

UNIVERSITÉ DE LILLE
DEPARTEMENT FACULTAIRE UFR3S-ODONTOLOGIE

Année de soutenance : 2025

N°:

THÈSE POUR LE
DIPLÔME D'ÉTAT DE DOCTEUR EN CHIRURGIE DENTAIRE

Présentée et soutenue publiquement le 06 juin 2025

Par Thomas Dantin

**Optimisation Ergonomique en Endodontie : Solutions Actuelles
et Perspectives Futures**

JURY

Président : Monsieur le Professeur Lieven ROBBERECHT

Assesseurs : Monsieur le Docteur Marc LINEZ

Monsieur le Docteur Henri PERSON

Monsieur le Docteur Florian DE CONINCK

Président de l'Université	: Pr. R. BORDET
Directrice Générale des Services de l'Université	: A-V. CHIRIS-FABRE
Doyen UFR3S	: Pr. D. LACROIX
Directrice des Services d'Appui UFR3S	: A. PACAUD
Doyen de la faculté d'Odontologie – UFR3S	: Pr. C. DELFOSSE
Responsable des Services	: L. KORAÏCHI
Responsable de la Scolarité	: V. MAURIAUCOURT

PERSONNEL ENSEIGNANT DE LA FACULTE

PROFESSEUR DES UNIVERSITES EMERITE

E DEVEAUX	Département de Dentisterie Restauratrice Endodontie
-----------	--

PROFESSEURS DES UNIVERSITES :

K. AGOSSA	Parodontologie
P. BOITELLE	Responsable du département de Prothèse
T. COLARD	Fonction-Dysfonction, Imagerie, Biomatériaux
C. DELFOSSE.	Vice doyen du département facultaire UFR3S- Odontologie Odontologie Pédiatrique. Responsable du département d'Orthopédie dento-faciale
L. ROBBERECHT	Responsable du Département de Dentisterie Restauratrice Endodontie

MAITRES DE CONFERENCES DES UNIVERSITES

T. BECAVIN	Fonction-Dysfonction, Imagerie, Biomatériaux
A. BLAIZOT	Prévention, Épidémiologie, Économie de la Santé, Odontologie Légale
F. BOSCHIN	Parodontologie
C. CATTEAU	Responsable du Département de Prévention, Epidémiologie, Economie de la Santé, Odontologie Légale.
X. COUTEL	Biologie Orale
A. de BROUCKER	Fonction-Dysfonction, Imagerie, Biomatériaux
M. DEHURTEVENT	Prothèses
C. DENIS	Prothèses
F. DESCAMP	Prothèses
M. DUBAR	Responsable du Département de Parodontologie
A. GAMBIEZ	Dentisterie Restauratrice Endodontie
F. GRAUX	Prothèses
M. LINEZ	Dentisterie Restauratrice Endodontie
T. MARQUILLIER	Odontologie Pédiatrique
G. MAYER	Prothèses
L. NAWROCKI	Responsable du Département de Chirurgie Orale Chef du Service d'Odontologie A. Caumartin – CHU Lille
C. OLEJNIK	Responsable du Département de Biologie Orale
H. PERSON	Dentisterie Restauratrice Endodontie (maître de conférences des Universités associé)
P. ROCHER	Fonction-Dysfonction, Imagerie, Biomatériaux
M. SAVIGNAT	Responsable du Département de Fonction- Dysfonction, Imagerie, Biomatériaux
T. TRENTSAUX	Responsable du Département d'Odontologie Pédiatrique
J. VANDOMME	Prothèses
R. WAKAM KOUAM	Prothèses

PRATICIEN HOSPITALIER et UNIVERSITAIRE

M BEDEZ	Biologie Orale
---------	----------------

Réglementation de présentation du mémoire de Thèse

Par délibération en date du 29 octobre 1998, le Conseil de la Faculté de Chirurgie Dentaire de l'Université de Lille a décidé que les opinions émises dans le contenu et les dédicaces des mémoires soutenus devant jury doivent être considérées comme propres à leurs auteurs, et qu'ainsi aucune approbation ni improbation ne leur est donnée.

Remerciements

Aux membres du jury,

Monsieur le Professeur Lieven ROBBERECHT

Professeur des Universités – Praticien Hospitalier

Section de Réhabilitation Orale

Département de Dentisterie Restauratrice Endodontie

Docteur en Chirurgie Dentaire

Docteur de l'Université de Lille

Habilité à diriger des recherches

Responsable du Département de Dentisterie Restauratrice

Endodontie

Je suis très honoré que vous ayez accepté de présider mon jury de thèse. Je vous remercie pour le temps que vous avez consacré à l'évaluation de mon travail et à l'organisation de cette soutenance. Votre exigence, votre rigueur et la qualité de votre enseignement ont été une source précieuse d'apprentissage. Veuillez trouver ici l'expression de ma profonde reconnaissance et de mon respect.

Monsieur le Docteur Marc LINEZ

Maître de Conférences des Universités – Praticien Hospitalier

Section de Réhabilitation Orale

Département de Dentisterie Restauratrice Endodontie

Docteur en Chirurgie Dentaire

Diplôme d'Etudes Approfondies Sciences de la Vie et de la Santé

Maîtrise de Sciences de la Vie et de la Santé

Responsable de l'Unité Fonctionnelle de Dentisterie Restauratrice

Endodontie

Je tiens à vous remercier sincèrement pour votre encadrement et votre disponibilité tout au long de cette thèse. Votre expertise et vos conseils éclairés m'ont guidé avec bienveillance et m'ont permis d'approfondir ma réflexion sur l'endodontie. Votre engagement et votre exigence m'ont encouragé à donner le meilleur de moi-même, tant dans la réalisation de ce travail que dans ma pratique quotidienne. Veuillez trouver dans ces pages l'expression de ma reconnaissance et de mon profond respect.

Monsieur le Docteur Henri PERSOON

Maitre de conférences associé

Section de Réhabilitation Orale

Département de Dentisterie Restauratrice Endodontie

Docteur en Chirurgie Dentaire

Certificat d'Etudes Supérieures d'Odontologie Chirurgicale mention

Odontologie Chirurgicale – Université de Lille

Je vous remercie d'avoir accepté de siéger au sein du jury de ma thèse. Votre bienveillance et votre sympathie ont toujours été appréciées, rendant les échanges d'autant plus agréables. Je suis reconnaissant pour vos conseils et votre disponibilité notamment lors de mes travaux pratiques, et vous adresse ici mes sincères remerciements ainsi que mon profond respect.

Monsieur le Docteur Florian DE CONINCK

Chef de Clinique des Universités – Assistant Hospitalier

Section de Réhabilitation Orale

Département de Dentisterie Restauratrice Endodontie

Docteur en Chirurgie Dentaire

Certificat d'Études Supérieures Odontologie Conservatrice

Endodontie - Université Paris Cité

Attestation Universitaire Soins Dentaires sous sédation consciente

au MEOPA - Université de Lille

Je vous remercie chaleureusement d'avoir accepté de faire partie de ce jury. Votre disponibilité et votre bienveillance ont été précieuses tout au long de mes années d'études. Les conseils que vous m'avez donnés lors de cette période ont grandement contribué à mon parcours. Je vous adresse ici ma sincère reconnaissance et mon respect.

A mes proches,

Table des matières

1. Introduction	14
2. Une pratique endodontique plus ergonomique : un regard sur l'histoire et le contexte actuel	15
2.1 Les prémices d'une pratique endodontique : une lutte contre la douleur	15
2.2 L'ère de la précision et de la sophistication : une transformation radicale	16
2.3 L'endodontie contemporaine : entre défis et ergonomie pour une pratique durable	16
3. Conséquences délétères d'une pratique non ergonomique	18
3.1 Définition de l'ergonomie	18
3.2 L'impact sur la santé du praticien	18
3.2.1 Impact sur la santé physique	18
3.2.2 Impact sur la santé mentale	21
3.3 Diminution de la qualité des soins	21
3.3.1 Allongement du traitement	21
3.3.2 Erreurs d'asepsie	22
4. Trois dimensions de l'ergonomie comme solution	22
4.1 L'ergonomie physique	23
4.1.1 Posture de travail optimale	23
4.1.1.1 Séquence d'installation des acteurs	23
4.1.1.2 Positionnement idéal du praticien, de l'assistante et du patient	24
4.1.2 Le principe d'économie de mouvements	31
4.1.3 La vision indirecte	32
4.1.4 L'éclairage	32
4.1.5 Instruments et équipements ergonomiques	33
4.1.5.1 Les gants	33
4.1.5.2 Les instruments stérilisables	34
4.1.5.3 Le siège opérateur	35
4.1.5.4 L'unit dentaire	37
4.1.5.5 Les aides optiques	38
4.1.5.6 Instruments spécifiques aux étapes du traitement endodontique	42
4.2 L'ergonomie organisationnelle	43
4.2.1 Travail à quatre mains	43
4.2.1.1 Le transfert des instruments	44
4.2.1.2 Mise en place d'un champ opératoire aseptique	47
4.2.1.3 L'aspiration	48
4.2.2 Évolution vers un travail à six mains	48
4.2.3 Organisation de l'espace de travail	49

4.2.4	Un plateau technique ergonomique	51
4.2.3.1	Le bac d'endodontie	52
4.2.3.2	Les cassettes d'endodontie	53
4.3	L'ergonomie cognitive	55
4.3.1	Les protocoles opératoires	55
4.3.2	Dossier médical informatisé	57
5.	Les perspectives ergonomiques d'avenir en endodontie	58
5.1	L'intelligence artificielle	58
5.1.1	Aide au diagnostic et à la prise de décision	58
5.1.2	Aide à la planification du traitement : ergonomie organisationnelle assistée	59
5.1.3	Assistance peropératoire	60
5.2	Les Exosquelettes	60
5.2.1	Technologie et types d'exosquelettes	60
5.2.2	Application en endodontie et bénéfices ergonomiques	61
6.	Conclusion	63

1. Introduction

L'endodontie est une discipline exigeante nécessitant précision et concentration. Les traitements endodontiques constituent des interventions fréquentes en pratique quotidienne. En 2009, la Haute Autorité de Santé estimait la fréquence de réalisation d'actes endodontiques à 6 millions par an, soit environ 9% des actes réalisés dans les cabinets dentaires français¹. La prévalence élevée de ces actes complexes et chronophages, associée à la gravité potentielle de la pathologie endodontique, souligne l'importance d'optimiser leur prise en charge ergonomique.

L'ergonomie peut être définie comme l'étude scientifique visant à adapter les conditions de travail aux capacités de l'opérateur, dans un souci d'efficacité, de confort et de sécurité [22,62]. Bien que relativement récente, née dans l'industrie dans les années 1940, son application à l'odontologie émerge dans les années 1960-1970. Des pionniers comme Kilpatrick et Beach, ont repensé les bases de l'ergonomie dentaire au niveau des équipements, de l'instrumentation et des postures de travail [16,36]. En 1964, l'ouvrage de Kilpatrick popularise le concept du travail "à quatre mains", révolutionnant ainsi l'exercice de la profession. C'est à cette période que l'endodontie commence à intégrer ces principes ergonomiques devenus incontournables.

Une mauvaise ergonomie en endodontie expose le praticien à des risques accrus de troubles musculo-squelettiques (TMS), d'erreurs médicales et de litiges [53]. Elle compromet également l'asepsie, la productivité et la qualité des soins [43]. À l'inverse, l'application de principes ergonomiques optimise le rendement, le confort et la sécurité de l'équipe soignante, tout en améliorant la prise en charge du patient. Bien que le concept d'ergonomie soit évolutif, son intégration dans la pratique endodontique quotidienne est indispensable.

Ce travail vise à explorer les différentes dimensions actuelles et futures de l'ergonomie en endodontie pour optimiser la pratique des dentistes, préserver leur santé, accroître leur efficacité et celle de leur équipe et offrir des soins de qualité optimale aux patients.

¹ Haute Autorité de Santé. [Internet] Traitement endodontique : rapport d'évaluation technologique. Disponible sur : https://www.hassante.fr/upload/docs/application/pdf/2009-01/rapport_traitement_endodontique.pdf

2. Une pratique endodontique plus ergonomique : un regard sur l'histoire et le contexte actuel

L'endodontie connaît une évolution remarquable au fil des siècles, marquée par une quête constante d'amélioration de l'efficacité et de la qualité des soins. Cette progression vise non seulement à renforcer le confort et la sécurité du patient, mais aussi à optimiser la qualité et le bien-être du praticien.

2.1 Les prémices d'une pratique endodontique : une lutte contre la douleur [20,57]

Le traitement des pathologies pulpaires est rudimentaire et souvent douloureux avant les découvertes majeures du XIX^e siècle.

L'utilisation de solutions caustiques (acides nitrique, sulfurique ou chlorhydrique), de fils chauds ou d'instruments pointus témoigne des méthodes drastiques employées à l'époque.

Bien que l'introduction des anesthésiques locaux, comme la cocaïne et plus tard la Novocaïne, marque un progrès notable dans la gestion de la douleur, ces techniques restent imparfaites et exposent à des risques, notamment en raison de la contamination et du dosage encore mal maîtrisé à l'époque.

Dans ce contexte, la notion d'ergonomie en dentisterie est pratiquement absente. Les praticiens doivent s'adapter aux équipements lourds et peu flexibles, tels que les fauteuils dentaires et les systèmes d'éclairage, ce qui limite leur confort et augmente la fatigue physique. Les dentistes travaillent souvent dans des positions inconfortables, rendant ainsi leurs interventions encore plus difficiles.

2.2 L'ère de la précision et de la sophistication : une transformation radicale

Les découvertes majeures de la fin du XIX^e siècle révolutionnent la pratique dentaire. Les dentistes peuvent alors travailler en position assise, ce qui conduit à l'élaboration des premières règles posturales et procédurales par Kilpatrick, ainsi qu'à l'intégration de rôles auxiliaires, notamment avec l'assistante dentaire et la technique à quatre mains [16,57].

Cependant, malgré ces règles et protocoles, les cliniciens ne les respectent pas et continuent de se tordre et de se contorsionner. Bien que les dentistes constatent moins de varices aux jambes, ils commencent alors à souffrir davantage de problèmes au niveau du dos et des membres supérieurs [57].

En endodontie, les avancées technologiques permettent d'effectuer des traitements radiculaires avec une précision et une sécurité accrue, tout en réduisant considérablement la douleur pour le patient [20,57].

L'endodontie connaît un essor rapide pour répondre à la demande croissante de traitements canalaires. Si cette spécialité évolue au fil des années, les dernières décennies voient des changements d'une ampleur sans précédent. Le microscope, les ultrasons, les localisateurs d'apex et les limes flexibles en nickel-titane permettent des traitements plus précis, plus efficaces et moins invasifs. L'avènement de la microchirurgie endodontique marque une étape cruciale, offrant une vision optimale des structures anatomiques complexes et apportant plus de précision, moins d'erreurs et d'inconfort pour le patient [29,42].

2.3 L'endodontie contemporaine : entre défis et ergonomie pour une pratique durable

L'endodontie moderne, bien que sophistiquée, pose de nouveaux défis. Elle impose des protocoles longs, minutieux et stressants, nécessitant des postures contraignantes et un plateau technique avancé [43,68]. Cette évolution conduit également à une proportion croissante de traitements complexes sur les dents postérieures notamment chez des personnes âgées [3].

Les enjeux sont importants : de nombreuses dents traitées servent de support à des restaurations prothétiques coûteuses, exigeant un niveau de soin optimal pour éviter échecs et litiges. Selon la littérature, les réclamations liées aux traitements endodontiques sont courantes parmi les cas de responsabilité professionnelle dentaire et constituent même le deuxième type de réclamation le plus fréquent [54].

Dans ce contexte exigeant, les praticiens doivent composer avec des contraintes physiques importantes, rendant la prise en compte de l'ergonomie indispensable. **L'ergonomie, bien qu'essentielle, reste souvent négligée.** En raison de la précision requise et de la durée des interventions, les praticiens adoptent fréquemment des postures inadaptées, ce qui entraîne une fatigue musculaire et un risque accru de troubles musculo-squelettiques (TMS) [30]. De nombreuses études font état d'un manque de connaissances en ergonomie au sein de la profession dentaire [10,30]. Le manque de temps et la pression économique sont souvent cités comme raisons pour négliger l'ergonomie [15].

Un environnement de travail mal optimisé peut ainsi affecter non seulement le bien-être du praticien, mais aussi la qualité des soins réalisés. Bien que couramment pratiqué, le traitement endodontique reste une procédure complexe nécessitant un investissement en temps et une exécution méticuleuse. Réalisé dans des conditions optimales, le taux de succès peut atteindre 95 %, mais peut chuter à 35 % si les pratiques sont inadéquates [69].

Face aux défis actuels de l'endodontie, une approche globale est nécessaire. **L'optimisation ergonomique doit donc être considérée comme essentielle pour améliorer les conditions d'exercice du praticien et ses répercussions positives pour le patient**

Une exécution rigoureuse des traitements endodontiques est également illustrée par l'étude de Touré et coll. [71] , qui rapporte un nombre significatif de traitements inadéquats, aucun ne respectant pleinement les critères recommandés par la Société Européenne d'Endodontie. Ces résultats soulignent la nécessité d'optimiser l'ensemble des paramètres.

3. Conséquences délétères d'une pratique non-ergonomique en endodontie

Ces dernières années, la notion d'ergonomie a pris une place grandissante dans de nombreux secteurs d'activité, et le milieu dentaire n'y fait pas exception.

3.1 Définition de l'ergonomie [66-67]

L'ergonomie, dérivée des termes grecs "ergon" (travail) et "nomos" (lois), vise à adapter les environnements professionnels aux capacités humaines. Plutôt que d'exiger davantage d'efforts des opérateurs, elle propose d'ajuster les outils, équipements et postes de travail à leurs caractéristiques physiques et cognitives.

Cette approche, centrée sur l'utilisateur, optimise le confort, la sécurité et la performance, réduisant ainsi la pénibilité et améliorant l'efficacité opérationnelle. Négliger ces principes peut avoir de lourdes conséquences sur la santé des praticiens et la qualité des soins.

3.2 L'impact sur la santé du praticien

3.2.1 Impact sur la santé physique

Les contraintes biomécaniques inhérentes à la pratique de l'endodontie exposent le corps du praticien à des risques importants. Travailler à une échelle millimétrique, sur des profondeurs canalaires allant de 10 à 30 mm, impose inévitablement des positions fixes et prolongées, souvent délétères [5].

En effet, en l'absence d'aides visuelles, ces postures, comme celles consistant à se pencher en avant, le dos courbé, la nuque fléchie pour rapprocher les yeux du champ opératoire restreint deviennent rapidement la norme (Figure 1)².

² FDI World Dental Federation. [Internet] Ergonomie et Posture : Recommandations aux professionnels de la santé bucco-dentaire Disponible sur : <https://www.fdiworlddental.org/ergonomics-and-posture-guidelines-oral-health-professionals>

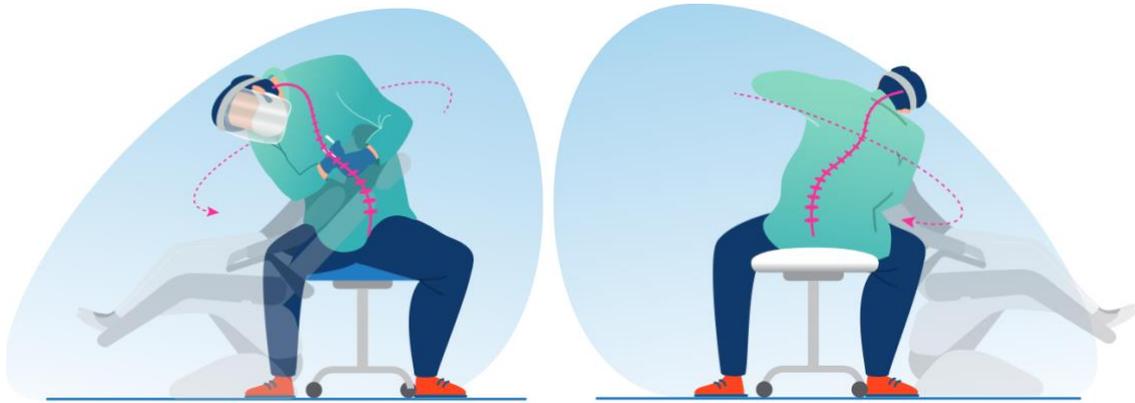


Figure 1 : Postures fixes et contraignantes adoptées par les dentistes².

De manière générale, les traitements dentaires et particulièrement endodontiques impliquent de nombreuses contraintes posturales [68] :

- le maintien prolongé de la station assise,
- le maintien des bras en abduction (écartés du corps) de plus de 40°,
- le maintien du cou en flexion pour le travail en vision directe,
- les flexions latérales répétées du dos et de la tête,
- un effort important pour stabiliser les membres supérieurs et contrôler la précision des gestes,
- de nombreux mouvements d'extension des bras et/ou de rotation du buste pour atteindre les instruments.

L'ignorance des principes ergonomiques expose le praticien à un risque accru de développer des maladies professionnelles telles que les troubles musculo-squelettiques [22].

Les TMS constituent la principale pathologie professionnelle chez les chirurgiens-dentistes [28]. Ils sont définis comme des douleurs chroniques affectant les structures d'appui (muscles, tendons, nerfs, articulations) des membres supérieurs et inférieurs [41].

² FDI World Dental Federation. [Internet] Ergonomie et Posture : Recommandations aux professionnels de la santé bucco-dentaire Disponible sur : <https://www.fdiworlddental.org/ergonomics-and-posture-guidelines-oral-health-professionals>

Une méta-analyse indique que 78% des dentistes souffrent de TMS, affectant principalement la nuque, le dos et les épaules, mais aussi les poignets, doigts, hanches et membres inférieurs (Tableau 1), [37,41].

Tableau 1 : Répartition des douleurs chez les dentistes en 2015 [41].

Cervicales	53 %
Épaules	41 %
Lombaires	38 %
Rachis dorsal	31 %
Doigts	26 %
Poignet	23 %
Coudes	9 %

Concernant la pratique de l'endodontie, une étude menée par Zarra et Lambrianidis révèle que 61% des endodontistes grecs souffrent de TMS, principalement au niveau lombaire et cervical [76]. Pejčić et coll. [53] ont également constaté que 32,3% des endodontistes ressentent régulièrement des douleurs aux membres supérieurs.

Parmi les principaux facteurs de risque identifiés dans l'étude de Rucker et Sunell, on retrouve l'utilisation d'équipements inadaptés (source lumineuse mal orientée, travail à l'œil nu, absence de dossier), mais aussi l'adoption de postures contraignantes (Figure 2), [58]. Plus ces comportements à risque sont fréquents, plus la probabilité de développer des TMS augmente.



Figure 2 : Exemples de postures contraignantes [58].

3.2.2 Impact sur la santé mentale

L'endodontie est une source de stress majeure pour le praticien, due à la complexité des gestes techniques, aux contraintes temporelles et aux risques de complications. Une mauvaise organisation ergonomique et des défaillances de communication au sein de l'équipe ou des manquements aux protocoles d'asepsie sont autant de facteurs aggravants.

Au-delà de leur impact direct sur la santé des praticiens, ces problèmes engendrent des coûts économiques considérables, tant directs (soins, indemnités) qu'indirects (pertes de productivité, de salaire, altération de la qualité de vie) [45]. Ces répercussions financières deviennent alors elles-mêmes une source supplémentaire de pression psychologique pour les professionnels.

Une étude menée par le Conseil national de l'ordre de chirurgie dentaire en collaboration avec l'Académie nationale de chirurgie dentaire révèle que 96% des chirurgiens-dentistes français sont confrontés à des situations de stress professionnel dont les origines sont diverses (complexité technique, contraintes temporelles des procédures, relations avec les patients...) et que le burn out est un phénomène massif [48].

3.3 Diminution de la qualité des soins

3.3.1 Allongement du traitement

L'échelle de travail millimétrique en endodontie complique considérablement les gestes techniques. L'absence d'aides optiques peut entraîner des mouvements inutiles et des erreurs, allongeant ainsi le temps opératoire [28].

Par ailleurs, un environnement de travail mal conçu favorise le développement de TMS, entraînant des douleurs et un besoin de pauses fréquentes. Ces éléments contribuent à une diminution de la productivité et à une augmentation du stress, tant pour le patient que pour le praticien [28,32].

3.3.2 Erreurs d'asepsie

L'asepsie est cruciale pour prévenir toute contamination bactérienne du système canalaire. Cependant, une introduction accidentelle de micro-organismes par manque d'ergonomie peut se produire lors du traitement ou des étapes associées (absence de désinfection de la digue, utilisation d'instruments contaminés, contact avec des matériaux souillés...) compromettant ainsi le pronostic [31,75].

Les infections endodontiques ne sont pas toujours imputables à la flore bactérienne présente dans la cavité buccale du patient, mais peuvent résulter d'une origine exogène liée à un défaut de contrôle des infections ou à une contamination croisée [25].

Pourtant, des lignes directrices thérapeutiques visant à prévenir ces infections iatrogènes sont proposées par l'European Society of Endodontology (ESE), insistant sur la nécessité de travailler de manière aseptique [17]. Malheureusement, de nombreuses études rapportent que la plupart des praticiens ne respectent pas ces recommandations [25].

En définitive, la prévention des erreurs d'asepsie nécessite une application rigoureuse des recommandations et une réflexion sur l'ergonomie des postes de travail. L'assistante doit y être formée pour optimiser les conditions de travail, pour elle-même et pour le praticien.

4. Trois dimensions de l'ergonomie comme solution

Face aux défis contemporains de l'endodontie, il est indispensable d'intégrer les principes de l'ergonomie. Cette discipline offre des solutions concrètes pour une pratique durable, sereine et performante.

Trois dimensions majeures de l'ergonomie méritent d'être détaillées : **l'ergonomie physique, l'ergonomie organisationnelle et l'ergonomie cognitive.**

4.1 L'ergonomie physique

L'ergonomie physique étudie la relation entre les caractéristiques corporelles de l'individu et les exigences de l'activité professionnelle [35].

En endodontie, elle s'intéresse à l'aménagement du poste de travail, à la conception des instruments et équipements, ainsi qu'aux postures adoptées par le praticien. L'application des principes ergonomiques physiques en dentisterie, et notamment en endodontie vise à prévenir l'apparition de maladies professionnelles [68].

4.1.1 Posture de travail optimale

4.1.1.1 Séquence d'installation des acteurs [68]

Une chronologie d'installation doit être adoptée pour réduire les contraintes physiques inhérentes aux traitements endodontiques et garantir un positionnement reproductible à chaque séance.

Cette séquence peut varier en fonction de l'équipement utilisé (fauteuil dentaire ou table dentaire), mais dans le cas d'un fauteuil dentaire, la chronologie suivante est généralement recommandée :

Le patient prend d'abord place sur le fauteuil dentaire, sa position étant ajustée selon les besoins de l'opérateur.

Le praticien s'assoit ensuite, en veillant à adopter une posture dite idéale, selon les principes de la posture neutre.

Le microscope opératoire est installé au-dessus de la cavité buccale, dans l'axe de vision du praticien.

Enfin, **l'assistante** se positionne à ses côtés, suffisamment proche pour un travail coordonné et efficace.

Le respect de cette séquence d'installation est un prérequis indispensable pour bénéficier pleinement des avantages d'un poste de travail ergonomique, bien qu'il soit modifiable en fonction des équipements et des particularités de chaque situation clinique.

4.1.1.2 Positionnement idéal du praticien, de l'assistante et du patient

- **Posture ergonomique du praticien :**

La posture idéale pour le praticien, mise en avant par Beach, est une **position de relâchement musculaire, non forcée et neutre sur le plan articulaire**. Le praticien commence par ajuster sa hauteur de siège pour obtenir un bon appui à la base de la colonne vertébrale et permettre aux cuisses d'être légèrement inclinées vers le bas afin d'éviter toute pression sous les cuisses empêchant la circulation sanguine [11,32,39].

Même si la position debout présente quelques intérêts, notamment pour alterner les différentes postures, c'est la position assise qui est généralisée. Le praticien travaille donc assis, le dos droit et soutenu par un appui lombaire qui ne le propulse pas en avant. Ses pieds sont à plat au sol, ses membres supérieurs dans une position de repos avec les coudes près du corps, sans écartement excessif du tronc (Figure 3), [28,39].

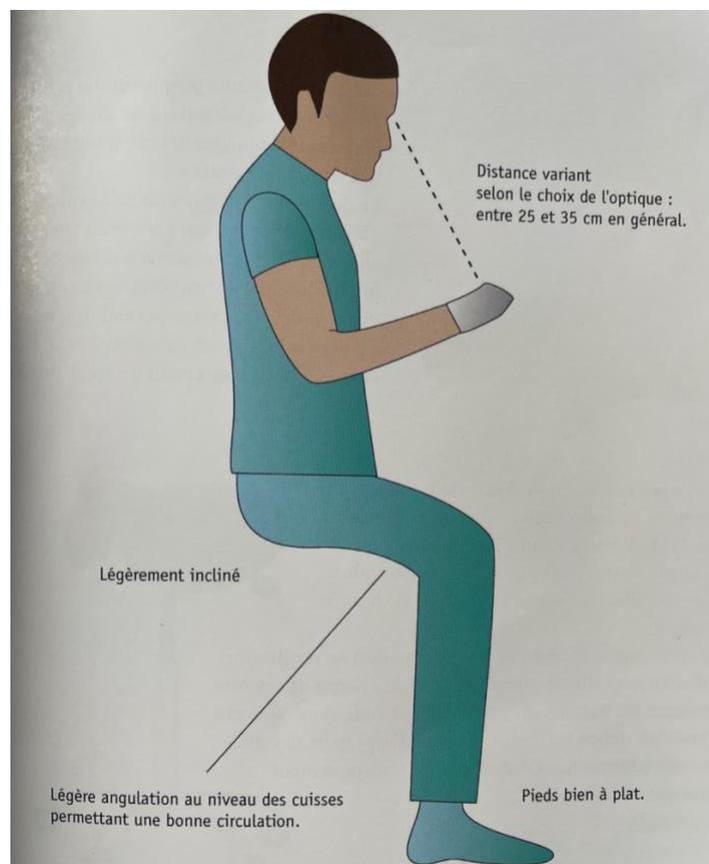


Figure 3 : Posture ergonomique du praticien [39].

Cette position de référence doit permettre un contrôle optimal des mouvements des doigts lors des gestes techniques [41,68]

L'étude de Chaikumarn démontre que cette posture réduit le stress physique sur les muscles, améliore la précision des traitements, facilite la communication avec les patients et les assistants, et diminue le temps de traitement [12].

L'assistante se positionne à proximité immédiate du praticien, puis le patient est installé à une hauteur, ajustée en fonction de la position du praticien. La cavité buccale du patient doit être alignée avec l'axe de vision direct du praticien, sans nécessiter de flexion excessive de la tête ou du tronc (Figure 4), [39].

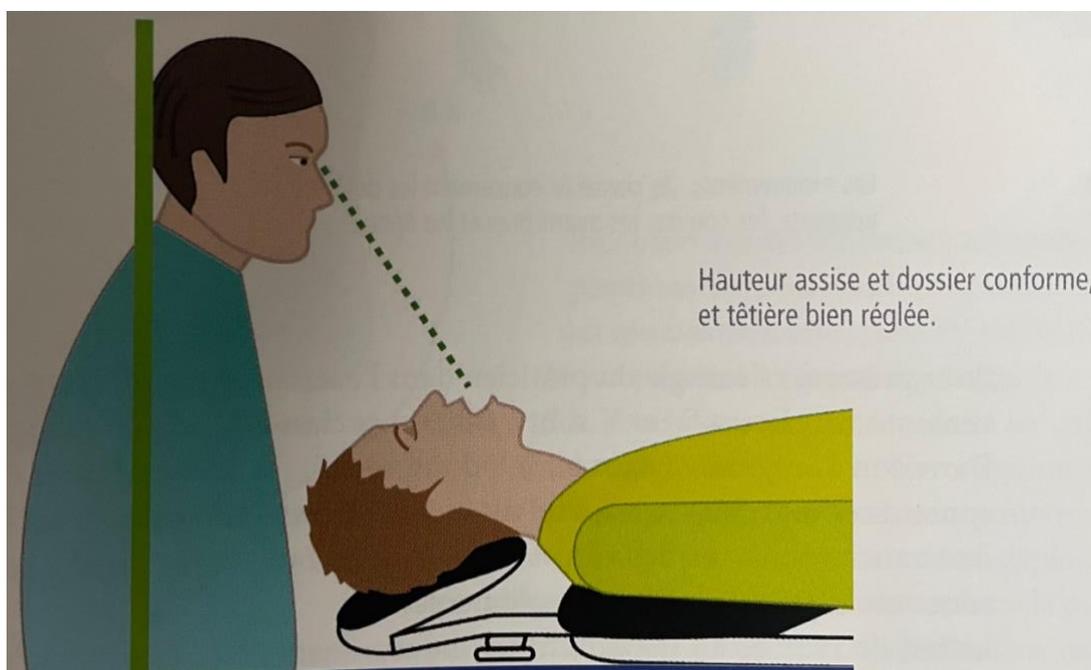


Figure 4 : Hauteur de fauteuil empêchant une flexion excessive de la nuque du praticien [39].

Maintenir cette posture idéale pour 90 % des tâches réduit fortement le risque de développer des troubles musculo-squelettiques. Toutefois, des micro-pauses et des changements de position réguliers restent recommandés pour prévenir l'apparition de fatigue².

² FDI World Dental Federation. [Internet] Ergonomie et Posture : Recommandations aux professionnels de la santé bucco-dentaire Disponible sur : <https://www.fdiworlddental.org/ergonomics-and-posture-guidelines-oral-health-professionals>

• Posture ergonomique de l'assistante :

La posture ergonomique de l'assistante diffère de celle du praticien, s'adaptant à son rôle spécifique. Elle maintient une distance de travail de 40 à 50 cm, permettant une **position assise plus élevée**, nécessitant souvent l'utilisation d'un repose-pied pour un soutien optimal [50].

Idéalement, ses yeux sont positionnés 15 à 20 cm au-dessus de ceux du praticien (Figure 5)².



Figure 5 : Accès visuel de l'assistante dentaire².

Cette configuration offre une vue d'ensemble sur le champ opératoire, facilitant l'observation des gestes du chirurgien-dentiste et l'accès visuel à la cavité buccale du patient. Ce dernier peut être direct ou indirect, *via* des optiques auxiliaires ou un écran relié au microscope opératoire [21].

Le siège de l'assistante doit permettre des rotations aisées et des déplacements faciles. Un accoudoir ventral est bénéfique pour soulager la tension des avant-bras lors de tâches prolongées comme l'aspiration, tout en prévenant les flexions excessives du tronc potentiellement néfastes pour la région lombaire (Figure 6), [32,39,68].

² FDI World Dental Federation. [Internet] Ergonomie et Posture : Recommandations aux professionnels de la santé bucco-dentaire Disponible sur : <https://www.fdiworlddental.org/ergonomics-and-posture-guidelines-oral-health-professionals>

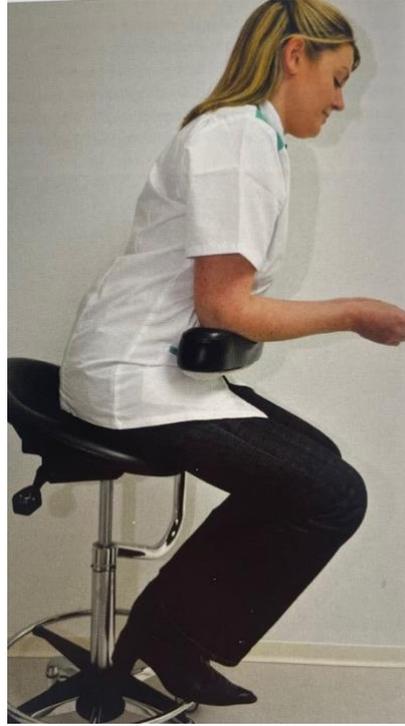


Figure 6 : Siège assistante avec appui ventral [39].

L'ergonomie globale de l'assistante comprend : un accès facile aux instruments et au matériel, une coordination des mouvements avec le praticien, une orientation des épaules minimisant les torsions du rachis et un placement judicieux des jambes pour ne pas gêner le chirurgien-dentiste.

- **Posture ergonomique du patient :**

La réalisation optimale de l'ensemble des soins dentaires en dehors de certains actes (prise d'empreintes, enregistrement de la RIM...) nécessite que le patient soit en **position allongée** [19,39].

La position du patient doit être ajustée en fonction de la posture naturelle du chirurgien-dentiste et de son point de référence, permettant ainsi au praticien de travailler efficacement sans subir de contraintes physiques [32].

Les fauteuils dentaires traditionnels posent souvent des problèmes d'adaptabilité et de confort. Les patients sont initialement assis en position verticale, ce qui entraîne une localisation variable de leur tête sur l'appui-tête en fonction de leur taille. Les personnes plus petites ou les enfants ont leur tête sur le dossier, tandis que les personnes plus grandes nécessitent un ajustement du support en tirant sur l'appui-tête. De plus, les fauteuils avec un décalage de hauteur entre le dossier et le siège peuvent créer une lordose lombaire douloureuse, aggravée par la forme du support pour les jambes qui laisse les genoux pliés en position couchée (Figure 7), [8,19].

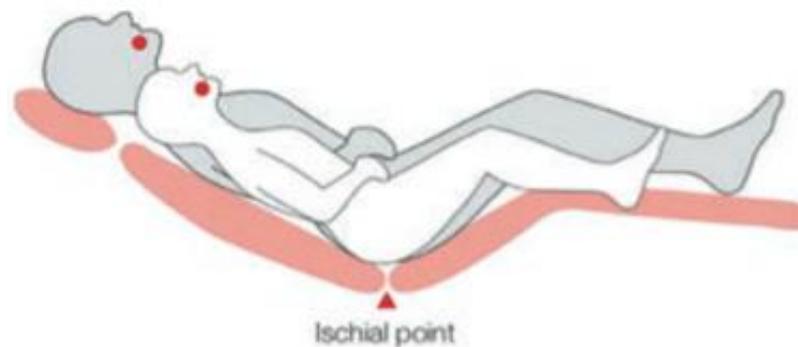


Figure 7 : Problèmes liés au patient en position semi-assise [8].

Les genoux sont fléchis, créant une tension dans les jambes et une pression lombaire. Ainsi qu'une localisation variable de la cavité buccale.

Pour éviter ces problèmes et orienter correctement la cavité buccale vers le regard du praticien tout en maintenant un axe vertical du torse, il est préférable de laisser le fauteuil en position allongée ou d'investir dans une table dentaire (Figure 8), [19,24].

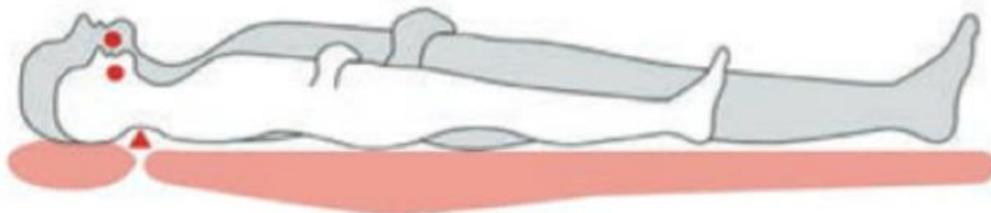


Figure 8 : Les bienfaits du patient en position allongée [8].

Un meilleur alignement corporel est observé, réduisant la tension musculaire et facilitant l'accès à la cavité buccale pour le praticien.

Cette configuration présente plusieurs avantages [19] :

- **adaptabilité** : le fauteuil en position horizontale s'adapte à toutes les tailles et morphologies de patients,
- **reproductibilité** : la tête du patient se positionne naturellement au niveau de la tête, et la cavité buccale est donc située au même endroit quels que soient les patients, minimisant les réglages (scialytiques, position de la tablette, instruments...),
- **confort** : cette position permet au dentiste de maintenir une posture naturelle sans avoir à se pencher vers l'avant et évite au patient des courbures inadaptées au niveau des cervicales, des lombaires, des genoux qui peuvent provoquer des inconforts.

Un autre avantage remarquable est qu'en position allongée stricte, la fermeture du carrefour oro-pharyngé est acquise, permettant au patient de ventiler par le nez (Figure 9), [19,47].

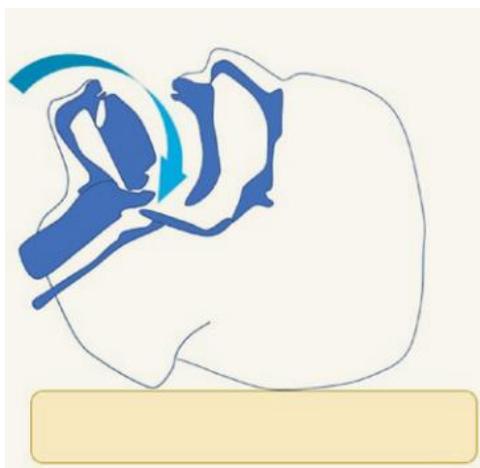


Figure 9 : Représentation du carrefour oro-pharyngé du patient en position allongée stricte [19].

L'eau issue des porte-instruments dynamiques est maintenue dans la cavité buccale, confinée contre le palais dur.

En position semi-allongée, l'eau stimule la base de la langue et provoque un réflexe de déglutition (Figure 10), [19,47].

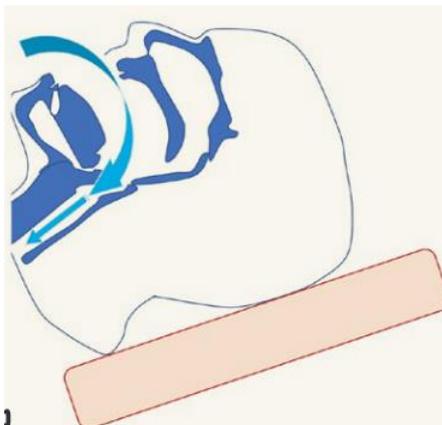


Figure 10 : Représentation du carrefour oro-pharyngé du patient en position semi-assise [19].

La position allongée stricte diminue ainsi le risque de fausse route et la gêne provoquée par le réflexe de déglutition.

La hauteur du fauteuil doit être ajustée en fonction de la distance optimale entre l'œil de l'opérateur et la zone de travail. Cette distance, appelée **punctum proximum**, est d'environ **25 cm**, ce qui permet une vision nette sans fatigue [32].

Lorsqu'un microscope est utilisé, il est recommandé de maintenir cette distance de 25 à 30 cm, notamment par l'utilisation d'un microscope doté d'une double articulation et avec les binoculaires en position basse (Figure 11) [32,47].



Figure 11 : Microscope avec binoculaire en position basse [32].

Cette configuration facilite l'alternance entre le travail avec et sans microscope, tout en préservant l'espace de travail. Le microscope, considéré comme un accessoire, doit s'adapter aux positions du patient et du praticien. L'objectif principal est de maintenir la position de référence du praticien tout en adaptant le matériel autour de celle-ci.

Le chirurgien-dentiste peut optimiser son champ de vision en ajustant le repose-tête ou en demandant au patient de modifier légèrement l'ouverture de sa bouche selon la zone traitée².

4.1.2 Le principe d'économie de mouvements

Minimiser le nombre et l'amplitude des mouvements lors des interventions dentaires est essentiel pour réduire le stress et la fatigue, tout en augmentant l'efficacité et le gain de temps.

Ce principe, développé dès les années 1940, reste pertinent aujourd'hui [28], [59,68]. Les mouvements sont classés en fonction de l'énergie requise pour les effectuer (Figure 12), [39].

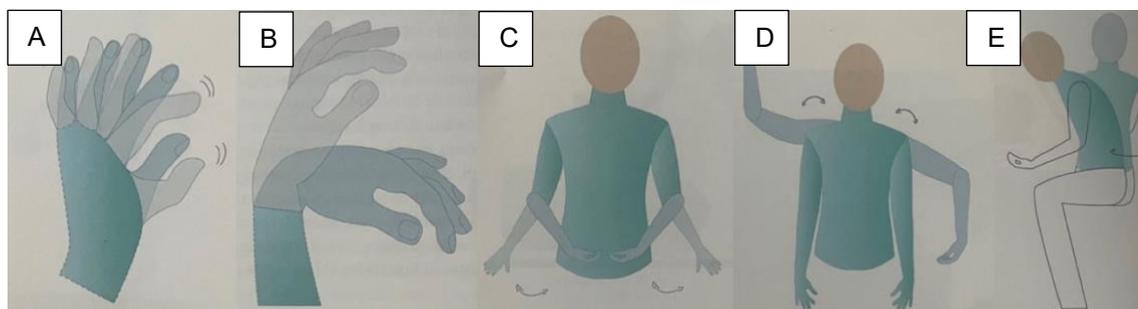


Figure 12 : Classification des mouvements [39].

- (A) : classe I = Déplacement des doigts uniquement.
- (B) : classe II = Déplacement des doigts et du poignet.
- (C) : classe III = Déplacement impliquant le coude.
- (D) : classe IV = Déplacement impliquant l'épaule.
- (E) : classe V = Mouvements de torsions du torse et de flexion de la taille.

² FDI World Dental Federation. [Internet] Ergonomie et Posture : Recommandations aux professionnels de la santé bucco-dentaire Disponible sur : <https://www.fdiworlddental.org/ergonomics-and-posture-guidelines-oral-health-professionals>

En appliquant ce principe, le praticien minimise les mouvements de grande amplitude (Classes IV et V) qui sont les plus fatigants et stressants, et privilégie les mouvements de petite amplitude (Classes I et II) pour une meilleure efficacité et un confort accru [39]. Néanmoins, pour faciliter l'application de ce principe, cela nécessite une organisation et un environnement de travail adaptés.

4.1.3 La vision indirecte

La vision indirecte, bien que complexe au début, devient indispensable pour tous les soins dentaires. Une pratique régulière associée à un travail à quatre mains efficaces permet de surmonter ces difficultés.

L'assistante joue alors un rôle clé en écartant les tissus mous et en gérant l'aspiration, tandis que le praticien positionne stratégiquement le miroir pour optimiser la visibilité tout en préservant une posture ergonomique.

L'utilisation systématique du miroir est essentielle pour maintenir une posture ergonomique optimale. Sans miroir, les praticiens adoptent souvent des positions contraignantes pour examiner les zones difficiles d'accès comme les zones postérieures maxillaires². L'étude de Jeong et Choi montre que de faibles compétences en vision indirecte sont associées au développement de douleurs [26].

4.1.4 L'éclairage

Un éclairage adéquat permet de maintenir une posture ergonomique et de prévenir la fatigue oculaire. Il influence non seulement le confort visuel, la performance, la précision du travail, la sécurité des soins, mais il contribue également au bien-être général du praticien et du patient [28,41].

Un éclairage bien calibré, avec une température de couleur adéquate, favorise une ambiance sereine, ce qui est particulièrement important lors de procédures délicates comme celles en endodontie. La norme EN 12464-1 recommande un éclairage minimum de 500 lux en périphérie pour les activités dentaires et jusqu'à **5000 lux en cavité buccale** [39,63].

Pour l'éclairage de la zone buccale, le faisceau lumineux du scialytique doit être perpendiculaire au plan de travail et parallèle à la ligne de vision du praticien (Figure 13), [1,47]. Grâce à la reproductibilité du positionnement de la tête du patient permise par la table de soins, le scialytique peut rester en position fixe, évitant ainsi des manipulations fréquentes qui peuvent causer des erreurs d'asepsie et une fatigue des membres supérieurs [19,41].



Figure 13 : Positionnement ergonomique du scialytique [47].

L'étude de Rucker et Sunell met en évidence une corrélation entre la présence de douleurs lombaires chez les chirurgiens-dentistes et un positionnement inadéquat du scialytique lors des soins au maxillaire [58].

Les pièces à main avec une source lumineuse intégrée sont particulièrement avantageuses pour assurer un éclairage optimal du champ opératoire [27].

4.1.5 Instruments et équipements ergonomiques

4.1.5.1 Les gants

Il est recommandé de choisir des gants de la bonne taille et d'éviter les modèles ambidextres ou à taille unique. Des gants trop larges obligent le praticien à serrer plus fort ses instruments, augmentant ainsi la fatigue musculaire. À l'inverse, des gants trop serrés peuvent comprimer les structures neuro-vasculaires des doigts et de la main [22,27].

Il est également essentiel de changer régulièrement de gants, car ils se contaminent rapidement lors des soins. Des études montrent que le nombre de colonies bactériennes sur les gants peut passer de 1,5 à 158 après la mise en place de la digue [38].

Un renouvellement fréquent, notamment avant les étapes clés du traitement endodontique comme l'obturation canalaire, est donc nécessaire pour garantir l'hygiène et réduire les risques de contamination croisée [31].

4.1.5.2 Les instruments stérilisables

Les instruments dentaires doivent être conçus pour minimiser la fatigue musculaire et le risque de TMS. Les caractéristiques ergonomiques importantes incluent le poids, la maniabilité, le diamètre et la texture des manches.

Les instruments doivent être **légers**, d'un **diamètre suffisamment large** (12-14 mm) pour réduire la fatigue musculaire. Les instruments avec des manches de gros diamètre et un revêtement en silicone causent le moins de fatigue et sont les plus maniables [46].

L'étude d'Ozawa et coll. démontre que l'augmentation du diamètre des manches des limes endodontiques réduit le temps nécessaire pour la préparation canalaire et diminue l'activité musculaire au niveau de la main et de l'avant-bras [49].

Pour prévenir le syndrome du canal carpien, il est crucial de tenir les instruments de manière à ce que le poignet soit aligné avec l'avant-bras (Figure 14), [32].

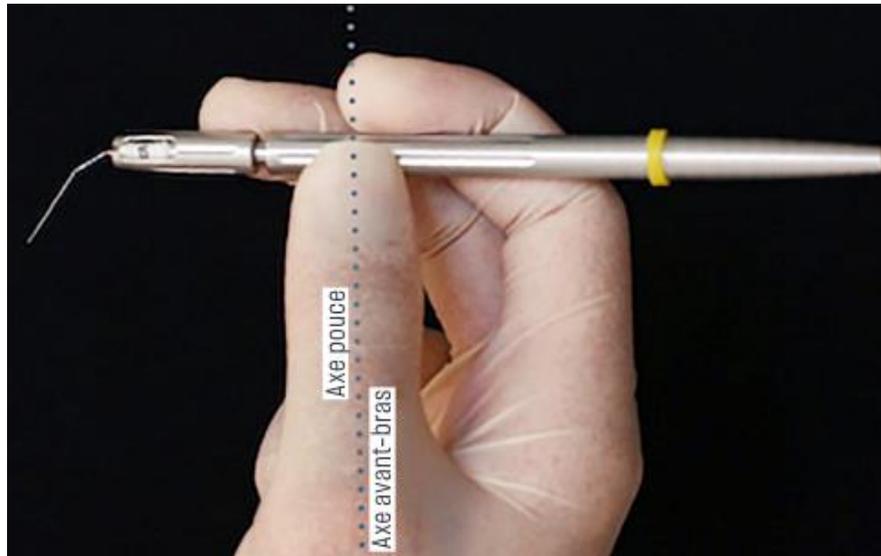


Figure 14 : Position correcte de la main et de l'instrument pour la prévention du syndrome du canal carpien, avec le poignet aligné à l'axe de l'avant-bras [32].

Alterner entre des instruments de différents diamètres peut également réduire la durée de la prise en main et ainsi diminuer la fatigue musculaire².

Pasternak et coll. révèlent que les instruments rotatifs, bien qu'entraînant une activité musculaire globalement plus faible et des mouvements plus uniformes, sollicitent les muscles différemment des instruments manuels [51].

Cependant, les deux types d'instruments peuvent provoquer une contraction statique potentiellement préjudiciable. Pour atténuer les risques de TMS, il est suggéré **d'alterner entre les techniques manuelles et rotatives** au cours des traitements endodontiques. Cette approche permet de varier l'activation musculaire et ainsi de réduire la fatigue et le stress sur des groupes musculaires spécifiques.

4.1.5.3 Le siège opérateur

Le choix et le réglage du siège opérateur sont essentiels pour l'ergonomie du praticien, car une position assise prolongée peut entraîner des risques musculo-squelettiques importants [59,66].

² FDI World Dental Federation. [Internet] Ergonomie et Posture : Recommandations aux professionnels de la santé bucco-dentaire Disponible sur : <https://www.fdiworlddental.org/ergonomics-and-posture-guidelines-oral-health-professionals>

Un siège dentaire ergonomique optimal doit offrir un soutien neutre du dos, du cou et des épaules. Il doit être ajustable en hauteur et en inclinaison, permettant une légère surélévation de la hanche par rapport au genou [59,66].

Les assises du siège opérateur peuvent être de différents types. L'assise horizontale est à éviter, car elle peut entraîner une posture affaissée et comprimer l'arrière des cuisses. Les assises inclinées ou en selle sont préférables, car elles maintiennent la courbe lombaire et placent le pelvis dans une position plus neutre [27]. Cependant, les sièges en selle peuvent présenter des inconvénients tels que l'absence de dossier et des appuis au sol trop importants [47].

Un dossier qui vient se plaquer au creux des reins est recommandé pour obliger le praticien à se tenir droit [19,28].

La maniabilité du siège est également cruciale. Il doit être monté sur roulettes pour faciliter les déplacements durant les procédures. La stabilité est assurée par une base à cinq pieds de préférence. Un « piétement en étoile » avec un rayon restreint est conseillé pour éviter le conflit avec la pédale de commande de l'unit [19,28].

De plus, un vérin adapté à la taille du praticien est crucial pour régler le siège à la bonne hauteur. La taille du vérin varie en fonction de la taille de l'opérateur (Figure 15), [39] :

- moins de 150 cm : vérin bas de 34 à 43 cm,
- de 150 à 180 cm : vérin standard de 42 à 56 cm,
- plus de 180 cm : vérin haut de 50 à 69 cm.



Figure 15 : Siège opérateur ergonomique avec différentes tailles de vérin [39].

Un autre aspect à considérer est l'accoudoir ou appui-bras, qui peut offrir un soutien supplémentaire, à condition qu'il soit réglable en hauteur et capable de suivre les mouvements avant/arrière et latéraux du praticien [28,39].

4.1.5.4 L'unit dentaire

L'évolution des units dentaires au cours du XX^e siècle, est motivée par la recherche d'une meilleure ergonomie pour les praticiens. Plusieurs systèmes se développent en réponse au problème de l'éloignement des instruments sur les colonnes uniques [7].

Le système transthoracique, bien que largement utilisé, peut être anxiogène pour les patients. Le système de Kart, quant à lui, présente parfois des difficultés lors du repositionnement des rotatifs en raison de la longueur des cordons. Ces systèmes sur fauteuil, initialement conçus pour des praticiens travaillant debout ou se penchant pour mieux voir, ne permettent pas une ergonomie optimale [7,9].

Parmi les différents systèmes développés, le **système de type Beach**, conçu dans les années 1960, n'est encore que trop marginal en odontologie et notamment en Europe [19]. Il se distingue par son approche centrée sur l'ergonomie et les mouvements naturels du praticien.

Contrairement aux systèmes transthoraciques ou de Kart, qui présentent des limitations ergonomiques, le système Beach offre plusieurs avantages significatifs [47] :

- **orientation des instruments respectant le mouvement naturel du coude** : flexion/pronation pour le travail en bouche et extension/supination pour reposer les instruments, minimisant les tensions musculosquelettiques et améliorant le confort à long terme (Figure 16 A),
- **organisation logique des instruments** : positionnés selon trois zones sur la tablette en fonction de la fréquence d'utilisation (Figure 16 B).
- **positionnement optimal des rotatifs et de la tablette** : tablette placée sous la main du praticien, avec les rotatifs positionnés horizontalement sous ses doigts pour faciliter leur prise et leur repositionnement avec des mouvements réduits, limitant ainsi la fatigue musculaire (Figure 16 C).

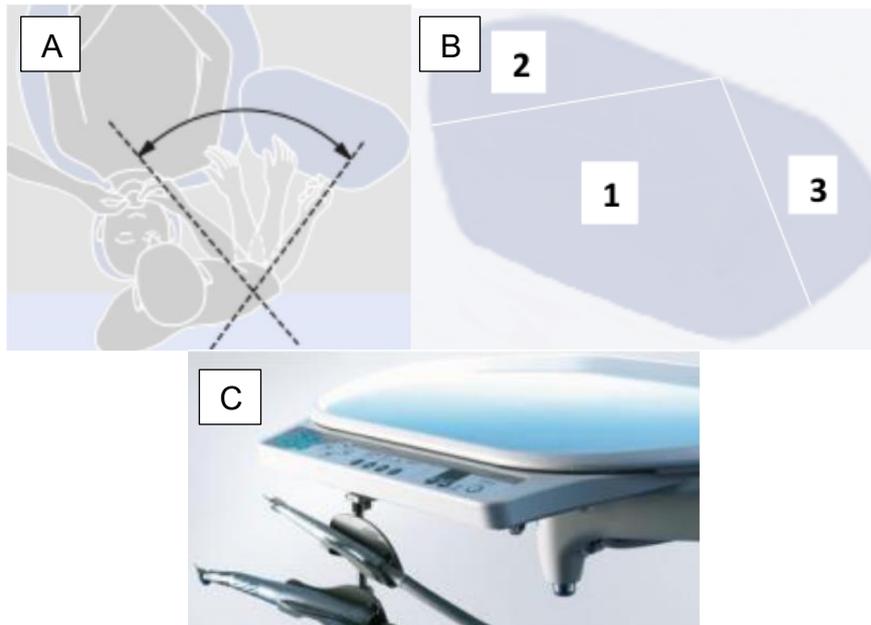


Figure 16 : Unit type Daryl Beach [47].

Dans l'étude menée par Blanc et coll. sur l'impact musculo-squelettique des différents postes de travail, de nombreux résultats suggèrent que les praticiens utilisant le concept de Beach avec une assistante présentent des contraintes musculo-squelettiques réduites [9].

La réduction des mouvements inutiles contribue à diminuer la fatigue physique, mais aussi à améliorer l'efficacité globale des soins. Le praticien peut maintenir une posture plus naturelle tout au long de la journée, ce qui peut potentiellement augmenter sa productivité et la qualité des soins prodigués.

4.1.5.5 Les aides optiques

En endodontie, les gestes techniques nécessitent une résolution bien supérieure à celle de l'œil humain. Le pouvoir séparateur de l'œil nu n'étant que de 0,2 mm, l'utilisation d'aides optiques devient indispensable pour de nombreux actes nécessitant une grande précision. Le bénéfice lié à l'amélioration considérable de l'acuité visuelle en endodontie est déjà mis en avant en 1981 [5,68].

Les aides optiques présentant de nombreux avantages [5,28,32].

- **grossissement du champ de travail** : les aides optiques facilitent certains actes tels que l'identification de fêlures, d'isthmes, la localisation des orifices canaux ou le traitement des perforations,
- **augmentation de la précision et de la vitesse d'exécution des gestes,**
- **réduction de la fatigue visuelle,**
- **réduction des erreurs** : ces dispositifs apportent une plus grande stabilité des mains,
- **conservation d'une posture ergonomique** : permettent au praticien de maintenir une distance de travail optimale, évitant ainsi de courber le dos pour se rapprocher de la zone opératoire, limitant le risque de TMS.

Une étude de Rucker et Sunell a mis en évidence une association entre l'utilisation de dispositifs de grossissement et la diminution des douleurs lombaires chez les chirurgiens-dentistes [58].

La maîtrise de l'endodontie avec des aides optiques nécessite une période d'adaptation. Le praticien doit s'habituer au travail en vision indirecte et apprendre à gérer la mise au point et la profondeur de champ, qui diminue à mesure que le grossissement augmente. Cette courbe d'apprentissage est essentielle pour tirer pleinement parti des avantages offerts par ces instruments.

Il existe principalement deux types d'aides optiques adaptées à l'endodontie :

- les loupes dentaires,
- le microscope opératoire.

• **Loupes dentaires :**

Les loupes sont les dispositifs de grossissement les plus couramment utilisés en dentisterie et représentent une option plus économique [70].

Elles offrent un grossissement allant de 2 à 5 fois [2,13] :

- entre 2,5 et 3,5 fois pour un omnipraticien,
- et de 3,5 à 4,5 fois, voire plus, pour les pratiques orientées vers l'endodontie ou la parodontie.

En plus d'améliorer la qualité des soins, les loupes contribuent à une meilleure posture de travail et à la réduction de la douleur à l'épaule [2,13].

Cependant, elles imposent un grossissement et une distance de travail fixes, entraînant une flexion de la nuque et sollicitant l'accommodation de l'œil, ce qui peut provoquer une fatigue visuelle lors d'une utilisation prolongée [28].

Bien que le passage au travail sous loupes puisse atténuer les lombalgies, il peut également engendrer des douleurs cervicales, contrairement à l'utilisation d'un microscope opératoire (Figure 17), [5,28].

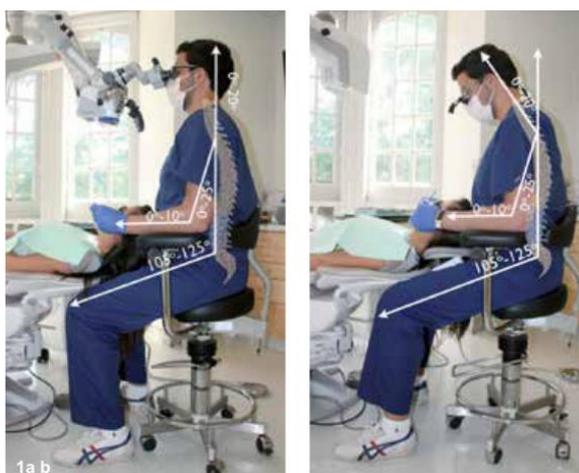


Figure 17 : Comparaison de la posture du chirurgien-dentiste avec l'utilisation de loupes et du microscope opératoire [28].

Les loupes sont généralement fournies sans système d'éclairage intégré, il est vivement conseillé d'en ajouter un. Un éclairage adéquat permet d'éliminer les zones d'ombre dans le champ opératoire, réduisant ainsi la fatigue visuelle. De plus, un éclairage insuffisant peut engendrer des troubles visuels tels que la myopie, l'astigmatisme ou la presbytie [28].

• Microscope opératoire :

Le microscope opératoire, contrairement aux loupes dentaires, ne dépend pas de la distance de travail, permettant au praticien de regarder droit devant. Cela réduit considérablement la rotation des globes oculaires et la flexion cervicale, diminuant ainsi la fatigue. Cependant, une organisation efficace pour le travail à quatre mains est nécessaire, notamment pour le passage des instruments [41].

Le microscope permet de travailler à différents grossissements, imposant à l'opérateur une position fixe et ergonomique avec une distance de travail définie au départ. Il offre une vision à l'infini, ne sollicitant pas l'accommodation de l'œil. Plus le grossissement augmente, plus le besoin en éclairage est important. L'éclairage intégré des microscopes est réglable en intensité [28].

L'introduction du microscope opératoire améliore le confort, réduit le stress et est indispensable à de nombreuses étapes du traitement, telles que la cavité d'accès minimalement invasive, la lecture des fêlures et des couleurs du substrat dentinaire, l'observation de l'anatomie endodontique, le nettoyage des isthmes, la préparation canalaire, et la gestion des instruments fracturés (Figure 18), [5,32].



Figure 18 : Visualisation à fort grossissement d'une fêlure radiculaire et de la cartographie pulpaire d'une pré molaire [5].

Il permet une meilleure vision et localisation des canaux, augmentant la fréquence de localisation clinique du second canal mésio vestibulaire de 64 % à 90% pour un praticien expérimenté par rapport à une vision à l'œil nu [40].

Pour optimiser l'utilisation du microscope opératoire, il est conseillé d'utiliser des instruments maximisant la vision de travail, tels que le champ opératoire, des fraises à col long, des inserts ultrasonores, des miroirs plans hyper-réfléchissants, et des instruments peu réfléchissants (Figure 19), [68].



Figure 19 : Instruments ultrasonores [21].

4.1.5.6 Instruments spécifiques aux étapes du traitement endodontique

• Détermination de la longueur de travail

La détermination de la longueur de travail, antérieurement effectuée par la sensation tactile de la constriction apicale puis confirmée par une radiographie, s'effectue aujourd'hui principalement avec le localisateur électronique d'apex devenu essentiel en endodontie (Figure 20), [29].



Figure 20 : Localisateur électronique d'apex [29].

Cet instrument améliore la précision de la détermination de la LT tout en réduisant l'exposition du patient aux rayonnements ionisants. De plus, il minimise le risque de contamination bactérienne croisée, car il réduit les manipulations répétées du champ opératoire et des dispositifs radiographiques [31].

• Mise en forme canalaire

La mise en forme canalaire bénéficie grandement de la rotation mécanisée et des avancées en termes de designs et d'alliages des limes endodontiques. Ces innovations permettent de réduire considérablement le temps nécessaire pour la désobturation et la mise en forme des canaux. Outre la rapidité, la mécanisation améliore le confort du patient pendant le traitement et réduit la fatigue des doigts de l'opérateur [32]. L'utilisation d'instruments mécanisés est également recommandée pour diminuer le risque de troubles musculo-squelettiques [22].

4.2 L'ergonomie organisationnelle

L'ergonomie organisationnelle joue un rôle crucial dans l'amélioration de la productivité du praticien en dentisterie. Elle englobe la mise en place de protocoles cliniques efficaces, la gestion de l'équipe soignante et administrative, ainsi que l'optimisation de l'espace et du temps [32,68]. Ces éléments sont essentiels pour créer un environnement de travail qui soutient l'efficacité et le bien-être du praticien.

4.2.1 Travail à quatre mains

L'assistante dentaire joue un rôle clé à chaque étape du traitement [55] :

- Avant le soin : planification des rendez-vous, ouverture des dossiers patients, préparation du matériel,
- Pendant le soin : gestion des instruments, anticipation des besoins du praticien,
- Après le soin : stérilisation des instruments, décontamination de la salle, communication avec le patient.

Le travail à quatre mains est une stratégie ergonomique qui optimise la collaboration entre le dentiste, l'assistante dentaire et le patient pendant le soin. Cette approche va au-delà de la simple présence d'une assistante dans le cabinet ; elle implique une coordination précise et une anticipation mutuelle des gestes pour améliorer l'efficacité et la qualité des soins [18,34].

Dans un cadre véritable de travail à quatre mains, le praticien peut se concentrer pleinement sur le champ opératoire, sans avoir à chercher ou à demander les instruments. L'assistante doit établir une jonction efficace entre les bacs et cassettes et les mains du praticien, anticipant ses besoins en plaçant les instruments dans sa main au bon angle et selon l'ordre établi par le protocole clinique. Les mouvements du praticien sont ainsi limités aux classes I et II (doigts et poignets), ce qui contribue à réduire la fatigue et à améliorer l'efficacité des interventions. Il est essentiel que l'assistante soit entièrement disponible pour le praticien. Cela signifie que toute activité « parasite » doit être évitée (accueil des patients, stérilisation, gestion des appels...) [34,39].

Cette philosophie de travail nécessite une préparation en amont, incluant [34] :

- la rédaction de protocoles cliniques détaillés,
- la mise en place de bacs et cassettes organisés,
- la formation approfondie de l'assistante sur les procédures et les gestes du praticien.

Ce mode de travail permet d'accroître la vitesse d'exécution, d'améliorer l'accès visuel du praticien et de réduire les risques de contamination croisée et de propagation d'aérosols. En adoptant des zones de travail définies et en maîtrisant les techniques de transfert d'instruments, le travail à quatre mains permet aux deux professionnels de maintenir une posture ergonomique, réduisant ainsi les risques de troubles musculo-squelettiques [18,28].

4.2.1.1 Le transfert des instruments

Le transfert des instruments est un élément clé du travail à quatre mains en endodontie. Cette technique optimise l'efficacité des procédures en minimisant les mouvements inutiles du praticien, lui permettant de rester concentré sur la zone de traitement sans déplacer ses épaules ou son buste [55].

Pendant les phases critiques du traitement, comme la préparation et l'obturation canalaire, le transfert d'instruments est important [21].

Les principes suivants doivent être respectés [68] :

- les instruments sont échangés dans une zone de transfert située au-dessus du buste du patient,
- comprendre les différentes prises d'instrument, telles que la prise stylo, la prise paume, et la prise paume-pouce. Ces prises dépendent du type d'instrument, de son usage, et de l'arcade traitée,
- établir un langage des mains, permettant une communication non verbale fluide entre le praticien et l'assistante comme les signes d'appel (Figure 21),

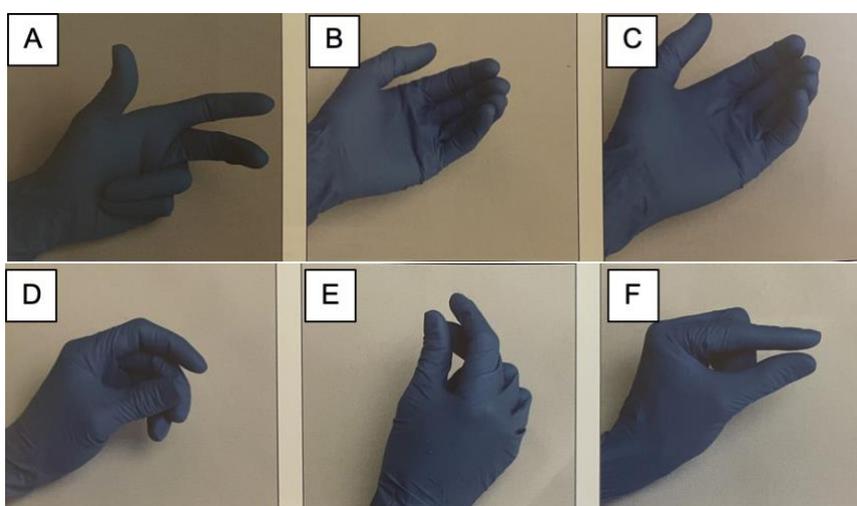


Figure 21 : Signes d'appel pour le transfert d'instruments [68].

- (A) Signal d'appel de la seringue d'anesthésie
- (B) Signal d'appel de la pince à digue pour dent de l'arcade mandibulaire
- (C) Signal d'appel de la pince à digue pour dent de l'arcade maxillaire
- (D) Signal d'appel du miroir
- (E) Signal d'appel de la sonde
- (F) Signal d'appel de la lime manuelle

- l'assistante doit connaître la séquence opératoire et anticiper les moments où un transfert sera nécessaire,
- les mouvements doivent être limités aux doigts, au poignet, et au coude, conformément au principe d'économie de mouvements,
- les instruments doivent être passés directement prêts à l'emploi, avec l'extrémité fonctionnelle orientée correctement pour l'arcade traitée, permettant au praticien de les recevoir sans ajustement supplémentaire,
- utiliser un système de transfert parallèle pour permettre un échange rapide et efficace des instruments (Figure 22).



Figure 22 : Transfert parallèle d'instruments [68].

Les pointes de papier et les cônes de gutta-percha peuvent être échangés en utilisant des pinces endo-verrouillantes pour éviter une contamination lors du transfert (Figure 23), [21]. L'utilisation de pointes de papier en blister stérile permet d'optimiser les erreurs d'asepsie en facilitant leur préhension par le praticien.



Figure 23 : Transfert des pointes de papiers avec des pinces endo-verrouillantes [21].

Pour permettre un transfert aseptique des instruments endodontiques, ils peuvent être placés sur un Endo Ring devant le praticien pour éviter de contaminer la partie travaillante (Figure 24 A), [21].

Le système Endo Ring est composé d'un porte-éponge muni d'une règle endodontique. Les limes sont placées dans une éponge autoclavable qui vient s'adapter sur le porte-éponge. L'EndoRing est tenu par l'index de l'opérateur grâce à un anneau en plastique (Figure 24 B),

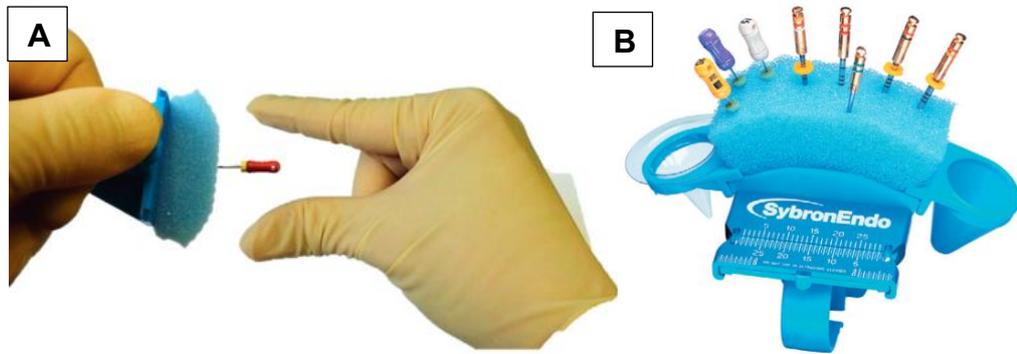


Figure 24 : Système Endo Ring [21].

4.2.1.2 Mise en place d'un champ opératoire aseptique

La mise en place d'un champ opératoire et l'utilisation d'instruments stériles font partie des obligations édictées par la Haute Autorité de Santé (HAS).

L'assistante joue un rôle crucial en aidant le praticien à la mise en place de la digue, qui crée une barrière physique protégeant l'endodonte des fluides oraux. Cette barrière offre sécurité, confort opératoire et sérénité au praticien.

En plus d'aider à la mise en place, l'assistante est responsable de la désinfection péri-opératoire de la digue, en utilisant une compresse stérile imbibée d'une solution d'hypochlorite de sodium à 3 % (Figure 25), [31].

Cette désinfection doit être effectuée avant de pénétrer les canaux radiculaires et avant l'obturation endodontique, conformément aux recommandations de la European Society of Endodontology [31,68].



Figure 25 : Désinfection de la digue à l'aide d'une compresse imbibée d'hypochlorite de sodium [31].

4.2.1.3 L'aspiration

L'aspiration est un élément essentiel dans le cadre d'un traitement endodontique, jouant un rôle clé dans le maintien d'un champ opératoire propre et sec. Pour assurer son efficacité, il est crucial de bien positionner l'aspiration et d'adopter une technique appropriée.

Idéalement, la canule d'aspiration doit être placée au centre d'un triangle formé par le praticien, le patient et l'assistante et non derrière l'assistante comme c'est le cas sur certains fauteuils.

L'assistante doit utiliser sa main non dominante pour l'aspiration (main gauche pour les droitiers, main droite pour les gauchères). Cela permet de garder le bras le plus près du corps et d'éviter de travailler avec une élévation prolongée de l'épaule. La canule elle-même doit être fine et placée latéralement pour ne pas obstruer la vue du praticien. Ce dernier a besoin d'une visibilité claire sur chaque entrée canalaire, en particulier lors des phases d'irrigation. Pour faciliter cette visibilité, le praticien peut annoncer le nom du canal qu'il irrigue, permettant ainsi à l'assistante de positionner la canule de manière optimale [68].

4.2.2 Évolution vers un travail à six mains

Inspiré de l'organisation du travail au bloc opératoire et des soins sous sédation, le travail à six mains en endodontie optimise le concept du travail à quatre mains en intégrant une seconde assistante. Cette approche améliore l'efficacité, la qualité des soins et le confort du praticien, en particulier lors de procédures complexes ou prolongées.

L'ajout d'une seconde assistante permet de limiter les interruptions grâce à une répartition optimale des tâches :

- **l'assistante "fauteuil"** assure le transfert des instruments, l'aspiration et le maintien du champ opératoire
- **l'assistante "logistique"** prépare les matériaux (ciments, seringues d'irrigation), développe les radiographies et veille à l'organisation des instruments.

Sur le plan ergonomique, cette organisation réduit les gestes inutiles et stabilise la posture du praticien, diminuant ainsi la fatigue et les risques de troubles musculo-squelettiques. Elle optimise également le respect des protocoles d'asepsie grâce à une gestion simultanée des instruments et matériaux, minimisant le risque de contamination croisée.

Le travail à six mains est particulièrement bénéfique dans les traitements canalaires complexes et la chirurgie endodontique, où une gestion efficace du temps et de l'espace de travail est essentielle. En réduisant la charge physique et cognitive du praticien, cette approche contribue également à diminuer son stress, garantissant ainsi un travail plus précis et serein.

4.2.3 Organisation de l'espace de travail [28,32]

L'organisation de l'espace de travail est essentielle pour soutenir l'efficacité et le confort du praticien et de l'assistante dentaire.

Un poste de travail ergonomique se définit par la disposition des instruments et équipements dans des zones facilement accessibles, soit directement par le praticien, soit par l'assistante. Cela est visualisé par des **aires d'influence**, où l'opérateur est au centre d'un cercle dont le rayon correspond à l'envergure de ses bras. Tous les instruments doivent être placés dans cette zone d'influence pour être atteints avec un minimum d'effort.

Les zones de travail sont généralement décrites selon un cadran horaire virtuel, avec la tête du patient à 12 heures et les pieds à 6 heures (Figure 26) :

- **zone du praticien** : pour un droitier, elle s'étend de 8 heures à 12 heures, et pour un gaucher, de 12 heures à 4 heures,
- **zone de l'assistante** : située de 2 heures à 4 heures pour un droitier et de 8 heures à 10 heures pour un gaucher,
- **zone statique** : de 12 heures à 2 heures pour un droitier et de 10 heures à 12 heures pour un gaucher,
- **zone de transfert** : de 4 heures à 8 heures.

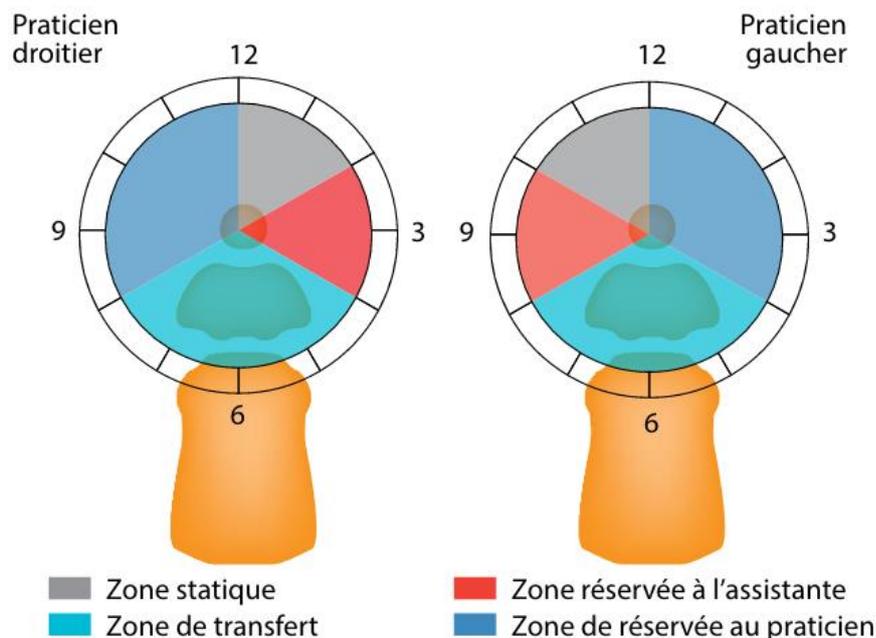


Figure 26 : Les quatre zones de travail [28].

La zone du praticien, est la zone où le praticien s'assoit. Lors de l'utilisation d'un microscope opératoire, il est recommandé de **se positionner à 12 heures** pour maintenir une posture constante.

La zone réservée à l'assistante permet à l'assistante de maintenir un champ de travail propre grâce à l'aspiration et à la seringue air/eau.

La zone statique est réservée aux éléments non intégrés à l'unit dentaire, tels que le localisateur d'apex, le générateur à ultrasons, et la lampe à photo polymériser. Le bac "endodontie", contenant les matériaux nécessaires comme les cônes de papier et de gutta, peut également y être placé. L'assistante accède à ces équipements pour les transmettre au praticien via la zone de transfert. Cette zone peut aussi servir pour transférer des matériaux ou instruments potentiellement stressants pour le patient, comme les seringues d'anesthésie.

La zone de transfert est utilisée pour chaque échange entre l'assistante et le dentiste, située au-dessus de la poitrine du patient, près du menton.

4.2.4 Un plateau technique ergonomique

L'organisation de l'espace de travail en zones d'influences doit s'appuyer sur le concept de bacs et de cassettes, particulièrement adapté à l'endodontie. Ce concept, initialement décrit par Kilpatrick en 1964, a évolué au fil des années pour répondre aux exigences spécifiques de l'endodontie moderne [68].

Cette approche garantit une gestion efficace du matériel tout en respectant rigoureusement les normes d'asepsie et en optimisant l'organisation du travail. Ce système permet un contrôle systématique du matériel, améliorant la gestion des stocks et la traçabilité [39].

Le principe repose sur l'association de bacs dédiés à chaque procédure, contenant les consommables non stérilisables et les séquenceurs emballés individuellement, avec des cassettes autoclavables renfermant les instruments stérilisables [28,39]. Les cassettes préparées, avec leur conception fermée à événements, facilitent la stérilisation tout en minimisant les risques de blessure et de contamination.

Le praticien est alors au centre de l'organisation, la logistique venant à lui plutôt que l'inverse, lui permettant de maintenir son attention sur le patient et d'éviter les mouvements inutiles.

L'investissement initial dans l'organisation en bacs et cassettes peut sembler élevé, mais selon Charreteur, des études menées par des chirurgiens-dentistes démontrent sa rentabilité en moins d'un an grâce à ses avantages économiques [14] :

- **réduction des coûts** de renouvellement de consommables,
- **gains de temps** significatifs, et amélioration du confort de travail,
- meilleure **préservation du matériel**.

4.2.3.1 Le bac d'endodontie

Le bac d'endodontie est installé par l'assistante au début de la séance, il est généralement placé dans la zone statique pour un accès facile.

Ce bac contient tous les matériaux et petits instruments nécessaires pour une période d'utilisation définie, généralement une semaine en omnipratique ou deux jours en pratique spécialisée, optimisant ainsi la gestion des stocks et limitant les interruptions pendant les soins [28].

Le contenu du bac est soigneusement sélectionné pour couvrir l'ensemble des besoins lors d'un traitement endodontique (Figure 27), [55] :

- matériel pour la mise en place de la digue (Boîtes de digues, Wedjet, pince à perforer...),
- équipement pour déterminer la longueur de travail (Localisateur, électrode stérile...),
- instruments d'irrigation (Seringues, aiguilles d'irrigation),
- produits de désinfection et de médication (Hypochlorite, EDTA...),
- matériel d'obturation (Ciment, Cônes de gutta, pointes de papiers...).



Figure 27 : Exemple de composition du bac d'endodontie [55].

Cette organisation permet à l'assistante de fournir rapidement au praticien tout le matériel nécessaire sans quitter son poste, permettant un véritable travail à 4 mains. À la fin de chaque procédure, le bac est réapprovisionné et rangé, libérant l'espace de travail et maintenant l'organisation du cabinet [14].

4.2.3.2 Les cassettes d'endodontie

Les cassettes contiennent les instruments stérilisables nécessaires aux procédures endodontiques.

La composition précise des cassettes peut être adaptée aux préférences du praticien, tout en maintenant une liste réduite d'instruments essentiels pour les procédures les plus courantes et elle doit être régulièrement réévaluée en fonction de leur utilisation et de l'évolution des techniques.

L'organisation des cassettes repose sur plusieurs principes [28,68] :

- **disposition stratégique** : elles sont placées dans la zone d'influence du dentiste et de l'assistante pour faciliter un travail à quatre mains efficaces,
- **organisation chronologique** : les instruments sont disposés selon l'ordre d'utilisation durant la procédure, réduisant ainsi le temps de recherche,
- **identification visuelle** : un système de codage couleur peut être utilisé pour différencier les instruments selon leur fonction (préopératoire, traitement, obturation), facilitant leur repérage rapide,
- **optimisation de l'espace** : l'utilisation d'instruments à double fonction est privilégiée pour maximiser l'espace disponible.

Un protocole avancé d'asepsie, le "enhanced infection control protocol", recommande l'utilisation de **deux sets distincts**.

Le premier set est spécifique à la **préparation du patient et de l'endodonte**, il comprend (Figure 28), [31] :

- le matériel de base (miroir, précelles, sonde, spatule de bouche),
- le matériel nécessaire à l'anesthésie,
- le matériel pour la mise en place de la digue, incluant une boîte à crampons simplifiée (par exemple : crampon W8A pour les molaires, W1 pour les prémolaires, et W212 pour les incisives de chez Ivory®),
- l'instrumentation pour la mise en forme canalaire (limes manuelles et mécanisées, réglette endodontique),
- un fraisier endodontique personnalisé, pouvant inclure des inserts sonores ou ultrasonores pour la finition de la cavité d'accès.

Les recherches de Patel et coll. mettent en évidence l'impact significatif des protocoles d'asepsie avancés sur l'amélioration des taux de guérison péri-apicale en endodontie. Ces résultats soulignent l'importance cruciale des mesures d'hygiène dans le succès des traitements [52,74].

Parallèlement, l'ergonomie du poste de travail joue un rôle déterminant dans l'application rigoureuse de ces protocoles. Une organisation optimisée de l'espace, l'utilisation d'instruments adaptés et la rationalisation des gestes permettent non seulement de respecter scrupuleusement les normes d'asepsie, mais aussi de réduire la fatigue et les erreurs du praticien.

Réciproquement, le maintien d'un environnement stérile contribue à créer un cadre de travail sécurisé, bénéfique tant pour le praticien que pour le patient.

Cette synergie entre ergonomie et asepsie s'avère donc essentielle pour optimiser la pratique endodontique, améliorant à la fois l'efficacité opératoire et les résultats cliniques.

4.3 L'ergonomie cognitive

L'ergonomie cognitive se concentre sur les processus mentaux influençant les interactions entre l'homme et son environnement de travail. En endodontie, elle vise à optimiser la prise de décision, réduire la charge mentale et le stress, et minimiser les erreurs [32,68].

4.3.1 Les protocoles opératoires [39,68].

Les protocoles opératoires sont des outils clés de l'ergonomie cognitive, visant à structurer les soins et à réduire la charge mentale des praticiens. Ils consistent en un document détaillant chaque étape d'une intervention pour le praticien et son assistante (Figure 30).

QUE FAIT LE CHIRURGIEN-DENTISTE ?	QUE FAIT L'ASSISTANTE ?	MATÉRIAUX ET SUPPORTS UTILISÉS ?
	Dépose une noisette de gel anesthésique sur le plateau	Gel d'anesthésie de contact
	Verse l'alcool éthylique dans le godet de verre	Godet de verre ; Alcool éthylique à 70°
	Prépare la boulette de coton avec les précelles	Coton salivaire ; précelles
	Prend la boulette de coton avec les précelles	
	Imbibe la boulette de coton d'alcool	Coton, précelle, alcool
	Désinfecte le diaphragme de la carpule anesthésique	Carpule anesthésique
	Met en batterie la seringue	Seringue, carpule et aiguille
Prend le rouleau de coton	Tend le rouleau de coton	Rouleau de coton
Sèche la gencive au point d'injection prévu	Charge la spatule de bouche de gel anesthésique	Coton, spatule de bouche, gel
Prend la spatule chargée de gel	Tend la spatule chargée de gel	Spatule de bouche ; gel anesthésie de contact
Dépose, par un massage, le gel		
Prend la seringue d'anesthésie	Tend la seringue d'anesthésie	Seringue d'anesthésie
Procède à l'anesthésie	Prend l'aspiration afin d'éliminer les fuites	
Pose la seringue		
Prend le miroir	Prend la seringue air-eau	Miroir, seringue air-eau
Pare la joue du patient avec le miroir	Rince la bouche du patient et aspire	Seringue air-eau et aspiration
Pose le miroir	Pose la seringue air-eau et la canule	

Figure 30 : Exemple du protocole « anesthésie » [39].

Ces protocoles offrent plusieurs avantages :

- **amélioration de la coordination** : ils favorisent une meilleure synchronisation entre le praticien et l'assistante, minimisant les interruptions et optimisant le flux de travail,
- **formation et autonomie** : servant de référence, les protocoles aident à former les assistantes, renforçant leur confiance et leur autonomie,
- **optimisation des soins** : en décrivant chaque étape, les protocoles permettent d'identifier des opportunités d'amélioration de la productivité et de la qualité des soins,
- **prévention des erreurs** : la révision régulière des protocoles aide à éviter les déviations dues à la routine. Les pratiques restent à jour et efficaces.

Pour être efficaces, les protocoles doivent être régulièrement mis à jour pour intégrer les avancées technologiques et les nouvelles pratiques en endodontie.

4.3.2 Dossier médical informatisé

L'adoption du dossier médical informatisé représente une avancée significative dans l'ergonomie cognitive.

Il offre de nombreux avantages contribuant à améliorer la qualité des soins et l'efficacité du praticien :

- **précision et exhaustivité** : améliore la précision et augmente la quantité de données recueillies, réduisant ainsi les risques d'erreurs médicales [23,73]
- **accessibilité de l'information** : en centralisant les données du patient, le dossier informatisé facilite l'accès rapide aux informations pertinentes, limitant la duplication des examens et accélérant la prise en charge,
- **aide à la décision** : la présentation synthétique des données cliniques facilite l'élaboration du diagnostic et du plan de traitement [32],
- **implication du patient** : ils préfèrent le dossier informatisé d'après l'étude de Rose et coll. [56] se sentant plus impliqués dans leur prise en charge, ce qui peut améliorer leur adhésion au traitement,
- **efficacité financière** : la gestion électronique des dossiers peut contribuer à réduire les coûts opérationnels à long terme [74].

Pour maximiser ces bénéfices en endodontie, il est essentiel de choisir des logiciels spécifiquement adaptés à cette pratique. Ces outils doivent offrir une interface intuitive, cohérente et lisible, facilitant ainsi leur intégration dans le flux de travail quotidien tout en minimisant les risques d'erreurs liés à leur utilisation [32].

5. Les perspectives ergonomiques d'avenir en endodontie

L'évolution rapide des technologies offre de nouvelles perspectives pour améliorer l'ergonomie en endodontie. Deux domaines en particulier semblent prometteurs : **l'intelligence artificielle (IA) et les exosquelettes**.

5.1 L'intelligence artificielle

L'intelligence artificielle (IA), définie initialement par John McCarthy en 1956, connaît un essor considérable ces dernières années dans le domaine de la dentisterie, et plus particulièrement en endodontie. Cette technologie, qui combine l'informatique et l'analyse de vastes ensembles de données, offre de nouvelles perspectives pour améliorer la pratique clinique endodontique [33].

5.1.1 Aide au diagnostic et à la prise de décision

L'IA permet une détection précoce et précise des lésions périapicales, des fissures et des fractures en analysant les radiographies 2D et les images CBCT (Figure 31), [4,65]. En automatisant l'analyse des images, l'IA réduit le temps passé en position statique devant l'écran, limitant ainsi la fatigue oculaire et posturale. Cela contribue également à diminuer le stress lié à l'interprétation des données, permettant une prise de décision plus rapide et objective.

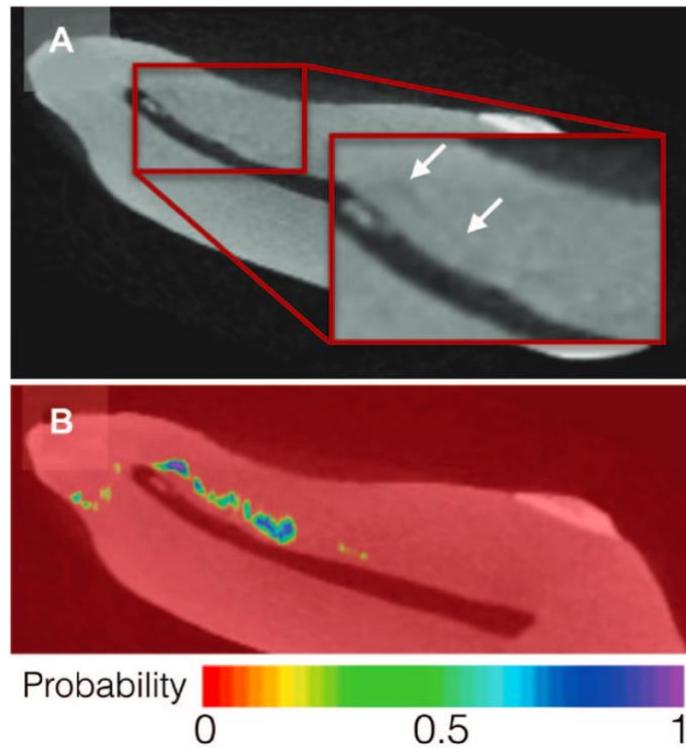


Figure 31 : Détection de fissures par IA [65].

(A) Volume de dent d'origine. Une fissure forte (à gauche) et une fissure subtile (à droite) sont indiquées par 2 flèches.

(B) Superposition de la carte de probabilité. Les valeurs sont interpolées de 0 (rouge) à 1 (violet). La fissure la plus grande affichée en violet indique une forte probabilité (valeur = 1), tandis que la fissure subtile est affichée en vert (valeur = 0,6).

5.1.2 Aide à la planification du traitement : ergonomie organisationnelle assistée

L'intelligence artificielle joue un rôle croissant dans la planification des traitements endodontiques que ce soit en permettant une analyse précise de la morphologie endodontique ou par détermination exacte de la longueur de travail [33,60,61]. Cette précision permet d'optimiser le déroulement des interventions, en réduisant le nombre de manipulations manuelles et les ajustements répétés. Par conséquent, le praticien passe moins de temps en position contraignante et réduit le risque de développer des troubles musculo-squelettiques.

5.1.3 Assistance peropératoire [44]

Un autre aspect prometteur de l'IA en endodontie concerne l'optimisation de l'utilisation du microscope opératoire. Les algorithmes d'IA permettent désormais un positionnement et une mise au point autonomes du microscope grâce à des commandes vocales ou d'autres modes d'entrée. Cette innovation réduit la nécessité pour le praticien d'effectuer des ajustements manuels fréquents, diminuant ainsi les mouvements répétitifs et les postures contraignantes.

5.2 Les exosquelettes

Les exosquelettes représentent une solution innovante pour améliorer l'ergonomie en endodontie, en particulier face aux troubles musculo-squelettiques (TMS) fréquemment rencontrés par les praticiens en raison des postures statiques prolongées et des mouvements répétitifs.

5.2.1 Technologie et types d'exosquelettes [64,72]

Les exosquelettes sont des dispositifs portables conçus pour soutenir et augmenter les capacités physiques humaines, en apportant une assistance mécanique aux membres supérieurs ou au torse. Traditionnellement utilisés dans les secteurs militaire et médical, ces dispositifs se sont progressivement adaptés aux environnements de travail professionnels, notamment dans l'industrie et le secteur de la santé. En endodontie, leur utilisation est particulièrement pertinente pour réduire la fatigue musculaire et les douleurs liées aux postures contraignantes lors des procédures délicates.

Deux types d'exosquelettes sont disponibles :

- **passifs** : ils utilisent des ressorts ou des amortisseurs pour stocker et libérer l'énergie générée par les mouvements humains, offrant un soutien sans recours à des moteurs.
- **actifs** : ils intègrent des actionneurs motorisés pour augmenter la puissance physique, ce qui est plus adapté aux tâches exigeant une force supplémentaire.

Les **exosquelettes passifs** sont particulièrement adaptés à l'endodontie car ils allègent les contraintes sur les membres supérieurs sans interférer avec les mouvements fins nécessaires aux interventions cliniques.

5.2.2 Application en endodontie et bénéfices ergonomiques [6]

Un exemple concret est l'exosquelette Hapo MS[®], un modèle passif léger conçu pour soulager les bras (Figure 32). Ce dispositif permet une assistance de 4 à 6 kg, réduisant ainsi la fatigue au niveau des épaules et des bras pendant les interventions longues et précises, comme celles réalisées avec un microscope opératoire. L'utilisation de cet exosquelette diminue l'amplitude des signaux EMG des muscles du bras et de l'épaule, notamment le deltoïde et le trapèze supérieur, ce qui réduit les risques de douleurs chroniques et de TMS.



Figure 32 : Description du modèle d'exosquelette Hapo MS[®] [6].

- (1) harnais
- (2) ressorts
- (3) double interface.

Les exosquelettes offrent plusieurs avantages pour les praticiens d'endodontie :

- **Réduction de la fatigue musculaire** : En soutenant les membres supérieurs, ils diminuent la charge sur les muscles du bras et de l'épaule.
- **Amélioration de la posture** : En aidant à maintenir des positions de travail plus naturelles, ils réduisent les tensions musculaires et améliorent le confort.
- **Prévention des TMS** : En réduisant les efforts physiques, ils diminuent le risque de blessures musculo-squelettiques liées à des postures prolongées.

6. Conclusion

L'optimisation ergonomique en endodontie est un enjeu crucial pour les chirurgiens-dentistes, confrontés à une discipline exigeante sur les plans physique et mental. L'intégration des principes ergonomiques dans la pratique quotidienne permet non seulement d'améliorer les résultats cliniques, mais également de préserver la santé et la durabilité de la pratique des professionnels.

Les défis ergonomiques, tels que les postures contraignantes, les gestes répétitifs ou une organisation inadaptée, peuvent entraîner des troubles musculo-squelettiques, un risque accru de blessures et des erreurs compromettant la qualité des soins. Ces problématiques affectent tant le praticien et son équipe que la sécurité des patients.

Les solutions actuelles, comme l'ajustement des positions de travail, l'utilisation de sièges adaptés, les aides optiques ou encore le travail à quatre mains, permettent de réduire ces contraintes. Toutefois, une sensibilisation accrue et des efforts pour rendre ces outils plus accessibles restent nécessaires.

Les technologies émergentes, telles que l'intelligence artificielle et les exosquelettes, ouvrent des perspectives prometteuses pour alléger la charge physique et mentale des praticiens tout en améliorant la précision des soins. Cependant, l'ergonomie est une discipline en constante évolution. Il est essentiel pour les praticiens de continuer à se former et d'actualiser leurs connaissances pour intégrer ces avancées à leur pratique et garantir des conditions de travail optimales.

L'ergonomie doit être reconnue comme un pilier central de la pratique endodontique, garantissant des soins de qualité pour le patient tout en préservant la santé et le confort des praticiens.

Références bibliographiques

1. Ahearn DJ, Sanders MJ, Turcotte C. Ergonomic design for dental offices. *Work*. 2010;35(4):495-503.
2. Aldosari MA. Dental Magnification Loupes: An Update of the Evidence. *The Journal of Contemporary Dental Practice*. 2021;22(3):310-315.
3. Allen PF, Whitworth JM. Endodontic considerations in the elderly. *Gerodontology*. 2004;21(4):185-194.
4. Aminoshariae A, Kulild J, Nagendrababu V. Artificial Intelligence in Endodontics: Current Applications and Future Directions. *Journal of Endodontics*. 2021;47(9):1352-1357.
5. Arbona L. Le microscope opératoire en endodontie. *L'information Dentaire*. 2016;98(10):18-26.
6. Arnoux B, Farr A, Boccara V, Vignais N. Evaluation of a Passive Upper Limb Exoskeleton in Healthcare Workers during a Surgical Instrument Cleaning Task. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2023;20(4):3153.
7. Blanc D. Quel système de distribution ? *Clinic*. 2014;(5):19.
8. Blanc D. Ergonomics corner How to make a perfect working position reproducible. *Details Matter*. 2022;2(1):22-23.
9. Blanc D, Farre P, Hamel O. Variability of Musculoskeletal Strain on Dentists: An Electromyographic and Goniometric Study. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*. 2014;20(2):295-307.
10. Bud MG, Spataru S, Pop R, Pricope R, Lucaciu O, Campean S, et al. The Ergonomic Challenges Students Face during Operative Dentistry Treatment. | *Journal of Clinical and Diagnostic Research*. 2021;15(8)33-37.
11. Cervera-Espert J, Pascual-Moscardó A, Camps-Aleman I. Wrong postural hygiene and ergonomics in dental students of the University of Valencia (Spain) (part I). *European Journal of Dental Education*. 2018;22(1):48-56.
12. Chaikumarn M. Working conditions and dentists' attitude towards proprioceptive derivation. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*. 2004;10(2):137-146.
13. Charasson L. Troubles musculo-squelettiques du chirurgien-dentiste : étude à travers l'exemple des étudiants de la Faculté d'Odontologie d'Aix-Marseille Université [Thèse d'exercice : Chir. Dent.]. [Marseille]; 2020.
14. Charreteur A-L. Comment optimiser le travail en cassette ? *L'Information Dentaire*. 2018;(35-36):38-40.

15. Corrales Zúniga IA, Saucedo Malespín NL, Vega Vélchez AL, Duarte Frenky OJ, Hong G, Vanegas Sáenz JR. Evaluation of the ergonomic sitting position adopted by dental students while using dental simulators. *Journal of Dental Science*. 2023;18(2):526-533.
16. D'arros G. 40 ans de chirurgie dentaire 1968-2008. Editions Privat; 2008.
17. Endodontology ES of. Quality guidelines for endodontic treatment: consensus report of the European Society of Endodontology. *International Endodontic Journal*. 2006;39(12):921-930.
18. Finkbeiner BL. Four-Handed Dentistry Revisited. *The Journal of Contemporary Dental Practice*. 2000;1(4):25-33.
19. Giess R, Blanc D, Mortier É, Balthazard R, Tallotte P. La table de soins dentaires au service de l'ergonomie de travail. *L'information Dentaire*. 2024;106(10):18-26.
20. Grossman LI. A brief history of endodontics. *Journal of Endodontics*. 1982;8:36-40.
21. Gulabivala K, Ng Y-L. *Endodontics*. 4e éd. Edinburgh: Elsevier; 2014.
22. Gupta A, Bhat M, Mohammed T, Bansal N, Gupta G. Ergonomics in dentistry. *International Journal of Clinical Pediatric Dentistry*. 2014;7(1):30-34.
23. Hippisley-Cox J, Pringle M, Cater R, Wynn A, Hammersley V, Coupland C, et al. The electronic patient record in primary care—regression or progression? A cross sectional study. *British Medical Journal*. 2003;326(7404):1439-1443.
24. Hokwerda OO, Wouters JJ, de Ruijter RR. Ergonomic requirements for dental equipment. 2006;19-22.
25. Javed MQ, Khan M, Khan KI, Almutairi N. Endodontic infection control practices among Pakistani general dental practitioners: A national cross-sectional questionnaire survey. *Journal of Taibah University Medical Sciences*. 2023;18(6):1342-1349.
26. Jeong Y-J, Choi J-S. Association between indirect vision skills and musculoskeletal pain in dental hygienists. *Journal of Korean society of Dental Hygiene*. 2019;19(5):665-676.
27. Jodalli PS, Kurana S, Shameema, Ragher M, Khed J, Prabhu V. Posturedontics: How does dentistry fit you? *Journal of Pharmacy and Bioallied Science*. 2015;7(Suppl 2):393-397.
28. Jouanny G, Safi C. Ergonomie et organisation du cabinet en endodontie. *Réalités Cliniques*. 2014;25(1):25-34.
29. Kim S. Modern endodontic practice: instruments and techniques. *Dental Clinics of North America*. 2004;48(1):1-9.

30. Kumar M, Mishra G, Vaibhav R, Priyadarshini S, Simran, Turagam N. Assessment of Knowledge about Ergonomics and Determining Musculoskeletal Disorders in Dentists: An Original Research. *Journal of Pharmacy and Bioallied Science*. 2021;13(Suppl 1):391-394.
31. Kuoch P, Brault E. Améliorer l'asepsie en endodontie. *Profession Assistant(e) Dentaire*. 2023;20(3):22-27.
32. Kuoch P, Couvrechel C. Ergonomie en endodontie : élément accessoire ou essentiel du traitement ? *Réalités Cliniques*. 2022;33(4):54-72.
33. Lai G, Dunlap C, Gluskin A, Nehme WB, Azim AA. Artificial Intelligence in Endodontics. *Journal of the California Dental Association*. 2023;51(1):1-6.
34. Laurent E. Ergonomie et travail à 4 mains en endodontie. *Clinic*. 2019;40:1-8.
35. Lavault-Olléon É. L'ergonomie, nouveau paradigme pour la traductologie. *Revue de l'Institut des langues et cultures d'Europe, Amérique, Afrique, Asie et Australie*. 2011;(14)1-18.
36. Le Barbu C. Optimisation de la gestion des dispositifs instrumentaux [Thèse d'exercice : Chir. Dent.]. [Nancy]; 2005.
37. Lietz J, Kozak A, Nienhaus A. Prevalence and occupational risk factors of musculoskeletal diseases and pain among dental professionals in Western countries: A systematic literature review and meta-analysis. *Plos one*. 2018;13(12):1-26.
38. Luckey JB, Barfield RD, Eleazer PD. Bacterial Count Comparisons on Examination Gloves from Freshly Opened Boxes Versus Nearly Empty Boxes and From Examination Gloves Before Treatment Versus After Dental Dam Isolation. *Journal of Endodontics*. 2006;32(7):646-648.
39. Maccario R. L'organisation du cabinet dentaire. 4e éd. Montrouge: Parresia; 2021.
40. Manigandan K, Ravishankar P, Sridevi K, Keerthi V, Prashanth P, Pradeep Kumar AR. Impact of Dental Operating Microscope, Selective Dentin Removal and Cone Beam Computed Tomography on Detection of Second Mesio Buccal Canal in Maxillary Molars: A Clinical Study. *Indian Journal of Dental Research*. 2020;31(4):526.
41. Mansuy C. Prévention des troubles musculo-squelettiques des membres supérieurs et du dos (TMS-ms) chez le chirurgien-dentiste [Thèse d'exercice : Chir. Dent.]. [Paris]; 2019.
42. Martin DM. Specialization in endodontics. *International Endodontic Journal*. 1991;24(4):204-211.
43. Missika P, Drouhet G. Hygiène, asepsie, ergonomie: un défi permanent. Rueil-Malmaison: Editions Cdp; 2001.

44. Mohammad-Rahimi H, Sohrabniya F, Ourang SA, Dianat O, Aminoshariae A, Nagendrababu V, et al. Artificial intelligence in endodontics: Data preparation, clinical applications, ethical considerations, limitations, and future directions. *International Endodontic Journal*. 2024;57(11):1566-1595.
45. Mulimani P, Hoe VC, Hayes MJ, Idiculla JJ, Abas AB, Karanth L. Ergonomic interventions for preventing musculoskeletal disorders in dental care practitioners. *Cochrane Database Systematic Reviews*. 2018(10):1-40.
46. Nevala N. Evaluation of Ergonomics and Efficacy of Instruments in Dentistry. *The Ergonomics Open Journal*. 2013;6:6-12.
47. Nora L. Le Beach concept, vers une ergonomie optimale en cabinet dentaire ? [Thèse d'exercice : Chir. Dent.]. [Nancy]; 2021.
48. Ordre national des chirurgiens dentistes. Burn out chez les chirurgiens-dentistes : le choc. *La Lettre*. 2018;(166):4-9.
49. Ozawa T, Nakano M, Sugimura H, Kurayama H, Tahata K, Nakamura J, et al. Effects of endodontic instrument handle diameter on electromyographic activity of forearm and hand muscles. *International Endodontic Journal*. 2001;34(2):100-106.
50. Partido BB, Henderson R, Washington H. Relationships between the postures of dentists and chairside dental assistants. *Journal of Dental Education*. 2020;84(9):1025-1031.
51. Pasternak-Júnior B, Sousa Neto MDD, Dionísio VC, Pécora JD, Silva RG. Analysis of kinematic, kinetic and electromyographic patterns during root canal preparation with rotary and manual instruments. *Journal of Applied Oral Science*. 2012;20(1):57-63.
52. Patel S, Puri T, Mannocci F, Bakhsh AA. The outcome of endodontic treatment using an enhanced infection protocol in specialist practice. *British Dental Journal*. 2022;232(11):805-811.
53. Pejčić N, Petrović V, Marković D, Miličić B, Dimitrijević II, Perunović N, et al. Assessment of risk factors and preventive measures and their relations to work-related musculoskeletal pain among dentists. *Work*. 2017;57(4):573-593.
54. Pinchi V, Pradella F, Gasparetto L, Norelli G-A. Trends in endodontic claims in Italy. *International Dental Journal*. 2013;63(1):43-48.
55. Remaud M, Baconnais C, Perez F. Le rôle de l'assistant(e) dentaire en endodontie. *Profession Assistant(e) Dentaire*. 2020;17(5):12-19.
56. Rose D, Richter LT, Kapustin J. Patient experiences with electronic medical records: Lessons learned. *Journal of the American Association of Nurse Practitioners*. 2014;26(12):674.

57. Rucker LM. Technology meets ergonomics in the dental clinic: new toys for old games? *Journal of the American College of Dentists*. 2000;67(2):26-29.
58. Rucker LM, Sunell S. Ergonomic Risk Factors Associated With Clinical Dentistry. *Journal of the California Dental Association*. 2002;30(2):139-146.
59. Sabarigirinathan C, Vinayagavel K, Rupkumar P, Prabhu GS, Narayanan S, Seetha KV. Ergonomics and musculo-skeletal disorders in dentistry. *International Journal of Medicine & Health Research*. 2015;1:1-12.
60. Saghiri MA, Asgar K, Boukani KK, Lotfi M, Aghili H, Delvarani A, et al. A new approach for locating the minor apical foramen using an artificial neural network. *International Endodontic Journal*. 2012;45(3):257-265.
61. Saghiri MA, Garcia-Godoy F, Gutmann JL, Lotfi M, Asgar K. The Reliability of Artificial Neural Network in Locating Minor Apical Foramen: A Cadaver Study. *Journal of Endodontics*. 2012;38(8):1130-1134.
62. Sarkar PA, Shigli AL. Ergonomics in general dental practice. *People's Journal of Scientific Research*. 2012;5(1):56-60.
63. Saunier S. Eclairage : un savant mélange à respecter. *L'Information Dentaire*. 2005;(25):1514-1516.
64. Scheer ER, Atweh JA, Arora J, Thompson E, Murray J, Sellers E, et al. Exploring the Social Contexts of Exoskeleton Design and Implementation in Long-Term Care: A Study of Nurses and Nurse Managers with Musculoskeletal Disorders. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*. 2024;68(1):535-541.
65. Setzer FC, Li J, Khan AA. The Use of Artificial Intelligence in Endodontics. *Journal of Dental Research*. 2024;103(9):853-862.
66. Shah AF, Tangade P, Batra M, Kabasi S. Ergonomics in dental practice. *International Journal of Dental and Health Sciences*. 2014;1:68-78.
67. Shaik AR. Dental ergonomics: Basic steps to enhance work efficiency. *Archives of Medicine and Health Sciences*. 2015;3(1):138.
68. Simon S, Machtou P, Pertot W-J. *Endodontie*. 2e éd. Puteaux: Éditions CdP; 2020.
69. Siqueira JF, Rôças IN, Alves FRF, Campos LC. Periradicular status related to the quality of coronal restorations and root canal fillings in a Brazilian population. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*. 2005;100(3):369-374.
70. Sitbon Y, Attathom T, St-Georges AJ. Minimal intervention dentistry II: part 1. Contribution of the operating microscope to dentistry. *British Dental Journal*. 2014;216(3):125-130.

71. Touré B, Azogui-Lévy S, Dzara I, Azérad J, Boucher Y. Qualité des traitements endodontiques dans un échantillon de patients consultant en urgence dans le service d'odontologie du GHPS. *Revue d'odontostomatologie*. 2011;40(4):280-292.
72. Tröster M, Wagner D, Müller-Graf F, Maufroy C, Schneider U, Bauernhansl T. Biomechanical Model-Based Development of an Active Occupational Upper-Limb Exoskeleton to Support Healthcare Workers in the Surgery Waiting Room. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2020;17(14):5140.
73. Vreeman DJ, Taggard SL, Rhine MD, Worrell TW. Evidence for Electronic Health Record Systems in Physical Therapy. *Physical Therapy*. 2006;86(3):434-446.
74. Wang SJ, Middleton B, Prosser LA, Bardon CG, Spurr CD, Carchidi PJ, et al. A cost-benefit analysis of electronic medical records in primary care. *The American Journal of Medicine*. 2003;114(5):397-403.
75. Zahran S, Mannocci F, Koller G. Assessing the Iatrogenic Contribution to Contamination During Root Canal Treatment. *Journal of Endodontics*. 2022;48(4):479-486.
76. Zarra T, Lambrianidis T. Musculoskeletal disorders amongst Greek endodontists: a national questionnaire survey. *International Endodontic Journal*. 2014;47(8):791-801.

Webographie

1. Haute Autorité de Santé. [Internet] Traitement endodontique : rapport d'évaluation technologique. Disponible sur : https://www.hassante.fr/upload/docs/application/pdf/2009-01/rapport_traitement_endodontique.pdf
2. FDI World Dental Federation. [Internet] Ergonomie et Posture : Recommandations aux professionnels de la santé bucco-dentaire Disponible sur : <https://www.fdiworlddental.org/ergonomics-and-posture-guidelines-oral-health-professionals>

Index des figures

Figure 1 : Postures fixes et contraignantes adoptées par les dentistes ²	19
Figure 2 : Exemples de postures contraignantes [58].....	20
Figure 3 : Posture ergonomique du praticien [39].....	24
Figure 4 : Hauteur de fauteuil empêchant une flexion excessive de la nuque du praticien [39].....	25
Figure 5 : Accès visuel de l'assistante dentaire ²	25
Figure 6 : Siège assistante avec appui ventral [39].....	26
Figure 7 : Problèmes liés au patient en position semi-assise [8].....	28
Figure 8 : Les bienfaits du patient en position allongée [8].....	28
Figure 9 : Représentation du carrefour oro-pharyngé du patient en position allongée stricte [19].....	29
Figure 10 : Représentation du carrefour oro-pharyngé du patient en position semi-assise [19].....	30
Figure 11 : Microscope avec binoculaire en position basse [32].....	30
Figure 12 : Classification des mouvements [39].....	31
Figure 13 : Positionnement ergonomique du scialytique [47].....	33
Figure 14 : Position correcte de la main et de l'instrument pour la prévention du syndrome du canal carpien, avec le poignet aligné à l'axe de l'avant-bras [32]...	35
Figure 15 : Siège opérateur ergonomique avec différentes tailles de vérin [39]..	36
Figure 16 : Unit type Daryl Beach [47].....	38
Figure 17 : Comparaison de la posture du chirurgien-dentiste avec l'utilisation de loupes et du microscope opératoire [28].....	40
Figure 18 : Visualisation à fort grossissement d'une fêlure radiculaire et de la cartographie pulpaire d'une pré molaire [5].....	41
Figure 19 : Instruments ultrasonores [21].....	42
Figure 20 : Localisateur électronique d'apex [29].....	42
Figure 21 : Signes d'appel pour le transfert d'instruments [68].....	45
Figure 22 : Transfert parallèle d'instruments [68].....	46
Figure 23 : Transfert des pointes de papiers avec des pinces endo-verrouillantes [21].....	46
Figure 24 : Système Endo Ring [21].....	47
Figure 25 : Désinfection de la digue à l'aide d'une compresse imbibée d'hypochlorite de sodium [31].....	47
Figure 26 : Les quatre zones de travail [28].....	50

Figure 27 : Exemple de composition du bac d'endodontie [55].....	52
Figure 28 : Composition du set de préparation de l'endodonte [31].....	54
Figure 29 : Composition du set d'obturation de l'endodonte [31].....	54
Figure 30 : Exemple du protocole « anesthésie » [39].....	56
Figure 31 : Détection de fissures par IA [65].....	59
Figure 32 : Description du modèle d'exosquelette Hapo MS® [6].....	61

Index des tableaux

Tableau 1 : Répartition des douleurs chez les dentistes en 2015 [41].....	20
---	----

Thèse d'exercice : Chir. Dent. : Lille : Année 2025 –

Optimisation Ergonomique en Endodontie : Solutions Actuelles et Perspectives Futures / Thomas Dantin. - p. 75 : ill. 33 ; réf. 76.

Domaines : Dentisterie restauratrice Endodontie

Mots clés Libres : Endodontie, Ergonomie, Troubles musculo squelettiques, Posture

Résumé de la thèse en français

Cette thèse explore l'optimisation ergonomique en endodontie afin de prévenir les troubles musculo-squelettiques (TMS) chez les praticiens. L'analyse des contraintes posturales et gestuelles met en évidence l'importance d'un équipement adapté, comme les microscopes opératoires et les loupes, pour réduire la fatigue et améliorer la précision. L'intégration de nouvelles technologies, notamment l'intelligence artificielle et les exosquelettes, offre des perspectives prometteuses pour améliorer le confort et l'efficacité des interventions. Une approche ergonomique optimisée contribue ainsi à la préservation de la santé des praticiens et à une meilleure qualité des soins.

JURY :

Président : **Pr Lieven ROBBERECHT**

Assesseurs : **Dr Marc Linez**

Dr Henri Persoon

Dr Florian De Coninck