

« Mes articulations craquent, c'est grave docteur? »

Les bruits articulaires en question

Dr MATHIEU SAUBADE^a, Dr CHRISTOS KARATZIOS^a, Dr EMILIE LÉONARD^b, CYRIL BESSON^a, Dr GÉRALD GREMION^a et Pr VINCENT GREMEAUX^a

Rev Med Suisse 2017; 13: 1334-8

Les bruits produits par les articulations sont une source de questionnements pour les médecins et leurs patients. Deux principaux types sont identifiés, les craquements et les grincements. Peu d'investigations ont été réalisées sur ces manifestations fréquentes alors qu'elles présentent potentiellement une implication clinique, notamment pour les grincements patellaires dans l'arthrose fémoro-patellaire, et qu'elles peuvent générer de l'anxiété. Les craquements des doigts semblent être provoqués par l'apparition soudaine et temporaire d'une cavité gazeuse intra-articulaire, appelée tribonucléation. Les autres recherches sur ces bruits se portent principalement sur les genoux et leurs liens avec l'arthrose, ainsi que sur le rachis. De nombreuses questions subsistent, mais il est nécessaire d'en parler avec les patients sans les banaliser.

« My joints are cracking, is it serious doctor? » A review about sounds produced by joints

The sounds produced by joints are a common source of questioning for doctors and their patients. Two major types are identified: cracks and crepitus. Few investigations have been carried out on these manifestations, while they potentially have clinical implications, especially for patellar crepitus in patellofemoral osteoarthritis, and may generate anxiety. Knuckle cracking appears to be caused by the sudden and temporary occurrence of an intra-articular gaseous cavity, called tribonucléation. Other researches on these sounds are focused on the knees and their links with osteoarthritis, as well as on the spine. Many questions still arise but it seems important to talk about it with patients without trivializing them.

INTRODUCTION

Les bruits articulaires sont fréquemment retrouvés dans la population. Même s'ils sont rarement douloureux, ils sont une source fréquente d'inquiétudes et de questions auxquelles les médecins ne peuvent souvent pas répondre clairement concernant leurs causes et conséquences. Il existe en effet très peu de recherches sur le sujet et donc peu d'évidences disponibles. Certaines données permettent néanmoins de mieux comprendre ce phénomène commun à d'autres

mammifères.^{1,2} Il en existe différents types, avec de multiples localisations possibles et apparaissant dans diverses circonstances, volontaires ou non. Cet article s'intéresse principalement aux bruits intra-articulaires, même si d'autres bruits sont également décrits, comme lors des ressauts tendineux ou de déchirures ligamentaires.

BRUITS ARTICULAIRES

Le craquement articulaire est brusque, audible, en général associé à une augmentation très temporaire de l'amplitude articulaire, et accompagné d'une période réfractaire avant le suivant. Ce craquement se retrouve plus fréquemment aux articulations métacarpophalangiennes (MCP) et interphalangiennes des mains, mais également aux poignets, épaules, rachis, hanches, genoux, chevilles et orteils. La prévalence de craquement des doigts est d'environ 25 à 45% dans la population,^{3,4} aussi bien masculine que féminine. De multiples hypothèses ont été formulées depuis le début du xx^e siècle pour en expliquer les mécanismes, avec de récentes découvertes permettant d'éclaircir ce mystère.

Craquement volontaire des doigts: à la recherche d'une explication

Ils ont été décrits pour la première fois en 1911,⁵ plutôt en lien avec des articulations lésées,⁶ jusqu'en 1938 où ils le furent également pour des articulations saines.⁷ Dans la première étude publiée en 1947, Roston et Haines ont réalisé des radiographies d'articulations MCP lors d'un craquement provoqué par la traction axiale volontaire des doigts.⁸ Pour la première fois, les différentes séquences furent identifiées: initialement, les surfaces articulaires sont en contact rapproché; ensuite elles s'éloignent l'une de l'autre si l'on applique une légère force distractive; en augmentant la force appliquée, les surfaces résistent à la séparation jusqu'à un point critique où elles se séparent brutalement, produisant ce bruit si caractéristique. Juste après la distraction articulaire, ils ont observé sur les radiographies la formation d'une cavité gazeuse, et attribué le son produit à ce phénomène. De plus, ils ont identifié une période réfractaire sans possibilité de nouveau craquement (10 à 20 minutes). Cette hypothèse est acceptée jusqu'aux travaux d'Unsworth et coll., reproduisant les mêmes séquences radiographiques.⁹ Ces derniers affirment que ce bruit proviendrait de l'éclatement de cette cavité, en s'appuyant sur des travaux de physiiciens concernant la cavitation, responsable de la formations de bulles par les hélices

^a Swiss olympic medical center, Division de médecine physique et réadaptation, CHUV, 1011 Lausanne, ^b Swiss Olympic medical base, Vidysport, Route de Chavannes 9 A, 1007 Lausanne
mathieu.saubade@chuv.ch | christos.karatzios@chuv.ch
cyril.besson@chuv.ch | emilie.leonard@vidymed.ch
gerald.gremion@chuv.ch | vincent.gremeaux@chuv.ch

de bateaux, et connue pour provoquer leur usure précoce.^{10,11} Cette théorie est restée jusqu'à très récemment la plus communément admise, même si d'autres ont été formulées, comme un ressaut ligamentaire¹² ou le phénomène de la tribonucléation.¹³ Ce dernier principe, bien connu en physique, représente la formation d'une cavité gazeuse lorsque deux surfaces proches, plongées dans un fluide visqueux, sont séparées brusquement, la pression négative générée couplée à la vitesse de séparation des deux surfaces créant temporairement cette cavité.¹⁴⁻¹⁶ Un modèle in vitro a été proposé pour illustrer ce phénomène.¹⁷

En 2015, Kawchuk et coll. ont enregistré successivement le craquement par traction axiale des 10 articulations MCP d'un sujet par IRM dynamique (figure 1). Les résultats révèlent l'apparition d'une cavité gazeuse intra-articulaire juste après le craquement, observée pour chacune des 10 MCP testées, mais avec une variation de taille, de forme et de localisation, et persistant après l'émission du son (figure 2, et lien vidéo: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0119470.s002>), confortant la théorie de la tribonucléation. Aucun « éclatement » de cette cavité en microbulles n'est observé, et elle disparaît brutalement à l'arrêt de la traction. Cela implique la présence de gaz dissous dans le liquide synovial (15% de gaz dissous dont 80% de dioxyde de carbone d'après Unsworth).⁹

FIG 1	Méthode pour provoquer un craquement de l'articulation MCP du 2^e doigt dans l'IRM¹³
--------------	--

MCP: métacarpophalangienne.



(Avec l'aimable autorisation des auteurs).

FIG 2	Images IRM avant et juste après le craquement de l'articulation MCP du 2^e doigt
--------------	---

IRM (T1) de la main avant (à gauche) et juste après le craquement de l'articulation MCP du 2^e doigt (à droite). Visualisation de la cavité aérique intra-articulaire (flèche jaune).¹³
MCP: métacarpophalangienne.



(Avec l'aimable autorisation des auteurs).

Encore plus récemment, Boutin et coll. ont comparé 40 sujets asymptomatiques (âge moyen 33 ans), dont 30 réalisant des craquements quotidiens des doigts et 10 contrôles.¹⁸ Soixante-dix-sept pour cent des sujets du premier groupe « craquaient » régulièrement d'autres articulations, contre 30% dans l'autre groupe. Aucune différence n'était retrouvée entre les deux groupes concernant l'examen clinique, différents tests fonctionnels des mains (Quick Dash score, laxité générale (Beighton) et amplitudes articulaires des doigts, force de préhension). Seule une légère augmentation de l'amplitude articulaire juste après avoir « craqué » était retrouvée (143,8 ± 26,5° vs 134,9 ± 28,6°). De plus, un examen échographique des articulations MCP lors de craquements montrait un foyer intra-articulaire hyperéchogène (figure 3, et lien vidéo www2.rsna.org/timssnet/Media/pressreleases/14_pr_target.cfm?id=1851). Une étude similaire confirme ces résultats, sans différence de force de préhension entre les deux groupes (âge moyen 23 ans), mais avec une augmentation significative de l'épaisseur du cartilage des têtes métacarpiennes des deux mains chez les « craqueurs ».¹⁹

Les craquements ont-ils une utilité?

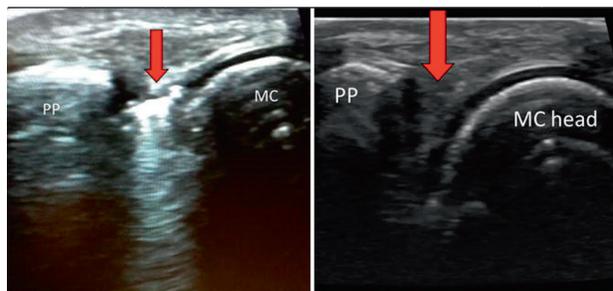
On peut concevoir que l'augmentation d'amplitude articulaire lors de la manœuvre de craquement, même faible, soit associée à une sensation immédiate de soulagement d'une « tension » locale, souvent décrite par les « craqueurs ».¹⁸ D'autres considérations plus comportementales peuvent être évoquées, comme le besoin régulier de devoir mobiliser ses doigts ou des objets au cours de la journée. Les craquements produits seraient alors une adaptation articulaire à ces mobilisations pluriquotidiennes.

Doit-on s'inquiéter?

« Est-ce que cette habitude mène vers l'arthrose? » reste une question fréquemment posée en consultation médicale. Un médecin allergologue américain a réalisé une étude originale et surprenante sur le sujet, qui lui a valu le prix IgNobel, prix parodique du prix Nobel décerné chaque année à des recherches scientifiques insolites.²⁰ Pendant 50 ans, il a fait craquer quotidiennement les articulations des doigts de sa main gauche uniquement, pendant que celles de la main droite n'ont craqué que rarement et uniquement de manière spontanée. A la fin des cinquante années, aucune différence

FIG 3	Images échographiques de l'articulation MCP lors de la traction axiale du doigt
--------------	--

Images juste après le craquement (à gauche) et chez un sujet sans craquement articulaire (à droite). Visualisation d'un foyer intra-articulaire hyperéchogène à gauche et absent à droite (flèches rouges).¹⁸
MCP: métacarpophalangienne.



(Avec l'aimable autorisation des auteurs).

clinique ni radiologique entre les deux mains pouvant évoquer une potentielle atteinte arthrosique n'était retrouvée.²¹ Plus sérieusement, seulement 3 études ont étudié la survenue d'une arthrose des mains. La première ne retrouve aucune association avec le développement d'arthrose chez 28 sujets âgés en moyenne de 78 ans.⁴ La seconde objective un gonflement des mains et une diminution de la force de préhension chez les « craqueurs », mais avec une prévalence d'arthrose radiologique des mains identique (16%) avec les « non-craqueurs », chez 300 participants asymptomatiques (âge moyen 63 ans).³ La troisième ne retrouve aucune différence concernant la prévalence d'arthrose des mains, quelles que soient la durée, la fréquence et la localisation des craquements chez 215 sujets de 50 à 89 ans.²² Ces données semblent donc plutôt indiquer l'absence d'association entre le craquement régulier des doigts et l'arthrose. Les patients peuvent donc être rassurés à ce sujet.

Bruits articulaires des genoux: un lien avec l'arthrose?

Deux types de bruits articulaires sont retrouvés aux genoux: les craquements et les grincements fémoro-patellaire. L'analyse en 2017 de la cohorte américaine « Osteoarthritis Initiative » pour la question concernant les bruits articulaires du questionnaire Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Score (suivi sur 4 ans de 3495 participants, âge moyen 61 ans) retrouve que parmi les sujets asymptomatiques, la présence de bruits articulaires est un élément prédictif d'une incidence augmentée d'arthrose symptomatique.²³ La majorité des cas apparaissent chez les personnes avec une arthrose radiographique fémoro-tibiale préexistante cliniquement asymptomatique, et cette relation est plus marquée chez les hommes et les sujets plus jeunes. Les auteurs soulignent ainsi l'utilité d'identifier ces bruits comme possible signe précurseur d'une future arthrose symptomatique et l'intérêt de l'anamnèse sur ce sujet. Malheureusement, aucune distinction n'est faite entre les différents types de bruits ressentis, et l'arthrose fémoro-patellaire n'a pas été évaluée. Enfin, la Ligue européenne contre le rhumatisme (EULAR) inclut les bruits articulaires comme l'un des signes cliniques les plus utiles dans l'évaluation de l'arthrose des genoux.²⁴

Grincements articulaires (ou crépitements/crissements/crepitus): pas si anodins...

Ils correspondent à une sensation d'accrochage, de frottement ou de crissement audible et/ou ressenti à la palpation, douloureux ou non, provoqué par la flexion active ou passive d'une articulation. Ce signe clinique est principalement décrit au niveau de l'articulation fémoro-patellaire, mais sans données probantes chiffrées à disposition. Cette manifestation, habituellement recherchée à l'examen clinique par le signe du rabot, reste cependant peu contributive pour affirmer à elle seule une lésion fémoro-patellaire.²⁵ Aucune information claire n'est actuellement disponible pour expliquer la cause des grincements fémoro-patellaires (GFP), mais quelques études descriptives longitudinales sont disponibles concernant leurs liens avec l'arthrose fémoro-patellaire (AFP).

Une première étude de cohorte (255 genoux douloureux, âge 40-79 ans) a retrouvé un lien entre les GFP et la présence

d'ostéophytes à l'IRM, mais pas avec les lésions cartilagineuses.²⁶ Une seconde étude (888 femmes, 1776 genoux, âge moyen 55 ans) retrouve une association entre GFP et antécédent de douleur rotulienne avec la présence d'AFP à l'IRM, symptomatique ou non.²⁷ Une sous-analyse de cette dernière étude (337 femmes, 566 genoux, âge moyen 55 ans) avec un suivi IRM sur 5 ans retrouve que les GFP sont prédictifs d'une AFP à l'IRM, mais pas les antécédents de douleur rotulienne.²⁸ A noter que dans ces études, les GFP sont objectivés cliniquement par un examinateur palpant et/ou entendant le grincement lors d'une flexion/extension passive pour la première étude, et active pour les deux autres.

Ces données suggèrent donc que les GFP pourraient être un signe précoce d'arthrose fémoro-patellaire radiologique. Elles doivent être interprétées avec précaution et il reste à établir la relation avec le développement d'une arthrose cliniquement symptomatique.²⁵ Cela permet néanmoins au clinicien de prendre conscience que ces GFP, même asymptomatiques, ne sont pas à banaliser, et des approches rééducatives préventives pourraient par exemple être conseillées.²

Bruits articulaires d'origine vertébrale

Le rachis produit également des bruits articulaires, quel que soit le niveau (cervical, dorsal ou lombaire). Ce domaine est surtout étudié par les chiropracteurs, ostéopathes et spécialistes en médecine manuelle lors de leurs manipulations thérapeutiques. Ces manipulations sont actuellement fréquemment proposées, comme l'illustre une étude allemande montrant qu'un quart des patients visitant un médecin de premier recours pour des lombalgies bénéficient d'une manipulation de la colonne lombaire dans l'année qui suit.²⁹ Plusieurs hypothèses explicatives ont été formulées^{2,30} mais la théorie de la cavitation semble la plus acceptée.^{2,31,32}

Les craquements lors des manipulations de la colonne vertébrale ont principalement été étudiés pour les techniques à impulsion, haute vitesse et basse amplitude, déjà décrites et pratiquées par Hippocrate en 400 avant J.-C., qui mobilisent passivement l'articulation jusqu'à sa limite d'amplitude physiologique pour soulager des plaintes locales. Les indications/contre-indications, effets secondaires et efficacités de ces manipulations sont étudiés depuis de nombreuses années,³³⁻³⁵ de même que les craquements provoqués par les manipulations.^{31,32,36-41} Même s'il s'agit encore d'un sujet débattu, les craquements provoqués par les manipulations ne semblent pas être liés à l'efficacité de celles-ci.^{40,42}

Les croyances autour des craquements vertébraux ont été étudiées récemment avec des résultats surprenants concernant l'explication de ce phénomène par les patients eux-mêmes: 49% estiment qu'il s'agit d'un repositionnement vertébral, 23% pensent qu'il s'agit d'une friction entre deux vertèbres et 9% optent pour la formation de bulles de gaz intra-articulaires. De plus, 40% estiment que le bruit signifie la réussite de la manipulation.³⁵ Ces croyances, même erronées, pourraient en partie contribuer à l'efficacité symptomatique des manipulations. Cependant, les auteurs mettent en garde les thérapeutes sur des effets néfastes liés aux comportements d'évitement de certaines activités en raison de la peur d'une complication.⁴³ Des explications

adéquates sont donc nécessaires,⁴⁴ sachant que les patients sont sans surprise et légitimement en demande d'informations à ce sujet.^{35,45}

RESSAUTS

Les ressauts, audibles ou ressentis autour d'une articulation, résultent généralement d'un accrochage entre deux structures voisines, intra ou extra-articulaires. Ils peuvent être asymptomatiques, gênants, voire même douloureux selon les cas. Plusieurs localisations sont décrites comme les épaules, omoplates, coudes, poignets, hanches, genoux et chevilles, avec de multiples étiologies possibles. Ils ne sont pas développés dans cet article.

BRUITS DE DÉCHIRURE DES TISSUS MOUS OU DE FRACTURE OSSEUSE

Les structures fibreuses ou fibrocartilagineuses peuvent également causer un bruit sec et brutal lorsqu'elles subissent une déchirure traumatique, partielle ou totale. Cela est généralement bien ressenti par le patient et peut servir au clinicien pour évaluer la gravité de la lésion et la suite de la prise en charge. De même, des bruits liés aux fractures osseuses peuvent être ressentis selon la sévérité du traumatisme.

CONCLUSION

Les bruits articulaires sont relativement fréquents dans la population et deux types sont clairement identifiés: les craquements et les grincements. Les craquements des doigts semblent être expliqués par le phénomène de tribonucléation intra-articulaire alors que la physiopathologie des grincements doit encore être précisée. Les conséquences des bruits articulaires sont encore peu connues, mais il pourrait y avoir un lien entre les GFP et le développement d'une AFP. Il est donc important pour le clinicien d'identifier ces manifestations pour en suivre l'évolution. De plus, il est nécessaire d'expliquer aux patients l'état de nos connaissances sur le

sujet, afin d'éviter des comportements anxieux souvent négligés vis-à-vis de ces phénomènes.

Conflit d'intérêts: Les auteurs n'ont déclaré aucun conflit d'intérêts en relation avec cet article.

IMPLICATIONS PRATIQUES

- Les craquements articulaires des doigts semblent être dus au phénomène de tribonucléation et ne paraissent pas provoquer d'arthrose
- Les bruits articulaires des genoux pourraient être un signe précurseur d'arthrose symptomatique
- Les grincements fémoro-patellaires seraient un possible signe précoce d'arthrose fémoro-patellaire radiologique
- Les bruits articulaires doivent être évoqués avec les patients pour éviter toute mauvaise interprétation, et ne devraient pas être banalisés

STRATÉGIE DE RECHERCHE ET CRITÈRES DE SÉLECTION

Les données utilisées pour cet article de synthèse ont été identifiées par une recherche Pubmed, Google scholar, Web of science core collection et Cochrane library des articles publiés en anglais ou en français depuis 1981 dans le domaine de l'orthopédie, rééducation, physiothérapie, ostéopathie, chiropraxie et médecine manuelle. Les articles ont été inclus dans la liste des références s'ils présentaient une approche originale pour chacune des sections principales de la revue ou couvraient les sujets suivants: bruits articulaires, craquements et grincements articulaires, cavitation, manipulation. Les deux mots-clés principaux utilisés pour la recherche étaient «joint cracking» et «crepitus». Un sous-ensemble de critères a été simultanément utilisé avec ces deux termes, comprenant les mots-clés suivants: «crack», «knuckle cracks», «sound», «joint», «manipulation», «cavitation», «tribonucleation», «osteoarthritis», «snapping», «muscle», «musculoskeletal», «tendon», «ligament», «meniscus», «mamilian», «finger», «hand», «wrist», «shoulder», «scapula», «spinal», «hip», «femoro-patellar», «patellar», «tibio-femoral», «knee», «ankle», «foot», «toes».

1 Bro-Jorgensen J, Dabelsteen T. Kneeclicks and visual traits indicate fighting ability in eland antelopes: multiple messages and back-up signals. *BMC Biol* 2008;6:47.
2 Robertson CJ. Joint crepitus—are we failing our patients? *Physiother Res Int* 2010;15:185-8.
3 Castellanos J, Axelrod D. Effect of Habitual Knuckle Cracking on Hand Function. *Ann Rheum Dis* 1990;49:308-9.
4 Swezey RL, Swezey SE. The consequences of habitual knuckle cracking. *West J Med* 1975;122:377-9.
5 Fick R. Zum Streit um den Gelenkdruck. Berlin: Anat Hefte Springer-Verlag 1911;43:397-414.
6 Christen T. Richtigstellung zum Streit um den Gelenkdruck. Berlin: Anat Hefte 1911;43:379-96.
7 Nordheim Y. Eine neue Methode den Gelenkknorpel besonders die

Kniegelenkmenisken rontgenologisch darzustellen. *Fortschr Röntgenstr* 1938;57:479.
8 Roston JB, Haines RW. Cracking in the metacarpo-phalangeal joint. *J Anat* 1947;81:165-73.
9 Unsworth A, Dowson D, Wright V. 'Cracking joints'. A bioengineering study of cavitation in the metacarpophalangeal joint. *Ann Rheum Dis* 1971;30:348-58.
10 Benjamin TB. The Collapse of cavitation bubbles and the pressures thereby produced against solid boundaries. *Philos Trans R Soc London Ser A, Math Phys Sci* 1966;260:221-40.
11 Knapp R DJ, Hammit F. Cavitation. New York: McGraw-Hill 1970; p. 728.
12 Brodeur R. The audible release associated with joint manipulation. *J Manipulative Physiol Ther* 1995;18:155-64.

13 ** Kawchuk GN, Fryer J, Jaremko JL, et al. Real-time visualization of joint cavitation. *PLoS One* 2015;10:e0119470.
14 Ikels KG. Production of Gas bubbles in fluids by tribonucleation. *J Applied Physiol* 1970;28:524-7.
15 Zeng HB, Zhao BX, Israelachvili JN, Tirrell M. Liquid- to solid-like failure mechanism of thin polymer films at micro- and nanoscales. *Macromolecules* 2010;43:538-42.
16 Wildeman S, Lhuissier H, Sun C, Lohse D, Prosperetti A. Tribonucleation of bubbles. *Proc Natl Acad Sci USA* 2014;111:10089-94.
17 Fryer JC, Quon JA, Vann RD. A proposed in vitro model for investigating the mechanisms of "joint cracking": a short report of preliminary techniques and observations. *J Can Chiroprac Assoc* 2017;61:32-9.
18 * Boutin RD, Netto AP, Nakamura D,

et al. «Knuckle Cracking»: Can blinded observers detect changes with physical examination and sonography? *Clin Orthop Relat Res* 2017;475:1265-71.
19 Yildizgoren MT, Ekiz T, Nizamogullari S, et al. Effects of habitual knuckle cracking on metacarpal cartilage thickness and grip strength. *Hand Surg Rehabil* 2017;36:41-3.
20 https://fr.wikipedia.org/wiki/Prix_Ig-Nobel.
21 Unger DL. Does knuckle cracking lead to arthritis of the fingers? *Arthr Rheum* 1998;41:949-50.
22 Deweber K, Olszewski M, Ortolano R. Knuckle cracking and hand osteoarthritis. *J Am Board Fam Med* 2011;24:169-74.
23 * Lo GH, Strayhorn MT, Driban JB, et al. Subjective crepitus as a risk factor for incident symptomatic knee osteoarthritis: data from the osteoarthritis initiative.

- Arthritis Care Research 2017; epub ahead of print.
- 24 Zhang W, Doherty M, Peat G, et al. EULAR evidence-based recommendations for the diagnosis of knee osteoarthritis. *Ann Rheum Dis* 2010;69:483-9.
- 25 Stefanik JJ, Duncan R, Felson DT, Peat G. Diagnostic Performance of Clinical Examination Measures and Pain Presentation to Identify Patellofemoral Joint Osteoarthritis. *Arthritis Care Res* 2017; epub ahead of print.
- 26 Crema MD, Guermazi A, Sayre EC, et al. The association of magnetic resonance imaging (MRI)-detected structural pathology of the knee with crepitus in a population-based cohort with knee pain: the MoDEKO study. *Osteoarthr Cartilage* 2011;19:1429-32.
- 27 Schiphof D, van Middelkoop M, de Klerk BM, et al. Crepitus is a first indication of patellofemoral osteoarthritis (and not of tibiofemoral osteoarthritis). *Osteoarthr Cartilage* 2014;22:631-8.
- 28 Schiphof D, Waarsing EJ, Oei EH, Bierma-Zeinstra SM. Crepitus, joint line tenderness and the feeling of giving way are predictive signs for early knee osteoarthritis. *Osteoarthr Cartilage* 2015;23:A330-A.
- 29 Chenot JF, Becker A, Leonhardt C, et al. Use of complementary alternative medicine for low back pain consulting in general practice: a cohort study. *BMC Complement Altern Med* 2007;7:42.
- 30 Protopapas MG, Cymet TC. Joint cracking and popping: understanding noises that accompany articular release. *Journal Am Osteopat Assoc* 2002;102:283-7.
- 31 Evans DW, Breen AC. A biomechanical model for mechanically efficient cavitation production during spinal manipulation: prethrust position and the neutral zone. *J Manipulative Physiol Ther* 2006;29:72-82.
- 32 Cramer GD, Budavich M, Bora P, Ross K. A Feasibility Study to Assess Vibration and Sound From Zygapophyseal Joints During Motion Before and After Spinal Manipulation. *J Manipulative Physiol Ther* 2017;40:187-200.
- 33 Maigne JY, Vautravers P. Mechanism of action of spinal manipulative therapy. *Joint Bone Spine* 2003;70:336-41.
- 34 Lascourain-Aguirrebena I, Newham D, Critchley DJ. Mechanism of Action of Spinal Mobilizations: A Systematic Review. *Spine* 2016;41:159-72.
- 35 Demoulin C, Baeri D, Toussaint G, et al. Beliefs in the Population about Cracking Sounds Produced during Spinal Manipulation. *Joint, bone, spine: revue du rhumatisme* 2017.
- 36 Meal GM, Scott RA. Analysis of the joint crack by simultaneous recording of sound and tension. *Journal of manipulative and physiological therapeutics* 1986;9:189-95.
- 37 Cramer GD, Ross K, Pocius J, et al. Evaluating the relationship among cavitation, zygapophyseal joint gapping, and spinal manipulation: an exploratory case series. *Journal of manipulative and physiological therapeutics* 2011;34:2-14.
- 38 Beffa R, Mathews R. Does the adjustment cavitate the targeted joint ? An investigation into the location of cavitation sounds. *Journal of manipulative and physiological therapeutics* 2004;27:e2.
- 39 Clark BC, Goss DA, Walkowski S, et al. Neurophysiologic effects of spinal manipulation in patients with chronic low back pain. *BMC Musculoskelet Disord* 2011;12:170.
- 40 research NCfo. Audible sounds associated with spinal manipulation. 2012.
- 41 Dunning J, Mourad F, Barbero M, et al. Bilateral and multiple cavitation sounds during upper cervical thrust manipulation. *BMC Musculoskelet Disord* 2013;14:24.
- 42 Sillevs R, Cleland J. Immediate effects of the audible pop from a thoracic spine thrust manipulation on the autonomic nervous system and pain: a secondary analysis of a randomized clinical trial. *J Manipulative Physiol Ther* 2011;34:37-45.
- 43 Pincus T, Smeets RJ, Simmonds MJ, Sullivan MJ. The fear avoidance model disentangled: improving the clinical utility of the fear avoidance model. *Clin J Pain* 2010;26:739-46.
- 44 Robertson CJ, Hurley M, Jones F. People's beliefs about the meaning of crepitus in patellofemoral pain and the impact of these beliefs on their behaviour: A qualitative study. *Musculoskelet Sci Pract* 2017;28:59-64.
- 45 Gouin M. Etude sur la perception du patient concernant le bruit articulaire lors d'une manipulation haute vélocité basse amplitude La Revue de l'Ostéopathie 2014;13:29-37.

* à lire

** à lire absolument