

Résorptions radiculaires apicales externes et orthodontie. Un entretien avec W. Bacon et P. Canal

William BACON¹, Pierre CANAL^{2*}, Philippe AMAT³

¹ Vialaret, 34380 Causse de la Selle, France

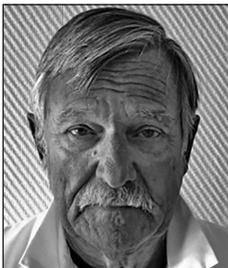
² 19 allée des Mas, 34980 Comaillaux, France

³ 19, place des Comtes du Maine, 72000 Le Mans, France



William Bacon a été Professeur d'université, praticien hospitalier à la faculté de chirurgie dentaire et aux Hôpitaux universitaires de Strasbourg. Il est actuellement Professeur Emérite de l'université de Strasbourg.

Le Pr Bacon a été vice doyen de la faculté, membre du CNU, chef du pôle de médecine et de chirurgie bucco-dentaire du CHU, et responsable de la structure interne d'orthopédie dento-faciale.



Pierre Canal a été PU-PH à la faculté d'odontologie de Paris VII puis de Montpellier. Il est actuellement Professeur Emérite à la faculté d'odontologie de Montpellier.

Il a été vice doyen à la faculté d'odontologie de Paris VII puis de Montpellier, président du Conseil National des Universités et co-directeur, et co-auteur de trois ouvrages sur l'orthodontie de l'adulte.

Philippe Amat : Professeurs William Bacon et Pierre Canal, les résorptions radiculaires apicales externes (RRAE) sont une complication redoutée, d'étiologie multifactorielle et elles apparaissent au cours de la presque totalité des traitements orthodontiques. Vous avez abondamment communiqué et publié sur ce processus pathologique [7,15,27,32,83,84] et vous êtes considérés comme deux experts de ce domaine.

Nous souhaiterions que cet entretien soit pour vous l'occasion d'offrir aux lecteurs de l'Orthodontie Française une synthèse des données actuelles et, aussi, de les faire

bénéficier de votre expérience d'enseignants/cliniciens lorsque les publications n'apportent pas de réponse concluante.

William Bacon, Pierre Canal : C'est avec plaisir que nous essayerons de répondre à tes questions sur cet évènement indésirable, son étiologie multifactorielle et les différentes attitudes thérapeutiques à privilégier pour le prévenir et le traiter.

1. Vos cursus orthodontiques

PA : Les lecteurs de l'Orthodontie Française vous connaissent à travers vos conférences, publications et

* Auteur pour correspondance : pierre.canal@wanadoo.fr

ouvrages, et votre enseignement pour certains. Lors de nos fréquentes réunions, nous avons souvent été témoins de votre constante et amicale complicité. Dans quelles circonstances vous êtes-vous rencontrés et comment en êtes-vous venus à travailler ensemble ?

PC, WB : Nous sommes de la même tranche d'âge et avons démarré notre carrière d'enseignant au même moment. Le fait d'avoir été hospitalo-universitaires à temps plein nous a amené à rapidement être chargés de responsabilités universitaires, tant régionales au sein de nos universités respectives que nationales (Conseil National des Universités). L'intérêt partagé pour certains sujets de recherche clinique a également contribué à nous rapprocher.

2. Données actuelles sur les facteurs de risque de résorptions radiculaires apicales externes (RRAE)

PA : La résorption radiculaire [11,12,30,42] est un processus pathologique conduisant à la disparition progressive, partielle, voire totale des tissus radiculaires dentaires en réponse à un stimulus mécanique, inflammatoire, auto-immune ou infectieux. Pourquoi vous êtes-vous autant intéressés à cette complication clinique ?

WB : En ce qui me concerne, c'est après avoir observé une rhizalyse dramatique en 1988 chez une de mes jeunes patientes. L'évènement s'était développé en 24 mois, entre deux panoramiques de contrôle (Fig. 1). Ce délai de deux ans, entre deux contrôles de l'intégrité des racines, n'est plus acceptable aujourd'hui. Pour la petite histoire, cette patiente présentait trois prémolaires absentes et une canine

incluse, observations qui la classeraient aujourd'hui comme sujet à risque.

PC : J'ai été amené à réfléchir à ce problème pour répondre aux questions de confrères, qui sollicitaient mes conseils. J'ai ensuite été confronté à « mes » propres résorptions !

PA : Parfois observées en dehors de tout traitement orthodontique, les résorptions radiculaires sont d'étiologie multifactorielle. Les études histologiques évaluent leur prévalence à plus de 90 % [36,49] quand les études radiologiques l'estiment située dans une fourchette de 48 % à 66 % [78]. Certains cas de RRAE ont-ils particulièrement marqué votre exercice ?

WB, PC : En microscopie à balayage électronique, des résorptions de surface peuvent être identifiées sur la racine, dès la période initiale de l'application d'une force orthodontique, même légère, après seulement quatre semaines de traitement. Ces résorptions de surface sont rarement identifiables à l'examen radiologique classique. Ces lésions cémentaires cicatrisent en général sans qu'il y ait préjudice. Quand on parle de RRAE, il s'agit de la résorption apicale. Dans ce cas, selon la technologie et la précision de l'imagerie, les informations recueillies seront de qualité variable, la reproductibilité des conditions expérimentales pouvant être aléatoire. Ce qui marque le praticien, c'est lorsque la perte de longueur radiculaire est telle que la pérennité de la dent sur la mâchoire en est menacée. Malheureusement, nous avons trop souvent revu en consultation pour avis, longtemps après le traitement orthodontique, des patients présentant une rhizalyse sévère sans que l'informa-



Figure 1

Radiographie panoramique montrant des résorptions radiculaires apicales externes.

tion du dommage iatrogène n'ait été communiquée et sans qu'une déclaration de sinistre n'ait été faite à l'assurance professionnelle.

PA : Les mécanismes de la résorption radiculaire sont de nature similaire à ceux intervenants dans la résorption osseuse [23]. Sont impliqués, les mécanismes de l'inflammation, des facteurs systémiques et de nombreux médiateurs de l'activité cellulaire [30]. Combien de temps après le début du mouvement dentaire orthodontique la résorption radiculaire commence-t-elle et à partir de combien de temps est-elle décelable radiologiquement ?

WB, PC : Les études publiées dans la littérature révèlent que, si l'imagerie est réalisée à l'aide d'une technologie performante permettant une bonne reproductibilité de l'image, les marques de RRAE peuvent être identifiées dès le troisième mois.

PA : Plusieurs classifications [11,33,46,53,79] des RRAE ont été proposées. Pouvez-vous nous rappeler quels sont les quatre stades de résorption radiculaire apicale externe (Fig. 2) de la classification la plus connue, proposée en 1988 par Levander et Malmgren [55] ?

WB, PC : La classification de Levander et Malmgren est déjà ancienne et sa précision n'est pas absolue (c'est un euphémisme !). L'estimation des différents stades de résorption peut varier avec les examinateurs. Mais elle présente le grand intérêt d'être un outil simple avec une grande utilité pédagogique.

PA : Même s'il n'existe pas de complet consensus sur les facteurs de risque considérés comme étant associés à l'apparition et au degré de gravité des résorptions radiculaires, les données probantes publiées ont néanmoins identifié de nombreux facteurs contributifs [84,90,98].

Les étudiez-vous toujours selon votre classification : facteurs de risque biologiques (dépendants du patient), mécaniques (liés au traitement) ou autres [27,83] et pouvez-vous nous rappeler les principaux éléments de l'étiopathogénie des RRAE ?

WB, PC : Toute contrainte orthodontique s'accompagnera d'un stress sur les cellules des tissus environnant la dent. S'en suit une cascade d'évènements et la production de signaux associés au système immunitaire et aux mécanismes de l'inflammation contrôlés par des systèmes de régulation complexes. Ces conditions inflammatoires locales favoriseront le recrutement et l'activation des ostéoclastes et la résorption des tissus minéralisés. Par ordre de vulnérabilité, seront touchés l'os, le cément puis la dentine. Ce processus est incontournable pour initier le déplacement de la dent.

Ce qui sera variable, c'est la réactivité individuelle aux stimuli orthodontiques et en particulier les dommages collatéraux sur la dentine.

Cette variabilité de la RRAE a fait l'objet de nombreuses études. On estime que, lors d'un traitement multiattache, la RRAE moyenne au niveau des incisives supérieures est de l'ordre de 2 mm +/- 1. En d'autres termes, une RRAE de zéro à quatre millimètres peut être considérée comme inscrite dans l'enveloppe biostatistique du normal. Cette réponse individuelle est bien entendu associée à des facteurs biologiques qui ne sont pas toujours connus ou identifiables : dérèglements immunitaires, troubles de l'homéostasie du calcium, autres troubles métaboliques divers (parathormone en particulier), carences diverses... Il est commun d'observer que les RRAE les plus sévères soient associées à des dérèglements systémiques, qui ne sont pas toujours connus.

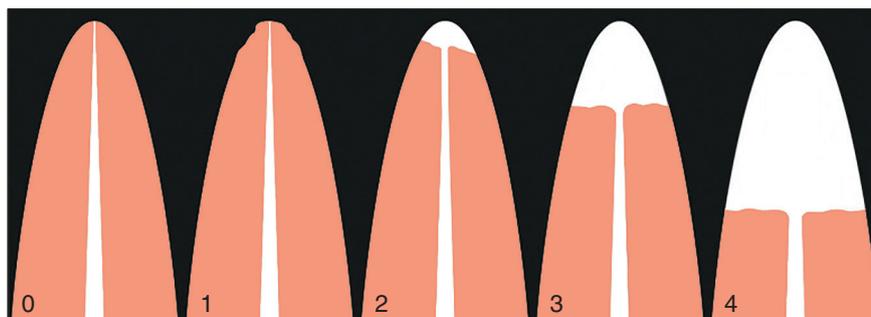


Figure 2

Stades des RRAE selon la classification de Levander et Malmgren [55].

D'où l'importance de veiller à une anamnèse approfondie et à un suivi régulier de l'intégrité radiculaire.

2.1. Les facteurs de risque biologiques

PA : Vous avez publié un tableau synthétique des facteurs de risque biologiques [83,84] (Tab. 1). Quelles éventuelles modifications y apporteriez-vous ?

WB, PC : Ce tableau sur les facteurs de risque biologiques reste sensiblement d'actualité, mais surtout par défaut car les éléments de preuve réellement scientifiques n'existent pratiquement que peu ou pas !

2.1.1. Les facteurs de risque systémiques

2.1.1.1. Facteurs liés à l'hérédité et la génétique

PA : De récentes études évaluent à 50 % la participation aux variations de l'incidence des résorptions radiculaires [37], du facteur génétique, avec la mise en jeu de gènes spécifiques [69,91]. Quelles sont les dernières avancées de ces travaux, dont les premiers résultats plaident en faveur du développement de cet axe de recherche génétique [38] ?

WB, PC : On ne peut évidemment pas exclure le rôle de facteurs liés à la génétique dans l'apparition des RRAE. Chacun a pu observer dans son exercice clinique des familles à risque, où la RRAE se manifeste dans la fratrie avec plus de force que dans le reste de la population du cabinet.

Mais parler de « pourcentage de participation » reste une approche manquant de solidité factuelle. Pour l'instant, il n'est pas établi que les connaissances en génétique puissent permettre d'éviter ou de réduire les RRAE.

2.1.1.2. Les pathologies systémiques

PA : La connaissance des facteurs de risques liés à une des nombreuses pathologies systémiques est d'une importance majeure pour le clinicien. Il peut identifier, dès l'anamnèse, certains patients à risque majoré d'apparition de résorptions radiculaires, particulièrement en présence de certains troubles systémiques, en rapport avec le facteur vasculaire ou l'homéostasie calcique [7]. Quelle importance accordez-vous à ces facteurs, comparativement aux autres, pour définir le meilleur ratio bénéfice/risque de votre plan de traitement ?

Tableau 1. Les facteurs de risque biologiques (d'après Samadet, *et al.* [83,84]). RR : résorption radiculaire ; ODF : orthopédie dento-faciale ; OA : os alvéolaire. Risque faible : RR localisée et/ou généralisée et d'intensité mineure. Risque modéré : RR localisée et/ou généralisée et d'intensité mineure à sévère. Risque sévère : RR localisée et/ou généralisée et d'intensité sévère à extrême.

FACTEURS DE RISQUE BIOLOGIQUES	FAIBLE	MODÉRÉ	SÉVÈRE
SYSTÉMATIQUES Prédisposition génétique Pathologies systémiques Âge Sexe	Allergie Asthme Diabète	Précédent traitement ODF RR « familiale » post-ODF Pathologie systémique sus citée Adulte	SUSCEPTIBILITÉ GÉNÉTIQUE Précédent trait. ODF avec RR RR « familiale » généralisée Pathologie systémique sus citée et non-équilibrée
ANATOMIQUES Forme des dents et des racines Anomalies dentaires Territoire anatomique Densité de l'OA	Encombrement moyen à sévère	Racines émoussées ou en pipette Anomalies dentaires	Dent ayant déjà eu une RR Racines émoussées ou en pipette Anomalies dentaires
TRAUMATIQUES		Dents traumatisées antérieurement sans RR Dent transplantée	Dents traumatisées antérieurement avec RR Dent réimplantée
FONCTIONNELS Dysfonction : déglutition atypique, ventilation buccale Parafonction : succion, onychophagie	Rééducation des dysfonctions et arrêt des parafonctions	Bruxisme Dysfonction(s) : pulsion linguale, ventilation buccale Parafonction(s) : onychophagie, succion, tics	Bruxisme sévère Dysfonction(s) non rééduquée(s) Parafonction(s) persistante(s)

WB, PC : Toute particularité systémique impliquée dans le processus inflammatoire ou impliquée dans l'homéostasie du calcium peut être considérée comme une configuration présentant davantage de risque au regard de la RRAE. A ce titre, une anamnèse la plus complète possible doit être menée avant le traitement, avec une lecture attentive du carnet de santé. Si un dérèglement devait être identifié, il est souhaitable de préciser dans le consentement que le patient est exposé à un risque accru de RRAE et qu'à ce titre un contrôle de l'intégrité des racines sera fait régulièrement. La consommation médicamenteuse, qui peut potentialiser ou inhiber certaines réactions, doit également être questionnée.

PA : Il a également été montré que les patients allergiques [7,66,67,70,76] et les patients asthmatiques [10,64,70] présentaient un risque fortement accru d'apparition de résorption radiculaire excessive pendant le traitement orthodontique. Quels conseils donneriez-vous pour mieux prendre en charge ces patients, dont les difficultés ventilatoires sont souvent synonymes d'allongement de la durée du traitement, autre facteur de risque d'apparition de RRAE [90] ?

WB, PC : À partir du moment où le patient présente des défaillances immuno-inflammatoires, les réactions aux forces orthodontiques peuvent s'en trouver affectées avec des effets atypiques et une gravité imprévue sur l'intégrité des racines. Face à ce type de terrain, il est conseillé d'aborder l'orthodontie avec prudence et d'assurer un suivi rapproché. Et bien entendu d'informer le patient.

PA : Le stress serait un autre facteur de risque selon Z. Davidovitch [24], cité par M. Nishioka [70]. Les résultats d'une étude menée chez l'animal [39] indiquent que le stress systémique ne peut à lui seul être considéré comme un facteur de risque de RRAE.

Cette conclusion peut surprendre le clinicien, au fait des corrélations positives entre le stress psychologique et les parafonctions, dont l'onychophagie [44] qui serait un autre facteur de risque de RRAE pour certains auteurs [73], même si cette notion n'est pas retrouvée dans d'autres études [57,76]. Quel est votre avis ?

WB, PC : « L'intérêt » du stress psychologique est qu'on peut l'intégrer partout sans prendre trop de risques. Il est possible que le stress puisse dans certains cas contribuer à favoriser une réaction ortho-

dontique inattendue, mais la « preuve scientifique établie » (classification HAS) fait défaut. Le niveau de preuve reste faible au vu des difficultés méthodologiques pour mettre en place des essais comparatifs randomisés de forte puissance et sans biais.

Il en est de même pour l'onychophagie. On rencontre des patients onychophages présentant des RRAE. Il en existe une multitude d'autres sans RRAE atypique. Toutefois, une prise en charge de l'habitude d'onychophagie ne saurait nuire.

PA : Chez le rat, une étude [6] des effets du diabète sur le mouvement dentaire orthodontique et la résorption radiculaire a conclu que le diabète réduit significativement le mouvement orthodontique des dents et la résorption des racines. Qu'en est-il chez l'homme ?

WB, PC : Nous ne disposons pas d'expérience clinique sur ce sujet.

PA : Quels autres troubles systémiques doivent-ils être considérés comme des facteurs de risque ?

WB, PC : En face d'un terrain présentant un dérèglement systémique, quel qu'il soit, on ne peut pas exclure le risque que les mécanismes biologiques qui président habituellement au déplacement orthodontique n'en soient plus ou moins affectés, avec en conséquence un risque de RRAE.

Le clinicien doit donc systématiquement faire preuve de prudence, privilégier une surveillance attentive et éviter de proposer des plans de traitement trop ambitieux : faire plutôt simple.

2.1.1.3. L'âge et le genre

PA : Quelles sont les dernières données publiées sur l'influence des facteurs genre et âge civil ?

WB, PC : En 40 années d'orthodontie exclusive, nous avons observé des RRAE à tout âge, sans prévalence selon le genre. Cette observation évidemment n'a pas valeur de preuve scientifique, mais elle semble plutôt consensuelle au sein de la profession.

PA : Concernant l'âge dentaire, le mouvement orthodontique de dents permanentes immatures ne semble pas provoquer de RRAE [21]. L'édification radiculaire de ces dents, immatures avant le traitement orthodontique, leur permettrait même d'atteindre une longueur significativement supérieure à celles de dents matures

avant traitement [62]. Cette constatation est-elle susceptible d'influencer votre stratégie de planification thérapeutique ?

WB, PC : Ces constatations sont difficiles à valider car le plus souvent fondées sur des études de moindre niveau de preuve, comme des études cas-témoins. Il semblerait que les dents immatures soient moins sujettes au risque de RRAE. C'est une observation encourageante. Elle peut effectivement inviter à entreprendre un traitement précoce, quand la situation s'y prête.

2.1.2. Les facteurs de risque anatomiques

PA : Le risque d'apparition de résorptions radiculaire a été considéré comme corrélé à la morphologie radiculaire [48,52,70,86,87] et aux nombreux phénomènes d'anomalies dentaires [48,51,63,70,96]. Quels en sont les éléments clés actuels ?

WB, PC : Les dents sont le résultat de complexes interactions épithélio-mésenchymateuses. Une dent au phénotype atypique (forme, taille, couleur, émoussée, taurodontisme, racines fines, etc.) peut avoir été la conséquence d'une possible complication lors de sa morphogénèse. Kjaer [48] parle alors de signes d'instabilité de développement ou de déficience constitutionnelle discrète. Ces dents atypiques peuvent aussi être le siège de réactions également atypiques lors du traitement. Toutefois, ce n'est pas parce qu'une dent est atypique, qu'obligatoirement elle réagira de manière atypique au cours d'un traitement orthodontique avec l'apparition de RRAE. Néanmoins, une certaine prudence semble de rigueur. L'exemple classique en est la fréquente susceptibilité des latérales naines à la RRAE.

Les conclusions des études publiées sur ce sujet sont parfois contradictoires. Les conditions expérimentales étant délicates à reproduire et les biais difficiles à prévenir, ces travaux ne présentent pas un fort niveau de preuve. Toutefois, à défaut d'un fort niveau de preuve et pour ne pas exposer le patient à un risque de perte de chance, nous accorderions crédit aux travaux qui recommandent la prudence dans ces cas-là.

Dans le même esprit, on peut considérer que les dents absentes, incluses, transposées peuvent également être le fruit d'une déficience constitutionnelle lors de leur organogénèse. Donc une grande



Figure 3

Radiographie rétro-alvéolaire montrant d'importantes résorptions radiculaire apicales externes des incisives maxillaires avant traitement orthodontique. Les examens biologiques de ce patient ont révélé un taux excessif de PTH et une carence en Vit D.

prudence est recommandée, en particulier pour les canines incluses.

Un autre élément considéré comme un indicateur fort d'un risque aggravé de RRAE est l'existence de signes de résorptions atypiques déjà observables avant traitement, qu'il s'agisse de la denture temporaire ou de la denture permanente. D'où l'intérêt de pouvoir observer attentivement toutes les dents sur un document radiologique de qualité.

Dans le doute et la crainte d'un dérèglement systémique non identifié, ou pour essayer de trouver une explication à l'apparition d'une RRAE exceptionnelle et imprévue (Fig. 3), on peut demander un bilan biologique testant la parathormone (PTH), le calcium (Ca), le phosphore (P), la vitamine D (Vit D) et éventuellement la thyroïdostimuline (TSH). Sachant que, d'après les standards actuels, les insuffisances en Vit D sont communes mais que cette Vit D et sa norme font l'objet d'un débat qui n'est pas clos.

PA : Quelles sont les dents les plus souvent atteintes par les RRAE ? Des facteurs anatomiques, ou liés au traitement, ont-ils été invoqués pour expliquer pourquoi les incisives maxillaires sont les dents les plus sujettes à l'apparition de résorptions radicalaires ?

WB, PC : Chacun a pu observer que les incisives supérieures sont les plus fréquemment touchées par la RRAE. Différentes présomptions ou théories explicatives ont été proposées, mais la preuve factuelle forte de niveau 1 pour ces théories fait encore défaut.

PA : La densité alvéolaire, évaluée par radiographie périapicale, ne serait pas prédictive de l'apparition de résorptions radiculaires au cours des 12 mois du traitement orthodontique de patients traités sans extractions [89]. Par contre, une ostéoporose, provoquée expérimentalement par ovariectomie chez le rat, induit à la fois une accélération du mouvement dentaire orthodontique et une augmentation de la sévérité des résorptions radiculaires [93]. Tenez-vous compte de ce facteur de risque en clinique quotidienne ?

WB, PC : Ni l'un, ni l'autre ne tenons compte de ce facteur en clinique, qui n'est pas réellement démontré et qui ne semble même pas correspondre à une réalité clinique.

2.1.3. Les facteurs de risque traumatiques

PA : Plusieurs études ont montré une absence de corrélations statistiquement significatives entre RRAE et antécédents de traumatisme sans RRAE associée [13,54,59]. Recommandez-vous, comme Mandel et Villette [60], d'attendre la fin de l'édification radiculaire pour commencer le déplacement orthodontique d'une dent antérieurement traumatisée, avec ou sans traitement endodontique ?

WB : La gravité du dommage post-traumatique étant impossible à évaluer de manière précise, il n'y a pas d'attitude systématique à adopter. Il m'est arrivé de déplacer une prémolaire immature six mois après sa réimplantation (c'est-à-dire après un traumatisme fort), sans problème ou complication remarquable (Fig. 4).

PA : Le bruxisme ne serait pas statistiquement corrélé [77] à des RRAE sévères (degrés 3 et 4 de la classification de Levander et Malmgren [55]). Une autre étude [72] a, par contre, mis en évidence une corrélation entre bruxisme et RRAE de score 2 (selon Levander et Malmgren). Conseillez-vous une prise en charge spécifique des patients bruxeurs ?

WB, PC : Le niveau de preuve scientifique établi est encore insuffisant. A défaut de preuve, dans notre exercice clinique, il ne nous est pas apparu qu'une prise en charge spécifique soit indispensable.

2.1.4. Les facteurs de risque fonctionnels

PA : La déglutition dysfonctionnelle serait un facteur susceptible d'augmenter les risques de RRAE [18,35,56]. La force orthopédique exercée par la pulsion linguale serait responsable d'une diminution des longueurs radiculaires des patients présentant une béance antérieure, avant et après traitement orthodontique [35]. Une autre étude montre que la surface radiculaire moyenne des incisives maxillaires de sujets, avec une infraclusion antérieure, serait significativement moindre que celles des mêmes dents de sujets avec un recouvrement incisif normal [95]. À quel moment, et comment, avec quels éventuels dispositifs de type gouttières, prenez-vous en charge ce type de dysfonction ?

WB, PC : Là encore, les résultats des travaux consacrés à ce sujet sont fréquemment discutables, les méthodologies mises en œuvre chargées de biais et souvent critiquables.

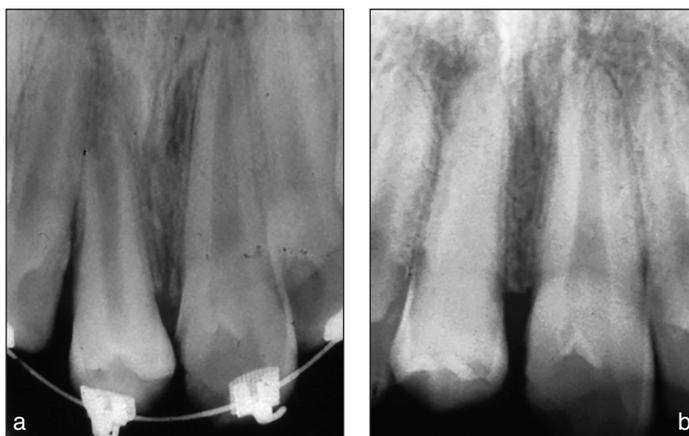


Figure 4

Radiographies rétro-alvéolaires montrant (a) une prémolaire réimplantée lors du début de la rétraction incisive et (b) l'image de cette dent, quatre années après la dépose des dispositifs.

Ces études sont, d'autre part, rarement parfaitement reproductibles. Il est difficile dans ces conditions de se faire une opinion fondée sur la preuve. Nous n'adoptons pas d'attitude spécifique systématique face à la persistance d'une déglutition « atypique » (ce qui ne veut pas dire obligatoirement « anormale ») et rebelle à la rééducation.

PA : Des RRAE pourraient être provoquées par une succion digitale non nutritive [56] ou le mordillement d'objets divers, sans que cette corrélation soit retrouvée par tous les auteurs [40,77]. Vous arrive-t-il de proposer à vos patients, qui n'arrivent pas à abandonner ces para-fonctions, l'aide complémentaire que pourraient leur apporter des kinésithérapeutes, des orthophonistes ou des psychologues ?

WB, PC : L'aide d'un praticien compétent pour aider le patient à se défaire de certaines habitudes parasites (reconnues nocives) ne saurait nuire. En particulier une rééducation contrôlée par un kinésithérapeute « respiratoire » peut être recommandée.

2.1.5. Autres facteurs de risque

PA : Une récente méta-analyse [43] montre que les dents, traitées par endodontie, présentent des résorptions radiculaires relativement moins importantes que celles observées sur des dents dont les pulpes sont vitales. Pour autant, et contrairement à ce qui a été proposé [34], pouvez-vous nous confirmer qu'un traitement endodontique, avec l'objectif de contrôler le processus de résorption externe, est injustifié lorsque la pulpe est vitale [19] ?

WB, PC : Vouloir réduire le risque de RRAE par un traitement endodontique en détruisant la pulpe est à notre sens une faute médicale, d'autant que le bénéfice mesurable de cette intervention reste très aléatoire. La vitalité pulpaire doit être préservée autant que faire se peut ; elle est indispensable à la bonne santé et à la longévité de l'organe dentaire. Toutefois, en cas de résorption interne (la pulpe n'est plus saine), une pulpectomie s'avérera nécessaire.

PA : Pourriez-vous nous faire part des données, publiées depuis vos dernières revues de littérature [27,83], sur d'autres éventuels facteurs de risque comme la typologie faciale, l'origine ethnique, l'occlusion traumatique, les proximités radiculaires et les dents incluses ?

WB, PC : Il n'y a pas de nouveautés remarquables apparues ces dernières années concernant l'aspect

clinique des RRAE, mais certaines hypothèses ou observations ont été confirmées et d'autres remises en doute. Les recherches s'orientent vers une meilleure compréhension des mécanismes intimes impliqués dans la RRAE, notamment au niveau de la biologie moléculaire.

PA : Le risque de résorptions radiculaires sévères des incisives est augmenté en présence de canines maxillaires incluses [3,16], même si la notion de résorption, par le sac folliculaire d'une dent incluse, semble remise en cause [22,29]. Quelle attitude thérapeutique recommanderiez-vous dans le cas clinique de l'inclusion, vestibulaire très haute et mésiale, d'une canine maxillaire dont la pointe cuspidienne affleure l'apex de l'incisive centrale d'un patient, sans autre anomalie occlusale associée et âgé de 9 ans ?

WB, PC : Il est tentant de spéculer que le fait d'éloigner la canine de la proximité des racines voisines (dégagement chirurgical et traction d'éloignement) permettrait d'arrêter le processus en cours. Rien n'est moins sûr. On observe, dans certains cas de canine incluse, de fortes résorptions sur des racines qui ne sont pas à proximité de la dent présumée fautive. Il reste beaucoup de questions à élucider dans ce domaine...

Là encore, il est essentiel d'informer le patient, avant le début de son traitement, des risques encourus. Dans le cas présenté sur la figure 5, toutes les incisives maxillaires sont affectées par une RRAE. Les examens biologiques pratiqués chez cette patiente ont révélé des dérèglements systémiques : taux excessif de parathormone (PTH) et de phosphore (P).

PA : De nombreuses publications sont consacrées à la prévention des RRAE, par l'utilisation de médiateurs de l'inflammation [94] ou une thérapie cellulaire [65,82]. Vous permettent-elles de dégager des perspectives d'avenir réalistes dans le domaine de la prévention des RRAE ?

WB, PC : Pour valider l'usage de médicaments en vue d'accélérer le déplacement orthodontique, les connaissances actuelles sont insuffisantes. Passer à une application chez l'homme de données résultant de l'expérimentation animale est déraisonnable et risqué, d'autant que les possibles effets secondaires autres qu'orthodontiques n'ont pas été explorés et ne sont pas ou peu connus. Le rapport bénéfice/risque

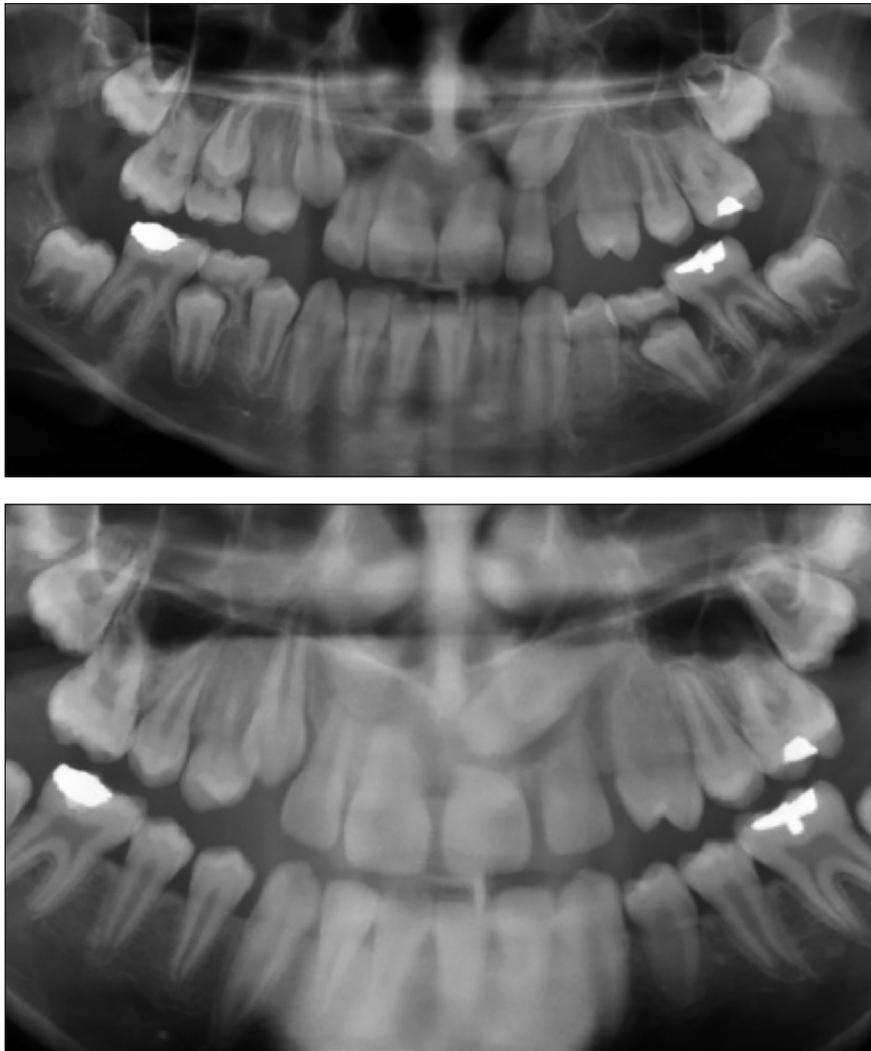


Figure 5

Radiographies rétro-alvéolaires montrant d'importantes résorptions radiculaires apicales externes des incisives maxillaires avant traitement orthodontique. Les examens biologiques de ce patient ont révélé des taux excessifs de PTH et de P.

est largement inconnu. La recherche clinique chez l'homme sur ce sujet est exposée à des difficultés méthodologiques et éthiques difficiles à surmonter. La bonne attitude consiste à attendre que la HAS se prononce éventuellement sur ce sujet, ce qui ne sera sans doute pas pour tout de suite.

PA : *L'effet des médicaments, couramment prescrits aux patients par leur médecin, sur la vitesse du mouvement orthodontique des dents a été étudié chez l'animal [58]. La qualité méthodologique de ces études a été évaluée au mieux comme faible. Avez-vous des conseils à nous délivrer ?*

WB, PC : Les recherches actuelles sont essentiellement le fait d'expérimentations animales, comme

on s'en doute. Les résultats décrits dans ces travaux ne sauraient toutefois en aucun cas être transposés et appliqués en thérapie orthodontique chez l'homme. Les essais cliniques sur l'homme se heurtent pour le moment à de nombreuses difficultés, tant méthodologiques qu'éthiques. Restons patients.

2.2. Les facteurs de risque mécaniques

PA : *Vous avez publié un tableau synthétique des facteurs de risque mécaniques [83,84] (Tab. 2). Quelles éventuelles modifications y apporteriez-vous ?*

WB, PC : Ce tableau sur les facteurs de risques mécaniques, comme celui consacré aux facteurs de risques biologiques, reste sensiblement d'actualité,

Tableau 2. Les facteurs de risque mécaniques (d'après Samadet, *et al.* [83,84]). RR : résorption radiculaire.

FACTEURS DE RISQUE MÉCANIQUES	RISQUE FAIBLE	RISQUE MODÉRÉ	RISQUE SÉVÈRE
FORCE APPLIQUÉE Consensus thérapeutique non démontré statistiquement	Forces continues et légères	Mécanique « lourde »	Forces importantes et mécanique « lourde »
NATURE DU MOUVEMENT	Tous les mouvements	Ingression « Va et vient » Rotation Version prolongée	Mouvement rapide Torque important
DURÉE DU TRAITEMENT	Supérieure à 6 mois	Longue mais prévue	Trop longue ou arrêts intempestifs du traitement
AMPLITUDE DU MOUVEMENT		IMPORTANTE (encombrement)	Amplitude du mouvement +++ Béance antérieure +++ Supraclusion +++ (non démontré statistiquement)
TYPE D'APPAREIL			Rapport Charge/Flexion +++ Port irrégulier des auxiliaires de traitement
TERRITOIRE DE DÉPLACEMENT		Proximité de dents incluses Chirurgie orthognathique à proximité	Racines ayant eu des RR par des dents incluses Dents lésées lors d'une chirurgie orthognathique

mais là aussi les éléments de preuve réellement scientifiques sont ténus ou absents.

PA : Plusieurs revues systématiques [80,81,99] et une méta-analyse [90] ont été récemment consacrées aux facteurs de risque de RRAE liés au traitement. L'augmentation de la durée du traitement semblerait accroître l'incidence [31,90] et la sévérité [86] des résorptions radiculaires. Qu'en est-il de l'influence de l'intensité et du rythme d'application des forces employées ?

WB, PC : Les dents se déplacent aussi bien à l'aide de forces lourdes que légères et tous les déplacements orthodontiques s'accompagnent de RRAE. On privilégie aujourd'hui les forces légères, considérées comme biologiquement moins traumatisantes, même si certains travaux ne font pas de différence entre forces lourdes/forces légères pour la RRAE.

De manière consensuelle, on reconnaît que plus le déplacement apical est important, plus la RRAE pourra être importante. En corolaire, il est logique de penser qu'un déplacement important mettra plus de temps à être obtenu, avec pour conséquence un impact majoré sur la RRAE.

Il a également été montré un effet bénéfique associé à la suspension des contraintes orthodontiques

pendant quelques mois (trois) pour favoriser la cicatrisation cémentaire : le ciment cicatriciel résisterait davantage à la RRAE. C'est une attitude clinique que l'on peut adopter chez les patients qu'on suspecte fragiles au regard de la RRAE. Administrativement, cette période de repos doit faire l'objet d'une demande de surveillance (TO5).

PA : Cette possibilité [54] de diminuer l'aggravation de la résorption des racines par une pause de deux à trois mois dans le déplacement orthodontique de dents pour lesquelles une RRAE avait été détectée après une période de traitement initiale de six mois avec un dispositif multiattache semble effectivement prometteuse. Cet effet bénéfique d'une pause avait également été étudié par Odenrick [74]. D'autres études ont-elles été consacrées à cette modalité thérapeutique et pensez-vous qu'il puisse être utile de renouveler, à titre préventif, cette pause au cours du traitement orthodontique ?

WB, PC : La période de repos ne diminue pas la résorption mais stoppe le processus, favorisant la cicatrisation cémentaire, celle-ci se traduisant par un néo-cément qui serait plus résistant à la résorption orthodontique. Il n'y a pas de données probantes

dans la littérature sur ce sujet mais, selon notre expérience, cette seconde pause « s'avèrerait » inutile.

PA : *De nombreuses publications ont été consacrées aux éventuelles corrélations entre l'emploi de divers dispositifs mécaniques et l'apparition de RRAE. Pouvez-vous nous donner une synthèse de l'état actuel des connaissances concernant l'influence de la nature et des séquences d'arcs, du type de dispositif multiattache, de l'emploi d'autres dispositifs comme les disjoncteurs maxillaires, les activateurs, les élastiques inter-arcades, les gouttières d'alignement, les forces extra-orales, etc. ?*

WB, PC : Dans ce domaine, il n'existe pas de réponse factuelle avec un fort niveau de preuve. Chaque cas est porteur de ses spécificités et les moyens orthodontiques employés peuvent varier. Il est impossible de chiffrer avec précision le « gain de non-résorption » gagné à utiliser telle ou telle approche plutôt qu'une autre. L'important reste que l'objectif de traitement soit raisonnable et approprié à la situation. Les moyens employés sont une chose, mais le contrôle et la maîtrise des moyens (dont le rôle est essentiel pour répondre à la question) en est une autre...

PA : *Après une chirurgie orthognathique, des perturbations de la vascularisation de la pulpe dentaire et des résorptions radiculaires modérées [50] ont pu être observées.*

Qu'en est-il pour les techniques de piézocision et de corticotomie qui ont été proposées pour accélérer le déplacement dentaire orthodontique, du moins à court terme ?

PC : En l'état actuel de nos connaissances, il n'existe aucune publication, aucun travail permettant de savoir de façon scientifiquement démontrée si l'utilisation de ces techniques diminue le risque de résorptions radiculaires même si cela ne paraît pas impossible !

3. Données actuelles sur les attitudes thérapeutiques

3.1. Avant le traitement orthodontique

PA : *La prévention passe par une anamnèse et un examen cliniques systématiques et précis, pour rechercher d'éventuels facteurs de risque, et un examen complé-*

mentaire radiologique. Les radiographies périapicales sont plus efficaces pour évaluer la forme et le degré de RRAE [1,85]. Réalisez-vous systématiquement un bilan rétroalvéolaire quel que soit l'âge du patient et de quels secteurs ?

WB, PC : Réaliser systématiquement un bilan rétroalvéolaire en téléradiographie intra-buccale n'est pas nécessairement indiqué. Ce bilan complet peut être réservé aux situations où un doute est apparu à la lecture d'un bilan panoramique classique réalisé en première intention. L'imagerie rétroalvéolaire doit alors permettre un meilleur diagnostic. Pour permettre un suivi facile et rapide des dents suspectes, il serait utile de disposer au cabinet d'un appareil d'imagerie pouvant réaliser des radiographies rétroalvéolaires long cône (réalisées avec angulateur), de qualité et reproductibles.

PA : *Les données actuellement disponibles [2,100] suggèrent que la tomодensitométrie à faisceau conique (CBCT) peut être considérée comme fiable pour détecter la présence de RRAE en pratique clinique et qu'elle offre une efficacité diagnostique supérieure à celle des radiographies périapicales. Les doses de rayonnement délivrées par les CBCT étant plus élevées que celles observées en radiographie conventionnelle [71,92], la HAS [41] a souligné que le CBCT ne peut se substituer aux autres examens d'imagerie, s'il n'améliore pas la prise en charge des patients et si son intérêt dosimétrique n'est pas démontré. A quelles situations cliniques types réservez-vous son emploi ?*

WB, PC : Ce type d'imagerie est à réserver aux situations où il sera le seul moyen d'apporter au diagnostic un mieux mesurable et indispensable, en complément des images déjà réalisées. Les informations attendues de cette imagerie devront permettre de prendre une décision thérapeutique en meilleure connaissance de cause, en levant les incertitudes persistantes. Nous réservons les examens d'imagerie par CBCT aux seuls cas à risque ou déjà diagnostiqués, particulièrement en présence de canines incluses.

PA : *L'article 1135 du Code civil impose au praticien une obligation contractuelle d'information et de conseil. Ainsi, tout orthodontiste est, notamment, tenu d'informer son patient du risque éventuel de survenue de résorptions radiculaires, des facteurs de risque présentés par*

le patient, des thérapeutiques possibles et, pour chaque option thérapeutique, du rapport bénéfice/risque thérapeutique propre à son cas individuel [4,8]. Conseilleriez-vous de refuser la prise en charge d'un patient, en croissance et présentant d'importants facteurs de risque d'apparition de RRAE, qui n'accepterait pas, lui et/ou ses parents, le plan de traitement en deux phases [13] de sa classe II que vous leur conseillez pour limiter le risque d'apparition de RRAE lors de la correction du surplomb incisif [26,87,88,90,97] ?

WB, PC : C'est effectivement le rôle du praticien, de décrire au patient tous les aspects de la malocclusion et tous les possibles ou probables risques liés au traitement. Les objectifs de traitement devront être raisonnables et les moyens employés appropriés.

C'est au patient de décider s'il accepte les propositions de traitement et les risques décrits. En aucun cas, il ne revient au patient de proposer son plan de traitement.

Conseil utile : suggérer au patient de prendre un deuxième avis.

3.2. Pendant le traitement orthodontique

PA : Un contrôle radiographique périodique pendant le traitement orthodontique actif a été préconisé [14,68]. Le délai avant la réalisation du premier de ces contrôles est recommandé après trois mois [53], six mois [53,54] ou six à neuf mois de traitement [55]. Quand réalisez-vous ce premier contrôle, quelles indications thérapeutiques en tirez-vous et quelle fréquence de surveillance radiographique ultérieure conseillez-vous ?

WB, PC : On admet qu'un examen panoramique annuel soit indiqué pour s'assurer de la bonne marche du traitement et de l'absence de déplacements radiculaires mal contrôlés (variable selon les appareils orthodontiques en place).

Des images de la RRAE sont cependant déjà observables dès trois ou six mois à l'aide d'un appareil d'imagerie de bonne qualité (réduction radiculaire conforme ou non aux standards de soins). Ces contrôles précoces sont à réserver aux cas où l'on suspecte un risque augmenté de RRAE. Une radiographie rétroalvéolaire des incisives supérieures est en général suffisante pour se faire une idée de la situation générale quant à la RRAE. Cet examen peut être proposé tous les six mois.

L'exposition aux radiations ionisantes doit cependant être limitée au strict nécessaire et aux recommandations en vigueur.

PA : Si une RRAE est détectée en cours de traitement orthodontique, il est conseillé de favoriser une cémentogenèse cicatricielle par un arrêt des sollicitations orthodontiques, pour une durée qui varie suivant les auteurs (deux à trois mois [54], deux mois [17,75]). Si, lors d'un contrôle radiologique ultérieur, une accentuation modeste de la RRAE (ne requérant ni une révision des objectifs thérapeutiques ni un arrêt du traitement) est observée, conseillerez-vous un nouvel arrêt des sollicitations pendant deux à trois mois ?

WB, PC : Le temps d'arrêt des sollicitations est difficile à préciser, de deux à six mois ; ce qui est important, c'est que le néo-cément soit réellement... édifié, l'apex prenant un aspect lisse, arrondi.

PA : Les résultats des revues systématiques [9,12,47,78] et méta-analyses [90,98] diffèrent en fonction de leur caractère plus ou moins systématique, du nombre de bases de données électroniques interrogées et des restrictions des critères d'inclusion (type d'études et langage). Au total et comme souvent en médecine dentaire [5], de nombreuses questions restent encore sans réponses cliniques utiles, faute d'éléments de preuve suffisants. Virginie Samadet et vous avez néanmoins réussi à publier un arbre décisionnel thérapeutique [83,84] (Tab. 3). Pouvez-vous nous en proposer une version actualisée ?

WB, PC : Cet arbre décisionnel reste globalement acceptable, mais le niveau de preuve des éléments retenus dans cet arbre est faible !!!

3.3. Après le traitement orthodontique

PA : Tous les patients présenteraient en fin de traitement orthodontique une RRAE [53] à des degrés divers. Si de 2,9 % [61] à 17,2 % [28] des patients peuvent présenter une RRAE sévère de plus de 4 mm, les résorptions radiculaires consécutives à un traitement orthodontique s'arrêtent à la fin du traitement actif [10,25,20,79] et une étude a montré qu'une incisive centrale maxillaire de forme normale, de taille moyenne, qui a subi une RRAE de 5 mm sans perte osseuse au cours du traitement orthodontique, conserve 75 % de son support parodontal [45]. Quel est le pronostic à long terme des dents lésées et quels en sont les déterminants ?

Tableau 3. Recommandations en fonction du risque (d'après Samadet, *et al.* [83,84]). En fonction de la présence chez le patient d'un ou plusieurs facteurs de risque et de leur importance, le risque est qualifié de faible, modéré ou sévère et est corrélé à une attitude thérapeutique spécifique.

RISQUE FAIBLE	<p style="text-align: center;">Traitement après information et consentement éclairé du patient</p> <ul style="list-style-type: none"> - Rééducation fonctionnelle avant traitement - Prévion d'un contrôle radiologique par rétroalvéolaire à 6/8 mois puis tous les 6 mois des incisives supérieures - Maîtrise de la thérapeutique employée - Respect de la planification du traitement
RISQUE MODÉRÉ	<p style="text-align: center;">Traitement avec précautions spécifiques Information et consentement éclairé</p> <ul style="list-style-type: none"> - Rééducation fonctionnelle avant traitement - Évaluation et thérapeutique de soutien parodontal - Limitation du temps de traitement - Surveillance radiologique accrue (status complet pré-thérapeutique, puis clichés rétroalvéolaires tous les 6 mois sur les dents antérieures) - Limitation des mouvements exposant à la résorption radiculaire - Forces légères interrompues - Désocclusion par cales - Suivi, contention longue et équilibration occlusale
RISQUE SÉVÈRE	<p style="text-align: center;">Compromis thérapeutique ou absence de traitement Information et consentement éclairé</p> <ul style="list-style-type: none"> - Limitation des objectifs de traitement (fonctionnels et esthétiques) - Pas de mouvements inducteurs de résorption radiculaire - Surveillance radiologique accrue - Cales de désocclusion - Contention longue voire définitive - Équilibration occlusale - Dans les deux cas, prévion éventuelle à la place ou en relai de l'ODF : prothèse (implant) et/ou chirurgie orthognathique

WB, PC : On rapporte en général un bon pronostic pour ces dents, en particulier si la longueur de la racine excède encore 9 mm. On recense dans la littérature des cas cliniques de dents avec des racines très raccourcies (3 mm de longueur résiduelle), encore présentes sur la mâchoire au bout de 30 ans. Une bonne santé parodontale est évidemment requise dans ces cas extrêmes.

4. Conclusion

PA : *Merci, Professeurs Bacon et Canal, d'avoir partagé avec les lecteurs de l'Orthodontie Française votre expérience clinique et cette synthèse de l'état actuel des données publiées sur les facteurs de risque d'apparition des RRAE et les attitudes thérapeutiques à privilégier.*

WB, PC : Ce fut un plaisir pour nous d'avoir pu faire avec toi ce point sur les données actuelles, encore trop rares et d'un niveau de preuve inégal, consacrées aux résorptions radiculaires apicales externes. Le hasard et la chance peuvent aussi avoir un rôle dans l'expérience de chacun et ses observations sur la RRAE. Mais hélas, à ce jour, quoi que l'on fasse, il est peu probable que nos patients échappent à la RRAE.

Nous souhaitons donc bonne chance aux cliniciens, car il se dit également que la chance se mérite...

Conflits d'intérêt

Les auteurs déclarent n'avoir aucun lien d'intérêt concernant les données publiées dans cet article.

Bibliographie

- [1] Ahuja PD, Mhaske SP, Mishra G, Bhardwaj A, Dwivedi R, Mangalekar SB. Assessment of Root Resorption and Root Shape by Periapical and Panoramic Radiographs: A Comparative Study. *J Contemp Dent Pract* 2017;18(6):479-483.
- [2] Alamadi E, Alhazmi H, Hansen K, Lundgren T, Naoumova J. A comparative study of cone beam computed tomography and conventional radiography in diagnosing the extent of root resorptions *Prog Orthod* 2017;18(1):37.
- [3] Alqerban A, Jacobs R, Lambrechts P, Loozen G, Willems G. Root resorption of the maxillary lateral incisor caused by impacted canine: a literature review. *Clin Oral Investig* 2009;13(3):247-255.
- [4] Amat P. Approche éthique et juridique des résorptions radiculaires en orthodontie. Mémoire pour le diplôme universitaire d'expertise en médecine dentaire. Paris Univ. Diderot - Paris 7, 2018.
- [5] Amat P. Dentisterie fondée sur les faits : en omnipratique et en orthodontie. Paris : Éditions CdP, 2012.
- [6] Arita K, Hotokezaka H, Hashimoto M, Nakano-Tajima T, Kurohama T, Kondo T, Darendeliler MA, Yoshida N. Effects of diabetes on tooth movement and root resorption after orthodontic force application in rats. *Orthod Craniofac Res* 2016;19(2):83-92.
- [7] Bacon W, Canal P. Le clinicien et la rhizalyse orthodontique : l'essentiel des données actuelles. *Rev Orthop Dento Faciale* 2004;38:303-308.
- [8] Béry A. Résorptions radiculaires et responsabilité. *Rev Orthop Dento Faciale* 2007;41:349-354.
- [9] Brezniak N, Wasserstein A. Root resorption after orthodontic treatment: part 1. Literature review. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1993;103:62-66.
- [10] Brezniak N, Wasserstein A. Root resorption after orthodontic treatment: Part 2. Literature review. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1993;103(2):138-146.
- [11] Brezniak N, Wasserstein A. Orthodontically induced inflammatory root resorption. Part I: the basic science aspect. *Angle Orthod* 2002;72:175-179.
- [12] Brezniak N, Wasserstein A. Orthodontically induced inflammatory root resorption. Part II: the clinical aspects. *Angle Orthod* 2002;72:180-184.
- [13] Brin I, Tulloch JF, Koroluk L, Philips C. External apical root resorption in Class II malocclusion: a retrospective review of 1-versus 2-phase treatment. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2003;124:151-156.
- [14] Brown WA. Resorption of permanent teeth. *Br J Orthod* 1982;9(4):212-220.
- [15] Dubernard C, Cuminetti F, Canal P. À propos d'un cas de résorptions radiculaires sévères en orthodontie : quelle étiologie et quelle prise en charge ? *Orthod Fr* 2017;88:149-163.
- [16] Chaushu S, Kaczor-Urbanowicz K, Zadurska M, Becker A. Predisposing factors for severe incisor root resorption associated with impacted maxillary canines. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2015;147:52-60.
- [17] Cheng LL, Türk T, Elekdağ-Türk S, Jones AS, Yu Y, Darendeliler MA. Repair of root resorption 4 and 8 weeks after application of continuous light and heavy forces on premolars for 4 weeks: a histology study. *Am J Orthod* 2010;138(6):727-734.
- [18] Chouvin M. Relation entre phase de traitement, pulsion linguale et apparition des résorptions radiculaires. Table ronde : Les résorptions. SFODF. Congrès (68;1995;St Malo et Paris). *Orthod Fr* 1995;66:559-564.
- [19] Consolaro A, Bittencourt G. Why not to treat the tooth canal to solve external root resorptions ? Here are the principles! *Dental Press J Orthod* 2016;21(6):20-25.
- [20] Copeland S, Green W. Root resorption in maxillary central incisors following active orthodontic treatment. *Am J Orthod* 1986;89(1):51-55.
- [21] da Silva Filho OG, Mendes Ode F, Ozawa TO, Ferrari Junior FM, Correa TM. Behavior of partially formed roots of teeth submitted to orthodontic movement. *J Clin Pediatr Dent* 2004;28(2):147-154.
- [22] Dağsuyu İM, Okşayan R, Kahraman F, Aydın M, Bayrakdar İŞ, Uğurlu M. The Relationship between Dental Follicle Width and Maxillary Impacted Canines. Descriptive and Resorptive Features Using Cone-Beam Computed Tomography. *Biomed Res Int* 2017;2017:2938691.
- [23] Darcey J, Qualtrough A. Resorption: part 1. Pathology, classification and aetiology. *Br Dent J* 2013;214(9):439-451.
- [24] Davidovitch Z, Lee YJ, Counts AL, Park YG, Bursac Z. The immune system possibly modulates orthodontic root resorption. In: Davidovitch Z, Mah J, eds. *Biological Mechanisms of Tooth Movement and Craniofacial Adaptation*. Boston, Mass: Harvard Society for the Advancement of Orthodontics; 2000:207-217.
- [25] de Freitas JC, Lyra OC, de Alencar AH, Estrela C. Long-term evaluation of apical root resorption after orthodontic treatment using periapical radiography and cone beam computed tomography. *Dental Press J Orthod* 2013;18(4):104-112.
- [26] DeShields RW. A study of root resorption in treated Class II Division 1 malocclusion. *Angle Orthod* 1969;39:231-245.
- [27] Diop Ba K, Samadet V, Delsol L, Canal P, Frapier L, Chouvin M, Bacon W. Résorption en orthodontie. *EMC - Orthopédie dento-faciale* 2013;8(1):1-10 [Article 23-492-E-13].
- [28] Eisel A, Katsaros C, Berg R. The course and results of the orthodontic treatment of 44 consecutively treated Class-II cases. *Fortschritte der Kieferorthopädie* 1994;55(1):1-8.
- [29] Ericson S, Bjerklind K, Falahat B. Does the canine dental follicle cause resorption of permanent incisor roots ? A computed tomographic study of erupting maxillary canines. *Angle Orthod* 2002;72(2):95-104.
- [30] Feller L, Khammissa RA, Thomadakis G, Fourie J, Lemmer J. Apical External Root Resorption and Repair in Orthodontic Tooth Movement: Biological Events. *Biomed Res Int* 2016;2016:4864195.
- [31] Fox N. Longer orthodontic treatment may result in greater external apical root resorption. *Evid Based Dent* 2005;6(1):21.
- [32] Frapier L, Massif L, Leplus M, Chouvin M, Canal P. Conduite à tenir face aux résorptions radiculaires. *Rev Orthop Dento Faciale* 2007;41:295-309.
- [33] Fuss Z, Tsesis I, Lin S. Root resorption—diagnosis, classification and treatment choices based on stimulation factors. *Dent Traumatol* 2003;19(4):175-182.

- [34] Gholston L, Mattison G. An endodontic-orthodontic technique for aesthetic stabilization of externally resorbed teeth. *Am J Orthod* 1983;83:435-440.
- [35] Harris EF, Butler ML. Patterns of incisor root resorption before and after orthodontic correction in cases with anterior open bites. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1992;101(2):112-119.
- [36] Harry MR, Sims MR. Root resorption in bicuspid intrusion. A scanning electron microscope study. *Angle Orthod* 1982;52(3):235-258.
- [37] Hartsfield JK Jr, Everett ET, Al-Qawasmi RA. Genetic factors in external apical root resorption and orthodontic treatment. *Crit Rev Oral Biol Med* 2004;15(2):115-122.
- [38] Hartsfield JK Jr, Jacob GJ, Morford LA. Heredity, Genetics and Orthodontics - How Much Has This Research Really Helped? *Semin Orthod* 2017;23(4):336-347.
- [39] Hauber Gameiro G, Nouer DF, Borges De Araújo Magnani MB, Duarte Novaes P, Bovi Ambrosano GM, *et al.* Evaluation of root resorption associated with orthodontic movement in stressed rats. *Minerva Stomatol* 2008;57(11-12):569-575.
- [40] Holan G, Yodko E, Sheinvald-Shusterman K. The association between traumatic dental injuries and atypical external root resorption in maxillary primary incisors. *Dent Traumatol* 2015;31(1):35-41.
- [41] https://www.has-sante.fr/portail/upload/docs/application/pdf/2009-12/rapport_cone_beam_version_finale_2009-12-28_17-27-28_610.pdf
- [42] Iglesias-Linares A, Hartsfield JK Jr. Cellular and Molecular Pathways Leading to External Root Resorption. *J Dent Res* 2017;96(2):145-152.
- [43] Ioannidou-Marathiotou I, Zafeiriadis AA, Papadopoulos MA. Root resorption of endodontically treated teeth following orthodontic treatment: a meta-analysis. *Clin Oral Investig* 2013;17(7):1733-1744.
- [44] Joubert CE. Relationship of self-esteem, manifest anxiety, and obsessive compulsiveness to personal habits. *Psychol Rep* 1993;73:579-583.
- [45] Kalkwarf KL, Krejci RF, Pao YC. Effect of apical root resorption on periodontal support. *J Prosthet Dent* 1986;56(3):317-319.
- [46] Kanas RJ, Kanas SJ. Dental root resorption: a review of the literature and a proposed new classification. *Compend Contin Educ Dent* 2011;32(3):e38-52.
- [47] Killiany DM. Root resorption caused by orthodontic treatment : review of literature from 1998 to 2001 for evidence. *Prog Orthod* 2002;3:2-5.
- [48] Kjaer I. Morphological characteristics of dentitions developing excessive root resorption during orthodontic treatment. *Eur J Orthod* 1995;17:25-34.
- [49] Kurol J, Owman-Moll P, Lundgren D. Time related root resorptions after application of a controlled continuous orthodontic force. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 1996;110:303-310.
- [50] Lazaridis K, Lazaridou M, Athanasiou AE. Pulpal and Periodontal Tissues Changes Associated with Le Fort I and Sagittal Split Ramus Osteotomies: A review. *Open Dent J* 2018;12:24-31.
- [51] Le Norcy E. Anomalies dentaires et résorption radiculaire apicale externe au cours du traitement orthodontique : une étude radiographique rétrospective sur l'incisive centrale maxillaire. *Rev Orthop Dento-Faciale* 2009;43:143-151.
- [52] Lee RY, Artun J, Alonzo TA. Are dental anomalies risk factors for apical root resorption in orthodontic patients? *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1999;116:187-195.
- [53] Levander E, Bajka R, Malmgren O. Early radiographic diagnosis of apical root resorption during orthodontic treatment: a study of maxillary incisors. *Eur J Orthod* 1998;20(1):57-63.
- [54] Levander E, Malmgren O, Eliasson S. Evaluation of root resorption in relation to two orthodontic treatment regimes. A clinical experimental study. *Eur J Orthod* 1994;16:223-228.
- [55] Levander E, Malmgren O. Evaluation of the risk of root resorption during orthodontic treatment : a study of upper incisors. *Eur J Orthod* 1988;10:30-38.
- [56] Linge L, Linge BO. Patient characteristics and treatment variables associated with apical root resorption during orthodontic treatment. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1991;99:35-43.
- [57] Makedonas D, Lund H, Gröndahl K, Hansen K. Root resorption diagnosed with cone beam computed tomography after 6 months of orthodontic treatment with fixed appliance and the relation to risk factors. *Angle Orthod* 2012;82(2):196-201.
- [58] Makrygiannakis MA, Kaklamanos EG, Athanasiou AE. Does common prescription medication affect the rate of orthodontic tooth movement? A systematic review. *Eur J Orthod* 2018. doi: 10.1093/ejo/cjy001.
- [59] Mandall N, Lowe C, Worthington H, Sandler J, Derwent S, Abdi-Oskouei M, *et al.* Which orthodontic archwire sequence? A randomized clinical trial. *Eur J Orthod* 2006;28:561-566.
- [60] Mandel E, Villette G. Traumatismes et complications pulpaires : prévention et attitudes thérapeutiques. *Rev Orthop Dento Faciale* 2005;39:11-42.
- [61] Maués CP, do Nascimento RR, Vilella Ode V. Severe root resorption resulting from orthodontic treatment: prevalence and risk factors. *Dental Press J Orthod* 2015;20(1):52-58.
- [62] Mavragani M, Bøe OE, Wisht PJ, Selvig KA. Changes in root length during orthodontic treatment: advantages for immature teeth. *Eur J Orthod* 2002;24(1):91-97.
- [63] Mavragani M, Brudvik P, Selvig KA. Orthodontically induced root and alveolar bone resorption: inhibitory effect of systemic doxycycline administration in rats. *Eur J Orthod* 2005;27:215.
- [64] McNab S, Battistutta D, Taverne A, Symons AL. External apical root resorption of posterior teeth in asthmatics after orthodontic treatment. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1999;116:545-551 [PubMed: 10547515].
- [65] Mohanty P, Prasad NK, Sahoo N, Kumar G, Mohanty D, Sah S. Reforming craniofacial orthodontics via stem cells. *J Int Soc Prev Community Dent* 2015;5(1):13-18.
- [66] Murata N, Ioi H, Ouchi M, Takao T, Oida H, Aijima R, Yamaza T, Kido MA. Effect of allergen sensitization on external root resorption. *J Dent Res* 2013;92(7):641-647.
- [67] Nanekrungsan K, Patanaporn V, Janhom A, Korwanich N. External apical root resorption in maxillary incisors in orthodontic patients: associated factors and radiographic evaluation. *Imaging Sci Dent* 2012;42(3):147-154.
- [68] Newman WG. Possible etiologic factors in external root resorption. *Am J Orthod* 1975;67(5):522-539.

- [69] Nieto-Nieto N, Solano JE, Yañez-Vico R. External apical root resorption concurrent with orthodontic forces: the genetic influence. *Acta Odontol Scand* 2017;75(4):280-287.
- [70] Nishioka M, Ioi H, Nakata S, Nakasima A, Counts A. Root resorption and immune system factors in the Japanese. *Angle Orthod* 2006;76:103-108.
- [71] Noar JH, Pabari S. Cone beam computed tomography - current understanding and evidence for its orthodontic applications ? *J Orthod* 2013;40(1):5-13.
- [72] Odebrecht R, Canto G, Bortolon A. Comparative study of apical root resorption in bruxer patients and in patients without clinical signs of tooth wear. *Rev Dent Press Ortodon Orthop Facial* 2004;9:44-49.
- [73] Odenrick L, Brattstrom V. Nailbiting frequency and association with root resorption during orthodontic treatment. *J Orthod* 1985;12:78-81.
- [74] Odenrick L, Karlander EL, Pierce A, Kretschmar U. Surface resorption following two forms of rapid maxillary expansion. *Eur J Orthod*. 1991;13(4):264-270.
- [75] Owman-Moll P, Kurol J, Lundgren D. Repair of orthodontically induced root resorption in adolescents. *Angle Orthod* 1995;65:403-408.
- [76] Owman-Moll P, Kurol J. Root resorption after orthodontic treatment in high- and low-risk patients: Analysis of allergy as a possible predisposing factor. *Eur J Orthod* 2000;22:657-663.
- [77] Pastro JDV, Nogueira ACA, Salvatore de Freitas KM, Valarelli FP, Cançado RH, de Oliveira RCG, de Oliveira RCG. Factors Associated to Apical Root Resorption after Orthodontic Treatment. *Open Dent J* 2018;12:331-339.
- [78] Pizzo G, Licata ME, Guiglia R, Giuliana G. Root resorption and orthodontic treatment. Review of the literature. *Minerva Stomatol* 2007;56(1-2):31-44.
- [79] Remington DN, Joondeph DR, Artun J, Riedel RA, Chapko MK. Long-term evaluation of root resorption occurring during orthodontic treatment. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1989;96(1):43-46.
- [80] Ren Y, Maltha JC, Kuijpers-Jagtman AM. Optimum force magnitude for orthodontic tooth movement: a systematic literature review. *Angle Orthod* 2003;73:86-92.
- [81] Roscoe MG, Meira JB, Cattaneo PM. Association of orthodontic force system and root resorption: A systematic review. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2015;147(5):610-626.
- [82] Safari S, Mahdian A, Motamedian SR. Applications of stem cells in orthodontics and dentofacial orthopedics: Current trends and future perspectives. *World J Stem Cells* 2018;10(6):66-77.
- [83] Samadet V, Bacon W. Les résorptions radiculaires : facteurs de risque et attitudes thérapeutiques. *Rev Orthop Dento Faciale* 2007;41:263-293.
- [84] Samadet V, Chouvin M, Bacon W, Canal P. Les résorptions radiculaires : facteurs de risque et attitude thérapeutique. *Rev Orthop Dento Faciale* 2006;40:453-456.
- [85] Sameshima GT, Asgarifar KO. Assessment of root resorption and root shape: periapical vs panoramic films. *Angle Orthod* 2001;71(3):185-189.
- [86] Sameshima GT, Sinclair PM. Characteristics of patients with severe root resorption. *Orthod Craniofac Res* 2004;7:108-114.
- [87] Sameshima GT, Sinclair PM. Predicting and preventing root resorption: part I. Diagnostic factors. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2001;119:505-510.
- [88] Sameshima GT, Sinclair PM. Predicting and preventing root resorption: part II. Treatment factors. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 2001;119:511-515.
- [89] Scheibel PC, Ramos AL, Iwaki LC, Micheletti KR. Analysis of correlation between initial alveolar bone density and apical root resorption after 12 months of orthodontic treatment without extraction. *Dental Press J Orthod* 2014;19(5):97-102.
- [90] Segal G, Schiffman P, Tuncay O. Meta analysis of the treatment related factors of external apical root resorption. *Orthod Craniofac Res* 2004;7:71-78.
- [91] Sharab LY, Morford LA, Dempsey J, Falcão-Alencar G, Mason A, Jacobson E, *et al.* Genetic and treatment-related risk factors associated with external apical root resorption (EARR) concurrent with orthodontia. *Orthod Craniofac Res* 2015;18 Suppl 1:71-82.
- [92] Signorelli L, Patcas R, Peltomäki T, Schätzle M. Radiation dose of cone-beam computed tomography compared to conventional radiographs in orthodontics. *J Orofac Orthop* 2016;77(1):9-15.
- [93] Sirisoontorn I, Hotokezaka H, Hashimoto M, Gonzales C, Luppanapornlarp S, Darendeliler MA, *et al.* Tooth movement and root resorption; the effect of ovariectomy on orthodontic force application in rats. *Angle Orthod* 2011;81(4):570-577.
- [94] Spuerri A, Koletsi D, Eliades T. Intrinsic Hormone-Like Molecules and External Root Resorption During Orthodontic Tooth Movement. A Systematic Review and Meta-Analysis in Preclinical in-Vivo Research. *Front Physiol* 2018;9:303.
- [95] Suteerapongpun P, Sirabanchongkran S, Wattanachai T, Sriwilas P, Jotikasthira D. Root surface areas of maxillary permanent teeth in anterior normal overbite and anterior open bite assessed using cone-beam computed tomography. *Imaging Sci Dent* 2017;47(4):241-246.
- [96] Thongudomporn U, Freer TJ. Anomalous dental morphology and root resorption during orthodontic treatment: a pilot study. *Aust Orthod J* 1998;15:162-167.
- [97] Tieu LD, Saltaji H, Normando D, Flores-Mir C. Radiologically determined orthodontically induced external apical root resorption in incisors after non-surgical orthodontic treatment of class II. *Prog Orthod* 2014;15:48.
- [98] Weltman B, Vig KW, Fields HW, Shanker S, Kaizar EE. Root resorption associated with orthodontic tooth movement: a systematic review. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2010;137(4):462-76; discussion 12A.
- [99] Weltman B, Vig KW, Fields HW, Shanker S, Kaizar EE. Root resorption associated with orthodontic tooth movement: a systematic review. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2010;137:462-76; discussion 11A.
- [100] Yi J, Sun Y, Li Y, Li C, Li X, Zhao Z. Cone-beam computed tomography versus periapical radiograph for diagnosing external root resorption: A systematic review and meta-analysis. *Angle Orthod* 2017;87(2):328-337.