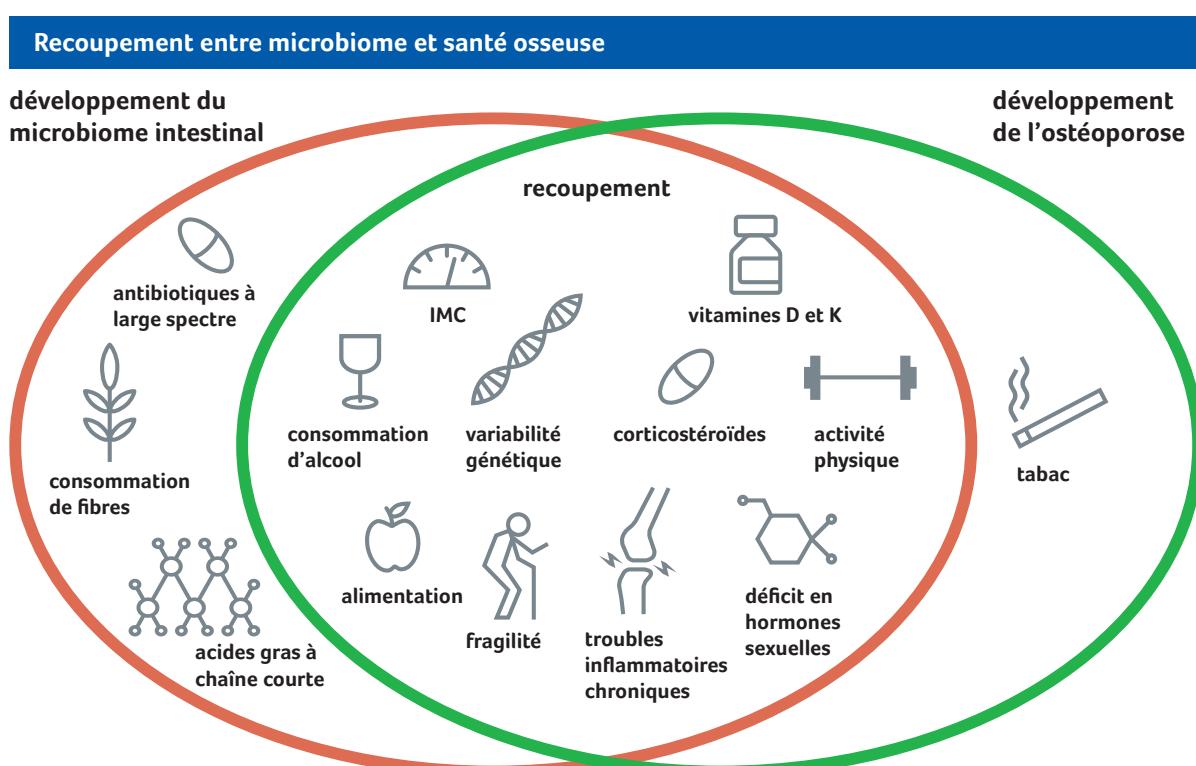
Un travail de synthèse récent a mis à jour et résumé les méta-analyses disponibles d'études prospectives sur l'influence de la consommation de **fromage** sur différents paramètres de santé. Il parvient aux conclusions suivantes (74). La consommation de fromage est non seulement inversement corrélée avec le **risque global de fracture** (-10 %), mais elle est également associée à une réduction significative des risques relatifs de **démence** (-19 %), de **diabète de type 2** (-7 %), **d'accident vasculaire cérébral** (-7 %), de **maladies coronariennes** (-8 %), de **mortalité cardiovasculaire** (-7 %) et de **mortalité globale** (-5 %). Cela souligne les interactions et les synergies décrites au début de cet article et montre que la consommation d'aliments à haute densité nutritionnelle a des effets bénéfiques sur de nombreux aspects de la santé. Une autre explication possible est que la consommation de yogourt et de fromage indique un mode de vie globalement sain.

Influence du microbiote sur la santé osseuse

Depuis quelques années, le microbiote fait l'objet d'une attention particulière de la part des scientifiques, notamment en ce qui concerne la santé osseuse. On part ainsi du principe qu'il existe un axe de signalisation intestin-os, dans le sens où le microbiote, via le maintien de la barrière intestinale et de son influence sur le système immunitaire et les phénomènes inflammatoires, a également un effet favorable sur la santé et la croissance des os pendant la jeunesse. En expérimentation animale, divers probiotiques ont permis d'augmenter la densité minérale et de réduire les pertes osseuses d'origines diverses. Quelques rares études sur l'être humain ont également mis en évidence des effets positifs isolés, tels qu'une **amélioration de la guérison des fractures et une diminution des marqueurs de la résorption osseuse** (75).

Toutefois, de très nombreuses questions restent ouvertes et l'on commence à peine à les explorer. En tout cas, le microbiote intestinal de 132 femmes postménopausées a pu être clairement différencié selon que leurs os étaient sains ou qu'elles souffraient d'ostéopénie ou d'ostéoporose (76). Chez les femmes ostéoporotiques, des méthodes spécifiques (séquençage de l'ARNr 16S) ont mis en évidence

davantage de fusobactéries et de lactobacilles, mais moins de ruminococoques. On pense que la flore intestinale agit sur la santé osseuse par le biais de réactions immunitaires et inflammatoires, entre autres, et/ou par le biais de substances semblables aux œstrogènes et de la sérotonine (77). Le graphique suivant présente les liens possibles.



Source: d'après Cronin, O et al.: Calc Tissue Int 2022; 110: 273–284

Il existe aujourd'hui quelques études sur la supplémentation en probiotiques concernant la densité minérale et les marqueurs du remodelage osseux, qui se sont généralement améliorés. Il s'agissait toutefois de gélules et non de produits laitiers probiotiques (78, 79). C'est pourquoi on ne dispose pas encore de suffisamment de connaissances pour faire des recommandations concrètes. Il existe néanmoins de nombreux arguments en faveur d'une alimentation permettant au microbiote de disposer de suffisamment de nutriments – les prébiotiques – et d'autres «collègues» utiles – les probiotiques. Les effets positifs des produits laitiers fermentés sur la santé osseuse (voir ci-dessus) pourraient également être dus au fait qu'ils agissent par le biais du microbiote intestinal. Les produits laitiers fermentés sont le principal groupe d'aliments source de probiotiques. Il n'a pas encore été établi de manière définitive si, dans le cadre d'une consommation habituelle, suffisamment de micro-organismes parviennent vivants

dans l'intestin pour influencer favorablement la santé osseuse. On sait toutefois qu'en cas d'ajout de cultures probiotiques, celles-ci atteignent le gros intestin en nombre suffisant et peuvent en influencer favorablement la flore (80).

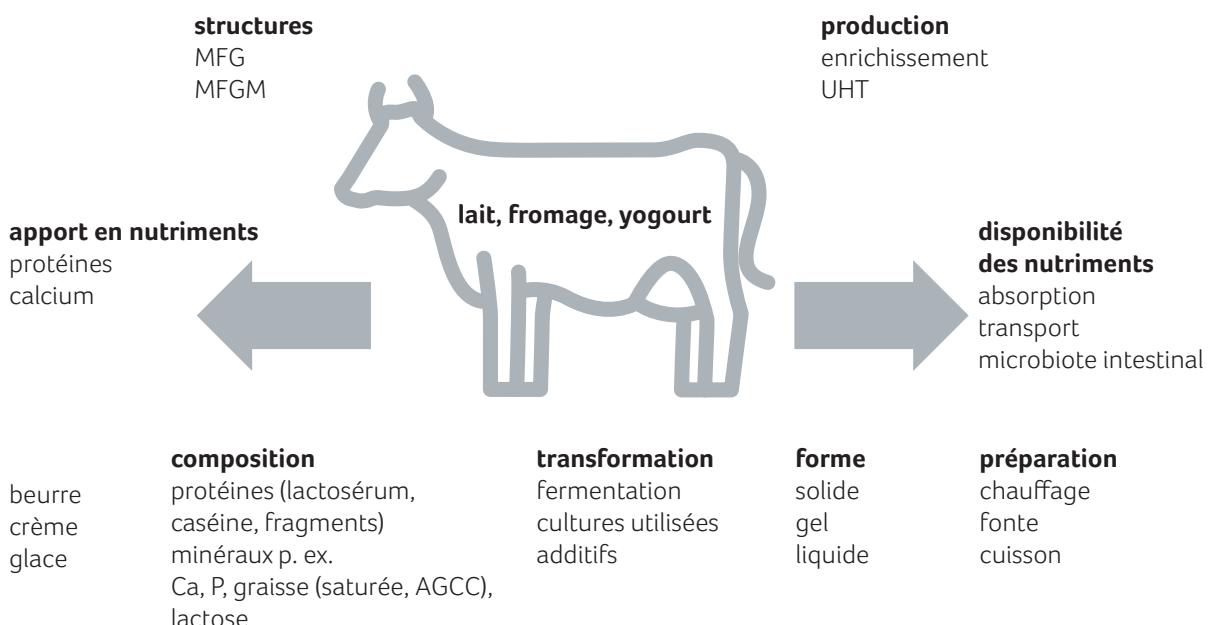
Conclusion intermédiaire:

Les produits laitiers fermentés sont plus souvent et plus clairement associés à une amélioration de la santé osseuse et à une réduction des risques de fracture que les produits non fermentés. De plus, ils sont associés à une réduction des risques de plusieurs maladies de civilisation (p. ex. le diabète de type 2, les maladies cardiovasculaires, la dépendance). Des recherches sont en cours pour savoir si et dans quelle mesure cela pourrait être dû aux micro-organismes qu'ils contiennent.

Influence de la matrice du lait et des produits laitiers

La simple observation que les supplémentations en calcium ont un effet différent de celui du lait ou des produits laitiers sur la santé osseuse (voir ci-dessus) plaide en faveur de l'idée selon laquelle les aliments sont plus que la somme de leurs nutriments. Après tout, ils sont constitués de centaines ou de milliers de substances, qui n'ont de loin pas toutes une valeur nutritive, mais dont beaucoup influent sur la disponibilité et l'assimilation des nutriments ainsi que sur leurs effets sur la santé (81). À cela s'ajoutent les processus de fabrication tels que le chauffage ou la fermentation, qui influent également sur la valeur nutritionnelle et les effets sur la santé. On parle ici d'effets de matrice, c'est-à-dire des interactions entre les nutriments, les composants bioactifs et la structure physique d'un aliment.

Matrice des produits laitiers: plus que la somme des nutriments

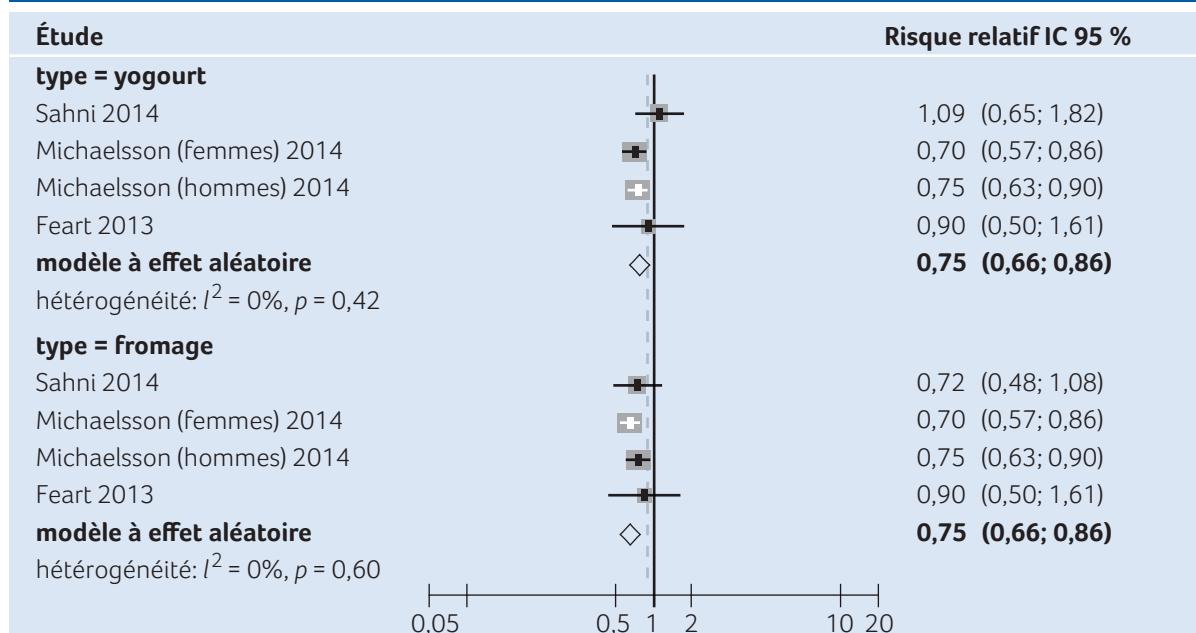


Source: d'après Geiker NRW et al.: Osteoporos Int 2020; 31: 601–615

Les effets de matrice du lait et des produits laitiers sont étudiés depuis quelques années, notamment en relation avec les maladies cardiovasculaires (82, 83). Cet intérêt est entre autres dû au constat que le dénigrement généralisé des aliments riches en acides gras saturés n'était pas tenable. En effet, la consommation de fromage et de produits laitiers fermentés, bien que riches en acides gras saturés, est associée à une réduction des risques cardio-vasculaires. Le lait et le beurre entiers n'augmentent pas non plus les risques (84). Cela est dû à la composition et à la structure (matrice) de chaque aliment. De plus, il faut distinguer les «vrais» aliments, comme le lait et les produits laitiers, des aliments hautement transformés, hyperglycémiants et riches en acides gras saturés (85).

Comme il apparaît que le yogourt et/ou le fromage ont un meilleur effet sur la santé osseuse que le lait de table, les effets de matrice sont de plus en plus mis en avant. Ainsi, un bon nombre d'études d'observation et d'intervention constate un meilleur effet des produits laitiers fermentés sur la croissance, la densité minérale, la structure et le remodelage osseux (voir ci-dessus). Cependant, on ne dispose encore d'aucune étude d'intervention montrant que les variétés fermentées réduiraient le risque de fracture (86). Les données relatives au risque de fracture de 10 études de cohorte prospectives ont été résumées comme suit dans une **méta-analyse** publiée en 2018 (87). Sur la base des données regroupées (évaluées globalement), **la consommation la plus élevée était associée à une réduction du risque relatif de fracture de la hanche de 25 % pour le yogourt et de 32 % pour le fromage par rapport à la plus faible**.

Risque de fracture de la hanche dans des études de cohorte prospectives: consommation la plus élevée par rapport à la plus faible



La matrice des produits laitiers varie considérablement, tant du point de vue de la structure physique que de la teneur en nutriments et en molécules bioactives. Par exemple, les produits laitiers contiennent des peptides à effet hypotenseur, des exopolysaccharides favorisant la digestion (issus du yogourt ou de cultures fromagères) et des probiotiques pouvant avoir des effets bénéfiques sur la santé gastro-intestinale (88). En ce qui concerne la structure physique, le lait est une émulsion huile dans eau, le yogourt un gel et le fromage un aliment solide qui ne contient plus de lactose et pratiquement plus de protéines du lactosérum. De plus, la structure physique des différents types de fromage varie. Des études *in vitro* indiquent que ces différences de matrice ont également un effet sur la digestibilité et l'absorption des nutriments (89). Tout cela influence la digestion, la formation de peptides bioactifs et la biodisponibilité des nutriments. Nous avons déjà mentionné plus haut que les produits laitiers fermentés pouvaient également agir via le microbiote intestinal.

Ces exemples montrent que la recherche tend enfin à considérer les aliments et les modes d'alimentation dans leur intégralité et plus seulement les nutriments individuels. Cela est particulièrement important pour le lait et les produits laitiers, dont la matrice contient toute une série de substances importantes pour les os. Si la science se concentre désormais sur les aliments entiers et leur matrice, il devrait à l'avenir être possible d'émettre des recommandations spécifiques

et personnalisées sur la consommation de lait ou de produits laitiers. Toutefois, à l'heure actuelle, les connaissances se limitent largement aux maladies cardiovasculaires, la santé osseuse n'occupant pas encore une place majeure (90).

Il faut aussi considérer le fait que **les effets de matrice jouent également** un rôle dans **les boissons végétales**. Leur composition est totalement différente de celle du lait, mais elles sont souvent consommées en remplacement de celui-ci. Même si elles ont été enrichies en calcium ou en autres nutriments, on ne sait pas encore si elles pourraient avoir des effets similaires à ceux du lait et des produits laitiers sur la santé osseuse en raison de leur matrice différente (91).

Conclusion intermédiaire:

Les aliments tels que le lait et les produits laitiers sont composés d'une multitude de nutriments et de substances actives intégrés dans différentes structures physiques: la matrice. Celle-ci influence la biodisponibilité des nutriments et les effets des aliments sur la santé. Dans le contexte des maladies cardiovasculaires, les effets de matrice de différents produits laitiers ont déjà été décrits. Pour ce qui est de la santé osseuse, les effets positifs des produits laitiers fermentés plaident en ce sens.

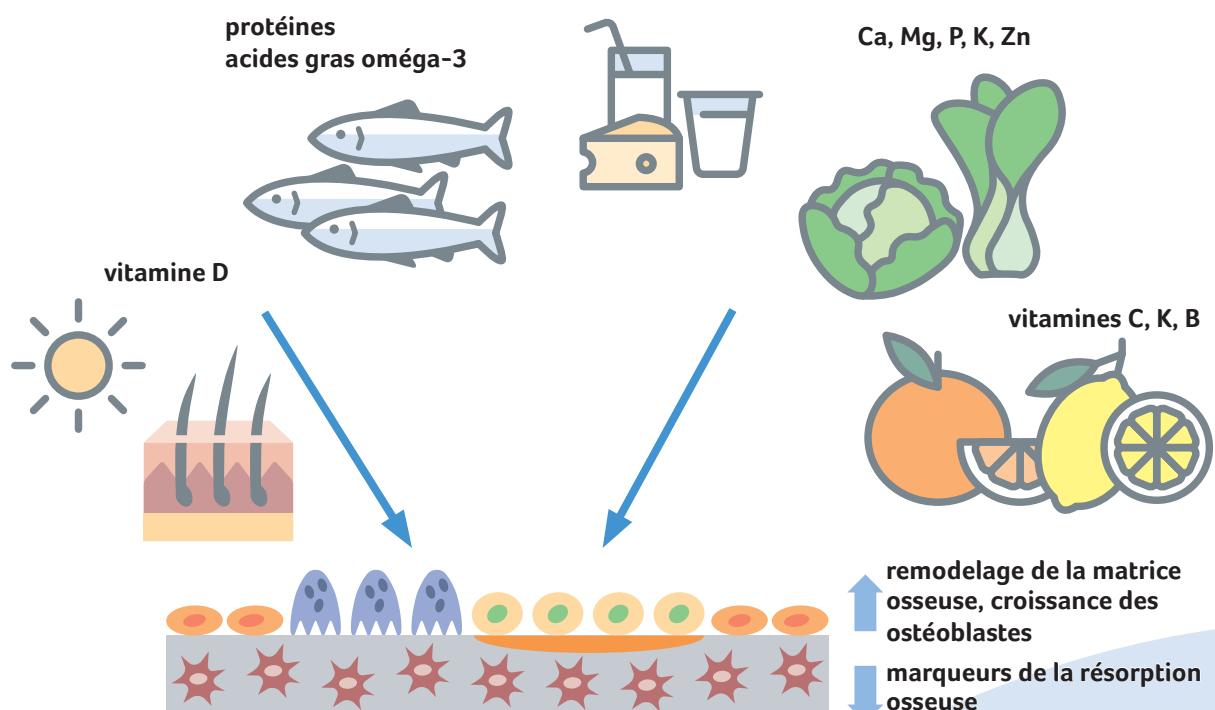
Le lait et les produits laitiers dans le cadre d'une alimentation saine (pour les os)

En tant que part importante d'un mode d'alimentation sain (pour les os), le lait et les produits laitiers interagissent naturellement avec les autres aliments consommés au quotidien. C'est ce que l'étude suédoise déjà mentionnée plus haut a également révélé. Elle a en effet conclu à un risque accru de fracture de la hanche chez les femmes en cas de consommation très élevée de lait (à partir de 3 verres par jour, ce qui correspond à plus de 6 dl), mais pas chez les hommes et pas pour la consommation de produits laitiers fermentés. Le risque total de fracture n'était pas non plus augmenté. Une autre analyse de la cohorte suédoise a démontré que la **consommation de fruits et de légumes modifiait les risques**. Le risque le plus faible de fracture de la hanche a été observé chez les femmes qui consommaient plus de 5 portions de fruits et de légumes et au moins 2 portions de yogourt ou de lait acidulé

par jour (-19 % par rapport à la consommation la plus faible de lait acidulé et de légumes) (93). Les mécanismes en cause seraient les effets anti-inflammatoires des produits laitiers (fermentés) (94) ainsi que les effets antioxydants des aliments végétaux (95).

Ainsi, les indications selon lesquelles la santé osseuse n'est pas seulement liée aux nutriments, aux aliments ou à leur matrice alimentaire, mais aussi au mode d'alimentation global, se multiplient. En effet, outre le lait et les produits laitiers, de nombreux autres aliments contribuent à la santé osseuse. C'est pourquoi, depuis quelques années, on s'intéresse également à l'influence des modes d'alimentation (p. ex. le régime méditerranéen, le végétarisme, le végétalisme, l'alimentation de type occidental) sur la santé osseuse.

Nutriments et aliments et leurs effets sur les os



Source: d'après Muñoz-Garach, A et al.: Nutrients 2020; 12: 1986

Ces dernières années, quelques travaux se sont penchés sur le thème des modes d'alimentation, de la santé osseuse et des risques de fracture.

Le tableau suivant donne un aperçu des études disponibles à ce sujet jusqu'en 2020 (96).

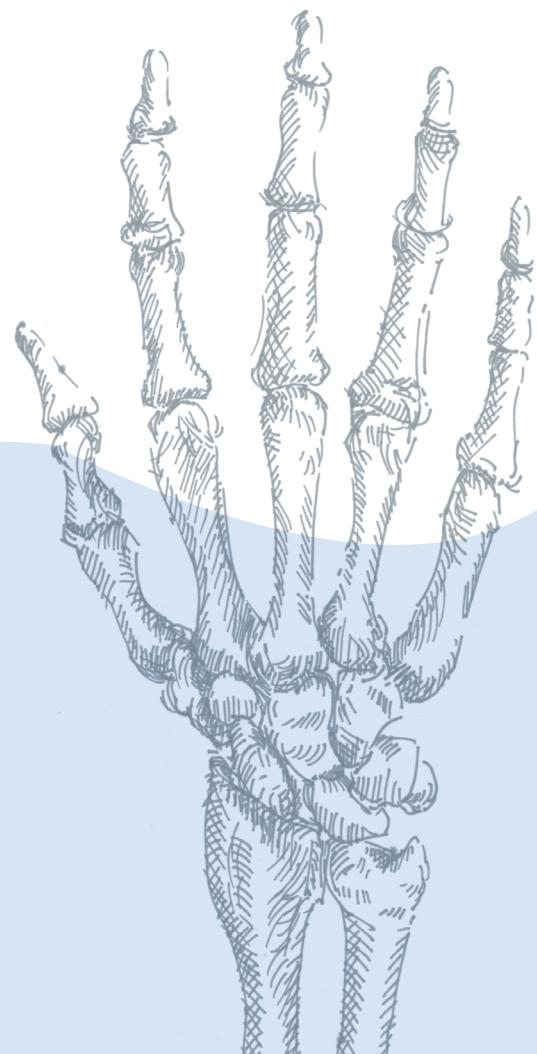
Tableau 5: Modes d'alimentation et santé osseuse (études de grande envergure uniquement)

Modes d'alimentation	Étude	Nombre de participants, sexe, âge	Influence sur la DMO	Influence sur le risque de fracture
Régime méditerranéen	Étude EPIC	188 795 139 981 femmes en moy. 48,6 Jahre		Réduction de 7 % de l'incidence des fractures de la hanche
	Projet CHANCES	140 775 116 176 femmes 60+ ans		Réduction de 4 % du risque de fracture de la hanche
	Méta-analyse	358 746 – 13–80 ans	Association positive avec DMO (vertèbres lombaires, col du fémur, hanche)	Réduction de 21 % du risque de fracture de la hanche
Alimentation asiatique	Étude sur la santé en Chine (Singapour)	63 257 35 241 femmes 45–74 ans		
	Étude sur l'ostéoporose et la nutrition (Corée du Sud, 2008–2010)	3735 femmes postménopausées 64 +/- 9 ans	Le modèle de consommation de produits laitiers et de fruits est corrélé avec une baisse du risque d'ostéoporose (-52 %) (vertèbres lombaires)	
Alimentation «occidentale»	Étude sur les jumeaux (Royaume-Uni)	4928 femmes postménopausées 56 +/- 12 ans	Corrélée avec une DMO plus faible au niveau du col du fémur	
	Étude Framingham-Offspring (États-Unis)	2740 1534 femmes 29–86 ans	Corrélée avec une DMO plus faible au niveau du col du fémur	
Alimentation végétarienne	Méta-analyse	2749 1880 femmes 20–79 ans	DMO plus faible (vertèbres lombaires, col du fémur)	
	Étude EPIC (cohorte d'Oxford, 2007)	34 696 26'749 femmes 20–89 ans		Augmentation de 30 % du risque de fracture chez les véganes

La plupart des données sur les modes d'alimentation et la santé osseuse concernent les **femmes post-ménopausées**, car l'ostéoporose et les fractures associées sont les formes les plus courantes de cette maladie. Un travail de synthèse datant de 2020 présente un résumé détaillé des données disponibles (97). Il conclut qu'il existe **de nombreux modes d'alimentation et combinaisons de nutriments** associés à une **réduction du risque d'ostéoporose** après la ménopause **et de fracture**. Les modes alimentaires riches en calcium, phosphore, magnésium et vitamine D, ainsi que ceux riches en fibres (légumes, fruits) et protéines (y compris la viande), avec des quantités adéquates de lait et de produits laitiers, sont tous associés à une meilleure DMO. Un tableau récapitulatif des études et de leurs résultats se trouve en annexe.

En guise de mise à jour des deux travaux de synthèse susmentionnés, nous présentons ci-après les dernières analyses sur les **modes d'alimentation les plus en vue actuellement**. Il faut savoir que l'on distingue deux méthodes pour déterminer les modes d'alimentation, qui peuvent donner lieu à des interprétations différentes. Un modèle alimentaire peut être défini **a priori ou a posteriori**. Les modèles alimentaires «sains», méditerranéens ou végétariens, par exemple, sont souvent définis *a priori*. Cela signifie que l'on définit au préalable ce qui doit caractériser une alimentation «saine» ou «méditerranéenne», puis qu'on évalue les données alimentaires des participants à l'étude à l'aide d'une échelle indiquant dans quelle mesure le régime a été respecté.

Dans la méthode *a posteriori*, on commence par recueillir les données alimentaires des participants et on regarde ensuite si des modes d'alimentation s'en dégagent. On y trouve donc des modes existants, qui peuvent varier selon le groupe de sujets. L'inconvénient de la méthode *a priori* est que la définition de ce qui est «sain» ou «méditerranéen» ne repose pas toujours sur l'état actuel des connaissances ou est liée à des réserves infondées, par exemple sur les aliments d'origine animale. Les deux méthodes ont donc leurs avantages et leurs inconvénients. En ce qui concerne la santé osseuse, les méta-analyses d'études portant sur les deux variantes vont toutefois dans le même sens.



Modes d'alimentation a priori

Une récente méta-analyse de six études d'observation portant sur plus de 350 000 personnes et 6253 fractures de la hanche a révélé une **réduction de 21 % du risque relatif de fracture de la hanche** en cas de suivi d'un **régime méditerranéen**, défini au préalable. Celui-ci comprenait, outre les légumes, les fruits, les fruits à coque et les graines, les produits à base de céréales complètes, le poisson et les fruits de mer, les œufs, les légumineuses et l'huile d'olive, la consommation régulière de produits laitiers. En outre, le meilleur suivi d'un régime méditerranéen était également associé à une **DMO plus élevée** au niveau des vertèbres lombaire, du bassin et de la tête du fémur. Si ces effets positifs ne peuvent pas être attribués à des aliments individuels, une corrélation linéaire a cependant été constatée, de sorte que chaque point supplémentaire sur l'échelle méditerranéenne, à laquelle les produits laitiers peuvent également contribuer, réduisait le risque relatif de fracture de 5 % (98).

Une revue de la littérature récente confirme ces observations et ajoute que l'ostéoporose est moins fréquente dans le bassin méditerranéen. Pour expliquer ce phénomène, elle invoque, outre la forte densité de nutriments importants pour les os dans le régime méditerranéen, leur teneur en produits phytochimiques (resvératrol du vin, caroténoïdes des légumes, oleuropeine et hydroxytyrosol de l'huile d'olive vierge) et en acides gras oméga-3 à longue chaîne issus du poisson, qui pourraient réduire le risque d'ostéoporose et de fractures en raison de leurs effets anti-inflammatoires, inhibiteurs des ostéoclastes et antioxydants (99, 100).

Modes d'alimentation a posteriori

Une méta-analyse datant de 2019 a évalué les résultats de modes d'alimentation définis a posteriori (101). Après analyse, deux ou trois d'entre eux avaient une corrélation avec la santé osseuse. Une «alimentation saine», riche en légumes, fruits, volaille, poisson et céréales complètes (pouvant également inclure des produits laitiers), et une alimentation de type occidental, riche en viande rouge et transformée, graisses animales, œufs et sucreries, présentaient des corrélations avec le risque de fracture. Un autre mode d'alimentation, caractérisé par une consommation régulière élevée de lait et de produits laitiers, était également corrélé avec la densité minérale osseuse (DMO), tout comme les deux autres modèles. La méta-analyse a porté sur 20 études d'observation et a abouti aux conclusions suivantes.

- En cas de mode alimentaire de type occidental, le risque relatif de fracture était augmenté de 11 % au total et celui de la hanche de 15 %, en particulier chez les femmes.
- Il augmentait de 22 % le risque relatif de faible DMO.
- Des habitudes alimentaires saines étaient corrélées avec une réduction de 21 % du risque relatif de fractures, et de 29 % pour les fractures de la hanche.
- Le risque relatif de faibles valeurs de DMO était réduit de 18 % avec un mode d'alimentation «sain».
- Associé à une réduction de 41 % du risque relatif de faible DMO, le modèle alimentaire lait-produits laitiers avait l'effet le plus important sur cet aspect.



Modes d'alimentation à base de plantes avec ou sans lait (ou produits laitiers)

Manger suffisamment de légumes et de fruits fait partie de pratiquement toutes les recommandations nutritionnelles officielles fondées sur des preuves, notamment pour la prévention du surpoids et des maladies cardiovasculaires, pour le maintien d'une DMO saine ainsi que pour la protection contre l'ostéoporose ou les fractures de la hanche. Une méta-analyse des données de 5 études de cohorte menées en Europe et aux États-Unis a révélé que le risque relatif de fracture de la hanche était significativement augmenté de 39 %, surtout chez les personnes âgées consommant peu de légumes et de fruits (max. 1 portion/jour). Les personnes âgées consommant 3 à 5 portions par jour ont servi de groupe de comparaison. Une consommation plus élevée n'a pas entraîné de protection supplémentaire contre les fractures (102), ce qui montre qu'une consommation régulière de fruits et légumes contribue à la santé des os, mais que les avantages n'augmentent pas avec l'augmentation des quantités.

Ce résultat est pertinent dans le contexte de la popularité croissante des régimes à base de plantes depuis quelques années, notamment pour des raisons écologiques et de protection du climat. Le régime Planetary Health Diet de la commission EAT-Lancet a été développé pour permettre à l'humanité, à l'environnement et à la planète de préserver, voire d'améliorer leur santé (103). Cependant, si la part de lait et de produits laitiers et d'autres aliments d'origine animale à forte densité nutritionnelle est trop limitée ou si la part d'aliments d'origine végétale augmente jusqu'à atteindre 100 % (régime végane), il y a un risque de carence en nutriments importants pour les os, tels que les protéines (de qualité), le calcium, les vitamines D et K₂, même dans les sociétés dites prospères. C'est ce que confirment par exemple les données de l'étude représentative américaine NHANES (104). Dans ce cas, une alimentation à base de plantes en général, mais aussi une alimentation saine et diversifiée à base de plantes, étaient corrélées avec une augmentation significative des pertes osseuses (+50 %). Dans cette étude transversale, une alimentation peu diversifiée à base de plantes était en outre associée à un risque relatif d'ostéoporose significativement plus élevé (+48 %).

Dans une méta-analyse datant de 2018 (voir également le tableau 5), les données de 20 études d'observation portant sur plus de 37 000 participants ont montré que les régimes végétariens et véganes entraînaient un risque accru de faible DMO au niveau des vertèbres lombaires et du col du fémur. Les omnivores ont servi de groupe de comparaison. Une augmentation significative des taux relatifs de fracture (+44 %) a été constatée chez les véganes (105).

Plusieurs grandes études d'observation prospectives menées en Grande-Bretagne ont également constaté des risques relatifs significativement plus élevés de fracture de la hanche chez les femmes (+33 %) (106) ainsi que chez les femmes et les hommes (+50 %) (107) en cas de régime végétarien par rapport aux modes d'alimentation omnivores. Dans cette dernière étude, cela correspondait à 3,2 fractures de la hanche de plus pour 1000 personnes sur une période de 10 ans. En raison du faible nombre de sujets véganes participant à l'étude, les risques spécifiques liés à ce mode d'alimentation n'ont pas pu être étudiés.

Cela a été possible dans une évaluation plus récente de la cohorte EPIC d'Oxford de 2020. Par rapport aux quelque 30 000 omnivores, les quelque 15 000 végétariens (+25 %), mais surtout les près de 2000 véganes (+131 %), présentaient un risque relatif significativement plus élevé de fracture de la hanche (tableau en annexe). Cela correspond à près de 15 fractures de plus pour 1000 sujets en l'espace de 10 ans. D'autres fractures (toutes les fractures, au niveau des jambes et des vertèbres) étaient également plus fréquentes chez les véganes que chez les omnivores. Les risques relatifs étaient également deux à trois fois plus élevés lorsque les véganes consommaient plus de 700 mg de calcium et/ou au moins 0,75 g de protéines/kg de poids corporel (108). Cela plaide en faveur d'un effet de matrice (voir ci-dessus), respectivement pour le lait et les produits laitiers, et contre une approche ne considérant que les nutriments.

Une étude menée auprès de près de 35 000 adhérents du septième jour aux États-Unis, dont beaucoup sont végétariens ou véganes, a relevé, lors d'enquêtes menées auprès des femmes véganes, un risque relatif de fracture de la hanche multiplié par trois par rapport aux omnivores (RR 2,99). Aucune augmentation du risque n'a en revanche été constatée en cas de prise combinée de calcium et de vitamine D (109).

On dénombre en Suisse environ 0,7 % de véganes (110). Leur régime alimentaire devrait faire l'objet d'une attention particulière et être au moins supplémenté en vitamine D et en calcium afin de réduire au maximum les risques pour la santé osseuse (111, 112). Cependant, les végétariens eux aussi, (plus de 5 % en Suisse, selon Statista), devraient également veiller à un apport suffisant en nutriments importants pour les os, les produits laitiers étant particulièrement indiqués dans ce cas.

Équilibre acido-basique et santé osseuse

L'équilibre acido-basique de l'organisme est subtil. Le pH du sang, par exemple, se situe ou devrait se situer constamment entre 7,35 et 7,45, c'est-à-dire dans une zone légèrement basique. Le pH du gros intestin varie quant à lui dans la zone acide entre 5,5 et 6,8. La constance relative des valeurs de pH est importante, car de nombreux processus enzymatiques et métaboliques ne se déroulent qu'à des valeurs bien précises. Par ailleurs, la consommation d'aliments influence l'équilibre acido-basique, car leur métabolisation peut conduire à des équivalents d'acides ou de bases. La consommation d'aliments riches en protéines comme la viande, les œufs et le fromage, mais aussi le pain et les pâtes, entraîne une augmentation des équivalents acides, tandis

que les légumes, les fruits et les pommes de terre entraînent une augmentation des équivalents basiques. Les valeurs PRAL, abréviation de «Potential Renal Acid Load» (charge potentielle d'acide rénal), permettent de mesurer ce phénomène. En ce qui concerne les produits laitiers, le fromage entraîne des valeurs PRAL élevées, tandis que le lait de table, le yogourt ou le kéfir ont un effet pratiquement neutre et que le petit-lait génère une légère basicité (113).

Pourtant, le lait et les produits laitiers sont encore parfois qualifiés en bloc de «voleurs de calcium». Leur teneur en protéines entraînerait un excès d'acides dans le corps, qui devrait être neutralisé par le calcium à effet alcalinisateur des os, ce qui, à long terme, serait préjudiciable au squelette. Toutefois, ce risque n'est pas prouvé (114). Certes, l'apport de protéines s'accompagne d'une élimination accrue du calcium par l'urine (115). Cela ne prouve toutefois pas que ce calcium provient des os ou que la calciurie augmente le risque d'ostéoporose (116). De plus, les protéines ou certains acides aminés favorisent l'absorption du calcium dans l'intestin (117), de sorte que le lait et les produits laitiers, en raison de leur teneur en protéines, permettent à l'organisme de retenir plus de calcium qu'il n'en perd par les urines (voir tableau 6) (118).

Tableau 6: Pertes de calcium par les reins en fonction de l'apport protéique

élimination du calcium pour un apport protéique basal de 48 g/j: 168 mg	lait de table (100 g)	emmental 45 % MG/ES (100 g)
élimination du calcium pour un apport protéique élevé de 95 g/j (apport en calcium inchangé): 240 mg		
pertes supplémentaires de calcium par les reins après consommation de 100 g de lait de table ou 100 g d'emmental		
teneur en protéines/100 g	3,3 g	29 g
teneur en calcium/100 g	120 mg	1,030 mg
dont calcium résorbé (30 %)	36 mg	309 mg
pertes supplémentaires après consommation de 3,3 g de calcium ou 29 g de protéines (1,5 mg Ca/1 g de protéines)	-5 mg	-44 mg
bilan de la résorption et des pertes rénales calciques	+31 mg	+265 mg
(la résorption calcique plus élevée en cas d'apport accru en protéines n'a pas été prise en compte)		

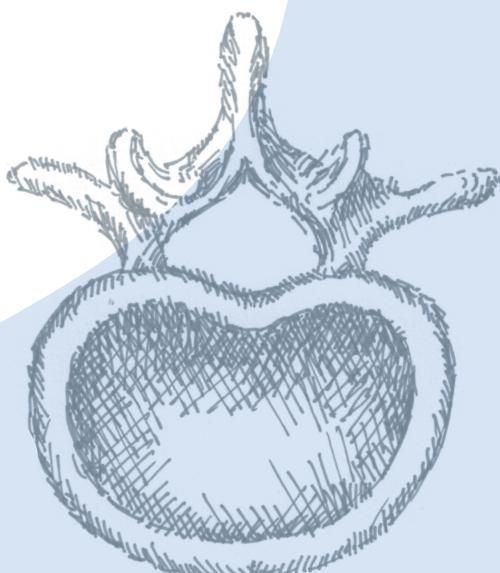
Source: d'après Schumann, L et al.: Ernährung im Fokus 2014; 14–11–12 basierend auf Modellrechnungen nach Zemel, 1988

Le débat sur l'équilibre acido-basique montre lui aussi que considérer individuellement des aliments, voire des nutriments, n'est pas pertinent, et qu'il faut prendre en compte l'ensemble de l'alimentation. Si la majorité des aliments consommés présentaient des valeurs PRAL élevées, cela pourrait favoriser une acidose métabolique mineure, considérée comme étant en partie responsable de problèmes métaboliques tels que le syndrome métabolique, l'hypertension artérielle ainsi que les maladies rénales et osseuses. Dans la cohorte Norfolk de l'étude EPIC, une grande étude d'observation multicentrique européenne, une alimentation avec des valeurs PRAL élevées était associée à des risques accrus de fracture après 18 ans en moyenne (+33 % chez les hommes, +21 % chez les femmes) (119). Dans l'ensemble, les données ne sont toutefois pas homogènes.

Une alimentation riche en légumes, salades et fruits permet de compenser un excès d'équivalents acides. Ainsi, un supplément de légumes (270 g/jour) pendant huit semaines a entraîné une diminution des marqueurs du remodelage osseux (CTx - 19 %) chez des Américains qui ne mangeaient auparavant que très peu de légumes (max. 1 portion/jour) (120). Le régime végétarien (et non végane), qui présente moins d'excès acides (ou basiques), et est riche en légumes et en fruits, pourrait contribuer à protéger la santé osseuse, avec des apports en calcium et en protéines réduits (121). L'objectif n'est cependant pas d'atteindre des valeurs PRAL aussi faibles que possible. Ainsi, l'analyse de deux cohortes espagnoles a révélé qu'une alimentation avec des valeurs PRAL élevées ou faibles était associée à des risques de fracture plus élevés. Il s'agit donc d'une relation en forme de U (122).

Conclusion intermédiaire:

Différents modèles alimentaires sont associés à une meilleure santé osseuse et à une réduction des risques de fracture. En règle générale, ils incluent la consommation régulière de lait et de produits laitiers. Le mode d'alimentation végane est en revanche associé à un risque accru de fracture.



Synthèse et perspectives

Comme nous l'avons déjà évoqué en introduction, la santé osseuse est soumise à de nombreuses influences, notamment génétiques. Néanmoins, un certain nombre de facteurs liés au style de vie, qui sont influençables, ont un effet bénéfique sur la santé osseuse (123, 124):

- S'assurer que les os disposent de tous les nutriments nécessaires, notamment le calcium, la vitamine D et les protéines, mais aussi la vitamine K₂, le phosphate, le magnésium, etc;
- Exercer un niveau adapté d'activité physique, car il s'agit d'un stimulus physiologique important pour la formation osseuse (et musculaire);
- Compenser les éventuels déficits hormonaux;
- Le poids corporel ne doit être ni trop faible ni trop élevé;
- Ne pas fumer;
- L'alimentation doit contenir suffisamment d'antioxydants pour contrebalancer les processus inflammatoires chroniques qui en sont souvent à la base.

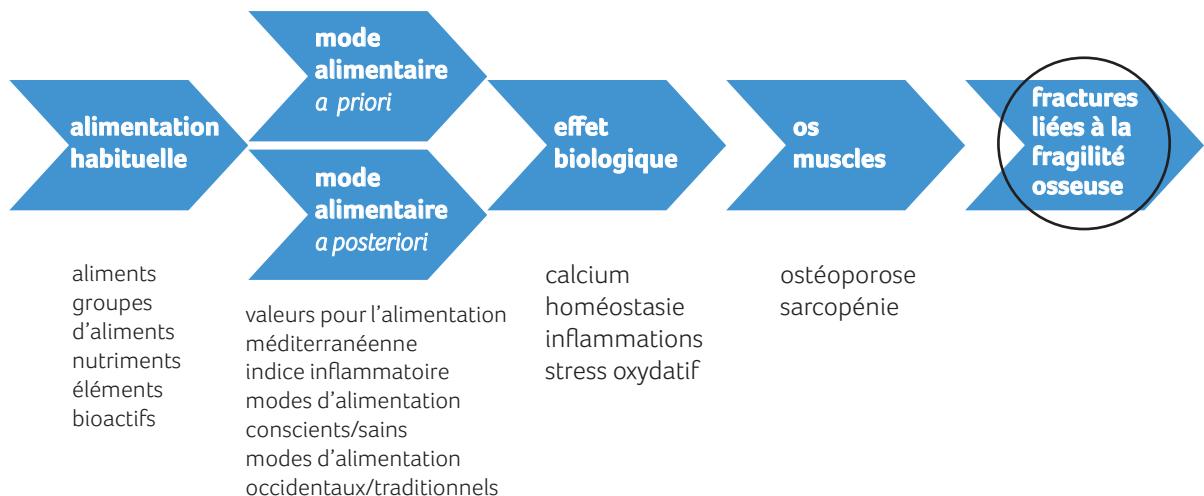
Dans tous les aspects nutritionnels mentionnés, la consommation de lait, de produits laitiers et de fromage présente des avantages pour la santé osseuse. Ainsi, ce groupe d'aliments fournit pratiquement tous les nutriments importants pour les os, avec une densité énergétique généralement faible. À cela s'ajoutent les effets de matrice, reconnaissables par exemple au fait qu'un apport en calcium provenant du lait (ou de produits laitiers) soutient plus efficacement la croissance osseuse que le calcium provenant de la supplémentation, ou que les produits laitiers fermentés comme le yogourt et le fromage

sont particulièrement adaptés à la prévention de l'ostéoporose et des fractures. Les micro-organismes contenus dans les produits laitiers fermentés pourraient également contribuer à la santé osseuse par leurs effets probiotiques.

Tout cela montre à quel point le lait et les produits laitiers sont bénéfiques. La Société suisse de nutrition (SSN) recommande de consommer 2-3 portions de lait ou de produits laitiers par jour, une portion correspondant à 2 dl de lait, 150-200 g de yogourt/séré/cottage cheese/blanc battu, 30 g de fromage à pâte mi-dure/dure ou 60 g de fromage à pâte molle. Bien entendu, cette consommation devrait être intégrée dans des régimes alimentaires globalement sains. La combinaison avec des légumes et des fruits s'est notamment révélée positive. En revanche, une alimentation exclusivement végétale présente des risques sur la santé osseuse.

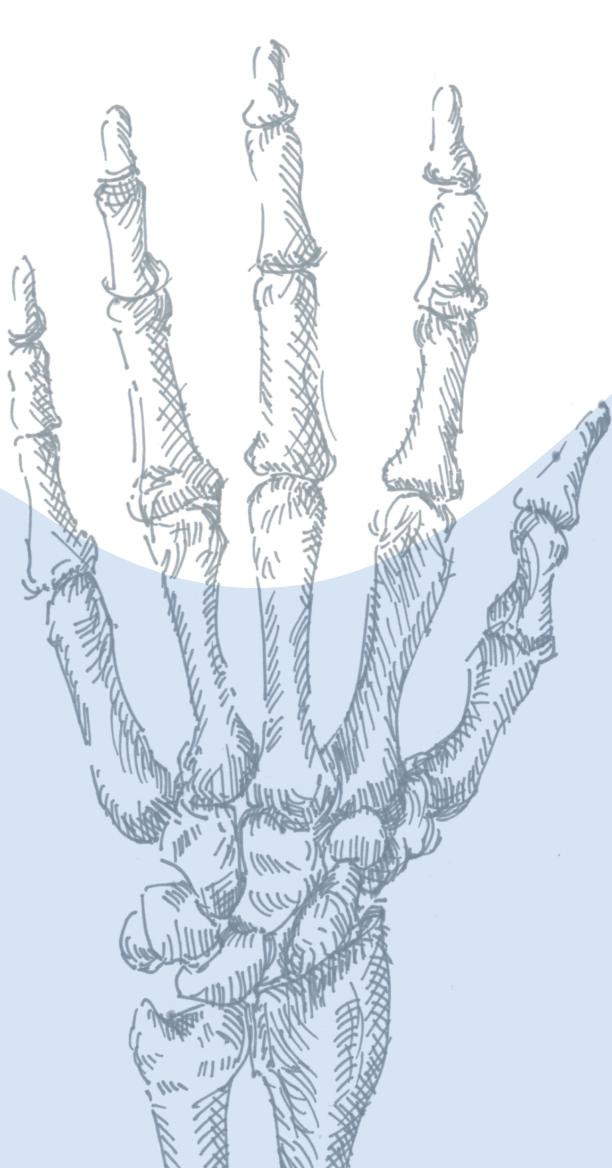
Le fait de considérer des régimes alimentaires, et non pas des nutriments individuels, vise à mieux représenter les effets de matrice des différents aliments (125). Comme le montrent les analyses et les revues mentionnées, cela est également encourageant, car les modèles alimentaires «sains» et «riches en produits laitiers» sont plutôt liés à une réduction et les régimes alimentaires occidentaux à une augmentation du risque de fracture. Certes, ces effets ne peuvent pas être attribués à des aliments individuels. Toutefois, le fait que le lait et les produits laitiers (fermentés) s'inscrivent généralement dans les modes d'alimentation favorables à la santé osseuse est un argument en leur faveur.

Aperçu de l'influence de différents modes d'alimentation sur la santé osseuse



Le lait et les produits laitiers sont en mesure de combler à moindre coût les carences en nutriments, notamment en protéines et en calcium. Ce n'est pas le cas des boissons végétales, si elles ne sont pas enrichies en conséquence. Elles ne sont donc pas comparables du point de vue nutritionnel (126). En revanche, les personnes qui consomment (plus) que les deux à trois portions de lait et de produits laitiers recommandées par jour améliorent ainsi leur apport en nutriments et leur santé osseuse, et ont moins de risques de souffrir d'hypertension, de maladies cardiovasculaires et de diabète de type 2 (127). La consommation de lait et de produits laitiers favorise également le maintien d'un poids corporel normal et la perte de poids, et peut s'inscrire dans un régime alimentaire anti-inflammatoire, ce qui a également un effet bénéfique sur la santé osseuse.

Certes, le lait à lui seul ne suffit pas à maintenir les os en bonne santé tout au long de la vie. La consommation de lait et de produits laitiers offre toutefois un moyen particulièrement simple, savoureux et économique de s'assurer les apports nutritionnels nécessaires à la santé osseuse en quantités suffisantes et avec une biodisponibilité élevée. De plus, le lait et les produits laitiers s'intègrent aussi parfaitement dans les régimes à base de plantes et à faible teneur en glucides, qui conviennent à la prophylaxie et au traitement de nombreuses maladies de civilisation (128).



Annexe

Résultats de l'analyse de la littérature par Ilesanmi-Oyelere et al. (2020) sur le lien entre divers schémas nutritionnels et alimentaires et l'ostéoporose post-ménopausique (forme la plus fréquente).

Légende: (fpm = femmes postménopausées, ans = âge en années, FFQ = divers types de questionnaires sur l'alimentation, nombre précédent = aliments/sources de nutriments déclarés, CV = colonne vertébrale, DXA = absorptiométrie biphotonique à rayons X, PTH = hormone parathyroïdienne, BAP = phosphatase alcaline osseuse)

Tableau 7: Régimes alimentaires et santé osseuse chez les femmes post-ménopausées (et certains hommes)

Étude et source	Participants	Méthodes d'enquête, marqueurs/paramètres	Régime, alimentaire/nutritionnel déclaré	Principaux résultats
DMO/BMC (densité et teneur minérale osseuse)				
Étude co-twin, étude transversale, Royaume-Uni Fairweather-Tait et al., 2011	4928 fpm, 56 ± 12 ans	131 FFQ DMO col du fémur, hanches, vertèbres lombaires DXA	1. beaucoup de fruits/légumes 2. beaucoup d'alcool 3. anglais traditionnel 4. au régime 5. peu de viande	Le modèle 3 est inversement corrélé avec la DMO au niveau du col du fémur
Bilan de santé, étude transversale, Japon Sugiura et al., 2011	293 fpm, 60 ± 6 ans	FFQ modifié DMO à l'avant-bras (radius) DXA	1. riche en carotène 2. riche en rétinol 3. riche en β-cryptoxanthine	Le modèle 2 est inversement corrélé avec la DMO, le modèle 3 est positivement corrélé avec la DMO
Femmes iraniennes, étude transversale, Iran Karamati et al., 2012	160 fpm, 50–85 ans	168 FFQ DMO totale, vertèbres lombaires, col du fémur DXA	1. riche en acide folique, fibres, vitamine B ₆ , A, C et K, Mg, Cu, Mn et β-Karotin 2. peu de vitamine E, riche en protéines, Ca, P, Zn, vitamines B ₁ , B ₁₂ et D 3. riche en graisse, pauvre en glucides et en vitamine B ₁	Le modèle 1 est positivement corrélé avec la DMO au niveau des vertèbres lombaires
Étude prospective transversale sur 2 ans, Chine Chen et al., 2015	282 fpm, 50–65 ans	80 FFQ DMO totale, hanches, vertèbres lombaires DXA	1. riche en riz et autres céréales, fritures 2. riche en lait et légumes-racines	Le modèle 1 est inversement corrélé avec la DMO hanches et vertèbres lombaires, le modèle 2 est positivement corrélé avec la DMO hanches
Patients atteints d'ostéoporose, étude transversale, Brésil de Franca et al., 2016	156 fpm, dès 45 ans en moyenne 68 ± 9 ans	3 jours de protocole alimentaire DMO totale, vertèbres lombaires, col du fémur DXA	1. modèle sain: beaucoup de légumes, de tubercules, de fruits et de jus 2. beaucoup de viande rouge et de céréales raffinées 3. beaucoup de lait écrémé 4. beaucoup de sucreries, de café, de thé 5. alimentation occidentale: snacks, pizzas, sodas, graisses	Le modèle 4 est inversement corrélé avec la DMO totale et au niveau du col du fémur
Biomarqueurs de la santé osseuse				
Aberdeen Prospectives Osteoporose-Screening, étude transversale, Écosse Hardcastle et al., 2011	3225 femmes 50–59 ans	98 FFQ divers marqueurs de la résorption et de la formation osseuse (P1NP)	1. modèle sain: beaucoup de fruits et de légumes 2. beaucoup de produits transformés 3. beaucoup de pain et de beurre 4. poisson et frites (fish & chips) 5. consommation élevée de snacks (grignotage), de sucreries, de noix, et de sauces	Le modèle 1 est inversement corrélé avec les marqueurs de la résorption osseuse
Étude multicentrique de longue durée sur l'ostéoporose, Canada Langsetmo et al., 2016	754 femmes 318 hommes 63 ± 11 ans	FFQ marqueurs de la résorption (CTX, PTH) et de la formation osseuse (BAP)	1. modèle raisonnable: beaucoup de légumes, de fruits, de céréales complètes et de légumineuses 2. Modèle occidental: beaucoup de sodas, de chips, de frites, de charcuterie, de desserts	Le modèle 1 est inversement corrélé avec les CTx chez les femmes et avec la PTH chez les hommes Le modèle 2 est positivement corrélé avec la BAP et les CTx chez les femmes
Ostéoporose				
Enquête sur la santé et l'alimentation (2008–2010), étude transversale, Corée Shin & Joung, 2013	735 fpm 64 ± 9 ans	Rappel de 24h ostéoporose par scores BMD-T au niveau des vertèbres lombaires et de la cuisse DEXA	1. riche en viande, en alcool et en sucre 2. riche en légumes et en sauce soja 3. riche en riz blanc, kimchi, algues 4. riche en produits laitiers et en fruits	Le modèle 3 est positivement corrélé avec le risque d'ostéoporose Le modèle 4 est inversement corrélé avec le risque d'ostéoporose
Génome et épidémiologie, étude de longue durée, Corée Park et al., 2012	1464 fpm 4 ans de suivi	103 FFQ incidence de l'ostéoporose basée sur des scores T déterminés	1. modèle traditionnel: beaucoup de riz, de kimchi et de légumes 2. riche en lait (produits laitiers) et en thé vert 3. modèle occidental: beaucoup de graisse, de sucre et de pain	Le modèle 2 est inversement corrélé avec le risque d'ostéoporose Les modèles 1 et 3 sont positivement corrélés avec le risque d'ostéoporose
Fractures				
Étude multicentrique de longue durée sur l'ostéoporose, Canada Langsetmo et al., 2016	3539 fpm 67 ± 8 ans 1649 hommes 64 ± 10 ans	FFQ fractures non traumatiques	1. modèle riche en nutriments 2. modèle riche en énergie (occidental)	Le modèle 1 est inversement corrélé avec le risque de fracture chez les femmes et les hommes
Analyse de clusters				
Étude sur l'ostéoporose de Framingham, étude transversale, États-Unis Tucker et al., 2002	562 femmes 345 hommes 69–93 ans	FFQ DMO à divers endroits, absorptiométrie Lunar	1. riche en viande, lait, pain 2. riche en viande et en pâtisseries 3. riche en pâtisseries 4. riche en alcool 5. riche en sucreries 6. riche en fruits, légumes, céréales	Femmes: en comparaison avec les clusters 1, 2, 4 et 6, le cluster 5 est inversement corrélé avec la DMO à l'avant-bras (radius) Hommes: en comparaison avec le cluster 6, le cluster 5 est inversement corrélé avec la DMO En comparaison avec les clusters 2–4, le cluster 6 est positivement corrélé avec la DMO
Étude In-CHIANTI, étude d'observation de longue durée, Italie Pedone et al., 2011	434 femmes 65–94 ans 75 ± 7 ans	236 FFQ EPIC diverses valeurs DMO suivies sur 6 ans	1. faible apport énergétique (30 kcal/kg de poids idéal) et un faible apport en nutriments importants pour les os 2. apport énergétique élevé (44 kcal/kg de poids idéal) et apport élevé en nutriments importants pour les os	En comparaison avec le cluster 1, le cluster 2 est corrélé positivement avec la DMO corticale et inversement avec des pertes de la DMO corticale sur 6 ans

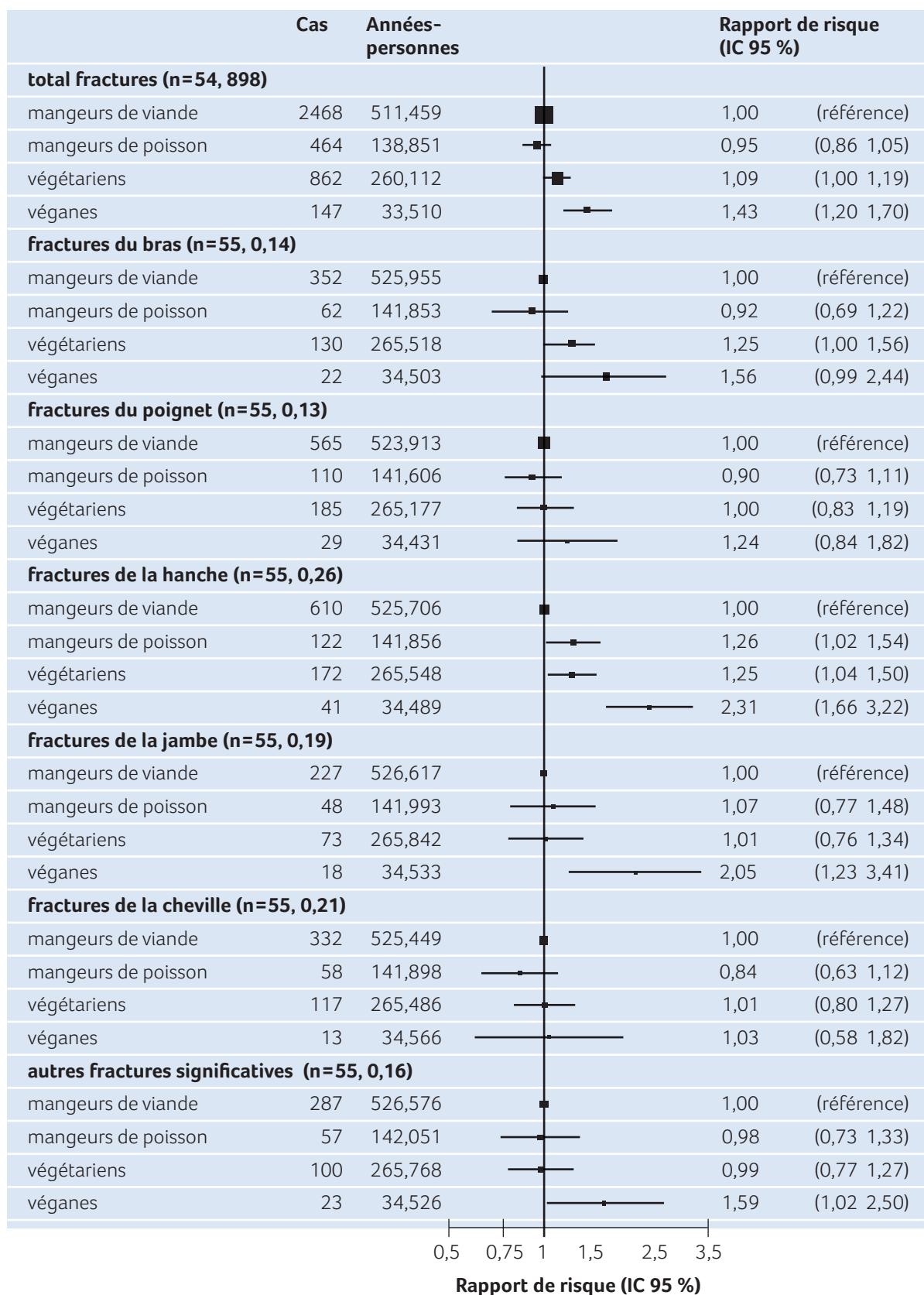
Légende: (fprm = femmes préménopausées, fpm = femmes postménopausées, ans = âge en années, FFQ = divers types de questionnaires alimentaires, nombre précédent = aliments/sources de nutriments déclarés, CV = colonne vertébrale, DXA = absorptiométrie biphotonique à rayons X, PTH = hormone parathyroïdienne, BAP = phosphatase alcaline osseuse)

Tableau 8: Échelle de régime alimentaire et santé osseuse chez les femmes post-ménopausées (et certains hommes)

Étude et source	Participants	Méthodes d'enquête, marqueurs/paramètres	Régime, alimentaire/nutritionnel déclaré	Principaux résultats
DMO/BMC (densité et teneur minérale osseuse)				
Études sur des femmes du sud de l'Espagne, étude transversale, Espagne Rivas et al., 2013	100 fprm, 34 ± 7 ans 100 fpm, 54 ± 6 ans	FFQ semi-quantitatif DMO DXA	Échelle pour le régime méditerranéen (score MD)	Le score MD est corrélé positivement avec la DMO chez toutes les femmes
Femmes iraniennes, étude transversale, Iran Shivappa et al., 2016	160 fpm, 50–85 ans	FFQ semi-quantitatif DMO col du fémur et vertèbres lombaires, DXA	Échelle de régime inflammatoire (Dietary inflammatory index, DII)	Le DII est inversement corrélé avec la DMO des vertèbres lombaires
Étude de Rotterdam, étude transversale de longue durée, Pays-Bas De Jonge et al., 2015	2932 femmes 2211 hommes dès 55 ans 61 ± 73 ans	170 FFQ semi-quantitatif DMO col du fémur DXA au début de l'étude et 3 mesures ultérieures	Échelle nutritionnelle DMO Indice d'alimentation saine	L'échelle DMO est corrélée positivement avec la DMO L'indice d'alimentation saine est corrélé positivement avec la DMO, mais nettement moins que l'échelle DMO
Étude WHI (Women's Health Initiative), étude d'intervention de longue durée, États-Unis Orchard et al., 2017	160 191 femmes, 50–79 ans	FFQ WHI DMO totale, hanches et vertèbres lombairesDXA	Échelle de régime inflammatoire (Dietary inflammatory index, DII)	Des modes d'alimentation moins inflammatoires (faible DII) sont corrélés avec une diminution des pertes de DMO chez les femmes postménopausées
Biomarqueurs de la santé osseuse				
NHANES (1999–2002), étude transversale, échantillon national représentatif, États-Unis Hamidi et al., 2011	827 fpm, dès 45 ans	Rappel de 24h marqueurs de la formation (BAP) et de la résorption osseuses (N-télopeptide, créatinine)	Indice d'alimentation saine (HEI = Healthy Eating Index)	Aucun lien
Ostéoporose				
5 ^e enquête nationale sur la santé et l'alimentation, étude transversale, Corée Go et al., 2014	847 fpm	Rappel de 24h Ostéoporose et ostéopénie à partir des scores T de la DMO	Échelle pour un apport nutritionnel suffisant Échelle pour une alimentation variée Enquête sur les sources de calcium Modèle alimentaire selon les groupes d'aliments	Aucun lien, Inversement corrélé avec les risques d'ostéoporose et d'ostéopénie, le lait, les anchois et la roquette de mer sont inversement corrélés avec les risques d'ostéoporose et d'ostéopénie, Aucun lien
Fractures				
Études cas-témoins, Chine Zeng et al., 2014	549 patientes, 177 patients + autant de témoins du même âge 55–80 ans	79 FFQ cas avec fracture de la hanche	Indice d'alimentation saine (HEI = Healthy Eating Index)	L'indice d'alimentation saine est inversement corrélé avec le risque de fracture
Étude dans 3 villes, étude d'observation de longue durée, France Feart et al., 2013	932 femmes 550 hommes dès 67 ans sur 8 ans	FFQ et rappels de 24h enquête sur les fractures de la hanche, des vertèbres et du poignet tous les 2 ans	Échelle pour le régime méditerranéen (score MD)	Pas de lien significatif
Étude WHI (Women's Health Initiative), étude d'observation de longue durée, États-Unis Haring et al., 2016	90 014 fpm, 50–79 ans 63 ± 7 ans sur 16–20 ans	FFQ WHI fractures de la hanche et toutes les fractures	Échelle alternative pour le régime méditerranéen (score aMD) Indice d'alimentation saine 2010 (HEI 2010) Indice d'alimentation saine alternatif 2010 (aHEI 2010) Indice de régime DASH	Le score aMD est inversement corrélé avec le risque de fracture de la hanche, pas de lien significatif, pas de lien significatif, pas de lien significatif

Source: d'après Ilesanmi-Oyelere, BL, Kruger, MC, Life 2020; 10: 220

Risque de fracture dans la cohorte EPIC d'Oxford selon les modes alimentaires



Source: d'après Tong, TYN et al.: Vegetarian and vegan diets and risks of total and site-specific fractures: results from the prospective EPIC-Oxford study. BMC Medicine 2020; 18: 353

Bibliographie et répertoire des sources

- (1) Huber, J: Der holistische Mensch. edition a, Wien 2017
- (2) Rizzoli, R, Biver, E: Are probiotics the new calcium and vitamin D for bone health? Current Osteoporosis Reports 2020, doi: 10.1007/s11914-020-00591-6
- (3) Thorning, TK et al.: Whole dairy matrix or single nutrients in assessment of health effects: current evidence and knowledge gaps. Am J Clin Nutr 2017; 105: 1033–1045
- (4) Unger, AL et al.: Harnessing the Magic of the Dairy Matrix for Next-Level Health Solutions: A Summary of a Symposium Presented at Nutrition 2022. Current Developments in Nutrition 2023; 7: 100105
- (5) <https://www.apotheken.de/krankheiten/hintergrundwissen/4444-aufbau-und-funktion-von-knochen-und-gelenken>, consulté le 16.8.2023
- (6) <https://flexikon.doccheck.com/de/Osteozyten>
- (7) <https://www.apotheken.de/krankheiten/hintergrundwissen/4444-aufbau-und-funktion-von-knochen-und-gelenken>, consulté le 16.8.2023
- (8) Weitzmann, MN, Pacifici, R: Estrogen deficiency and bone loss: an inflammatory tale. J Clin Invest 2006; 116: 1186–1194
- (9) Prophylaxe, Diagnostik und Therapie der Osteoporose bei postmenopausalen Frauen und bei Männern, S3-Leitlinie des Dachverbands der Deutschsprachigen Wissenschaftlichen Osteologischen Gesellschaften: AWMF-Register-Nr.: 183/001, 2023
- (10) Sixième rapport sur la nutrition en Suisse 2012. Office fédéral de la santé publique, Berne 2012
- (11) van Dongen, LH, Sahni, S: Dairy Products, Vitamin D, and Bone Health, in: Weaver, CM et al. (Hrsg.): Nutritional Influences on Bone Health, https://doi.org/10.1007/978-3-319-98464-3_18
- (12) Moschonis, G et al.: Effect of vitamin D-enriched Gouda-type cheese consumption on biochemical markers of bone metabolism in postmenopausal women in Greece. Nutrients 2021; 13: 2985
- (13) Obermayer-Pietsch, B, Schwetz, V: Biochemische Marker des Knochenstoffwechsels und ihre Bedeutung. Z FRheumatol 2016; 75: 451–458
- (14) Rondanelli, M et al.: An update on magnesium and bone health. Biometals 2021; 34: 715–736
- (15) Groenendijk, I et al.: Impact of magnesium on bone health in older adults: A systematic review and meta-analysis. Bone 154 (2022) 116233
- (16) Walther, B et al.: Menaquinones, Bacteria, and the Food Supply: The Relevance of Dairy and Fermented Food Products to Vitamin K Requirements. Adv Nutr 2013; 4: 463–473
- (17) Elshaikh, AO et al.: Influence of Vitamin K on Bone Mineral Density and Osteoporosis. Cureus 2020; 12: e10816
- (18) Weaver, CM, Heaney, RP: Calcium in Human Health. Humana Press, Totowa (New Jersey) 2006
- (19) Schumann, L et al: Calcium, Milch und Knochengesundheit. Behauptungen und Fakten. Ernährung im Fokus 2014; 14–11–12
- (20) Burckhardt, P: The role of low acid load in vegetarian diet on bone health: a narrative review. Swiss Med Wkly 2016;146:w14277
- (21) Caudarella, R et al.: Salt intake, hypertension, and osteoporosis. J Endocrinol Invest 2009; 32: 15–20
- (22) Weaver, CM, Heaney, RP: Calcium in Human Health. Humana Press, Totowa (New Jersey) 2006
- (23) Heaney, RP et al.: Calcium absorption varies within the reference range for serum 25-hydroxyvitamin D. J Am Coll Nutrtion 2013; 22: 142–146
- (24) Sirichakwal, PP et al.: Vitamin D status is positively associated with calcium absorption among postmenopausal Thai women with low calcium intakes. J Nutr 2015; 145: 990–995

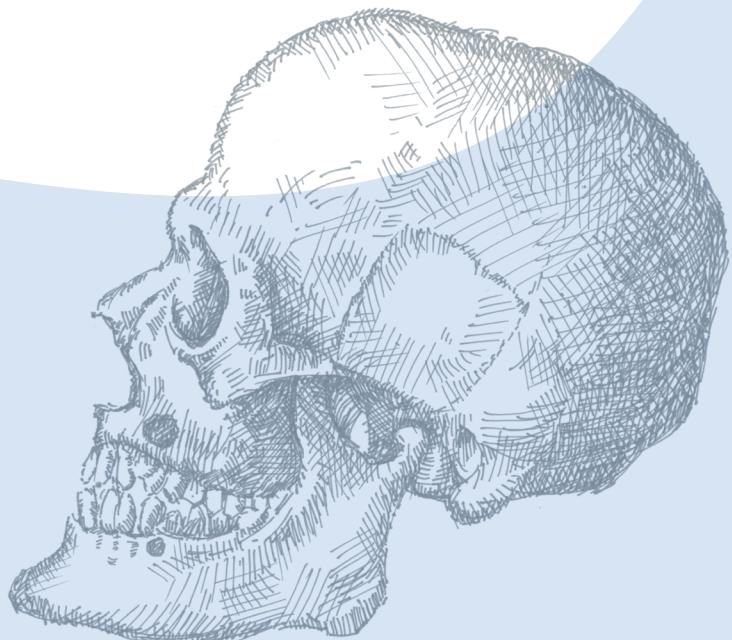
- (25) Weaver, CM, Heaney, RP: Calcium in Human Health. Humana Press, Totowa (New Jersey) 2006
- (26) Rizzoli, R: Dairy products and bone health. Aging Clinical Experimental Research 2022; 34: 9–24
- (27) <https://www.netdoktor.de/krankheiten/osteoporose/prophylaxe>
- (28) https://knospe.bio-suisse.ch/dam/jcr:216cf74e-1a0f-4f39-bd78-2a4010805d61/Bio_Suisse_Richtlinien_2025_DE_final.pdf
- (29) Bonjour, JP: Calcium and Phosphate: A Duet of Ions Playing for Bone Health. J Am Coll Nutrition 2011; 30: 438S–448S
- (30) Burckhardt, P.: The role of low acid load in vegetarian diet on bone health: a narrative review. Swiss Med Wkly 2016; 146: w14277
- (31) https://www.bzfe.de/terme_de_recherche:Herstellung_von_Schmelzkäse
- (32) Souci/Fachmann/Kraut (Hrsg.): Nährwert-Tabellen. 8. Auflage, MedPharm, Stuttgart 2016
- (33) Schumann, L et al: Calcium, Milch und Knochengesundheit. Behauptungen und Fakten. Ernährung im Fokus 2014; 14–11–12
- (34) Fenton, T, Lyon, W: Milk and Acid-Base Balance: Proposed Hypothesis versus Scientific Evidence. J Am Coll Nutrition 2011; 30: 471S–475S
- (35) Fenton, TR et al.: Phosphate decreases urine calcium and increases calcium balance: a meta-analysis of the osteoporosis acid-ash diet hypothesis. J Nutr 2009; 8: 41
- (36) <https://de.wikipedia.org/wiki/Knochengewebe>
- (37) Zittermann, A et al.: Protein intake and bone health: an umbrella review of systematic reviews for the evidence-based guideline of the German Nutrition Society. Osteoporosis International 2023, doi: 10.1007/s00198–023–06709–7
- (38) Rizzoli, R et al.: Benefits and safety of dietary protein for bone health—an expert consensus paper endorsed by the European Society for Clinical and Economical Aspects of Osteoporosis, Osteoarthritis, and Musculoskeletal Diseases and by the International Osteoporosis Foundation. Osteoporosis Int 2018; 29: 1933–1948
- (39) Zittermann, A et al.: Protein intake and bone health: an umbrella review of systematic reviews for the evidence-based guideline of the German Nutrition Society. Osteoporosis International 2023, doi: 10.1007/s00198–023–06709–7
- (40) Kirk, B et al.: Nutrients to mitigate osteosarcopenia: the role of protein, vitamin D and calcium. Current Opinion in Clinical Nutrition and Metabolic Care 2021; 24: 25–32
- (41) <https://kwk.blv.admin.ch/weblication/grid5/tmpHTTP/bb617a310a7c6cbce269fc1da5811a58.pdf>
- (42) Kopf-Bolanz, KA, Walther, B: Proteinkonsum in der Schweiz – Auswertung des menuCH Datensatzes. Schweizer Ernährungsbulletin 2021
- (43) Weaver, CM et al.: Choices for achieving adequate dietary calcium with a vegetarian diet. Am J Clin Nutr 1999; 70: 543S–548S
- (44) Baek, Y et al.: Reducing hip and nonvertebral fractures in institutionalized older adults by restoring inadequate intakes of protein and calcium is cost-saving. Age and Ageing 2023; 52: 1–7
- (45) Bu, T et al.: Milk proteins and their derived peptides on bone health: Biological functions, mechanisms, and prospects. Compr Rev Food Sci Food Safety 2021, doi: 10.1111/1541–4337.12707
- (46) Ilesanmi-Oyelere, BL, Kruger, MC: The Role of Milk Components, Pro-, Pre-, and Synbiotic Foods in Calcium Absorption and Bone Health Maintenance. Frontiers in Nutrition 2020; 7: 578702
- (47) Wallace, TC et al.: Dairy intake and bone health across the lifespan: a systematic review and expert narrative. Crit Rev Food Sci Nutr 2021; 61: 3661–1707
- (48) Rizzoli, R et al.: Maximizing bone mineral mass gain during growth for the prevention of fractures in the adolescents and the elderly. Bone 2010; 46: 294–305
- (49) Chevalley, T et al.: Interaction between calcium intake and menarcheal age on bone mass gain: an eight-year follow-up study from prepuberty to postmenarche. J Clin Endocrinol Metab 2005; 90: 44–51

- (50) Kouvelioti, R et al.: Effects of dairy consumption on body composition and bone properties in youth: a systematic review. *Curr Dev Nutr* 2017; 1: e001214
- (51) Goulding, A et al.: Children who avoid drinking cow's milk are at increased risk for prepubertal bone fractures. *J Am Diet Assoc* 2004; 104: 250–253
- (52) Konstantynowicz, J et al.: Fractures during growth: potential role of a milk-free diet. *Osteoporos Int* 2007; 18: 1601–1607
- (53) Josse, AR et al.: Dairy product intake decreases bone resorption following a 12-week diet and exercise intervention in overweight and obese adolescent girls. *Pediatr Res* 2020; 88: 910
- (54) Obermayer-Pietsch, B, Schwetz, V: Biochemische Marker des Knochenstoffwechsels und ihre Bedeutung. *Z f Rheumatol* 2016; 75: 451–458
- (55) Rumbold, P et al.: The potential nutrition-, physical- and health-related benefits of cow's milk for primary-school-aged children. *Nutr Res Rev* 2022; 35: 50–69
- (56) Rizzoli, R: Dairy products and bone health. *Aging Clinical Experimental Research* 2022; 34: 9–24
- (57) Kalkwarf, HJ et al.: Milk intake during childhood and adolescence, adult bone density, and osteoporotic fractures in US women. *Am J Clin Nutr* 20023; 77: 257–265
- (58) Feskanich, D et al.: Milk consumption during teenage years and risk of hip fractures in older adults. *JAMA Pediatr* 2014; 168: 54–60
- (59) Tabellarische Übersichten bei Rizzoli, R: Dairy products and bone health. *Aging Clinical Experimental Research* 2022; 34: 9–24
- (60) Hidayat, K et al.: The Effects of Milk Supplementation on Bone Health Indices in Adults: A Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. *Adv Nutr* 2022; 13: 1186–1199
- (61) Weaver, C et al.: How sound is the science behind the dietary recommendations for dairy? *Am J Clin Nutr* 2014; 99: 1217S–1222S
- (62) Michaëlson, K et al.: Milk intake and risk of mortality and fractures in women and men: cohort studies. *BMJ* 2014; 349: g6015
- (63) Holvik, K et al.: Milk drinking and risk of hip fracture: the Norwegian Epidemiologic Osteoporosis Studies (NOREPOS). *Br J Nutr* 2019; 121: 709–718
- (64) van den Heuvel, EGHM et al.: Dairy products and bone health: how strong is the scientific evidence? *Nutrition Research Reviews* 2018; 31: 164–178
- (65) Skuladottir, SS et al.: Milk intake and hip fracture incidence in community dwelling old Icelandic adults. *Osteoporos Int* 2023, doi: 10.1007/s00198-023-06883-8, online publiziert am 10.8.2023
- (66) Recommandations alimentaires suisses pour les personnes âgées, https://www.sge-ssn.ch/media/Erna%CC%88hrungsempfehlungen_F_def2.pdf
- (67) Feskanich, D et al.: Milk and Other Dairy Foods and Risk of Hip Fracture in Men and Women. *Osteoporos Int* 2018; 29: 385–396
- (68) Yuan, M et al.: Types of Dairy Foods and Risk of Fragility Fracture in the Prospective Nurses' Health Study Cohort. *Am J Clin Nutr* 2023; 118(6): 1172–1181
- (69) Gomes, JM et al.: Could the beneficial effects of dietary calcium on obesity and diabetes control be mediated by changes in intestinal microbiota and integrity? *Br J Nutr* 2015; 114: 1756–1765
- (70) Biver, E et al.: Fermented dairy products consumption is associated with attenuated cortical bone loss independently of total calcium, protein, and energy intakes in healthy postmenopausal women. *Osteoporos Int* 2018; 29: 1771–1782
- (71) Laird, I et al.: Greater yogurt consumption is associated with increased bone mineral density and physical function in older adults. *Osteoporos Int* 2017; 28: 2409–2419
- (72) Tabellarische Übersichten bei: Rizzoli R, Biver, E: Effects of fermented milk products on bone. *Calcif Tissue Int* 2018; 102: 489–500
- (73) Michaëlson, K et al.: Milk intake and risk of mortality and fractures in women and men: cohort studies. *BMJ* 2014; 349: g6015

- (74) Zhang, M et al.: Cheese consumption and multiple health outcomes: an umbrella review and updated meta-analysis of prospective studies. *Adv Nutrition* 2023; in press, doi: 10.1016/j.advnut.2023.06.007
- (75) Schepper, JD et al.: Probiotics in gut–bone signaling. *Adv Exp Med Biol* 2017; 1033: 225–247
- (76) Yang, W et al.: Changes in the composition of gut and vaginal microbiota in patients with postmenopausal osteoporosis. *Frontiers Immunology* 2022; 13: 930244
- (77) Huang, D et al.: Identifying microbial signatures for patients with postmenopausal osteoporosis using gut microbiota analyses and feature selection approaches. *Frontiers Microbiology* 2023; 14: 1113174
- (78) Cronin, O et al.: Role of the Microbiome in Regulating Bone Metabolism and Susceptibility to Osteoporosis. *Calcif Tissue Int* 2022; 110: 273–284
- (79) Rizzoli, R, Biver, E: Are probiotics the new calcium and vitamin D for bone health? *Current Osteoporosis Reports* 2020, doi: 10.1007/s11914–020–00591–6
- (80) Savard, P et al.: Impact of *Bifidobacterium animalis* subsp. *lactis* BB-12 and, *Lactobacillus acidophilus* LA-5-containing yoghurt, on fecal bacterial counts of healthy adults. *Int J Food Microbiology* 2011; 149: 50–57
- (81) Aoe, S: Milk, dairy products and bone health. Characteristics of calcium in milk. *Clin Calcium* 2018; 28: 493–498
- (82) Thorning, TK et al.: Whole dairy matrix or single nutrients in assessment of health effects: current evidence and knowledge gaps. *Am J Clin Nutr* 2017; 105: 1033–1045
- (83) Weaver, CM: Dairy matrix: is the whole greater than the sum of the parts? *Nutr Reviews* 2021; 79(S2): 4–15
- (84) Astrup, A et al.: Effects of Full-Fat and Fermented Dairy Products on Cardiometabolic Disease: Food Is More Than the Sum of Its Parts. *Adv Nutr* 2019; 10: 924S–930S
- (85) Lechner, K et al.: Ernährungsempfehlungen beim metabolisch-vaskulären Syndrom. *Aktuell Ernährungsmed* 2018; 43: 113–127
- (86) Geiker, NRW et al.: Impact of whole dairy matrix on musculoskeletal health and aging – current knowledge and research gaps. *Osteoporos Int* 2020; 31: 601–615
- (87) Bian, S et al.: Dairy product consumption and risk of hip fracture: a systematic review and meta-analysis. *BMC Public Health* 2018; 18: Artikel Nr. 165
- (88) Unger, AL et al.: Harnessing the Magic of the Dairy Matrix for Next-Level Health Solutions: A Summary of a Symposium Presented at Nutrition 2022. *Current Developments in Nutrition* 2023; 7: 100105
- (89) Feeney, EL et al.: The cheese matrix: understanding the impact of cheese structure on aspects of cardiovascular health – a food science and a human nutrition perspective, *Int J Dairy Technol* 2021; 74: 656–670
- (90) Unger, AL et al.: Harnessing the Magic of the Dairy Matrix for Next-Level Health Solutions: A Summary of a Symposium Presented at Nutrition 2022. *Current Developments in Nutrition* 2023; 7: 100105
- (91) Geiker, NRW et al.: Impact of whole dairy matrix on musculoskeletal health and aging – current knowledge and research gaps. *Osteoporos Int* 2020; 31: 601–615
- (92) Michaélsson, K et al.: Milk intake and risk of mortality and fractures in women and men: cohort studies. *BMJ* 2014; 349: g6015
- (93) Michaélsson, K et al.: Intake of Milk or Fermented Milk Combined With Fruit and Vegetable Consumption in Relation to Hip Fracture Rates: A Cohort Study of Swedish Women. *J Bone Mineral Research* 2017; 33: 449–457
- (94) Ulven, SM et al.: Milk and dairy product consumption and inflammatory biomarkers: An updated systematic review of randomized clinical trials. *Adv Nutr* 2019; 10: S239–S250
- (95) Kimball, JS et al.: Oxidative stress and osteoporosis. *J Bone Joint Surg Am* 2021; 103: 1451–1461
- (96) Muñoz-Garach, A et al.: Nutrients and Dietary Patterns Related to Osteoporosis. *Nutrients* 2020; 12: 1986
- (97) Ilesanmi-Oyelere, BL, Kruger, MC: Nutrient and Dietary Patterns in Relation to the Pathogenesis of Post-menopausal Osteoporosis –A Literature Review. *Life* 2020; 10: 220
- (98) Malmir, H et al.: Adherence to Mediterranean diet in relation to bone mineral density and risk of fracture: a systematic review and meta-analysis of observational studies. *Eur J Nutr* 2018; 57: 2147–2160

- (99) Andreo-López, MC et al.: The Influence of the Mediterranean Dietary Pattern on Osteoporosis and Sarcopenia. *Nutrients* 2023; 15: 3224
- (100) Martyniak, K et al.: Do polyunsaturated fatty acids protect against bone loss in our aging and osteoporotic population? *Bone* 2021; 143: 115736
- (101) Fabiani, R et al.: Dietary Patterns in Relation to Low Bone Mineral Density and Fracture Risk: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Adv Nutrition* 2019; 10: 219–236
- (102) Benetou, V et al.: Fruit and vegetable intake and hip fracture incidence in older men and women: The CHANCES project. *J Bone Min Res* 2016; 31: 1743–1752
- (103) Willett, W et al.: Food in the Anthropocene: the EAT-Lancet Commission on healthy diets from sustainable food systems. *Lancet* 2019; 393: 447–492
- (104) Zheng, Y et al.: The Hidden Dangers of Plant-Based Diets Affecting Bone Health: A Cross-Sectional Study with U.S. National Health and Nutrition Examination Survey (NHANES) Data from 2005–2018. *Nutrients* 2023; 15: 1794
- (105) Iguacel, I et al.: Veganism, vegetarianism, bone mineral density, and fracture risk: a systematic review and meta-analysis. *Nutrition Reviews* 2018; 77, doi: 10.1093/nutrit/nuy045
- (106) Webster, J et al.: Risk of hip fracture in meat-eaters, pescatarians, and vegetarians: results from the UK Women's Cohort Study. *BMC Medicine* 2022; 20: 275
- (107) Webster, J et al.: Risk of hip fracture in meat-eaters, pescatarians, and vegetarians: a prospective cohort study of 413,914 UK Biobank participants. *BMC Medicine* 2023; 21: 278
- (108) Tong, TYN et al.: Vegetarian and vegan diets and risks of total and site-specific fractures: results from the prospective EPIC-Oxford study. *BMC Medicine* 2020; 18: 353
- (109) Thorpe, DL et al.: Dietary patterns and hip fracture in the Adventist Health Study 2: combined vitamin D and calcium supplementation mitigate increased hip fracture risk among vegans. *Am J clin Nutr* 2021; 114: 488–495
- (110) <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/388189/umfrage/umfrage-in-der-schweiz-zu-vegetarischer-ernaehrung/#:~:text=Der%20Anteil%20der%20Schweizerinnen%20und,2022%20bereits%2000%2C7%20Prozent>.
- (111) Thorpe, DL et al.: Dietary patterns and hip fracture in the Adventist Health Study 2: combined vitamin D and calcium supplementation mitigate increased hip fracture risk among vegans. *Am J clin Nutr* 2021; 114: 488–495
- (112) Craig, WJ et al.: The safe and effective use of plant-based diets with guidelines for health professionals. *Nutrients* 2021; 13: 4144
- (113) <https://www.basica.com/de/Basische-Ernaehrung/Nahrungsmitteltabelle>
- (114) Fenton, T, Lyon, W: Milk and Acid-Base Balance: Proposed Hypothesis versus Scientific Evidence. *J Am Coll Nutrition* 2011; 30: 471S–475S
- (115) Weaver, CM et al.: Choices for achieving adequate dietary calcium with a vegetarian diet. *Am J Clin Nutr* 1999; 70: 543S–548S
- (116) Fenton, TR et al.: Meta-analysis of the quantity of calcium excretion associated with the net acid excretion of the modern diet under the acid-ash diet hypothesis. *Am J Clin Nutr* 2008; 88: 1159–1166
- (117) Weaver, CM, Heaney, RP: Calcium in Human Health. Humana Press, Totowa (New Jersey) 2006
- (118) Schumann, L et al: Calcium, Milch und Knochengesundheit. Behauptungen und Fakten. Ernährung im Fokus 2014; 14–11–12
- (119) Hayhoe, RPG et al.: Dietary acid-base load and its association with risk of osteoporotic fractures and low estimated skeletal muscle mass. *Eur J Clin Nutr* 2020; 74: S33–S42
- (120) Cao, JJ et al.: Increasing Vegetable Intake Decreases Urinary Acidity and Bone Resorption Marker in Overweight and Obese Adults: An 8-Week Randomized Controlled Trial. *J Nutr* 2021; 151: 3413–3420
- (121) Burckhardt, P.: The role of low acid load in vegetarian diet on bone health: a narrative review. *Swiss Med Wkly* 2016; 146: w14277

- (122) Garcia-Gavilán, JF et al.: U-Shaped Association between Dietary Acid Load and Risk of Osteoporotic Fractures in 2 Populations at High Cardiovascular Risk. *J Nutr* 2021; 151: 152–161
- (123) Chen, LR et al.: Nutritional Support and Physical Modalities for People with Osteoporosis: Current Opinion. *Nutrients* 2019; 11: 2848
- (124) De Rui, M et al.: Dietary strategies for mitigating osteosarcopenia in older adults: a narrative review. *Aging Clin Exp Res* 2019, doi: 10.1007/s40520-019-01130-9
- (125) Warensjö Lemming, E, Byberg, L: Is a healthy diet also suitable for the prevention of fragility fractures? *Nutrients* 2020; 12: 2642
- (126) Rizzoli, R: Dairy products and bone health. *Aging Clin Exp Res* 2022; 34: 9–24
- (127) Rice, BH et al.: Meeting and exceeding dairy recommendations: effects of dairy consumption on nutrient intakes and risk of chronic disease. *Nutrition Reviews* 2013; 71: 209–223
- (128) Ilesanmi-Oyelere, BL, Kruger, MC: Nutrient and Dietary Patterns in Relation to the Pathogenesis of Post-menopausal Osteoporosis—A Literature Review. *Life* 2020; 10: 220



Producteurs Suisses de Lait PSL
Swissmilk
Santé & saveur

Laubeggstrasse 68
CH-3006 Berne

+41 31 359 57 28
marketing@swissmilk.ch
www.swissmilk.ch

© Swissmilk 2025

Suisse. Naturellement.

