

L'os est en remodelage
perpétuel selon les
contraintes auxquelles
il est soumis.

Activité physique et santé osseuse

Avis du Comité scientifique
de Kino-Québec





Activité physique et santé osseuse

Avis du Comité scientifique
de Kino-Québec

RECHERCHE ET RÉDACTION

M^{me} Claudine Blanchet, Ph.D., Chaire Lucie et André Chagnon pour l'enseignement d'une approche intégrée en prévention, Hôpital Saint-François d'Assise, Centre hospitalier universitaire de Québec (CHUQ)

M. Guy Thibault, Ph.D., ministère de l'Éducation, du Loisir et du Sport

RÉVISION

D^{re} Johanne Blais, Chaire Lucie et André Chagnon pour l'enseignement d'une approche intégrée en prévention, Hôpital Saint-François d'Assise, CHUQ

D^{re} Sylvie Dodin, Chaire Lucie et André Chagnon pour l'enseignement d'une approche intégrée en prévention, Hôpital Saint-François d'Assise, CHUQ

M^{me} Andrée LeMay, consultante

PRODUCTION

Ministère de l'Éducation, du Loisir et du Sport

COORDINATION DE LA PRODUCTION

M^{me} Lyne Légaré, conseillère en communication
Ministère de l'Éducation, du Loisir et du Sport

GRAPHISME

RM communication design

NOTE

Dans le présent avis, le masculin générique est utilisé dans le but d'alléger la lecture. On peut télécharger la version PDF des avis du Comité scientifique de Kino-Québec du site Internet de Kino-Québec : www.kino-quebec.qc.ca.

© Gouvernement du Québec
Ministère de l'Éducation, du Loisir et du Sport
ISBN 978-2-550-51970-6 (version imprimée)
ISBN 978-2-550-51971-3 (PDF)
Dépôt légal - Bibliothèque et Archives nationales du Québec, 2008

Le **Comité scientifique de Kino-Québec** est un groupe d'experts québécois de l'activité physique et de la santé qui proviennent des milieux scientifique, médical et professionnel. Ses membres conseillent les autorités de Kino-Québec et émettent des avis scientifiques sur des questions particulières concernant l'activité physique.

Président du Comité

M. Gaston Godin*, Ph.D., Faculté des sciences infirmières, Université Laval

MEMBRES DU COMITÉ

M. Daniel Auger, Direction de la santé publique, Agence de la santé et des services sociaux de l'Estrie

M^{me} Diane Boudreault, M.Sc., ministère de l'Éducation, du Loisir et du Sport

D^r Raynald Cloutier, Direction de la santé publique, Agence de la santé et des services sociaux de la Côte-Nord

D^r François Croteau*, Hôpital Santa Cabrini, Clinique médicale 3000, Montréal

M. Pierre Gauthier*, Ph.D., Faculté d'éducation physique et sportive, Université de Sherbrooke

M^{me} Lise Gauvin, Ph.D., Département de médecine sociale et préventive, Université de Montréal

D^r Martin Juneau, Direction de la prévention, Institut de cardiologie de Montréal

D^{re} Johanne Laguë, Institut national de santé publique du Québec

M. Bertrand Nolin, Ph.D., Institut national de santé publique du Québec

M. Sylvain Ouellet, Direction de la santé publique, Agence de la santé et des services sociaux du Saguenay-Lac-Saint-Jean

M. Angelo Tremblay, Ph.D., Division de kinésiologie, Département de médecine sociale et préventive, Université Laval

MEMBRES HONORAIRES, EX-PRÉSIDENTS DU COMITÉ

M. Claude Bouchard, Ph.D., Pennington Biomedical Research Center, Baton Rouge, Louisiane, États-Unis

M. François Péronnet, Ph.D., Département de kinésiologie, Université de Montréal

PRÉCÉDENTS AVIS DU COMITÉ

Quantité d'activité physique requise pour en retirer des bénéfices pour la santé. Ministère de l'Éducation, gouvernement du Québec, 1999. Avis rédigé sous la direction de M. Claude Bouchard, Ph.D., 27 pages.

L'activité physique, déterminant de la santé des jeunes. Ministère de la Santé et des Services sociaux, gouvernement du Québec, 2000. Avis rédigé sous la direction de MM. Claude Bouchard, Ph.D., et François Péronnet, Ph.D., 24 pages.

L'activité physique, déterminant de la qualité de vie des personnes de 65 ans et plus. Secrétariat au loisir et au sport, gouvernement du Québec, 2002. Avis rédigé sous la direction de MM. Pierre Gauthier, Ph.D., et François Péronnet, Ph.D., 59 pages.

Stratégies éprouvées et prometteuses pour promouvoir la pratique régulière d'activités physiques au Québec. Ministère des Affaires municipales, du Sport et du Loisir, gouvernement du Québec, 2004. Avis rédigé sous la direction de M^{me} Lise Gauvin, Ph.D., 31 pages.

L'activité physique et le poids corporel. Ministère de l'Éducation, du Loisir et du Sport, gouvernement du Québec, 2006. Avis rédigé sous la direction de M. Angelo Tremblay, Ph.D., 52 pages.

RÉFÉRENCE BIBLIOGRAPHIQUE SUGGÉRÉE

Comité scientifique de Kino-Québec (2008)
Activité physique et santé osseuse.
Ministère de l'Éducation, du Loisir et du Sport, gouvernement du Québec.
Avis rédigé par M^{me} Claudine Blanchet, Ph.D., et M. Guy Thibault, Ph.D., sous la direction du D^r François Croteau et de MM. Pierre Gauthier, Ph.D., et Gaston Godin, Ph.D., 40 pages.

*Membres du comité de direction de la rédaction

TABLE DES MATIÈRES

FAITS SAILLANTS	6
INTRODUCTION	8
OSTÉOPOROSE	10
Prévalence	11
Facteurs de risque	12
Conséquences physiques, économiques et psychologiques	13
ADAPTATION DES OS AUX ACTIVITÉS PHYSIQUES AVEC MISE EN CHARGE	16
RÔLE DE L'ACTIVITÉ PHYSIQUE AUX DIFFÉRENTS STADES DE TRANSFORMATION DE L'OS	18
Stade d'évolution la plus marquée: Maximisation de la masse osseuse chez les enfants et les adolescents	18
Activité physique et masse osseuse des enfants	19
Activité physique et masse osseuse des adolescents	20
Stade d'évolution atténuée et de consolidation: Augmentation sensible et maintien de la masse osseuse chez les jeunes adultes	20
Stade d'involution: Atténuation de la diminution de la masse osseuse chez les adultes d'âge moyen ou plus âgés	22
Adultes de moins de 50 ans	24
Adultes de 50 à 65 ans	25
Adultes de plus de 65 ans	26
EFFET PRÉVENTIF DE CERTAINES FORMES D'ACTIVITÉS PHYSIQUES SUR LES RISQUES DE CHUTE	27
Prévention des chutes par l'activité physique	28
ACTIVITÉS PHYSIQUES SUSCEPTIBLES D'AMÉLIORER LA SANTÉ OSSEUSE	29
Exercices recommandés aux différents stades de la vie	29
INVITATION À AGIR	32
CONCLUSION	34
RÉFÉRENCES ET LECTURES SUGGÉRÉES	35

FAITS SAILLANTS

Les professionnels de la santé, les éducateurs, de même que toute autre personne concernée, pourront intégrer l'information suivante à leur discours et à leur pratique tout en étant certains qu'elle est étayée de données fiables.

- 1** La pratique régulière de certains types d'activités physiques est essentielle à la santé osseuse à chaque période de la vie, car elle :
 - a. renforce les os en améliorant leur contenu minéral et leur architecture;
 - b. freine la diminution de la résistance des os liée au vieillissement;
 - c. améliore la posture et la mobilité;
 - d. développe et entretient la sensibilité proprioceptive, l'équilibre, la flexibilité, la souplesse et l'agilité, ce qui réduit le risque de chute et, donc, de fracture.

- 2** Les déterminants de la santé osseuse sont certes nombreux (génétique, alimentation, nordicité, etc.), mais la fréquence et la régularité de la pratique d'activités physiques avec mise en charge, particulièrement avant et pendant la puberté, sont très importantes.

- 3** Les activités physiques qui peuvent améliorer la résistance d'un os sont celles qui lui imposent une mise en charge dynamique et fréquente. Il s'agit donc d'activités d'intensité relativement élevée où l'on travaille contre la gravité, par exemple, celles incluant de la course à pied ou des sauts. Il s'agit aussi d'exercices qui nécessitent des contractions musculaires concentriques ou excentriques intenses et répétées tels les exercices de musculation. Les contractions musculaires isométriques ne semblent toutefois pas avoir d'effet ostéogénique.

- 4** Les activités avec mise en charge seront d'autant plus bénéfiques qu'elles seront pratiquées souvent, car ce qui importe ce n'est pas tant la durée des séances d'entraînement que leur fréquence.

- 5** Leur pratique s'avère cruciale avant et pendant la puberté, période où se constitue une très grande partie du capital osseux, facteur déterminant de la santé osseuse présente et future. L'idéal consiste à pratiquer régulièrement, dès l'enfance, des activités avec une importante mise en charge puis, à l'âge adulte, d'ajouter des activités qui, en entretenant les qualités physiques et « perceptivo-motrices », réduisent les risques de chute.

- 6** L'augmentation du contenu minéral et de la densité minérale des os observée après quelques mois de pratique régulière d'exercices physiques avec mise en charge va de 1 à 4 %, ce qui s'accompagnerait, selon des études menées sur des animaux, d'une augmentation de 10 à 40 % de la résistance des os. Étant donné que le remodelage de l'os est un processus lent, l'augmentation de la solidité de l'os est sans doute plus marquée après plusieurs années d'entraînement régulier.
- 7** Les activités où le poids corporel est supporté – vélo, kayak, natation et autres formes d'exercices aquatiques – peuvent certes améliorer les qualités musculaires et cardiorespiratoires, mais elles ne comportent pas de stimulations mécaniques des os capables de développer leur résistance autant que les activités incluant de la course à pied, des sauts ou la levée de poids importants (ex. musculation).
- 8** Bien que ce soit avant et pendant la puberté que les gains de solidité osseuse liés aux exercices physiques soient les plus importants, il n'est jamais trop tard pour augmenter son activité physique et en bénéficier sur le plan de la santé osseuse. Les personnes du troisième âge ont intérêt à pratiquer régulièrement et fréquemment des activités avec mise en charge et celles qui favorisent le développement et la préservation de la sensibilité proprioceptive, de l'équilibre, de la flexibilité, de la souplesse et de l'agilité. La musculation est la meilleure façon d'atténuer la sarcopénie (« fonte » musculaire); aussi peut-elle jouer un rôle irremplaçable dans la sauvegarde de l'autonomie des personnes âgées, d'autant plus que les muscles peuvent protéger les os en cas de chute.
- 9** Les personnes atteintes d'ostéoporose peuvent tirer avantage d'un programme d'exercices pourvu qu'il soit adapté à leur condition physique et à leurs besoins.
- 10** Les effets salutaires de certains exercices physiques sur la santé osseuse sont indéniables, peu importe l'âge. Ils s'ajoutent aux arguments déjà connus pour rappeler l'importance de promouvoir la pratique sportive, l'éducation physique dans les établissements d'enseignement, ainsi qu'un mode de vie physiquement actif. De plus, ils soulignent la valeur particulière des activités physiques avec mise en charge (musculation, course à pied, sauts), et celles qui améliorent l'aptitude à éviter les chutes.

INTRODUCTION

L'os est un tissu actif sur le plan métabolique; il est constamment renouvelé. Il joue un rôle important dans les fonctions mécaniques de soutien, de locomotion et de protection des organes vitaux. En l'absence de pathologie, l'os présente une densité minérale, une macroarchitecture (géométrie, taille, forme et épaisseur) et une micro-architecture (organisation de son réseau interne) lui permettant de résister aux stimuli mécaniques qui lui sont appliqués³⁹.

Le présent avis s'appuie sur une synthèse des connaissances scientifiques quant au lien entre l'activité physique et la santé osseuse^a. Les professionnels de la santé, les éducateurs, de même que toute autre personne concernée, y trouveront les arguments démontrant le rôle capital, à chacune des périodes de la vie, de la pratique régulière de certains types d'activités physiques sur la santé osseuse.

- Pendant la croissance, elle permet de constituer un capital osseux plus élevé, facteur déterminant de la santé osseuse présente et future, et de développer une architecture interne des os qui leur confère une plus grande solidité.
- À l'âge adulte, elle retarde la diminution de la densité minérale osseuse et la dénaturation de l'architecture interne des os.
- Au troisième âge, elle réduit les risques de fracture en atténuant la déminéralisation osseuse liée au vieillissement et en diminuant les risques de chute.

Plusieurs problèmes de santé peuvent affecter les os : troubles de croissance squelettique, rachitisme, décalcification, ostéomalacie, maladie de Paget, etc. C'est toutefois l'ostéoporose qui a la prévalence la plus élevée, de même que les fractures qui peuvent en découler en cas de chute, de coup ou de mise en charge dépassant un certain seuil d'intensité. C'est aussi le problème de santé osseuse pour lequel la pratique régulière de certaines activités physiques peut jouer un rôle clé sur les plans de la prévention et du traitement, en plus de réduire les risques de chute. Pour toutes ces raisons, le présent avis traite d'ostéoporose et de fracture, et non des autres problèmes de santé osseuse.

Santé osseuse : Dans le contexte du présent avis, l'expression santé osseuse fait référence à la résistance des os, à l'aptitude à éviter les fractures en cas de chute, de coup, de torsion ou de tout autre stress mécanique auquel les os peuvent être soumis.

Contenu minéral osseux : Quantité de tissu osseux exprimée en grammes (g).

Densité minérale osseuse : Mesure, exprimée en grammes par centimètre carré^b (g/cm²), utilisée comme indice de la résistance des os au stress mécanique dans le dépistage de l'ostéoporose et le suivi de son traitement. Une augmentation d'un pourcentage donné du contenu minéral ou de la densité minérale d'un os découlant de la pratique régulière d'exercices physiques s'accompagnerait, selon des études menées sur des animaux, d'un pourcentage d'augmentation de la résistance osseuse à peu près dix fois plus important.

Ostéocytes : Cellules des os qui synthétisent le tissu osseux; ce sont les cellules osseuses mûres les plus nombreuses. Les ostéocytes sont reliés entre eux, ainsi qu'aux ostéoblastes à la surface de l'os, par les *canalicules*, un réseau de minuscules canaux remplis de liquide interstitiel.

Ostéoblastes : Ostéocytes au stade où ils sécrètent le collagène (notamment).

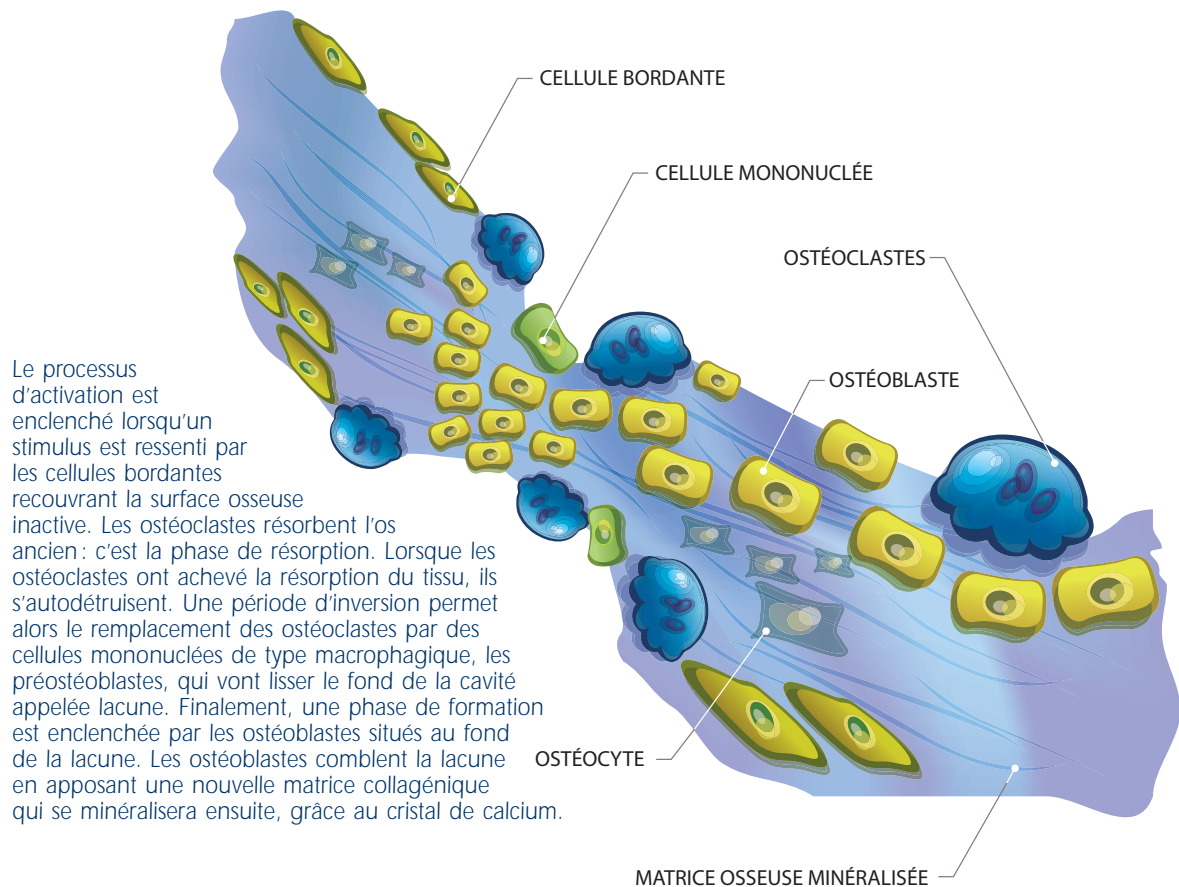
Ostéoclastes : Cellules des os qui résorbent le tissu osseux.

Les ostéoblastes travaillent en synergie avec les ostéoclastes, d'où le remodelage perpétuel de la structure de l'os selon les contraintes auxquelles il est soumis.

a. Il ne sera donc pas question de médication ni d'alimentation. Rappelons cependant qu'un apport suffisant en calcium et en vitamine D est un élément clé de la santé osseuse.

b. À cause de la méthode utilisée pour la mesurer, la densité minérale osseuse est en fait une densité *de surface* et non une densité volumétrique.

Figure 1. REMODELAGE DE L'OS



Au-delà de la densité minérale osseuse: la résistance des os

Dans la majorité des études sur la santé osseuse, on apprécie cette dernière en mesurant le contenu minéral et la densité minérale des os. Or, la santé de l'os, c'est-à-dire sa résistance au stress mécanique, dépend de bien d'autres facteurs dont sa dimension, sa forme, sa micro-architecture, pour n'en nommer que quelques-uns.

Pour mettre en perspective l'effet d'une augmentation donnée du contenu minéral d'un os ou de sa densité minérale sur sa résistance, il faut examiner les études avec un modèle animal. Robling et ses collaborateurs (2002) ont entraîné des rats trois fois par semaine pendant seize semaines¹³⁰. La densité minérale osseuse et le contenu minéral osseux des rongeurs avaient augmenté respectivement de 5,4 et 6,9%, mais la résistance de leurs os s'était accrue de 64%.

Ainsi, une petite augmentation de la densité minérale osseuse s'accompagne d'une augmentation très importante (environ dix fois plus grande) de la résistance osseuse. L'augmentation marquée de la résistance de l'os qui accompagne tout changement, même minime, de la densité minérale tient notamment au fait que le tissu osseux qui apparaît en réaction au stress mécanique est formé principalement dans les zones médiales et latérales de l'os, là où la force s'est exercée^{145, 146}.

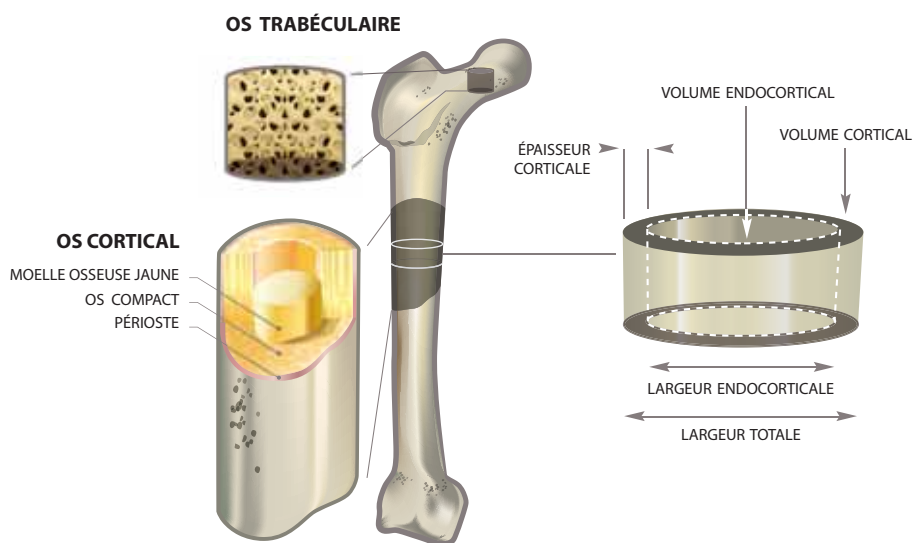
OSTÉOPOROSE

L'ostéoporose est une affection d'un ou de plusieurs os qui est caractérisée par une fragilité osseuse et un risque accru de fracture découlant notamment d'une masse osseuse basse et d'altérations micro-architecturales du tissu osseux^{14, 70}. La densité minérale des os tend normalement à diminuer au fil des ans chez les personnes âgées, mais on parlera d'ostéoporose si cette densité est inférieure à la valeur moyenne déterminée chez les jeunes adultes de même sexe et de même race, moins 2,5 écarts types. Elle est dite sévère si à ce profil s'ajoute une fracture ostéoporotique.

L'ostéoporose est classifiée en deux groupes : primaire et secondaire^c. C'est surtout d'ostéoporose *primaire* – le type le plus répandu – dont il est question dans le présent avis. Elle résulte de l'ostéopénie, c'est-à-dire d'une diminution du contenu minéral osseux, qui se produit lorsque la résorption ou la dégradation des

cellules osseuses se fait à un taux plus élevé que sa formation. La résistance mécanique de l'os dépend non seulement de sa densité minérale, mais aussi de sa macroarchitecture et de sa micro-architecture (figure 2)^{10,39}.

Figure 2. ANATOMIE DE L'OS ET PARAMÈTRES STRUCTURAUX CONTRIBUANT À LA RÉSISTANCE³⁹



Les déterminants macroarchitecturaux de la solidité de l'os sont sa taille, sa forme et l'épaisseur corticale. Les déterminants micro-architecturaux sont le nombre, l'épaisseur et le degré d'espacement entre les connexions du réseau trabéculaire. On appelle « os trabéculaire » (ou os spongieux) la partie d'un os qui est formée de travées de soutien; on en trouve à l'intérieur des vertèbres, du bassin, des os plats et des extrémités des os longs. Très dense, l'os cortical (ou os compact) se trouve dans la diaphyse des os longs.

c. L'ostéoporose est dite *secondaire* ou *iatrogène* lorsque la faible densité minérale osseuse est consécutive à une autre maladie ou à des traitements médicamenteux, notamment aux glucocorticoïdes synthétiques (souvent prescrits pour leurs effets anti-inflammatoires). Elle peut se manifester chez les jeunes adultes, tout autant que chez les personnes plus âgées.

L'ostéoporose primaire est subdivisée en ostéoporose postménopausique et en ostéoporose relative au vieillissement. L'ostéoporose postménopausique se produit habituellement chez les femmes de plus de 50 ans^d; elle est en grande partie liée à la diminution de la quantité d'œstrogènes dans le sang qui caractérise la ménopause. Elle affecte principalement le tissu spongieux, notamment celui des poignets, des vertèbres et de la hanche. Chez les personnes âgées de plus de 70 ans, l'ostéoporose relative au vieillissement affecte une femme sur deux et un homme sur quatre.

Une **fracture ostéoporotique** (aussi appelée fracture de fragilisation) est une fracture consécutive à l'ostéoporose qui survient lorsque l'os subit une force d'une intensité qui ne devrait normalement pas provoquer de fracture: chute d'une position debout ou assise, coup mineur ou toux^{15, 71}.

Contrairement à l'arthrose, qui s'attaque aux articulations et aux tissus environnants, l'ostéoporose demeure généralement indolore tant qu'il n'y a pas de fracture ostéoporotique documentée^e. Ainsi, les personnes atteintes d'ostéoporose ne sont informées de leur condition que si elles subissent une fracture, si elles font un test d'évaluation de la densité minérale osseuse ou une radiographie. Par ailleurs, une dégénérescence vertébrale marquée se traduit par une posture sérieusement affectée (cyphose ou « bosse de sorcière ») et diminution importante de la taille^f.

PRÉVALENCE

L'ostéoporose est l'une des principales maladies chroniques associées au vieillissement. Elle constitue un problème de santé publique. On estime qu'environ 1,4 million de Canadiens, les deux sexes confondus, vivent actuellement avec l'ostéoporose. En 2000, selon les résultats de l'Étude canadienne multicentrique sur l'ostéoporose (CaMos^g), la prévalence de l'ostéoporose était de 15,8% chez les Canadiennes et de 6,6% chez les Canadiens de 50 ans et plus¹⁴³, 76,6% des femmes et 93,4% des hommes affectés par l'ostéoporose ne le savaient pas¹³³.

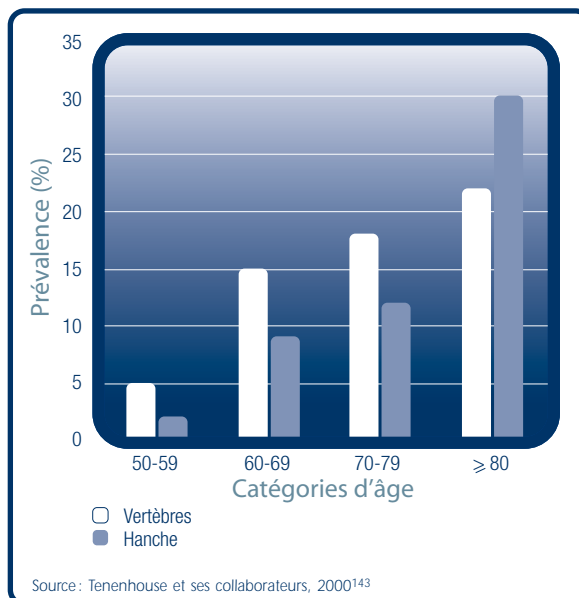
d. L'âge moyen de la ménopause chez les Québécoises est de 51 ans.

e. Plus de six fractures vertébrales sur dix sont indolores; souvent, elles ne sont découvertes que lorsqu'une radiographie est effectuée pour une autre raison.

f. La gravité causant une compression des os, on considère normale une diminution de la taille d'environ 1 cm entre 30 et 50 ans et de presque 2 cm entre 50 et 70 ans chez les hommes. Chez les femmes, cette réduction est d'environ 5 cm entre 25 et 75 ans.

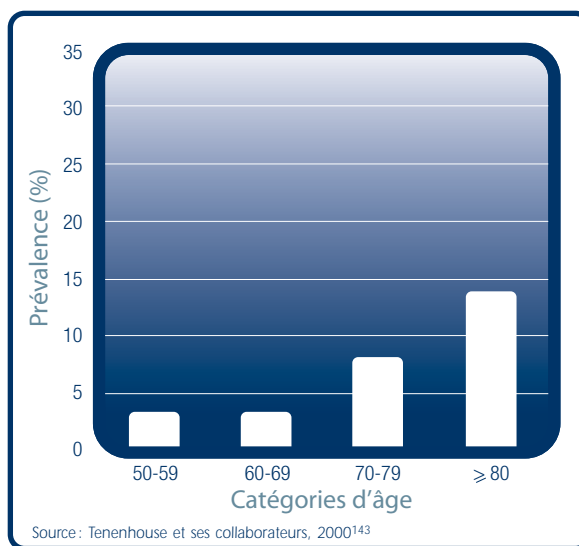
g. CaMos: *Canadian Multicentre Osteoporosis Study*; voir: www.camos.org.

Figure 3. PRÉVALENCE DE L'OSTÉOPOROSE AUX VERTÈBRES ET À LA HANCHE CHEZ LES CANADIENNES DE 50 ANS ET PLUS, SELON LA CATÉGORIE D'ÂGE (N = 4761)



En 2000, parmi les femmes de 80 ans et plus, deux sur dix étaient atteintes d'ostéoporose aux vertèbres, et trois sur dix à la hanche.

Figure 4. PRÉVALENCE DE L'OSTÉOPOROSE À LA HANCHE CHEZ LES CANADIENS DE 50 ANS ET PLUS, SELON LA CATÉGORIE D'ÂGE (N = 1871)



En 2000, environ un homme sur neuf âgé de 80 ans et plus était atteint d'ostéoporose.

SÉDENTARITÉ

Cette importante prévalence de l'ostéoporose n'est pas étrangère au fait qu'une bonne partie de la population fait peu d'activité physique. Au Québec, en 2005, plus de quatre adolescentes sur dix (44 %) et un adolescent sur quatre (25 %) étaient moyennement, peu ou pas actifs pendant leurs moments de loisir, c'est-à-dire qu'ils n'atteignaient pas la moitié du volume recommandé d'activité physique. De même, plus de quatre adolescents sur dix (garçons : 44 %, filles : 43 %) marchaient moins d'une heure par semaine pour leurs déplacements utilitaires.

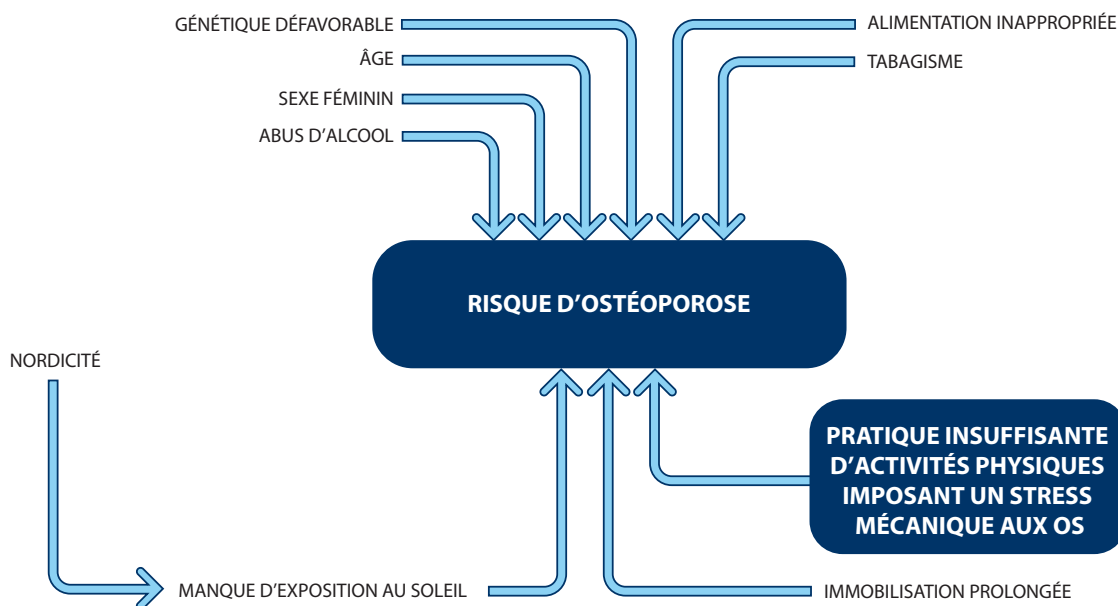
Chez les adultes, environ un sur quatre (hommes : 26 %, femmes : 23 %) était sédentaire durant ses loisirs et plus de la moitié des hommes (55 %) et des femmes (51 %) marchait moins d'une heure par semaine pour se déplacer⁶⁷. Par ailleurs, toutes les personnes physiquement actives ne font pas nécessairement des activités où il y a suffisamment de mise en charge pour entraîner un effet positif sur la résistance des os.

Dans le contexte du présent avis, on entend par **activité physique avec mise en charge** toute activité où les contractions musculaires s'accompagnent de tensions suffisamment importantes sur les os pour favoriser leur solidification. Il peut s'agir d'activités sportives, de plein air, de mise en forme ou de danse accompagnées de course, de sauts ou de contractions musculaires particulièrement intenses comme la musculation (voir la section *Activités physiques susceptibles d'améliorer la santé osseuse*, page 29).

FACTEURS DE RISQUE

Les études épidémiologiques indiquent qu'outre l'âge et la nordicité (exposition moins importante, en hiver, aux rayons du soleil favorables à la production de vitamine D), les facteurs de risque d'ostéoporose primaire sont d'ordre génétique et liés aux habitudes de vie (figure 5). Ils sont par ailleurs cumulatifs et agissent tout autant sur la constitution du capital osseux que sur sa réduction avec le vieillissement.

Figure 5. FACTEURS DE RISQUE D'OSTÉOPOROSE PRIMAIRE



Certains des facteurs de risque d'ostéoporose primaire ont trait aux habitudes de vie et peuvent donc être atténués, notamment la sédentarité.

Au Québec, en période hivernale, le taux de participation à des activités physiques diminue comparativement aux autres saisons¹¹⁷. Toute la population devrait être encouragée à trouver une activité qui convient à cette période, car les effets salutaires de la pratique d'activités physiques avec mise en charge, notamment sur la masse osseuse, s'atténuent peu de temps après l'interruption de la pratique.

Le risque de fracture de la hanche est deux fois plus élevé chez les femmes dont la mère s'est déjà fracturée la hanche. En fait, chez les personnes qui ont une alimentation saine et un mode de vie physiquement actif, on estime que l'hérédité explique 70 à 80% de la variance de la hauteur du pic de masse osseuse^h, meilleur indice de prédiction du risque d'ostéoporose^{53, 138}.

Cela dit, il demeure que tout autre facteur étant par ailleurs égal, le volume d'activité physique avec mise en charge est un important vecteur de réduction du risque d'ostéoporose. En effet, la sédentarité, tout comme une alimentation pauvre en calcium, freine le développement du capital osseux et en accélère le déclin. En fait, la pratique insuffisante, à l'adolescence, d'activités avec mise en charge est un facteur de risque d'ostéoporose³⁷ tout aussi important que la génétique.

Pic de masse osseuse

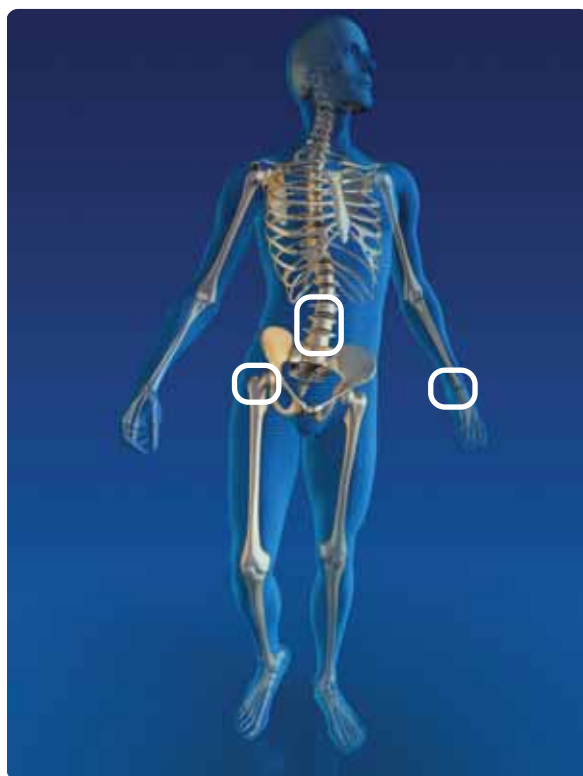
La masse osseuse augmente pendant l'enfance et l'adolescence pour atteindre généralement sa valeur maximale – appelée pic de masse osseuse – au début de l'âge adulte, soit au cours de la vingtaine chez les femmes et de la trentaine chez les hommes. Une augmentation de la hauteur du pic de masse osseuse équivalente à un écart type (soit de 10 à 15%) permettrait de réduire de 25 à 50% le risque de fracture associée à l'ostéoporose⁴².

CONSÉQUENCES PHYSIQUES, ÉCONOMIQUES ET PSYCHOLOGIQUES

La qualité de vie des personnes atteintes d'ostéoporose peut être sérieusement compromise à la suite d'une fracture. Les fractures à la hanche, souvent dues à une diminution de la résistance de l'os, provoquent une réduction prolongée de la mobilité et de l'autonomie.

Les Caucasiennes de 50 ans et plus sont les plus touchées par les fractures ostéoporotiques, car le risque qu'elles soient victimes d'une fracture de la hanche (extrémité supérieure du fémur), des vertèbres (colonne dorsale basse ou lombaire haute) ou du poignet est d'environ 40%^{12, 36, 91}. De plus, les déformations au niveau de la colonne vertébrale qui sont associées à l'ostéoporose (cyphose ou « bosse de sorcière ») s'accompagnent de douleurs dorsales invalidantes et de difficultés respiratoires en raison d'une compression de la cage thoracique.

Figure 6. LES OS LES PLUS À RISQUE DE FRACTURE



Tous les os peuvent être sujets à une fracture de fragilisation, à l'exception de la patella (rotule), des os du crâne, de la face, des mains et des pieds ainsi que de la colonne cervicale⁷¹. Les conséquences sont différentes selon la fracture. Par exemple, les fractures du poignet surviennent plus souvent chez les femmes de la mi-trentaine et leurs conséquences sont habituellement de plus courte durée que celles des fractures vertébrales, ces dernières touchant davantage les personnes de plus de 60 ans et pouvant augmenter la morbidité. Les fractures de la hanche se produisent surtout à un âge avancé – à 80 ans, en moyenne – et provoquent généralement une invalidité permanente¹⁴⁸.

h. On comprend que la stature, fortement dépendante de l'héritage génétique, détermine pour une large part la masse osseuse.

Risque de fracture chez les Caucasiennes et les Caucasiens des États-Unis (âgés de 50 ans)

	Femmes (%)	Hommes (%)
Hanche	17,5	6,0
Vertèbres	15,6	5,0
Avant-bras	16,0	2,5
L'un ou l'autre de ces membres	39,7	13,1

Source : Cummings et Melton, 2002

À peu près 20 % des femmes et 40 % des hommes meurent dans l'année qui suit une fracture de la hanche^{25,89}; une femme sur deux perd son autonomie et 19 % d'entre elles ont besoin de soins prolongés ou permanents²⁵. À titre de comparaison, soulignons qu'au cours de leur vie, les femmes risquent davantage d'être victimes d'une fracture de la hanche (une femme sur six) que d'un cancer du sein (une femme sur neuf)^{35, 102}.

Au niveau mondial, à cause des différences démographiques, génétiques, alimentaires, sociales et économiques, le nombre de fractures de la hanche diffère beaucoup d'un pays à l'autre. En 1990, les projections mondiales indiquaient que le nombre annuel estimé de fractures de la hanche passerait de 1,3 à 2,6 millions en 2025, et à 4,5 millions en 2050⁵⁷.

Au Canada, en 2001, les conséquences économiques des fractures de la hanche s'élevaient à 650 millions de dollars¹⁵⁵. On prévoyait alors qu'au cours des 25 prochaines années, le Canada devrait dépenser au moins 32,5 milliards de dollars en traitement de fractures ostéoporotiques, si aucune mesure n'était prise pour prévenir l'ostéoporose. En 2005-2006, les hôpitaux canadiens ont enregistré environ 28 200 fractures de la hanche⁶⁶; dans 88 % des cas, les patients étaient âgés de 65 ans ou plus.

On estime que les coûts en soins (hospitalisation, soins externes et pharmacothérapie) attribuables à l'ostéoporose au Canada étaient de 1,3 milliard de dollars en 1993ⁱ; on pourrait avancer qu'ils atteignaient alors à peu près 300 millions de dollars au Québec^{54,91}. Étant donné l'augmentation du nombre de personnes âgées – en 2041, au Canada, une personne sur quatre aura plus de 65 ans – et

étant donné qu'une grande partie de celles-ci font peu d'activité physique, on peut s'attendre à ce que la prévalence de l'ostéoporose et les coûts en soins de santé qui en découlent monteront en flèche au cours des prochaines décennies, au Québec comme dans le reste du Canada¹²².

Les fractures dues à la fragilisation des os, cause importante de morbidité, ont généralement de graves conséquences psychologiques, notamment un effet négatif sur l'estime de soi, l'image corporelle et l'humeur. Les femmes à qui l'on apprend qu'elles font de l'ostéoporose réagissent souvent en réduisant le volume et l'intensité de leurs activités physiques utilitaires et récréatives, par peur d'être victimes de fractures. D'où le cercle vicieux : moins d'exercice physique, moins de stimulation de la minéralisation des os, sarcopénie et diminution des habiletés motrices augmentant le risque de chute et de fracture (figure 7).

La **sarcopénie** est la réduction progressive de la masse musculaire associée au vieillissement. Elle perturbe la qualité de vie des personnes âgées, car la réduction de la mobilité et de l'activité physique qui s'ensuit précipite l'apparition d'altérations métaboliques (adiposité accrue, baisse de la sensibilité à l'insuline), et augmente le risque de chute et de fracture, en particulier du col du fémur. Ainsi, la sarcopénie associée à l'âge peut conduire au développement de ce que certains appellent «**sarcoporose**», par analogie avec ostéoporose^j.

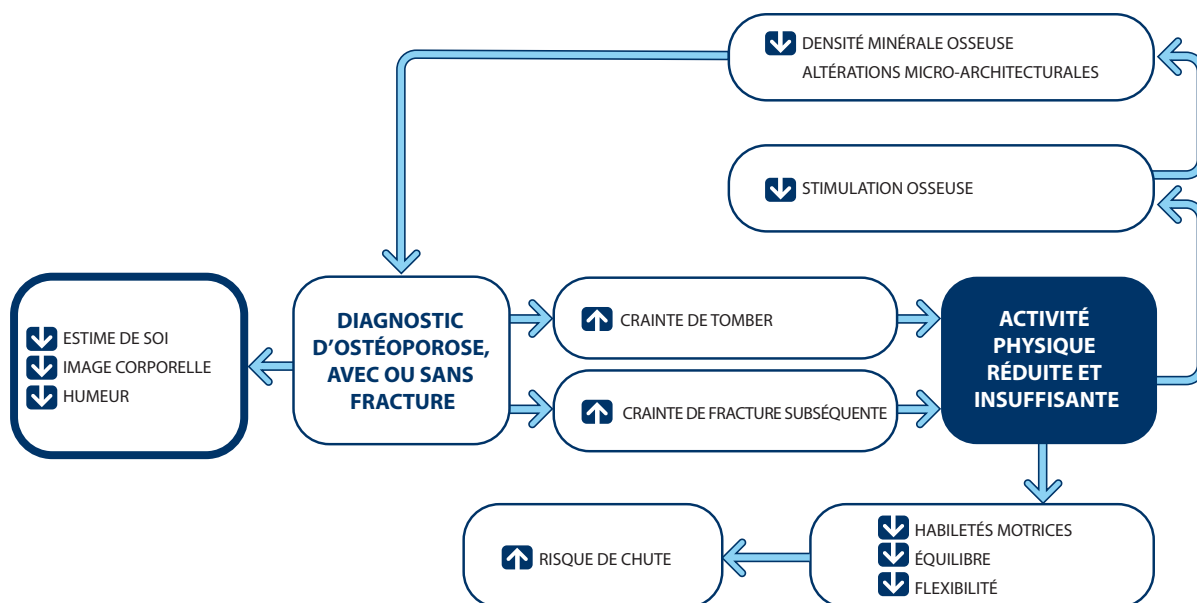
La masse musculaire diminue d'environ 15 % par décennie chez les personnes sédentaires de plus de 25 ans, à peu près deux fois moins chez les personnes qui font régulièrement des exercices physiques comportant des contractions musculaires intenses⁹.

Comme le faisait ressortir l'avis du Comité scientifique de Kino-Québec, *L'activité physique, déterminant de la qualité de vie des personnes de 65 ans et plus* (2002), la musculation est la meilleure façon d'atténuer la sarcopénie et, donc, de préserver l'autonomie des personnes âgées.

i. Il n'existe pas de données canadiennes plus récentes à ce sujet.

j. Notamment le professeur Yves Boirie de l'Université d'Auvergne à Clermont-Ferrand : voir : www.amicalien.com/membres/nid2860-nutrition- vieillissement-et-muscle-a-sarcopenie-ou-sarcoporose.htm

Figure 7. RÉPERCUSSIONS PSYCHOLOGIQUES ET COMPORTEMENTALES D'UN DIAGNOSTIC D'OSTÉOPOROSE



Un diagnostic d'ostéoporose, associé ou non à une fracture, peut être à l'origine d'un cercle vicieux aux conséquences multiples dû en grande partie à la crainte de tomber en faisant de l'exercice.

Une enquête menée en 2004 aux États-Unis auprès de femmes ayant déjà eu une fracture ostéoporotique a révélé que :

- 89 % avaient peur d'être victimes d'une autre fracture;
- 80 % avaient peur d'être moins aptes à effectuer leurs activités quotidiennes;
- 80 % avaient peur de perdre leur indépendance;
- 73 % étaient conscientes qu'elles ne pourraient plus faire autant d'activités avec leur famille et leurs amis;
- 68 % étaient inquiètes qu'une autre fracture les confine à une maison de soins¹⁴⁸.

Il n'est pas surprenant que ces femmes se soient senties isolées et impuissantes, car leur qualité de vie et leur autonomie ont été grandement compromises. Il est probable qu'une forte proportion des hommes atteints d'ostéoporose éprouvent des craintes semblables.



ADAPTATION DES OS AUX ACTIVITÉS PHYSIQUES AVEC MISE EN CHARGE

La pratique régulière de certaines formes d'activités physiques peut contribuer à réduire de 20 à 35 % le risque de fracture, non seulement parce qu'elle diminue le risque de chute chez les personnes âgées¹⁹, mais aussi parce qu'elle a un effet direct sur la résistance des os, et ce, à tout âge.

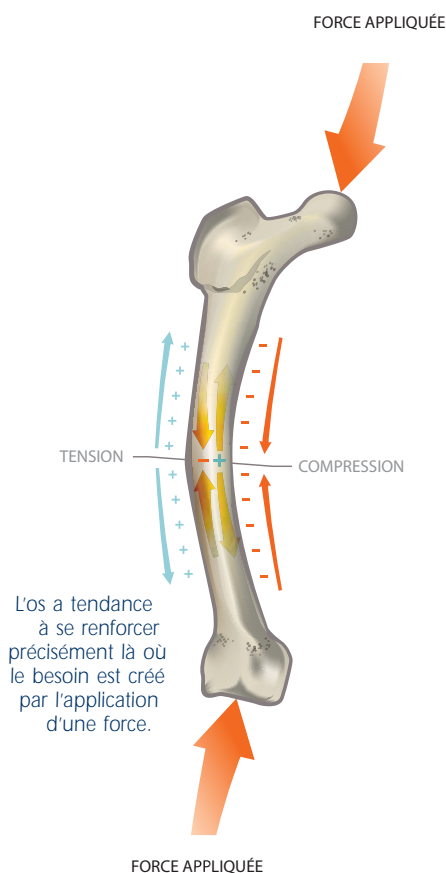
En effet, le tissu osseux sain présente une capacité remarquable d'adaptation aux contraintes mécaniques associées aux contractions des muscles: il devient plus solide, d'où le risque moins élevé de fracture. La charge appliquée sur l'os pendant l'exercice physique varie selon le mouvement, la force appliquée, la vitesse du mouvement et le nombre de répétitions. À noter cependant que l'application d'une seule force, qu'elle soit intense ou prolongée (exercice isométrique), ne s'accompagne pas d'une adaptation de l'os comme c'est le cas avec une application répétée^{81,85}.

La **piézoélectricité** est une propriété que possèdent certains corps (dont les os) de se polariser électriquement sous l'action d'une contrainte mécanique.

La réponse du tissu osseux à une stimulation mécanique est un phénomène biologique fondamental qui permet au squelette de s'adapter aux contraintes environnementales auxquelles il est soumis. En 1983, H. M. Frost avance pour la première fois l'idée d'un mécanisme régulateur de la masse et de l'architecture osseuses appelé «mécanostat» ou «mécanotransduction»⁴⁷. Depuis lors, plusieurs recherches sont venues soutenir et enrichir cette hypothèse. L'os ayant des propriétés piézoélectriques, il génère un potentiel électrique (séparation de charges opposées) en réaction à l'application de toute contrainte mécanique^{48,134}. Une charge négative apparaît sur la surface osseuse compressée, tandis qu'une charge positive apparaît sur la surface opposée (figure 8). Les ions positifs de calcium libres sont attirés vers la surface négativement chargée de l'os et s'y déposent en plus grande quantité⁶⁴. Cette calcification préférentielle des zones soumises à la compression persiste jusqu'à 48 heures après la déformation occasionnée par la stimulation mécanique, fournissant en quelque sorte au tissu osseux un système de mémoire des tensions appliquées au cours de l'exercice physique¹³⁷.

Ainsi, la masse et la géométrie du squelette s'adaptent en fonction des forces qui y sont appliquées. Les mouvements où la charge est suffisamment élevée s'accompagnent d'une déformation de l'os qui suscite une réponse favorable: son contenu minéral augmente et son architecture interne s'améliore, d'où l'augmentation de sa résistance.

Figure 8. ADAPTATION DE L'OS À UN STRESS MÉCANIQUE¹³⁴



Les ostéocytes jouent un rôle important dans le transfert des signaux mécaniques^{64, 86} (voir figure 1). Lorsqu'un os est soumis à une force, il se crée un gradient hydrostatique de pression dans le réseau caniculaire. Comme ces gradients sont équilibrés par l'intermédiaire du mouvement du fluide extracellulaire des régions de haute pression vers les régions de basse pression, des forces de cisaillement agissent sur les membranes plasmiques des ostéocytes et des ostéoblastes. Les cellules osseuses sont très sensibles à ces forces de cisaillement : elles répondent par une cascade de réactions cellulaires qui produisent une modification de leur activité. Au-delà d'une certaine déformation, la formation osseuse est enclenchée ou accélérée si le processus est en cours. À l'inverse, une diminution des charges observée, par exemple, lorsque l'activité physique est réduite, s'accompagne d'une détérioration de l'architecture de l'os et d'une perte de minéraux, d'où la diminution de sa résistance.

On sait depuis le début des années 1970 que le tissu osseux répond à une stimulation dynamique, mais pas à une stimulation statique⁶³. Plus les forces appliquées sur l'os sont élevées, plus la déformation est grande et plus l'anabolisme osseux est important^{16, 105, 106}. Par exemple, pendant des activités physiques sollicitant principalement les membres inférieurs, les os de ceux-ci peuvent supporter des contraintes égales à plusieurs G^k : 3 G pendant la course à pied, 10 G et plus pour des exercices de gymnastique et 20 G pour un triple saut³⁹.

Les cellules osseuses deviennent désensibilisées lorsque la stimulation mécanique est appliquée sur une longue période, sans interruption. Umemura et ses collègues (1997) ont démontré que des rats entraînés à sauter plusieurs fois par jour augmentaient la masse de leur tibia et de leur fémur, mais que la réponse anabolique devenait saturée après 40 répétitions¹⁴⁷. Les rats qui faisaient 100 sauts par jour n'amélioraient pas davantage la masse de leurs os. L'aptitude de l'os à s'adapter à un stress mécanique est maximale en début d'exercice, puis s'atténue par la suite de manière logarithmique. Selon les données recueillies par Umemura et ses collègues, l'os perdrait environ 95 % de sa « mécanosensibilité » après une vingtaine de répétitions.

Robling et ses collaborateurs (2001) ont observé le même phénomène. Ils ont appliqué une force sur le tibia de rats lors de séances de 360 stimulations divisées en 4 périodes de 90 stimulations entrecoupées de pauses de 0,5, 1, 2 ou 4 heures. L'effet ostéogénique s'est avéré d'autant plus important que la période de répit était longue. En fait, avec une période de répit de 4 heures, la formation de tissu osseux était pratiquement doublée¹³⁰.

On peut en déduire que la réponse ostéogénique à l'exercice physique sera d'autant plus prononcée que le programme inclura des périodes de repos entre les périodes d'exercice. Aussi vaut-il mieux diversifier ses activités et faire de fréquentes séances d'exercices avec mise en charge plutôt que de longues séances, si l'on veut maximiser sa santé osseuse.



k. Une force de x G s'applique sur un corps si cette force est x fois plus grande que le poids de ce corps.

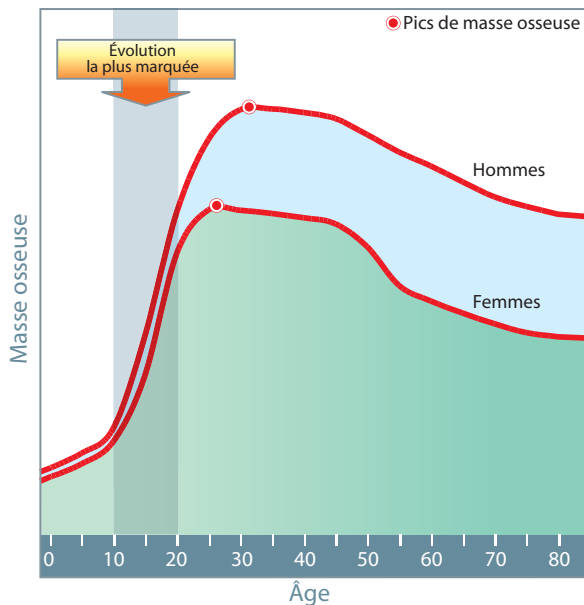
RÔLE DE L'ACTIVITÉ PHYSIQUE AUX DIFFÉRENTS STADES DE TRANSFORMATION DE L'OS

La pratique régulière d'activités physiques où l'on doit supporter son poids ou déplacer des poids importants a des effets bénéfiques sur la santé osseuse, et ce, tout au long de la vie. Elle permet de :

- maximiser l'accumulation des minéraux dans les os pendant l'enfance et l'adolescence (phase d'évolution) et, ainsi, de maximiser la hauteur du pic de masse osseuse qui sera atteint plus tard,
- maintenir la masse osseuse au début de l'âge adulte (phase de consolidation),
- diminuer la perte osseuse à un âge plus avancé (phase d'involution).

Voilà notamment pourquoi il faut amener les personnes de tout âge à adopter un mode de vie physiquement actif et, surtout, à le conserver.

Figure 9. STADES D'ÉVOLUTION DE LA MASSE OSSEUSE

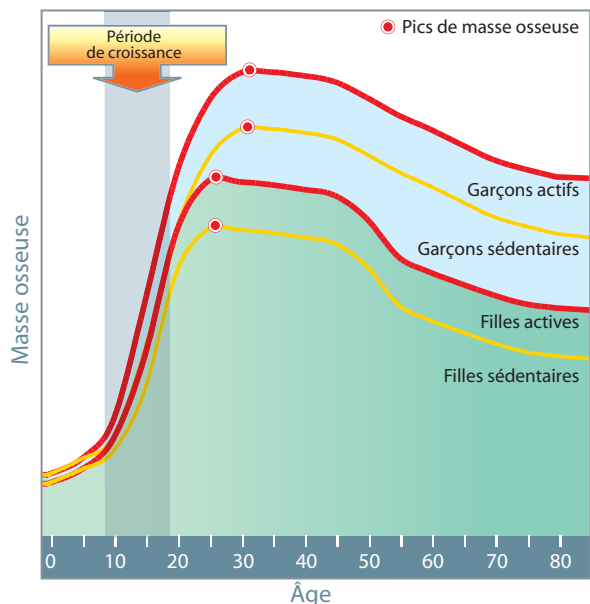


La hauteur du pic de masse osseuse (atteint pendant la vingtaine ou la trentaine) est un déterminant important de la solidité des os à un âge plus avancé.

STADE D'ÉVOLUTION LA PLUS MARQUÉE : MAXIMISATION DE LA MASSE OSSEUSE CHEZ LES ENFANTS ET LES ADOLESCENTS

La croissance osseuse se poursuit jusqu'à la fin de la vingtaine chez les femmes et jusqu'au début de la trentaine chez les hommes, mais c'est avant et pendant la puberté que le taux de croissance de la masse osseuse est le plus marqué. La densité minérale osseuse s'accroît avec l'augmentation de la taille et du poids corporel de l'enfant, tant chez les filles que chez les garçons^{2,92,111,125}. À la puberté, la croissance du squelette s'accroît. Étant étroitement liée au processus de maturation sexuelle^{1,2,153}, l'augmentation maximale du contenu minéral osseux survient à 11 ou 12 ans chez les filles et environ un an et demi plus tard chez les garçons. La grosseur et la résistance future des os dépendent fortement du degré de minéralisation qui aura été atteint pendant la période de croissance. À l'âge adulte, la masse osseuse des femmes est inférieure à celle des hommes à cause de la différence de taille et de géométrie des os, et non à cause de la densité osseuse^{128,135,136}.

Figure 10. ÉVOLUTION DE LA MASSE OSSEUSE, SELON L'ÂGE ET LE NIVEAU D'ACTIVITÉ PHYSIQUE AVANT ET PENDANT LA PUBERTÉ



La pratique régulière et fréquente d'activités avec mise en charge pendant la croissance, particulièrement avant et pendant la puberté, maximise l'accumulation de minéraux dans les os.

ACTIVITÉ PHYSIQUE ET MASSE OSSEUSE DES ENFANTS

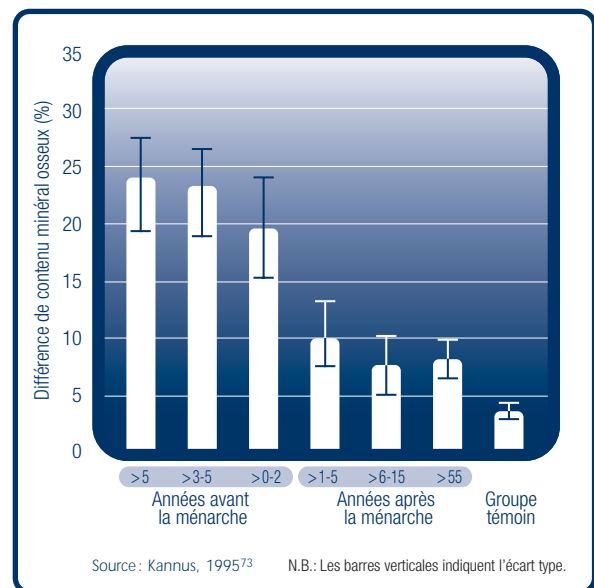
Il a été observé que la masse osseuse est plus élevée chez les enfants actifs qui participent à des activités avec des forces d'impact élevées^{20,33,78,139}. Aussi la plupart des recherches sur la santé osseuse des enfants visent-elles à cerner l'effet d'activités physiques et de sports comportant des sauts.

Fuchs et ses collaborateurs (2001) ont étudié, chez 89 enfants de 6 à 10 ans, les effets des sauts à grand impact au sol⁵⁰. Les enfants devaient sauter 100 fois par séance (3 séances de 20 minutes par semaine), du haut d'un bloc de 61 cm (la force de réaction au sol équivaut à 8 fois celle du poids corporel). Après sept mois, par rapport aux enfants du groupe témoin qui faisaient des exercices d'étirement, on a observé chez les enfants du premier groupe une plus grande augmentation de la densité minérale osseuse des vertèbres lombaires (2,1 % contre 1,0 %).

Après ces premiers résultats positifs, d'autres études ont été menées afin d'évaluer l'effet à long terme, sur la hauteur du pic de masse osseuse, de la pratique d'activités physiques et sportives avec sauts et impacts. Petit et ses collaborateurs (2002) ont démontré que, comparativement aux jeunes d'un groupe témoin, les enfants aux stades précoces de puberté (stades 2 et 3 de Tanner) qui suivent un programme de sauts bénéficient d'une plus grande augmentation de la densité minérale du col fémoral (2,6 %), de même que d'une amélioration de la micro-architecture (2,3 %) et de la résistance des os^l (4,0 %)¹²⁴. Le programme comportait 100 sauts par jour avec un impact au sol représentant 3,5 à 5 fois le poids corporel, 3 jours par semaine, pendant 7 mois. Vingt mois plus tard, les chercheurs ont fait une réévaluation de 75 enfants qui avaient poursuivi cette activité⁹⁴. Par rapport aux valeurs initiales, la masse osseuse lombaire et celle du col fémoral avaient continué d'augmenter respectivement de 3,7 et de 4,6 %. D'autres études indiquent qu'au cours d'une période aussi courte qu'une année scolaire, la pratique régulière de sports où il y a des sauts avec impact relativement élevé, comme la gymnastique, le volleyball, le soccer et le basketball, améliore la densité minérale osseuse des enfants^{79,99,150}.

Il est donc clair que *pendant* la puberté, un programme d'entraînement intensif amplifie la croissance minérale osseuse. L'adaptation du squelette aux charges mécaniques associées aux activités physiques est toutefois plus importante *avant* la puberté¹⁵³. Une recherche auprès de 105 joueuses de tennis et de squash de haut niveau a en effet révélé que chez les filles ayant commencé la compétition en bas âge, quelques années avant la ménarche^m, la différence de densité minérale osseuse entre le bras dominant et l'autre bras était de deux à quatre fois plus grande, comparativement aux filles ayant débuté plus tardivement, soit à 15 ans et plus (figure 11)⁷³.

Figure 11. DIFFÉRENCE DE LA DENSITÉ MINÉRALE OSSEUSE DES BRAS GAUCHE ET DROIT DES FILLES QUI FONT DES SPORTS DE RAQUETTE, SELON L'ÂGE AU DÉBUT DE L'ENTRAÎNEMENT



L'effet salutaire de l'exercice physique sur la santé osseuse est plus important avant que pendant la puberté.

l. Résistance des os : Indicateur de la capacité de l'os à résister à une flexion, estimée selon les différentes caractéristiques de l'os.

m. Ménarche : Apparition des premières règles.

ACTIVITÉ PHYSIQUE ET MASSE OSSEUSE DES ADOLESCENTS

Une étude longitudinale canadienne, d'une durée de six ans, a prouvé que l'activité physique joue un rôle crucial dans l'optimisation de la résistance osseuse pendant les années de développement du squelette². Ainsi, durant les deux années de croissance osseuse maximale de la puberté, les jeunes gagnaient 26 % de leur pic de masse osseuse. Les résultats ont révélé que les garçons et les filles dans les quartiles supérieurs d'activité physique avaient un contenu minéral osseux de 9 et 17 % plus élevé que leurs pairs du quartile inférieur, soit les sédentaires. Un an après la fin de l'étude, ce qui totalise sept ans de suivi, on a observé que la grosseur et la résistance de l'os du col fémoral étaient supérieures chez les adolescents et adolescentes ayant un niveau jugé « normal à élevé » d'activité physique⁴⁵.

Ces études indiquent clairement qu'un squelette jeune est plus sensible aux stimuli mécaniques des exercices physiques qu'un squelette plus âgé. La pratique d'activités physiques avec sauts ou impacts avant la puberté joue un rôle clé, car elle maximise la hauteur du pic de masse osseuse, d'où une résistance accrue, un avantage qui perdurera. Aussi est-il de la plus grande importance de veiller à ce que les jeunes bougent davantage, et ce, dès l'enfance.

STADE D'ÉVOLUTION ATTÉNUÉE ET DE CONSOLIDATION : AUGMENTATION SENSIBLE ET MAINTIEN DE LA MASSE OSSEUSE CHEZ LES JEUNES ADULTES

Chez les jeunes adultes, la constitution du capital osseux se poursuit, mais moins intensivement que pendant l'adolescence. L'enjeu réside alors dans l'atteinte d'un pic de masse osseuse le plus élevé possible, puis dans le *maintien* de cette masse osseuse. Il s'agit dorénavant de retarder puis de freiner la diminution de la solidité des os associée au vieillissement. À ce stade, le tissu osseux doit :

1. terminer la formation du squeletteⁿ;
2. conserver ses propriétés mécaniques et sa capacité d'adaptation aux contraintes ressenties;
3. être en mesure de réparer des fractures;
4. rendre disponible le calcium qu'il contient.

Pour y parvenir, l'os se renouvelle constamment, c'est ce que l'on appelle le remodelage osseux. Comme le cycle complet de remodelage prend de 180 à 200 jours, on ne peut mettre en évidence les effets bénéfiques d'une augmentation de l'activité physique sur la santé osseuse qu'après une longue période. Jusqu'à maintenant, la plupart des recherches se sont étalées sur des périodes plutôt brèves (quelques semaines à deux ans), ce qui est souvent insuffisant pour révéler un effet anabolique osseux, surtout si l'exercice n'est pas très intense⁸⁵. On peut raisonnablement affirmer que les effets à long terme de la pratique d'activités physiques avec mise en charge sur la solidité des os sont beaucoup plus importants que les augmentations de densité minérale osseuse indiquées dans les rapports de recherche.

Comme le fait ressortir Vuori dans sa revue bibliographique (2001), les jeunes athlètes pratiquant intensivement des activités sportives ont généralement une masse osseuse plus élevée que les non-athlètes¹⁵¹. Ce sont les activités avec des forces d'impact élevées et produites rapidement qui génèrent les plus grandes augmentations de la masse osseuse.

Durant des activités physiques avec sauts, la force d'impact au sol agit sur le squelette et peut représenter six à huit fois le poids corporel, comparativement à la marche et la course à pied où elle est respectivement de une et trois fois le poids corporel¹⁰⁰. Ainsi, des masses osseuses plus élevées, notamment aux vertèbres lombaires et au col fémoral, ont été observées chez des athlètes pratiquant des sports où l'on doit courir et sauter, tels le soccer, le basketball, le volleyball, la gymnastique, la course à pied, le tennis et le squash^{11, 20, 40, 43, 59, 60, 62, 82, 83, 114}. Même constatation pour l'haltérophilie^{62, 101} où la surcharge au niveau des vertèbres peut atteindre cinq à six fois le poids corporel. À l'opposé, des masses osseuses moins élevées ont été observées chez des athlètes pratiquant des sports à impacts plus faibles tels le ski de fond, le patinage de vitesse, la danse et l'aviron^{40, 62, 158} ainsi que des sports où le corps est « porté », comme la natation et le cyclisme^{40, 43, 142}.

n. À 18 ans, les jeunes des deux sexes ont formé de 95 à 99 % de leur masse osseuse. Entre 18 et 23 ans, la masse osseuse peut encore croître de 2 à 3 %⁹⁰. Ainsi, au début de la période adulte, la masse osseuse augmente encore un peu avant son involution⁷.

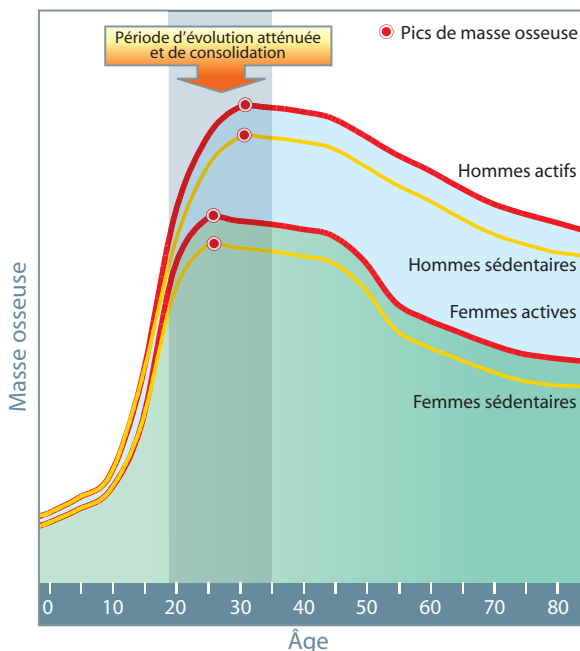
Chez des joueurs de tennis de niveau national, les différences de masse osseuse des avant-bras gauche et droit étaient significativement plus grandes (13 à 25 %) que chez les hommes du groupe témoin (1 à 5 %) qui ne pratiquaient aucune activité physique où l'on utilise plus un bras que l'autre. L'écart persistait quatre ans après que les joueurs aient pris leur retraite⁸².

À ces observations transversales qui soulignent le rôle de certaines activités physiques dans la santé osseuse, s'ajoutent des observations longitudinales. C'est surtout auprès de femmes sédentaires qu'ont été réalisées ces études prospectives sur l'effet d'un programme d'activité physique sur la masse osseuse. Snow-Harter et ses collaborateurs (1992) ont réparti de façon aléatoire des étudiantes sédentaires de 20 ans en trois groupes :

1. un groupe témoin qui ne suivait aucun entraînement;
2. un groupe qui suivait un programme de musculation : 3 séries de 8 à 12 répétitions de 14 exercices sollicitant les muscles des bras, des jambes et du tronc, à 85 % d'une répétition maximale (1 RM)^o, 3 fois par semaine;
3. un groupe qui suivait un programme de course à pied : 70 à 80 % de la fréquence cardiaque maximale avec une augmentation progressive de la distance de 7 à 17 km par semaine.

Après huit mois d'entraînement, une augmentation de la densité minérale des vertèbres lombaires a été observée chez les femmes qui ont fait de la musculation (0,9 %) et chez celles qui ont couru (1,8 %), tandis qu'aucun changement n'a été observé dans le groupe témoin. Si les deux types d'entraînement se sont accompagnés d'augmentations de la densité minérale osseuse, elles étaient plus marquées chez les femmes pratiquant la course à pied¹⁴¹. À ces augmentations de la densité minérale osseuse s'ajoute sans doute une amélioration de la micro-architecture des os, mais il n'est pas possible d'apprécier ces changements sans biopsies osseuses. Rappelons qu'une augmentation de la densité minérale osseuse d'environ 2 % peut signifier une augmentation très importante de la résistance de l'os (environ 20 %)¹³⁰.

Figure 12. CHANGEMENTS DE LA MASSE OSSEUSE CHEZ LES HOMMES ET LES FEMMES, SELON LE NIVEAU D'ACTIVITÉ PHYSIQUE AU DÉBUT DE L'ÂGE ADULTE



La pratique régulière d'activités avec mise en charge atténuée la diminution de la masse osseuse et retarde donc la fragilisation des os associée au vieillissement.

Hawkins et ses collaborateurs (1999) ont comparé l'effet ostéogénique de deux types d'actions musculaires dynamiques : concentrique et excentrique^p. Trois fois par semaine, des jeunes femmes ont effectué 3 séries de 3 RM d'exercices excentriques avec une jambe, et 3 séries de 4 RM d'exercices concentriques avec l'autre jambe^q. Après une courte période de 18 semaines, la force musculaire avait augmenté de manière importante, surtout dans la jambe ayant fait des contractions excentriques. Seuls les exercices avec contractions musculaires excentriques avaient entraîné une augmentation de la densité minérale osseuse fémorale (3,9 %).

o. RM = Répétitions maximales; nombre de répétitions d'un exercice où, à la dernière répétition, il est impossible d'en faire ne serait-ce qu'une de plus sans une période de repos.

p. Contraction musculaire concentrique : les fibres musculaires raccourcissent pendant la contraction. Contraction musculaire excentrique : les fibres musculaires s'allongent pendant la contraction.

q. Le nombre de répétitions de chacun des mouvements a été fixé en tenant compte que le moment de force d'une contraction excentrique est environ 25 % plus élevé que celui d'une contraction concentrique.

Ces résultats attestent l'effet local des sollicitations musculaires et ils suggèrent que les contractions musculaires excentriques ont un effet ostéogénique plus important que les contractions concentriques. À noter cependant que, selon une étude plus récente, les exercices avec contractions musculaires concentriques seraient tout aussi bénéfiques pour la santé osseuse que ceux avec contractions musculaires excentriques¹¹⁶.

Martyn-St James et Carroll (2006b) ont effectué une méta-analyse de sept études expérimentales menées auprès de femmes préménopausées ayant suivi des programmes de musculation intensifs et progressifs. En moyenne, les participantes ont vu leur densité minérale osseuse au niveau lombaire augmenter de 0,014 g/cm², soit d'environ 1%⁹⁸. Kato et ses collaborateurs (2006) ont étudié l'effet de sauts verticaux sur la masse osseuse des jeunes adultes comme l'avaient fait Fuchs et ses collaborateurs chez les enfants⁵⁰. Ils ont réparti 36 femmes de 20 ans en deux groupes : un groupe où les participantes devaient faire 10 sauts verticaux par jour, 3 jours par semaine; un groupe témoin composé de femmes sédentaires. Après six mois, la densité minérale du col fémoral et celle des vertèbres lombaires avaient augmenté respectivement de 2,6 et de 2,4% chez les femmes qui s'étaient entraînées, mais pas chez celles du groupe témoin⁷⁵. Ainsi, au stade de consolidation, la pratique régulière d'activités physiques où il y a des sauts ou des contractions musculaires de grande intensité semble bénéfique pour le maintien et même l'amélioration de la densité minérale des os sollicités.

L'assiduité est donc un élément clé. Autre exemple : une étude réalisée auprès de gymnastes (âge moyen de 18,8 ans) a révélé que la masse osseuse augmentait de 2 à 4% en période de compétition, pour diminuer d'un peu plus de 1% pendant les quatre mois d'arrêt ou d'entraînement moins intensif¹⁴⁰.

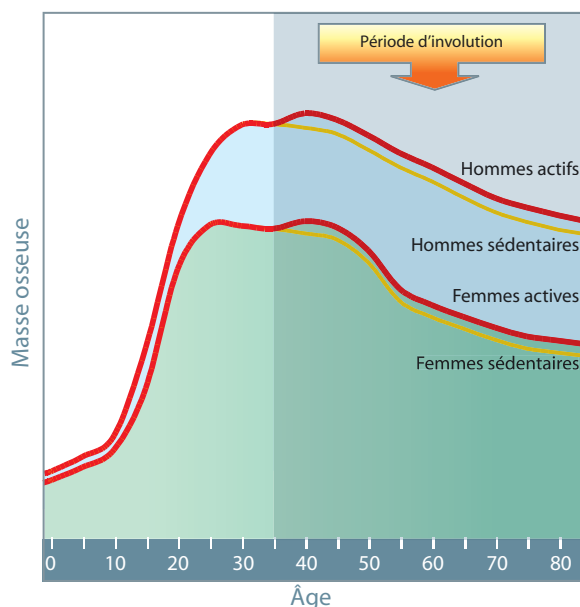
Soulignons que le maintien de la masse osseuse peut être perturbé par la grossesse (la disponibilité du calcium peut être insuffisante pour la mère, étant donné les besoins du fœtus)¹²⁷, de même que par l'aménorrhée (qui peut affecter des athlètes féminines

de haut niveau). Les complications associées à l'arrêt des menstruations, notamment l'altération du profil hormonal (moins d'œstrogènes), compromettent l'anabolisme osseux et l'atteinte d'un haut pic de masse osseuse, d'où le risque de fractures de stress, surtout chez les femmes pratiquant un sport où les forces imposées aux os peuvent être très élevées ou répétées à une très grande fréquence pendant plusieurs heures chaque semaine¹⁵⁴.

STADE D'INVOLUTION : ATTÉNUATION DE LA DIMINUTION DE LA MASSE OSSEUSE CHEZ LES ADULTES D'ÂGE MOYEN OU PLUS ÂGÉS

Après l'âge de 35 ans, le processus de renouvellement osseux ralentit, ce qui se traduit par une perte de masse osseuse de 0,3 à 1,0% par année^{7,31,118}. Avec l'âge, les os s'amincissent peu à peu et deviennent plus fragiles.

Figure 13. CHANGEMENTS DE LA MASSE OSSEUSE CHEZ LES HOMMES ET LES FEMMES, SELON LE NIVEAU D'ACTIVITÉ PHYSIQUE APRÈS 35 ANS



La pratique régulière d'activités physiques avec mise en charge peut modifier favorablement l'évolution de la masse osseuse et, donc, de la résistance des os.

En ce qui a trait à l'architecture des os, déterminant important (bien que plus difficile à objectiver) de leur résistance, le stade d'involution se caractérise par une réduction du nombre de travées osseuses due à la perforation des plus fines d'entre elles⁹⁵. La disparition des travées osseuses aboutit à une diminution importante de la résistance mécanique des os. Tandis que les travées verticales demeurent, les travées horizontales disparaissent, surtout dans les vertèbres. Or, la résistance mécanique de l'os dépend en grande partie des travées horizontales. Le vieillissement s'accompagne aussi d'une diminution du nombre de cellules osseuses et de leur intégrité. Aussi la capacité d'adaptation des os s'atténue-t-elle avec l'âge^{123, 131}.

Travées osseuses: Lamelles osseuses, irrégulièrement disposées qui, parce qu'elles sont reliées, augmentent la résistance de l'os aux contraintes mécaniques.

Dans les vertèbres, une diminution de 50% de la surface de section des travées horizontales provoque une baisse de 75% de la résistance du corps vertébral à la charge mécanique.

L'épaisseur des travées diminue elle aussi avec l'âge, ce qui explique une partie de la perte progressive de la masse osseuse et de la résistance mécanique des os liée au vieillissement (figure 14). C'est un peu comme si on réduisait le nombre de petites poutres à l'intérieur d'un pont: il garderait globalement la même forme, mais il serait beaucoup plus fragile (figure 15).

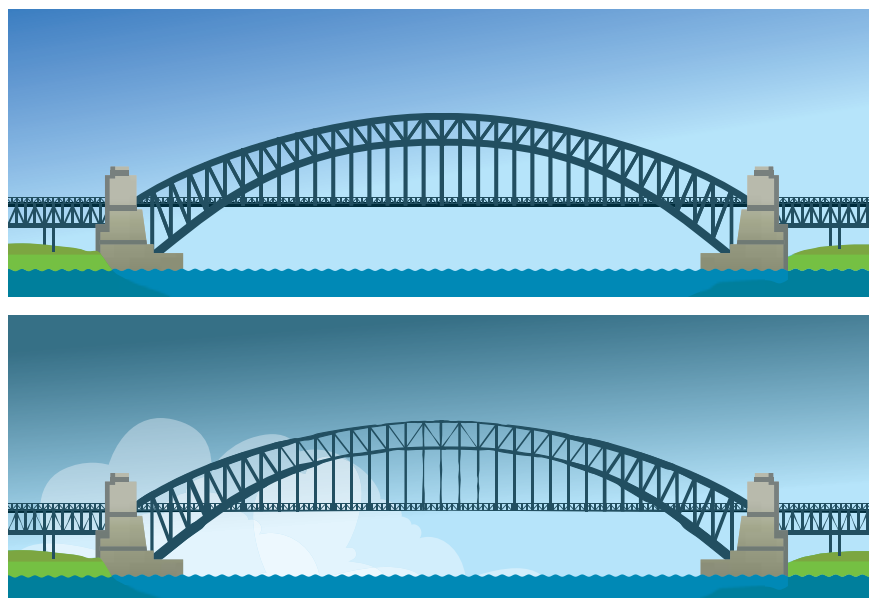
Figure 14. MICRO-ARCHITECTURE OSSEUSE D'UN COL FÉMORAL SAIN ET D'UN COL ATTEINT D'OSTÉOPOROSE

OS SAIN OS OSTÉOPOROTIQUE



La micro-architecture trabéculaire d'un os sain présente un contraste frappant avec celle d'un os atteint d'ostéoporose.

Figure 15. ANALOGIE ENTRE LES TRAVÉES D'UN PONT ET LES TRAVÉES DES OS



Une seule connexion d'un pont augmente de plusieurs fois la charge maximale qui peut être supportée. Dans les vertèbres, une diminution de 50% de la surface de section des travées horizontales provoque une baisse de 75% de la résistance du corps vertébral à la charge mécanique.

ADULTES DE MOINS DE 50 ANS

Les études menées auprès d'adultes d'âge moyen sont peu nombreuses et portent généralement sur une courte période. Le gain de densité minérale osseuse à la suite d'un programme d'activité physique semble plus modeste chez ces derniers que chez les personnes plus jeunes. Cela est vraisemblablement lié à une réduction de la sensibilité de l'os à la contrainte mécanique qui, chez la femme, est étroitement associée à une diminution de la sensibilité des récepteurs aux œstrogènes, conséquence de la carence de cette hormone^{24,49,68}.

Femmes préménopausées

En 2000, une méta-analyse de huit essais cliniques, d'une durée de six à trente-six mois et effectués auprès de femmes préménopausées, a comparé l'effet, sur la perte minérale osseuse liée au vieillissement, d'exercices avec ou sans impact au sol : exercices de nature aérobie avec impact au sol élevé (course à pied, entraînement avec sauts), étirements et exercices de musculation¹⁵². Globalement, la diminution de la densité minérale osseuse dans la région lombaire était atténuée de 1,5 % chez les femmes qui exécutaient des exercices avec impact au sol et de 1,2 % chez celles qui faisaient des exercices ne comportant pas d'impact. On n'a observé aucune différence significative au col fémoral.

Martyn-St James et Carroll ont, dans une autre méta-analyse, évalué l'effet de la musculation intensive sur la densité minérale osseuse de femmes préménopausées⁹⁷. Dans les sept études expérimentales analysées, la majorité des femmes a suivi un programme visant l'hypertrophie musculaire, le développement de la force ou de l'endurance. Ces programmes s'échelonnaient sur une période de cinq à trente-six mois, à raison de trois séances d'entraînement par semaine. Dans l'ensemble, ils se sont accompagnés d'une augmentation de la densité minérale osseuse lombaire (0,014 g/cm², soit 0,98 %). En revanche, on n'a pas observé de changement significatif de la densité minérale osseuse du col fémoral.

Perdre du poids, pas sa masse osseuse

Les femmes qui, pour perdre du poids, réduisent leur apport en calories sans augmenter leur activité physique courent un risque accru de souffrir d'ostéoporose. En effet, selon une équipe de la University of Pittsburgh, même les femmes qui réussissent à conserver un apport suffisant en calcium lorsqu'elles suivent un régime amaigrissant perdent leur masse osseuse davantage que les femmes qui n'ont pas modifié leur diète¹³².

Leur étude a duré 18 mois et a été menée auprès de 236 femmes âgées de 44 à 50 ans. La densité minérale osseuse à la hanche avait diminué deux fois plus chez les 115 femmes qui avaient suivi un régime amaigrissant (elles ont perdu 3,2 kg) que chez les 121 femmes du groupe témoin qui n'avaient pas suivi de diète (elles ont pris un peu de poids). Parmi les femmes qui ont perdu beaucoup de poids (diminution d'au moins 8,0 %), celles qui avaient augmenté leur volume d'activité physique de manière importante (de plus de 4180 kJ/semaine, n = 21) ont subi une moins grande diminution de la densité minérale des vertèbres (environ -0,9 %) que les moins actives (environ -1,85 %, n = 68).



ADULTES DE 50 À 65 ANS

Femmes ménopausées

La majorité des études cliniques sur l'activité physique et la santé osseuse ont été menées auprès de femmes ménopausées^{6,76,97,98,157}. La période de la ménopause s'accompagne d'une perte osseuse plus rapide. Cette perte, liée à une carence en œstrogènes et couplée à l'effet du vieillissement, provoque une diminution de la formation osseuse et un excès de résorption. En conséquence, à 70 ans, environ un tiers de la perte osseuse corticale, partie compacte de l'os, et plus de la moitié de la perte osseuse trabéculaire, partie spongieuse de l'os, peuvent être imputables à «l'effet ménopause»¹⁴⁴. À 80 ans, les femmes auront perdu environ 40% de leur masse osseuse (par rapport au pic de masse osseuse), les hommes environ 25%.

En 2004, l'*American College of Sports Medicine* (ACSM), dans une publication présentant sa position sur l'activité physique et la santé osseuse, concluait que les exercices avec mise en charge avaient des effets bénéfiques sur la santé osseuse, mais qu'il n'y avait pas suffisamment de données pour conclure que les exercices vigoureux atténuent la perte minérale osseuse liée à la ménopause⁸¹. À la suite de cette publication, d'autres études ont rapporté des résultats divergents concernant l'effet de l'activité physique sur les changements de la masse osseuse après la ménopause^{97,98}.

Les conclusions de différentes études transversales et longitudinales révèlent une grande hétérogénéité liée vraisemblablement aux types d'exercices, aux sites osseux ou aux catégories d'âges. Des programmes de marche d'un an n'ont donné que des effets modestes¹¹³ ou aucun effet²¹ sur le maintien de la masse osseuse. Il n'en demeure pas moins que marcher régulièrement pendant de nombreuses années aide probablement à préserver la solidité des os et contribue certainement au maintien de l'équilibre tout en réduisant le risque de chute.

Une revue systématique de la littérature scientifique effectuée en 2006 a permis de répertorier les études cliniques, avec devis expérimental, évaluant les effets de l'entraînement progressif de haute intensité sur la

masse osseuse des femmes postménopausées⁹⁸. Seules les études où l'entraînement comprenait une ou plusieurs séries de huit à douze répétitions avec un poids correspondant à au moins 60% d'un RM, ainsi que deux ou trois séances par semaine, ont été incluses dans cette revue. Au total, 118 études ont été recensées et, de ce nombre, 19 ont été retenues aux fins d'analyse. Toutes les études se sont étendues sur plus de six mois. Le taux de respect des prescriptions d'exercices était généralement très bon (65 à 99%). Les auteurs ont noté une augmentation significative de la masse minérale osseuse lombaire à la suite d'un entraînement intensif de musculation. En revanche, ce type d'entraînement n'a apporté aucun changement significatif du col fémoral et de la hanche.

Hommes

La majorité des recherches axées sur la prévention de l'ostéoporose ont été réalisées auprès de femmes, car l'incidence des fractures de fragilisation n'augmente pas de façon aussi marquée chez l'homme avant l'âge de 80 ou 90 ans³⁶. Les recherches sur l'activité physique et la préservation de la santé osseuse des hommes sont donc moins nombreuses.

Dans une étude évaluant la masse osseuse de joueurs de tennis, les auteurs ont observé que, par rapport aux non-sportifs, ils avaient une densité minérale osseuse supérieure de 15% à la colonne lombaire et de 11% au fémur¹⁷. Une autre étude a été réalisée auprès de 4254 hommes de 20 à 59 ans qui faisaient de la course à pied¹¹². Les hommes qui couraient neuf fois et plus par mois avaient des niveaux de densité minérale osseuse plus élevés que ceux qui couraient moins fréquemment, soit une à huit fois par mois. Dans une autre étude prospective d'une durée de cinq ans sur des hommes d'âge moyen et plus âgés, le taux de perte minérale osseuse était moins élevé chez les coureurs, comparativement à celui observé chez les membres du groupe témoin¹⁰⁴. En 2000, une méta-analyse de huit études concluait que l'activité physique pouvait améliorer ou maintenir la masse osseuse des hommes de plus de 30 ans⁷⁷.

ADULTES DE PLUS DE 65 ANS

Il est bien connu que le vieillissement engendre une fragilité, qui se traduit par une vulnérabilité physiologique, une plus grande difficulté à assurer l'homéostasie ainsi qu'une baisse de l'aptitude à effectuer les activités quotidiennes. À l'issue d'une étude menée auprès de 9 074 femmes de 65 ans et plus, Gregg et ses collaborateurs (1998) ont démontré que chez les femmes les plus actives (celles qui, comparativement aux femmes sédentaires, consacraient plus de temps aux loisirs ainsi qu'aux activités physiques et sportives en plus d'effectuer des tâches ménagères à l'intérieur et à l'extérieur de la maison), le risque de se fracturer une hanche était 36 % moins élevé. Notons que des facteurs tels que l'âge, les habitudes alimentaires ainsi que l'état de santé général des participantes ont été pris en considération. Chez les femmes modérément actives, le risque de fracture était réduit de 42 %⁵⁵.

La perte osseuse liée à l'âge est un phénomène qui a plusieurs causes, dont l'une des plus importantes est vraisemblablement la diminution de la force musculaire. Une étude portant sur les prothèses de la hanche indique que plus de 70 % des tensions sur l'os sont transmises par la force musculaire plutôt que par le poids corporel⁹³. En somme, les forces appliquées sur l'os sont principalement le résultat des contractions musculaires. Or, la perte de la force musculaire commence dès la quarantaine (et même plus tôt chez les personnes sédentaires) et, à 80 ans, cette diminution s'explique notamment par une réduction pouvant aller jusqu'à 40 % du nombre de fibres musculaires.

Selon la théorie du « mécanostat » de Frost, une réduction de la force musculaire diminuerait la charge sur l'os⁴⁸, et la diminution des contraintes mécaniques induit une ostéopénie diffuse, c'est-à-dire une diminution de la masse osseuse. Heureusement, la force musculaire des hommes et des femmes âgés s'améliore de manière spectaculaire avec des exercices de musculation^{23,46}. Le gain de force varie de 30 à plus de 100 % selon les groupes musculaires sollicités et selon la formule d'entraînement. Il résulte d'une hypertrophie des fibres musculaires ainsi que d'une meilleure mise en action des unités motrices. Le gain de force associé aux exercices est habituellement rapide, mais tend à se stabiliser par la suite¹²⁶.

Les programmes d'activités physiques conçus spécialement pour améliorer la force musculaire permettraient aux personnes âgées de demeurer alertes et en forme, ce qui diminuerait le nombre de chutes. Des études de cas portant sur des sujets âgés montrent que ceux qui étaient moins actifs pendant leur vie adulte risquent davantage d'être victimes de fractures de la hanche^{13,32}. Une étude prospective de sept ans menée auprès de sujets masculins a révélé une incidence de fractures de fragilisation moindre chez les hommes qui faisaient davantage d'exercices avec mise en charge⁶⁹.

Dans une autre étude, réalisée auprès de femmes de 60 ans et plus, on a évalué le risque de fracture de la hanche selon les facteurs suivants : le poids corporel à l'âge de 18 ans comparé au poids actuel; les activités physiques pratiquées à différentes périodes de la vie, soit avant l'âge de 18 ans, de 18 à 30 ans et au cours des dernières années⁴¹. Les résultats indiquent que les activités physiques pratiquées au cours des dernières années étaient associées à une diminution du risque de fracture de la hanche : les femmes sédentaires risquaient deux fois plus de se fracturer une hanche que les femmes actives au moins trois heures par semaine. Par ailleurs, l'effet protecteur d'une activité physique récente variait quelque peu selon le poids corporel à l'âge adulte. Ainsi, les femmes qui avaient perdu 3 kg et plus après l'âge de 18 ans et qui pratiquaient une activité physique pendant au moins trois heures par semaine présentaient un risque de fracture de la hanche 76 % moins élevé que les femmes sédentaires.



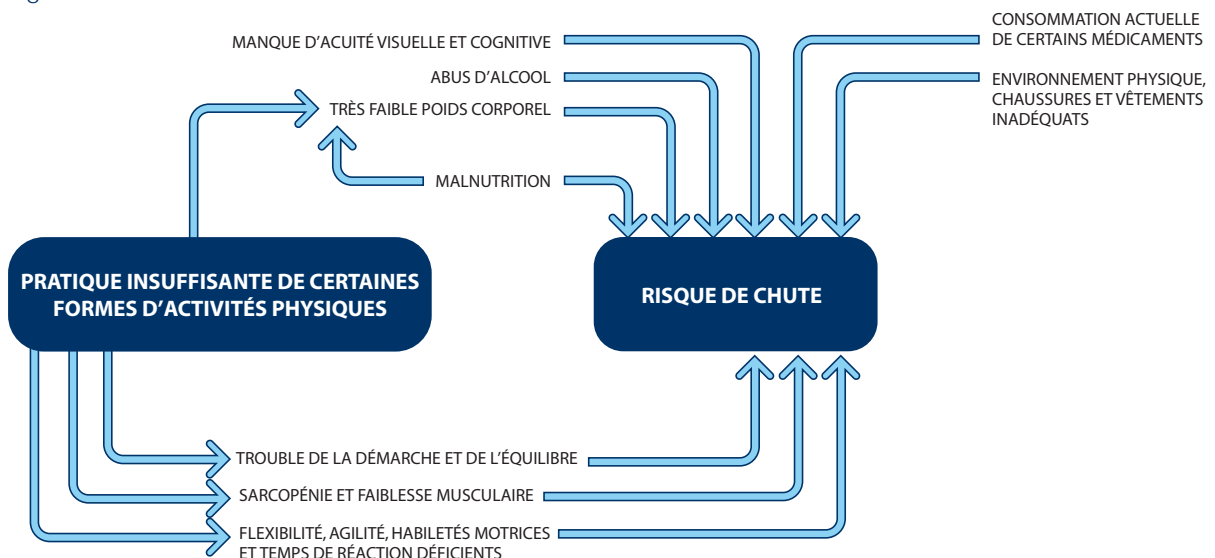
EFFET PRÉVENTIF DE CERTAINES FORMES D'ACTIVITÉS PHYSIQUES SUR LES RISQUES DE CHUTE

Une résistance musculaire amoindrie, une faible tolérance à l'effort et une démarche instable comptent parmi les facteurs de risque de chute pouvant découler d'un manque d'activité physique (figure 16). Près d'une personne sur quatre parmi les 65 ans et plus accuse des signes de fragilité, ce qui accroît le risque de chute, cause majeure de blessures et de fractures, même en l'absence d'ostéoporose. Chaque année, environ 30 % des gens du troisième âge vivant dans la collectivité font une chute et, parmi ceux-ci, la moitié font plus d'une chute^{r, 38, 52}.

On estime que 20 % des chutes nécessitent une évaluation médicale, et que 10 % causent une fracture¹⁰³. Le taux de chute entraînant une hospitalisation chez les femmes est supérieur d'environ 50 % à celui des hommes. Les adultes âgés de 75 à 84 ans constituent le groupe où il y a le plus grand nombre de chutes nécessitant une hospitalisation¹²⁹. Par ailleurs, il est important de souligner que les

médicaments prescrits pour contrer la douleur, pour soulager l'anxiété et pour favoriser le sommeil augmentent le risque de chute⁵. Soulignons que la hausse du risque de chute exige des proches et des membres du réseau de soutien une vigilance constante, sans parler de l'inquiétude qu'elle suscite.

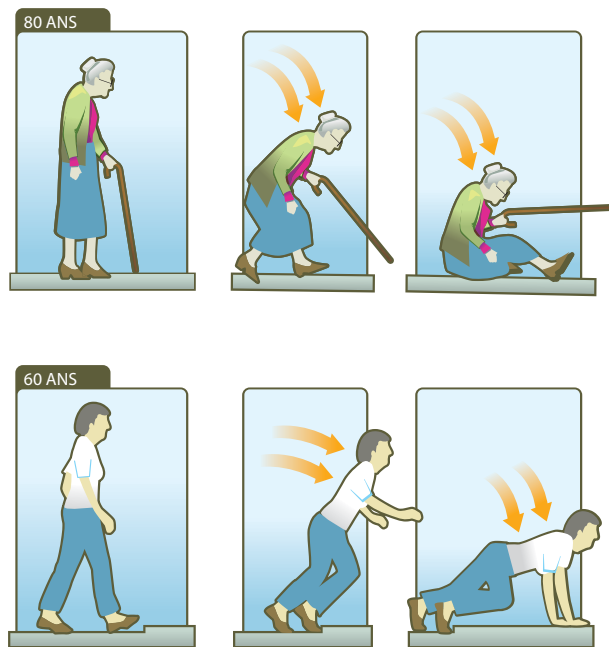
Figure 16. DÉTERMINANTS DU RISQUE DE CHUTE



Le manque d'activité physique occupe une place importante parmi les déterminants du risque de chute.

r. À noter que le port d'un protecteur de hanche réduit de moitié le nombre de fractures de la hanche chez les gens âgés vivant en maison de soins.

Figure 17. TYPES DE CHUTES, SELON LE GROUPE D'ÂGE



À 80 ans, la majorité des chutes survient en marchant ou en descendant lentement un escalier, de sorte que le point d'impact se situe généralement à la hanche ou à l'épaule. À 60 ans, la chute survient plus souvent pendant une marche plus rapide, avec un point d'impact aux poignets et aux genoux.

Le type d'activités physiques qui pourrait contribuer à prévenir les chutes a fait l'objet de nombreuses études, principalement auprès des personnes âgées^{22,51,56}. Il semble, par exemple, que le développement de l'équilibre et de la sensibilité proprioceptive soit crucial. Il devrait donc être un élément clé des programmes d'exercices, particulièrement ceux conçus pour les personnes âgées présentant un facteur de risque élevé.

Par ailleurs, l'amélioration de la force musculaire est l'un des moyens les plus efficaces pour réduire l'incidence des chutes et des fractures. On a vu précédemment qu'elle jouait un rôle déterminant sur la densité minérale osseuse et, donc, sur la solidité des os. Mais il y a plus. En effet, une masse et une force musculaires accrues améliorent l'aptitude à rétablir l'équilibre et augmentent la vitesse de marche (importante pour réduire les risques de collision, notamment dans une foule) ainsi que l'impact absorbé par les muscles, en cas de chute ou de choc⁹⁶. Autre avantage non négligeable, après un programme de musculation, les adultes âgés⁶⁵ et très âgés vivant dans un établissement spécialisé⁴⁴ augmentent leur niveau d'activité physique parce qu'ils se sentent plus agiles et solides.

PRÉVENTION DES CHUTES PAR L'ACTIVITÉ PHYSIQUE

La pratique régulière d'activités physiques peut aider à prévenir les fractures, non seulement en préservant la masse osseuse, mais aussi en réduisant l'incidence des chutes. Les programmes d'exercices axés sur la force musculaire, l'équilibre, la flexibilité et l'agilité ont démontré leur efficacité lorsqu'ils répondent précisément au besoin diagnostiqué chez la personne à risque.



ACTIVITÉS PHYSIQUES SUSCEPTIBLES D'AMÉLIORER LA SANTÉ OSSEUSE

Comme on le faisait ressortir dans les avis précédents du Comité scientifique de Kino-Québec, la pratique régulière de diverses activités physiques améliore et entretient les qualités physiques et motrices : aptitude aérobie, capacité anaérobie, force, puissance et endurance musculaires, composition corporelle, coordination, flexibilité, souplesse, agilité, etc. Elle contribue aussi à réduire le risque d'être atteint de plusieurs problèmes de santé qui affectent une grande partie de la population des pays industrialisés : maladies cardiovasculaires dont les maladies cardiaques ischémiques (angine de poitrine, infarctus du myocarde, insuffisance cardiaque) et l'hypertension, dyslipidémies, diabète de type 2 et certaines formes de cancer.

Qu'est-ce qui caractérise les activités qui ont un effet salutaire sur la santé osseuse? Comme on l'apprend au point suivant, il s'agit d'activités physiques sportives, récréatives et de locomotion où des forces importantes sont appliquées sur les os. Il s'agit également des activités qui développent et entretiennent l'équilibre dynamique, les réflexes, la flexibilité et l'agilité.

Selon quelques études récentes, l'assiduité semble être un élément clé^{58,149,156}. Dans l'une de celles-ci, on a suivi pendant 8 ans des joueuses de soccer âgées en moyenne de 18 ans. Leur activité physique intense après la puberté était associée à une plus grande densité minérale osseuse. Mais, après qu'elles aient abandonné la compétition, leur densité minérale osseuse a diminué plus rapidement que celle d'un groupe témoin composé de femmes du même âge qui avaient continué à pratiquer des activités récréatives¹⁴⁹. Il semblerait que ce soit surtout au cours des trois premières années où la pratique d'activités est réduite que la diminution de la densité minérale osseuse soit la plus prononcée¹¹⁹. Les mêmes conclusions ont été rapportées pour les personnes plus âgées⁷⁴.

Il n'y a pas de contre-indication aux **exercices de musculation** chez les adolescents à condition qu'ils soient effectués sous la surveillance d'un spécialiste, avec une gestuelle techniquement appropriée, sans obligation et dans un contexte qui leur plaît^{8, 88, 115}. La musculation peut être introduite graduellement, dans un cadre sécuritaire.

EXERCICES RECOMMANDÉS AUX DIFFÉRENTS STADES DE LA VIE

DE TROIS ANS JUSQU'À LA FIN DE LA PUBERTÉ

– Stade d'évolution la plus marquée de la masse osseuse, où la réponse de l'os à l'exercice avec mise en charge est maximale, et dont les effets positifs sur la résistance osseuse pourront perdurer.

Recommandation

Dès l'enfance, pratiquer régulièrement des activités ludiques qui imposent un stress mécanique aux os. Une période de mise en charge d'une dizaine de minutes est suffisante pour générer un effet ostéogénique, l'idéal étant qu'elle soit fréquente, soit plus d'une fois par jour, tous les jours. Des activités comportant des sauts répétitifs (ex. saut à la corde) ou des déplacements rapides (tous les jeux ou les sports où il y a de la course à pied ou des sauts) devraient être pratiquées plusieurs fois par semaine, tout au long de l'enfance et de l'adolescence. Les activités avec mise en charge et une alimentation appropriée sont les piliers de la santé osseuse présente et future des enfants et des adolescents.

DE LA FIN DE LA PUBERTÉ JUSQU'À LA TRENTAINE – Stade d'évolution atténuée et de consolidation de la masse osseuse, où l'on cherche à maximiser la solidité des os, puis à retarder et à freiner sa réduction qui survient avec le vieillissement.

Recommandation

Pratiquer régulièrement des activités imposant des contraintes mécaniques inhabituelles et de forte intensité. Plusieurs activités répondent facilement à ces critères : saut à la corde, gymnastique, volleyball, basketball, tennis et autres sports de raquette, course à pied, danse aérobique avec sauts, musculation, etc. Les périodes d'activités physiques auront un effet pratiquement identique, qu'elles soient brèves (une quinzaine de minutes) ou prolongées. Là encore, l'idéal c'est de faire fréquemment des séances qui ne sont pas nécessairement longues.

DE LA TRENTAINE JUSQU'À 50 ANS – Début de l'involution de la masse osseuse où l'on cherche à retarder et à freiner la diminution de la masse osseuse liée au vieillissement, et à consolider la résistance des os en optimisant leur architecture interne.

Recommandation

Poursuivre la pratique régulière d'activités avec mise en charge tel que recommandé pour la période de la fin de la puberté jusqu'à la trentaine. À l'approche de la cinquantaine, réduire progressivement la pratique d'activités où le risque de fracture est élevé (ex. hockey sur glace avec contacts) et augmenter progressivement la pratique d'activités qui développent et entretiennent la sensibilité proprioceptive, l'équilibre, la flexibilité, la souplesse et l'agilité.

APRÈS 50 ANS, SANS DIAGNOSTIC D'OSTÉOPOROSE – Stade d'involution progressivement accrue de la masse osseuse où l'on cherche à freiner la diminution de la masse osseuse liée au vieillissement et à préserver la mobilité et l'aptitude à éviter les chutes.

Recommandation

Suivre un programme complet d'exercices visant le développement et l'entretien de tous les déterminants de la condition physique, soit :

- la force et la puissance musculaires (musculation avec charges relatives élevées),
- l'équilibre statique (ex. yoga, tai-chi, exercices sur planche d'instabilité),
- l'équilibre dynamique (ex. danse, ski de fond),
- l'agilité (ex. exercices au sol, sur ballon suisse),
- la flexibilité (ex. exercices d'étirement),
- l'aptitude aérobie,
- la composition corporelle.



APRÈS 50 ANS, AVEC DIAGNOSTIC D'OSTÉOPOROSE, AVEC OU SANS FRACTURE

– Stade d'involution marquée de la masse osseuse (due notamment à l'immobilisation suivant la fracture), où l'on cherche à rétablir puis à préserver la mobilité, à réduire les douleurs liées à la fracture ostéoporotique, à freiner la diminution de la masse osseuse associée au vieillissement et à préserver l'aptitude à éviter les chutes.

Recommandation

Appliquer la recommandation s'adressant aux personnes de plus de 50 ans sans diagnostic d'ostéoporose, en mettant l'accent sur la sécurité. Il est en effet important :

1. d'éviter les activités physiques avec sauts, charges lourdes, torsions et flexions profondes du tronc, accélérations et décélérations brusques, ainsi que toutes celles à risque de chute élevé;
2. de suivre une progression extrêmement lente des paramètres d'entraînement en débutant avec des activités physiques particulièrement sécuritaires, comme des exercices en piscine;
3. d'insister sur les exercices favorables au maintien d'une bonne posture.

L'entraînement sur plaques vibratoires gagne en popularité depuis la publication de données suggérant qu'il a des effets positifs sur les systèmes neuromusculaires, osseux et neuroendocriniens¹⁸. À faible fréquence et amplitude, les stimulations mécaniques vibratoires pendant le travail musculaire semblent s'accompagner d'une augmentation de la puissance musculaire, en plus de favoriser l'amélioration de l'équilibre.

Les fabricants avancent que l'entraînement sur plaques vibratoires peut freiner la dégénérescence osseuse et améliorer l'équilibre des personnes âgées ou atteintes d'ostéoporose. Bien que le mécanisme grâce auquel les vibrations amélioreraient la densité minérale osseuse ne soit pas encore bien connu, certaines études ont permis de mettre en évidence un effet salubre chez des sujets âgés atteints d'ostéoporose. Les données actuelles qui associent résistance des os et entraînement avec vibrations sont insuffisantes pour établir la valeur de cette forme d'entraînement et, à plus forte raison, pour cerner la formule la plus appropriée³. Par ailleurs, vu sa popularité, il existe un danger que ce type d'entraînement et son équipement soient proposés par des individus qui n'ont pas nécessairement les compétences pour fournir une supervision adéquate.



La natation et les autres formes d'exercices aquatiques, parce qu'elles contribuent à améliorer les qualités musculaires et cardiorespiratoires, peuvent constituer un élément clé d'un programme thérapeutique où le risque de fracture est minime. Cependant, le poids du corps est amoindri dans l'eau. Aussi faut-il admettre que l'exercice physique en milieu aquatique ne s'accompagne pas de stimulations mécaniques des os assez importantes pour développer leur résistance de manière significative, à tout le moins à court ou à moyen termes.

INVITATION À AGIR

Dans les chapitres précédents, on a vu que la pratique régulière d'activités physiques variées contribue à augmenter et à préserver la résistance des os, notamment parce qu'elle accentue l'augmentation de la densité minérale osseuse chez les enfants et les adolescents, et parce qu'elle réduit la perte osseuse à l'âge adulte. Aussi, comme le soulignait le US Surgeon General dans son rapport sur l'ostéoporose publié en 2004, la promotion d'un mode de vie physiquement actif auprès des citoyens de tous âges est-elle nécessaire si l'on veut réduire la prévalence des fractures¹⁴⁸. Elle l'est d'autant plus que les problèmes de santé osseuse risquent d'augmenter au cours des prochaines décennies, notamment parce que trop de Québécois ne font pas suffisamment certaines formes d'activités physiques.

Dans les précédents avis du Comité scientifique de Kino-Québec, on insistait sur l'importance d'intervenir à la fois à l'échelle communautaire et individuelle, tout en créant des environnements physiques et sociaux propices à l'adoption et au maintien d'un mode de vie physiquement actif^{26,27,28,29,30}. On rappelait ainsi que la promotion d'un mode de vie physiquement actif est l'affaire de tous^s, d'où les recommandations suivantes.

Les **parents** devraient :

- donner l'exemple;
- montrer à leurs enfants les habiletés motrices de base;
- les encourager à aller jouer dehors;
- leur faire découvrir des activités physiques qu'ils pourront pratiquer toute leur vie, sans négliger les activités sportives avec mise en charge (comportant sauts et course à pied) qui permettent de constituer une masse osseuse plus importante.

Les **responsables des services de garde** devraient :

- multiplier les occasions amenant les enfants à sauter, courir, grimper, lancer, attraper, etc., et ce, dans une atmosphère ludique et sécuritaire.

Les **acteurs du milieu de l'enseignement** devraient offrir aux jeunes diverses occasions de pratiquer des activités physiques avec mise en charge, grâce à :

- des cours d'éducation physique;
- des cours d'écoles aménagées;
- des récréations animées;
- un service de garde proposant des activités physiques, sportives et de plein air;
- des programmes d'activités intramuros et interscolaires;
- des installations et des équipements disponibles après la classe, y compris la fin de semaine;
- un service de transport permettant aux élèves qui habitent loin de l'école de participer aux activités parascolaires.

Les **élus** et les **responsables municipaux** devraient :

- rendre accessibles, à tous les citoyens, des installations et des équipements d'activités physiques, sportives et de plein air, à proximité de leur lieu de résidence;
- aménager les voies publiques et les nouveaux quartiers de sorte qu'ils favorisent les déplacements non motorisés sécuritaires.

s. La nécessité que plusieurs acteurs s'efforcent de promouvoir un mode de vie physiquement actif est notamment reflétée dans les cibles d'action du programme Kino-Québec¹⁰⁷, dans *Pour un virage santé à l'école: Politique-cadre pour une saine alimentation et un mode de vie physiquement actif*¹⁰, dans *Investir pour l'avenir: Plan d'action gouvernemental de promotion des saines habitudes de vie et de prévention des problèmes reliés au poids 2006-2012*¹⁰⁹ et dans le *Programme national de santé publique 2003-2012*¹⁰⁸.

Les **dirigeants d'organisations sportives et de groupes communautaires** devraient :

- offrir une programmation diversifiée d'activités physiques, sportives et de plein air convenant aux goûts et aux horaires des citoyens, sans négliger celles avec mise en charge qui permettent de constituer une masse osseuse plus importante et d'atténuer sa diminution;
- travailler de concert avec les établissements scolaires et les services municipaux concernés;
- favoriser l'encadrement sportif, de l'initiation au plus haut niveau, en passant par l'activité récréative et la compétition;
- veiller à ce que les personnes chargées d'initier les jeunes, de les animer ou de les entraîner aient les compétences requises pour rendre l'expérience agréable et, ainsi, favoriser une pratique assidue.

Les **kinésologues, les entraîneurs et les physiothérapeutes** devraient :

- continuer à promouvoir la pratique régulière d'activités physiques en se rappelant l'importance des activités avec mise en charge pour la santé osseuse;
- cerner les exercices et les formules d'entraînement les plus appropriés à l'amélioration de la résistance osseuse pour chaque clientèle;
- proposer, notamment aux personnes âgées, des programmes d'entraînement sécuritaires axés sur les exercices qui améliorent la santé osseuse, renforcent les muscles, entretiennent la motricité et réduisent les risques de chute.

Les **professionnels de la santé qui travaillent en clinique** devraient :

- rappeler à leurs patients qu'ils ont intérêt à adopter et à maintenir un mode de vie physiquement actif, tout en ayant une alimentation saine leur procurant un apport suffisant en vitamine D et en calcium;
- leur proposer de pratiquer notamment des activités physiques bénéfiques pour la santé osseuse convenant à leur profil.

Les **professionnels qui travaillent en promotion de la santé publique** devraient :

- poursuivre leurs efforts de promotion d'un mode de vie physiquement actif;
- insister sur les types d'activités physiques qui contribuent le plus à la santé osseuse.



CONCLUSION

À la lumière de l'analyse qu'ont faite les membres du Comité scientifique de Kino-Québec de la documentation scientifique, il ressort que la pratique régulière de plusieurs types d'activités physiques joue un rôle irremplaçable pour la santé osseuse. À chacun des stades de la vie, l'effet bénéfique de l'activité physique sur l'os n'est obtenu que si la pratique est fréquente et régulière.

Pendant l'enfance, à l'adolescence et au début de l'âge adulte, des exercices où des forces relativement élevées sont appliquées sur les os (activités de locomotion où l'on doit supporter son poids, celles avec sauts ou impacts, exercices de musculation à mains libres ou avec des poids ou autres formes de résistance) permettent d'atteindre un plus haut pic de masse osseuse. Chez les adultes tout comme chez les jeunes, la pratique régulière de ces exercices s'accompagne aussi d'une amélioration de l'architecture interne des os, ce qui les rend plus forts et donc moins susceptibles de se briser en cas de chute.

En poursuivant la pratique d'exercices appropriés à l'âge adulte, les hommes et les femmes atteignent un pic de masse osseuse plus élevé, retardent, puis freinent la diminution de la résistance de leurs os associée au vieillissement. Les personnes âgées qui font régulièrement des activités physiques favorisant le développement et l'entretien de l'équilibre dynamique risqueront moins de tomber et, si elles ajoutent des activités avec mise en charge, notamment la musculation, leurs os resteront solides plus longtemps.

En revanche, l'interruption ou la diminution de la sollicitation mécanique des os par l'exercice physique s'accompagne tôt ou tard d'une diminution de leur résistance. Et, chez les personnes âgées, manque d'activité physique rime avec risque accru de chute.

En résumé, peu importe l'âge, une pratique régulière de certaines activités physiques permet d'atteindre et de maintenir une santé osseuse optimale.

RÉFÉRENCES ET LECTURES SUGGÉRÉES^t

1. Bailey DA (1997) **The Saskatchewan Pediatric Bone Mineral Accrual Study: bone mineral acquisition during the growing years.** Int J Sports Med 18(Suppl. 3):S191-4.
2. Bailey DA et al. (1999) **A six-year longitudinal study of the relationship of physical activity to bone mineral accrual in growing children: the University of Saskatchewan Bone Mineral Accrual Study.** J Bone Miner Res 14:1672-9.
3. Bautmans I et al. (2005) **The feasibility of whole body vibration in institutionalised elderly persons and its influence on muscle performance, balance and mobility: a randomised controlled trial.** BMC Geriatr 22:17-24.
4. Beattie K et al. (2007) **Le rôle de la densité osseuse, du renouvellement des cellules osseuses et de l'architecture osseuse dans la détermination de la solidité osseuse.** Geriatrics & Aging 10(Suppl. février):6-11.
5. Beaudreuil J (2006) **Traitements non médicamenteux de l'ostéoporose.** Annales de réadaptation et de médecine physique 49:581-8.
6. Bérard A et al. (1997) **Meta-analysis of the effectiveness of physical activity for the prevention of bone loss in postmenopausal women.** Osteoporos Int 7:331-7.
7. Blanchet C et al. (1998) **Bone mineral density in French Canadian women.** Osteoporos Int 8:268-73.
8. Blimkie CJ (1992) **Resistance training during pre- and early puberty: efficacy, trainability, mechanisms, and persistence.** Can J Sport Sci 17:264-79.
9. Bloesch D et Y Schutz (1989) **Métabolisme énergétique des personnes âgées.** Soc Prev Med 34:67-70.
10. Bono CM et TA Einhorn (2003) **Overview of osteoporosis: pathophysiology and determinants of bone strength.** Eur Spine J 12(Suppl. 2):S90-6.
11. Borer KT (2005) **Physical activity in the prevention and amelioration of osteoporosis in women: interaction of mechanical, hormonal and dietary factors.** Sports Med 35:779-830.
12. Bouchard R (1999) **Ostéoporose, vieillir sans elle: mythe ou réalité?** Le Médecin du Québec 34:91-103.
13. Boyce WJ et MP Vessey (1988) **Habitual physical inertia and other factors in relation to risk of fracture of the proximal femur.** Age & Ageing 17:319-27.
14. Brown JP et RG Josse (2002) **2002 clinical practice guidelines for the diagnosis and management of osteoporosis in Canada.** CMAJ 167:S1-34.
15. Brown JP et M Fortier (2006) **Conférence canadienne de consensus sur l'ostéoporose, mise à jour 2006.** JOGC S111-31.
16. Burr DB et al. (1996) **In vivo measurement of human tibial strains during vigorous activity.** Bone 18:405-10.
17. Calbet JA et al. (1998) **Bone mineral content and density in professional tennis players.** Calcif Tissue Int 62:491-6.
18. Cardinale M et J Wakeling (2005) **Whole body vibration exercise: are vibrations good for you?** Br J Sports Med 39:585-9.
19. Carter ND et al. (2001) **Exercise in the prevention of falls in older people: a systematic literature review examining the rationale and the evidence.** Sports Med 31:427-38.
20. Cassell C et al. (1996) **Bone mineral density in elite 7- to 9-yr-old female gymnasts and swimmers.** Med Sci Sports Exerc 28:1243-6.
21. Cavanaugh DJ et CE Cann (1988) **Brisk walking does not stop bone loss in postmenopausal women.** Bone 9:201-4.
22. Chang JT et al. (2004) **Interventions for the prevention of falls in older adults: systematic review and meta-analysis of randomised clinical trials.** BMJ 328:680-6.
23. Charette SL et al. (1991) **Muscle hypertrophy response to resistance training in older women.** J Appl Physiol 70:1912-6.
24. Cheng MZ et al. (2002) **Human osteoblasts' proliferative responses to strain and 17beta-estradiol are mediated by the estrogen receptor and the receptor for insulin-like growth factor I.** J Bone Miner Res 17:593-602.
25. Chrischilles EA et al. (1991) **A model of lifetime osteoporosis impact.** Arch Intern Med 151:2026-32.
26. Comité scientifique de Kino-Québec (1999) **Quantité d'activité physique requise pour en tirer des bénéfices pour la santé.** Ministère de l'Éducation, gouvernement du Québec, 27 pages.
27. Comité scientifique de Kino-Québec (2000) **L'activité physique, déterminant de la santé des jeunes.** Ministère de la Santé et des Services sociaux, gouvernement du Québec, 24 pages.
28. Comité scientifique de Kino-Québec (2002) **L'activité physique, déterminant de la qualité de vie des personnes de 65 ans et plus.** Secrétariat au loisir et au sport, gouvernement du Québec, 59 pages.
29. Comité scientifique de Kino-Québec (2004) **Stratégies éprouvées et prometteuses pour promouvoir la pratique régulière d'activités physiques au Québec.** Ministère des Affaires municipales, du Sport et du Loisir, gouvernement du Québec, 31 pages.
30. Comité scientifique de Kino-Québec (2006) **L'activité physique et le poids corporel.** Ministère de l'Éducation, du Loisir et du Sport, gouvernement du Québec, 52 pages.
31. Cooper C (1989) **Osteoporosis—an epidemiological perspective: a review.** J R Soc Med 82:753-7.
32. Cooper C et al. (1990) **Sedentary work in middle life and fracture of the proximal femur.** Br J Ind Med 47:69-70.

t. La lecture des documents dont la référence est en bleu est particulièrement recommandée.

33. Courteix D et al. (1998) **Effect of physical training on bone mineral density in prepubertal girls: a comparative study between impact-loading and non-impact-loading sports.** *Osteoporos Int* 8:152-8.
34. Cumming RG et al. (1997) **Calcium intake and fracture risk: results from the study of osteoporotic fractures.** *Am J Epidemiol* 145:926-34.
35. Cummings SR et al. (1989) **Lifetime risks of hip, Colles', or vertebral fracture and coronary heart disease among white postmenopausal women.** *Arch Intern Med* 149:2445-8.
36. Cummings SR et al. (2002) **Epidemiology and outcomes of osteoporotic fractures.** *Lancet* 359:1761-7.
37. Davies JH et al. (2005) **Bone mass acquisition in healthy children.** *Arch Dis Child* 90:373-8.
38. Donaldson MG et al. (2003) **Delivery of optimal falls prevention in community-dwelling older people.** *Geriatrics & Aging* 6:26-30.
39. Ducher G et al. (2006) **Adaptations architecturales du tissu osseux en réponse à l'exercice physique: intérêts et limites des méthodes non invasives utilisées chez l'homme.** *Science & Sports* 21:255-67.
40. Duncan CS et al. (2002) **Bone mineral density in adolescent female athletes: relationship to exercise type and muscle strength.** *Med Sci Sports Exerc* 34:286-94.
41. Farahmand BY et al. (2000) **Physical activity and hip fracture: a population-based case-control study.** Swedish Hip Fracture Study Group. *Int J Epidemiol* 29:308-14.
42. Farpour-Lambert NJ et al. (2004) **Exercice physique et développement osseux de l'enfant malade chronique: Ostéoporose.** *Rev Med Suisse Romande* 124:73-5.
43. Fehling PC et al. (1995) **A comparison of bone mineral densities among female athletes in impact loading and active loading sports.** *Bone* 17:205-10.
44. Fiatarone MA et al. (1994) **Exercise training and nutritional supplementation for physical frailty in very elderly people.** *N Engl J Med* 330:1769-75.
45. Forwood MR et al. (2006) **Physical activity and strength of the femoral neck during the adolescent growth spurt: a longitudinal analysis.** *Bone* 38:576-83.
46. Frontera WR et al. (1988) **Strength conditioning in older men: skeletal muscle hypertrophy and improved function.** *J Appl Physiol* 64:1038-44.
47. Frost HM (1983) **A determinant of bone architecture. The minimum effective strain.** *Clin Orthop Relat Res* 175:286-92.
48. Frost HM (1987) **Bone "mass" and the "mechanostat": a proposal.** *Anat Rec* 219:1-9.
49. Frost HM (1999) **Why do bone strength and "mass" in aging adults become unresponsive to vigorous exercise? Insights of the Utah paradigm.** *J Bone Miner Metab* 17:90-7.
50. Fuchs RK et al. (2001) **Jumping improves hip and lumbar spine bone mass in prepubescent children: a randomized controlled trial.** *J Bone Miner Res* 16:148-56.
51. Gardner MM et al. (2000) **Exercise in preventing falls and fall related injuries in older people: a review of randomised controlled trials.** *Br J Sports Med* 34:7-17.
52. Gass M et al. (2006) **Preventing osteoporosis-related fractures: an overview.** *Am J Med* 119:S3-11.
53. Giguère Y et al. (2000) **The genetics of osteoporosis: 'complexities and difficulties'.** *Clin Genet* 57:161-9.
54. Goeree R (1996) **An assessment of the burden of illness due to osteoporosis in Canada.** *J Soc Obstet Gynaecol Can* 18(Suppl. de juillet):15-24.
55. Gregg EW et al. (1998) **Physical activity and osteoporotic fracture risk in older women.** Study of Osteoporotic Fractures Research Group. *Ann Intern Med* 129:81-8.
56. Gregg EW et al. (2000) **Physical activity, falls, and fractures among older adults: a review of the epidemiologic evidence.** *J Am Geriatr Soc* 48:883-93.
57. Gullberg B et al. (1997) **World-wide projections for hip fracture.** *Osteoporos Int* 7:407-13.
58. Gustavsson A et al. (2003) **Rapid loss of bone mineral density of the femoral neck after cessation of ice hockey training: a 6-year longitudinal study in males.** *J Bone Miner Res* 18:1964-9.
59. Haapasalo H et al. (1994) **Long-term unilateral loading and bone mineral density and content in female squash players.** *Calcif Tissue Int* 54:249-55.
60. Haapasalo H et al. (1996) **Dimensions and estimated mechanical characteristics of the humerus after long-term tennis loading.** *J Bone Miner Res* 11:864-72.
61. Hawkins SA et al. (1999) **Eccentric muscle action increases site-specific osteogenic response.** *Med Sci Sports Exerc* 31:1287-92.
62. Heinonen A et al. (1993) **Bone mineral density of female athletes in different sports.** *Bone Miner* 23:1-14.
63. Hert J, M Lisková et al. (1971) **Reaction of bone to mechanical stimuli. 1. Continuous and intermittent loading of tibia in rabbit.** *Folia Morphol (Prague)* 19:290-300.
64. Huiskes R et al. (2000) **Effects of mechanical forces on maintenance and adaptation of form in trabecular bone.** *Nature* 405:704-6.
65. Hunter GR et al. (2000) **Resistance training increases total energy expenditure and free-living physical activity in older adults.** *J Appl Physiol* 89:977-84.
66. Institut canadien d'information sur la santé (2007) **Indicateurs de santé 2007.** Ottawa, ICIS.
67. Institut national de santé publique du Québec (2007) **Activité physique de loisir et de transport.** Dans: *Santéscope, évolution pour le Québec, habitudes de vie et comportements.* Québec.

68. Jessop HL et al. (2001) **Mechanical strain and estrogen activate estrogen receptor alpha in bone cells.** *J Bone Miner Res* 16:1045-55.
69. Joakimsen RM et al. (1998) **The Tromso Study: physical activity and the incidence of fractures in a middle-aged population.** *J Bone Miner Res* 13:1149-57.
70. Kanis JA (1994) **Assessment of fracture risk and its application to screening for postmenopausal osteoporosis: synopsis of a WHO report. WHO Study Group.** *Osteoporos Int* 4:368-81.
71. Kanis JA et al. (2001) **The burden of osteoporotic fractures: a method for setting intervention thresholds.** *Osteoporos Int* 12:417-27.
72. Kanis JA et al. (2005) **Alcohol intake as a risk factor for fracture.** *Osteoporos Int* 16:737-42.
73. Kannus P et al. (1995) **Effect of starting age of physical activity on bone mass in the dominant arm of tennis and squash players.** *Ann Intern Med* 123:27-31.
74. Karlsson MK et al. (2000) **Exercise during growth and bone mineral density and fractures in old age.** *Lancet* 355:469-70.
75. Kato T et al. (2006) **Effect of low-repetition jump training on bone mineral density in young women.** *J Appl Physiol* 100:839-43.
76. Kelley GA (1998) **Exercise and regional bone mineral density in postmenopausal women: a meta-analytic review of randomized trials.** *Am J Phys Med Rehabil* 77:76-87.
77. Kelley GA et al. (2000) **Exercise and bone mineral density in men: a meta-analysis.** *J Appl Physiol* 88:1730-6.
78. Khan KM et al. (1998) **Self-reported ballet classes undertaken at age 10-12 years and hip bone mineral density in later life.** *Osteoporos Int* 8:165-73.
79. Khan K et al. (2000) **Does childhood and adolescence provide a unique opportunity for exercise to strengthen the skeleton?** *J Sci Med Sport* 3:150-64.
80. Kiel DP et al. (1990) **Caffeine and the risk of hip fracture: the Framingham Study.** *Am J Epidemiol* 132:675-84.
81. Kohrt WM et al. (2004) **American College of Sports Medicine Position Stand: physical activity and bone health.** *Med Sci Sports Exerc* 36:1985-96.
82. Kontulainen S et al. (1999) **Changes in bone mineral content with decreased training in competitive young adult tennis players and controls: a prospective 4-yr follow-up.** *Med Sci Sports Exerc* 31:646-52.
83. Kontulainen S et al. (2002) **Effect of long-term impact-loading on mass, size, and estimated strength of humerus and radius of female racquet-sports players: a peripheral quantitative computed tomography study between young and old starters and controls.** *J Bone Miner Res* 17:2281-9.
84. Krall EA et al. Dawson-Hughes (1991) **Smoking and bone loss among postmenopausal women.** *J Bone Miner Res* 6:331-8.
85. Lafage-Proust MH (2000) **Métabolisme phosphocalcique, tissu osseux et contraintes mécaniques.** *Revue du Rhumatisme* 67:64-71.
86. Lanyon LE (1996) **Using functional loading to influence bone mass and architecture: objectives, mechanisms, and relationship with estrogen of the mechanically adaptive process in bone.** *Bone* 18:37S-43S.
87. Lazowski-Fraher D (2008) **Bone health and osteoporosis.** Dans: Taylor AW et MJ Johnson, *Physiology of exercise and healthy aging*, Human Kinetics.
88. Leblanc J et L Dickson (1997) **Parlons franchement des enfants et du sport.** *Association canadienne des entraîneurs et Les Éditions de l'Homme*, 137 pages.
89. Leibson CL et al. (2002) **Mortality, disability, and nursing home use for persons with and without hip fracture: a population-based study.** *J Am Geriatr Soc* 50:1644-50.
90. Lloyd T et al. (2004) **Lifestyle factors and the development of bone mass and bone strength in young women.** *J Pediatr* 144:776-82.
91. Lorrain J et al. (2003) **Population demographics and socioeconomic impact of osteoporotic fractures in Canada.** *Menopause* 10:228-34.
92. Lu PW et al. (1994) **Bone mineral density of total body, spine, and femoral neck in children and young adults: a cross-sectional and longitudinal study.** *J Bone Miner Res* 9:1451-8.
93. Lu TW et al. (1997) **Influence of muscle activity on the forces in the femur: an in vivo study.** *J Biomech* 30:1101-6.
94. MacKelvie KJ et al. (2003) **A school-based exercise intervention elicits substantial bone health benefits: a 2-year randomized controlled trial in girls.** *Pediatrics* 112:e447-52.
95. Marcelli C (1994) **Bone architecture and mechanical resistance.** *Rev Rhum Ed Fr* 61:37-43.
96. Marks R et al. (2003) **Hip fractures among the elderly: causes, consequences and control.** *Ageing Res Rev* 2:57-93.
97. Martyn-St James M et S Carroll (2006a) **Progressive high-intensity resistance training and bone mineral density changes among premenopausal women: evidence of discordant site-specific skeletal effects.** *Sports Med* 36:683-704.
98. Martyn-St James M et S Carroll (2006b) **High-intensity resistance training and postmenopausal bone loss: a meta-analysis.** *Osteoporos Int* 17:1225-40.
99. McKay HA et al. (2000) **Augmented trochanteric bone mineral density after modified physical education classes: a randomized school-based exercise intervention study in prepubescent and early pubescent children.** *J Pediatr* 136:156-62.

100. McNitt-Gray JL (1993) **Kinetics of the lower extremities during drop landings from three heights.** *J Biomech* 26:1037-46.
101. Meléndez-Ortega A (2007) **Osteoporosis, falls and exercise.** *Eur Rev Aging Phys Act* 4:61-70.
102. Melton LJ, 3rd (2000) **Who has osteoporosis? A conflict between clinical and public health perspectives.** *J Bone Miner Res* 15:2309-14.
103. Meyer G et al. (2003) **Fall and fracture prevention in the elderly.** *Geriatrics & Aging* 6:12-14.
104. Michel BA et al. (1992) **Impact of running on lumbar bone density: a 5-year longitudinal study.** *J Rheumatol* 19:1759-63.
105. Milgrom C et al. (2000) **Do high impact exercises produce higher tibial strains than running?** *Br J Sports Med* 34:195-9.
106. Milgrom C et al. (2000) **In-vivo strain measurements to evaluate the strengthening potential of exercises on the tibial bone.** *J Bone Joint Surg Br* 82:591-4.
107. Ministère de l'Éducation, du Loisir et du Sport (2005) **Les cibles d'action 2005-2008 du programme Kino-Québec.** Québec, 49 pages.
108. Ministère de la Santé et des Services sociaux (2003) **Programme national de santé publique 2003-2012.** Québec, 134 pages.
109. Ministère de la Santé et des Services sociaux (2006) **Plan d'action gouvernemental de promotion des saines habitudes de vie et de prévention des problèmes reliés au poids 2006-2012.** Québec, 51 pages.
110. Ministère de la Santé et des Services sociaux (2007) **Pour un virage santé à l'école; Politique-cadre pour une saine alimentation et un mode de vie physiquement actif.** Québec, 45 pages.
111. Molgaard C et al. (1999) **Whole body bone mineral accretion in healthy children and adolescents.** *Arch Dis Child* 81:10-5.
112. Mussolino ME et al. (2001) **Jogging and bone mineral density in men: results from NHANES III.** *Am J Public Health* 91:1056-9.
113. Nelson ME et al. (1991) **A 1-y walking program and increased dietary calcium in postmenopausal women: effects on bone.** *Am J Clin Nutr* 53:1304-11.
114. Nichols DL et al. (1995) **Relationship of regional body composition to bone mineral density in college females.** *Med Sci Sports Exerc* 27:178-82.
115. Nichols DL, CF Sanborn et AM Love (2001) **Resistance training and bone mineral density in adolescent females.** *J Pediatr* 139:494-500.
116. Nickols-Richardson SM et al. (2007) **Concentric and eccentric isokinetic resistance training similarly increases muscular strength, fat-free soft tissue mass, and specific bone mineral measurements in young women.** *Osteoporos Int* 18:789-96.
117. Nolin B et al. (2002) **Enquête québécoise sur l'activité physique et la santé 1998.** Québec, Institut de la statistique du Québec, Institut national de santé publique du Québec et Kino-Québec, Les Publications du Québec, 137 pages.
118. Nordin BE et al. (1990) **The relative contributions of age and years since menopause to postmenopausal bone loss.** *J Clin Endocrinol Metab* 70:83-8.
119. Nordstrom A et al. (2006) **Sustained benefits from previous physical activity on bone mineral density in males.** *J Clin Endocrinol Metab* 91:2600-4.
120. North American Menopause Society (2006) **Management of osteoporosis in postmenopausal women: 2006 position statement of The North American Menopause Society.** *Menopause* 13:340-69.
121. Oncken C et al. (2002) **Effects of smoking cessation or reduction on hormone profiles and bone turnover in postmenopausal women.** *Nicotine Tob Res* 4:451-8.
122. Papadimitropoulos EA et al. (1997) **Current and projected rates of hip fracture in Canada.** *CMAJ* 157:1357-63.
123. Parfitt AM (1994) **The two faces of growth: benefits and risks to bone integrity.** *Osteoporos Int* 4:382-98.
124. Petit MA et al. (2002) **A randomized school-based jumping intervention confers site and maturity-specific benefits on bone structural properties in girls: a hip structural analysis study.** *J Bone Miner Res* 17:363-72.
125. Ponder SW et al. (1990) **Spinal bone mineral density in children aged 5.00 through 11.99 years.** *Am J Dis Child* 144:1346-8.
126. Pyka G et al. (1994) **Muscle strength and fiber adaptations to a year-long resistance training program in elderly men and women.** *J Gerontol* 49:M22-7.
127. Reed SD et al. (2003) **Longitudinal changes in bone density in relation to oral contraceptive use.** *Contraception* 68:177-82.
128. Riggs BL et al. (2004) **Population-based study of age and sex differences in bone volumetric density, size, geometry, and structure at different skeletal sites.** *J Bone Miner Res* 19:1945-54.
129. Robitaille Y et J Gratton (2005) **Les chutes chez les adultes âgés: vers une surveillance plus fine des données d'hospitalisation.** Institut national de santé publique du Québec Bibliothèque nationale du Québec, 20 pages.
130. Robling AG, DB Burr et CH Turner (2001) **Recovery periods restore mechanosensitivity to dynamically loaded bone.** *J Exp Biol* 204(Pt 19):3389-407.
131. Rubin CT et al. (1992) **Suppression of the osteogenic response in the aging skeleton.** *Calcif Tissue Int* 50:306-13.
132. Salamone LM et al. (1999) **Effect of a lifestyle intervention on bone mineral density in premenopausal women: a randomized trial.** *Am J Clin Nutr* 70:97-103, 1999.
133. Sawka AM et al. (2006) **What is the number of older Canadians needed to screen by measurement of bone density to detect an undiagnosed case of osteoporosis? a population-based study from CaMos.** *J Clin Densitom* 9:413-8.
134. Sazy JA et HM Horstmann (1991) **Exercise participation after menopause.** *Clin Sports Med* 10:359-69.

135. Seeman E (2004) **The growth and age-related origins of bone fragility in men.** *Calcif Tissue Int* 75:100-9.
136. Seeman E et al. (2006) **Bone fragility in men—where are we?** *Osteoporos Int* 17:1577-83.
137. Skerry TM et al. (1990) **Load-induced proteoglycan orientation in bone tissue in vivo and in vitro.** *Calcif Tissue Int* 46:318-26.
138. Slemenda CW et al. (1991a) **Genetic determinants of bone mass in adult women: a reevaluation of the twin model and the potential importance of gene interaction on heritability estimates.** *J Bone Miner Res* 6:561-7.
139. Slemenda CW et al. (1991b) **Role of physical activity in the development of skeletal mass in children.** *J Bone Miner Res* 6:1227-33.
140. Snow CM et al. (2001) **Bone gains and losses follow seasonal training and detraining in gymnasts.** *Calcif Tissue Int* 69:7-12.
141. Snow-Harter C et al. (1992) **Effects of resistance and endurance exercise on bone mineral status of young women: a randomized exercise intervention trial.** *J Bone Miner Res* 7:761-9.
142. Taaffe DR et al. (1997) **High-impact exercise promotes bone gain in well-trained female athletes.** *J Bone Miner Res* 12:255-60.
143. Tenenhouse A et al. (2000) **Estimation of the prevalence of low bone density in Canadian women and men using a population-specific DXA reference standard: the Canadian Multicentre Osteoporosis Study (CaMos).** *Osteoporos Int* 11:897-904.
144. Trémollières F et al. (1992) **Postmenopausal bone loss. Role of estrogens.** *Presse Med* 21:903-6.
145. Turner CH et AG Robling (2003) **Designing exercise regimens to increase bone strength.** *Exerc Sport Sci Rev* 31:45-5.
146. Turner CH et AG Robling (2005) **Exercise for improving bone strength.** *Br J Sports Med* 39:188-9.
147. Umemura Y et al. (1997) **Five jumps per day increase bone mass and breaking force in rats.** *J Bone Miner Res* 12:1480-5.
148. US Department of Health and Human Services (2004) **Bone Health and Osteoporosis: A Report of the Surgeon General.** U.S. Department of Health and Human Services, Office of the Surgeon General, 436 pages.
149. Valdimarsson O et al. (2005) **Reduced training is associated with increased loss of BMD.** *J Bone Miner Res* 20:906-12.
150. Valdimarsson O et al. (2006) **Daily physical education in the school curriculum in prepubertal girls during 1 year is followed by an increase in bone mineral accrual and bone width—data from the prospective controlled Malmö Pediatric Osteoporosis Prevention Study.** *Calcif Tissue Int* 78:65-71.
151. Vuori IM (2001) **Dose-response of physical activity and low back pain, osteoarthritis, and osteoporosis.** *Med Sci Sports Exerc* 33:S551-86; discussion 609-10.
152. Wallace BA et RG Cumming (2000) **Systematic review of randomized trials of the effect of exercise on bone mass in pre- and postmenopausal women.** *Calcif Tissue Int* 67:10-8.
153. Wang OJ et al. (2005) **Influence of physical activity and maturation status on bone mass and geometry in early pubertal girls.** *Scand J Med Sci Sports* 15:100-6.
154. Warren MP et LR Goodman (2003) **Exercise-induced endocrine pathologies.** *J Endocrinol Invest* 26:873-8.
155. Wiktorowicz ME et al. (2001) **Economic implications of hip fracture: health service use, institutional care and cost in Canada.** *Osteoporos Int* 12:271-8.
156. Winters KM et CM Snow (2000) **Detraining reverses positive effects of exercise on the musculoskeletal system in premenopausal women.** *J Bone Miner Res* 15:2495-503.
157. Wolff I et al. (1999) **The effect of exercise training programs on bone mass: a meta-analysis of published controlled trials in pre- and postmenopausal women.** *Osteoporos Int* 9:1-12.
158. Wolman RL et al. (1991) **Different training patterns and bone mineral density of the femoral shaft in elite, female athletes.** *Ann Rheum Dis* 50:487-9.

