



**HAL**  
open science

# L'intégration minérale en Implantologie: étude histologique des interfaces autres qu'osseuse lors de la pose d'implant trans-corono-radriculaire

Amélie Belinchón Sánchez

► **To cite this version:**

Amélie Belinchón Sánchez. L'intégration minérale en Implantologie: étude histologique des interfaces autres qu'osseuse lors de la pose d'implant trans-corono-radriculaire. Chirurgie. 2014. dumas-01178906

**HAL Id: dumas-01178906**

**<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01178906>**

Submitted on 21 Jul 2015

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Université de Bordeaux  
Collège des Sciences de la Santé  
UFR des Sciences Odontologiques

Année 2014

N° 46

Thèse pour l'obtention du  
DIPLOME D'ETAT de DOCTEUR EN CHIRURGIE DENTAIRE

Présentée et soutenue publiquement

par **Amélie BELINCHÓN SÁNCHEZ**

née le 12/04/1988 à Rouen (76)

le 11/09/2014

**L'intégration minérale en Implantologie.  
Etude histologique des interfaces autres qu'osseuse  
lors de la pose d'implant trans-corono-radriculaire.**

Directeur de thèse

**Docteur SZMUKLER-MONCLER Serge**

Jury :

Président	Mme C. BERTRAND	Professeur des Universités
Directeur	Mr S. SZMUKLER-MONCLER	Docteur d'état en Chirurgie Dentaire
Rapporteur	Mr C. SEDARAT	Maître de Conférences des Universités
Assesseur	Mr E. D'INCAU	Maître de Conférences des Universités
Assesseur	Mr Y. LAUVERJAT	Maître de Conférences des Universités
Invité	Mr G. FAUDEMÉR	Docteur d'état en Chirurgie Dentaire

# UNIVERSITE DE BORDEAUX

Président M. Manuel TUNON De LARA

## UNITE DE FORMATION ET DE RECHERCHE D'ODONTOLOGIE

<i>Directeur</i>	M. Jean-François PELI	58-01
<i>Directeur Adjoint – chargé de la Formation Initiale</i>	M. Yves DELBOS	56-01
<i>Directeur adjoint – chargé de la Recherche</i>	M. Jean-Christophe FRICAIN	57-02
<i>Directeur adjoint – chargé des Relations Internationales</i>	M. Jean-François LASSERRE	58-02

## ENSEIGNANTS DE L'UFR

Mme Caroline	BERTRAND	Prothèse dentaire	58-02
Melle Marie-José	BOILEAU	Orthopédie dento-faciale	56-02
M. Jean	DAVID	Prothèse dentaire	58-02
Mme Véronique	DUPUIS	Prothèse dentaire	58-02
M. Jean-Christophe	FRICAIN	Chirurgie buccale – Pathologies et thérapeutiques	57-02

## MAÎTRES DE CONFERENCES DES UNIVERSITES

Melle Elise	ARRIVE	Prévention épidémiologie- Economie de la santé- Odontologie légale	56-03
Mme Cécile	BADET	Sciences biologiques	57-03
M. Etienne	BARDINET	Orthopédie dento-faciale	56-02
M. Michel	BARTALA	Prothèse dentaire	58-02
M. Cédric	BAZERT	Orthopédie dento-faciale	56-02

M. Jean-Pierre	BLANCHARD	Prothèse dentaire	58-02
M. Christophe	BOU	Prévention épidémiologie- Economie de la santé- Odontologie légale	56-03
Melle Sylvie	BRUNET	Chirurgie buccale – Pathologie et thérapeutique	57-02
M. Sylvain	CATROS	Chirurgie buccale – Pathologie et thérapeutique	57-02
M. Stéphane	CHAPENOIRE	Sciences anatomiques et physiologiques	58-03
M. Jacques	COLAT-PARROS	Sciences anatomiques et physiologiques	58-03
M. Reynald	DA COSTA NOBLE	Parodontologie	57-01
M. François	DARQUE	Orthopédie dento-faciale	56-02
M. François	DE BRONDEAU	Orthopédie dento-faciale	56-02
M. Yves	DELBOS	Odontologie pédiatrique	56-01
M. Raphaël	DEVILLARD	Odontologie conservatrice - Endodontie	58-01
M. Emmanuel	D'INCAU	Prothèse dentaire	58-02
M. Bruno	ELLA NGUEMA	Sciences anatomiques et physiologiques	58-03
M. Dominique	GILLET	Odontologie conservatrice - Endodontie	58-01
M. Jean-François	LASSERRE	Prothèse dentaire	58-02
M. Yves	LAUVERJAT	Parodontologie	57-01
Mme Odile	LAVIOLE	Prothèse dentaire	58-02
M. Jean-Marie	MARTEAU	Chirurgie buccale – Pathologie et thérapeutique	57-02
Mme Javotte	NANCY	Odontologie pédiatrique	56-01
Mme Dominique	ORIEZ	Odontologie conservatrice - Endodontie	58-01
M. Jean-François	PELI	Odontologie conservatrice - Endodontie	58-01
M. Philippe	POISSON	Prévention épidémiologie- Economie de la santé- Odontologie légale	56-03
M. Patrick	ROUAS	Odontologie pédiatrique	56-01
Melle Maud	SAMPLEUR	Orthopédie dento-faciale	56-02
M. Cyril	SEDARAT	Parodontologie	57-01
Melle Noélie	THEBAUD	Sciences biologiques	57-03
M. Eric	VACHEY	Odontologie conservatrice - Endodontie	58-01

## ASSISTANTS

M. Therence	BARSBY	Odontologie conservatrice - Endodontie	58-01
Mme Aurélie	BARSBY EL- KHODER	Prothèse dentaire	58-02
Mme Mélanie	BOES-HULLMAN	Orthopédie dento-faciale	56-02
M. Julien	BROTHIER	Prothèse dentaire	58-02
Melle Caroline	CHANE-FANE	Orthopédie dento-faciale	56-02
M. Mathieu	CLINKEMAILLIE	Prothèse dentaire	58-02
M. Mathieu	CONTREPOIS	Prothèse dentaire	58-02
M. Guillaume	CRESTE	Prothèse dentaire	58-02
Mme Hélène	DENOST	Prévention épidémiologie- Economie de la santé- Odontologie légale	56-03
Melle Aurélie	DUARTE	Odontologie conservatrice - Endodontie	58-01
M. Guillaume	FENOUL	Odontologie conservatrice - Endodontie	58-01
Melle Géraldine	FERROROMOURGU ES	Orthopédie dento-faciale	56-02
M. Nicolas	GLOCK	Chirurgie buccale – Pathologie et thérapeutique	57-02
Melle Sandrine	GROS	Orthopédie dento-faciale	56-02
Melle Amandine	LAVAUD	Odontologie pédiatrique	56-01
Melle Alice	LE NIR	Sciences anatomiques et physiologiques	58-03
Mme Karine	LEVET	Prévention épidémiologie- Economie de la santé- Odontologie légale	56-03
Melle Maria-Gabriela	MARC	Odontologie conservatrice - Endodontie	58-01
M. Matthieu	MEYER	Chirurgie buccale – Pathologie et thérapeutique	57-02
Melle Darrène	NGUYEN	Sciences biologiques	57-03
Melle Virginie	PANNEREC	Chirurgie buccale – Pathologie et thérapeutique	57-02
Melle Candice	PEYRAUD	Odontologie pédiatrique	56-01

M. Jean-Philippe	PIA	Prothèse dentaire	58-02
M. Mathieu	PITZ	Parodontologie	57-01
M. Cyril	VIDAL	Odontologie conservatrice - Endodontie	58-01
M. François	VIGOUROUX	Parodontologie	57-01

## *Remerciements*

*Madame le Professeur Caroline BERTRAND*

*Président du Jury*

- *Professeur des Universités - Praticien Hospitalier (sous-section Prothèse)*
- *Docteur de l'Université Bordeaux 2, Mention Sciences Biologiques et Médicales, Option Sciences Odontologiques*
- *Docteur en Chirurgie Dentaire*
- *CES de Prothèse Adjointe Partielle*
- *CES de Prothèse Adjointe Totale*
- *Diplôme d'Études Approfondies de Paléo-Anthropologie à l'Université Bordeaux 1*
- *Habilitation à diriger des recherches*
- *Responsable de l'Unité Médicale de Xavier Arnozan*

*Je vous remercie de l'honneur que vous me faites en acceptant la présidence du Jury de cette thèse.*

*Veillez trouver, par la réalisation de ce travail, l'expression de ma plus haute considération et de mon profond respect.*

*Je souhaite également vous adresser ma reconnaissance la plus sincère pour l'enseignement que vous m'avez transmis tant sur le plan théorique que clinique.*

*Monsieur le Docteur Serge SZMUKLER-MONCLER,  
Directeur de thèse*

- *Directeur du Pôle de Recherche Scientifique de l'EID (Excellence in Dentistry), Paris, France*
- *Docteur en Chirurgie Dentaire*
- *Diplômé de l'Institut d'Etudes Politiques (IEP) de Strasbourg*
- *Docteur en Sciences des Matériaux*
- *DU d'Hypnose Médicale*
- *Professeur a.c. Université de Cagliari, Italie*
- *Intervenant, DU d'Implantologie, Evry, France*
- *Ex Visiting professor à l'Institut Orthopédique Galleazzi, Université de Milan, Italie*
- *Ex Professeur-associé, Département de Stomatologie et Chirurgie Maxillo-faciale, Hôpital de la Pitié-Salpêtrière, Paris VI, France*

*Je vous remercie de l'honneur que vous me faites en acceptant la direction de cette thèse. Je vous remercie infiniment pour votre implication, votre rigueur, votre patience, votre passion communicative, votre ouverture d'esprit ainsi que pour la pédagogie de votre enseignement. Je souhaite également vous adresser ma reconnaissance la plus sincère pour les heures de travail partagées, pour les lectures que vous m'avez conseillées et pour avoir réussi à me canaliser. Je vous remercie d'avoir fait de cette thèse un parcours initiatique à la recherche du plus passionnant.*

*Veillez trouver, par la réalisation de ce travail, l'expression de ma plus haute considération et de mon profond respect.*

*Monsieur le Docteur Cyril SEDARAT*

*Rapporteur*

- *Maître de Conférences des Universités – Praticien Hospitalier (sous-section Prothèse)*
- *Docteur de l'Université Bordeaux 2  
Mention Science Biologique et Médicale, Option Sciences*

*Odontologiques*

- *CES Biologie de la Bouche, Option Anatomo-Physiologique*
- *Docteur en Chirurgie Dentaire*
- *CES de Parodontologie*
- *CES de Prothèse Dentaire, Option Prothèse Scellée*
- *CES d'Odontologie Chirurgicale*
- *DU de Parodontologie*
- *DU de Réhabilitation Orale et Implantologie*
- *DEA d'Anthropologie*

*Vous avez spontanément accepté de juger ce travail et je vous en remercie. Je tiens également à témoigner de l'intérêt que vous avez manifesté pour mon sujet et de l'aide précieuse que vous m'avez apportée. Je vous remercie également de m'avoir suivie et épaulée au cours de mes trois années hospitalo-universitaires. Je vous remercie de votre écoute, de vos précieux conseils ainsi que de la grande disponibilité dont vous faites preuve auprès de vos étudiants.*

*Permettez-moi de vous exprimer toute mon estime et ma gratitude.*

*Monsieur le Docteur Emmanuel d'INCAU*  
*Assesseur*

- *Maître de Conférences des Universités - Praticien Hospitalier (sous-section Prothèse)*
- *Docteur en Chirurgie Dentaire*
- *CES de Prothèse Adjointe, Option Prothèse Adjointe Partielle*
- *CES de Prothèse Dentaire, Option Prothèse Scellée*
- *CES de Prothèse Dentaire, Option Prothèse Adjointe Complète*
- *Maîtrise en Science Biologique et Médicale*
- *Diplôme d'Études Approfondies d'Anthropologie Biologique*

*Vous avez spontanément accepté de participer à ce Jury et je vous en remercie. Je tiens également à témoigner de votre intérêt et disponibilité. Je vous remercie pour la précision et la qualité de votre enseignement tant sur le plan théorique que clinique.*

*Je vous remercie pour tout ce que vous m'avez appris en clinique durant cette année hospitalo-universitaire, pour votre grande rigueur ainsi que de votre professionnalisme, permettez-moi de vous exprimer toute mon estime et mon admiration.*

*Mr le Docteur Yves LAUVERJAT*

*Assesseur*

- *Maître des Conférences des Universités*
- *Praticien Hospitalier*
- *Docteur en Chirurgie Dentaire*
- *Docteur en sciences odontologiques*
- *CES de Biologie Buccale*
- *CES de Parodontologie*
- *DU de Réhabilitation Orale et Implantologie*
- *Post-Graduate Boston University*
- *Visiting Clinical Professor New York University*

*Vous avez spontanément accepté de juger ce travail et je vous en remercie.  
Je tiens également à témoigner de la disponibilité et de l'intérêt que vous  
avez manifesté pour mon sujet.*

*Permettez-moi de vous exprimer toute mon estime et ma gratitude.*

*Monsieur le Docteur Gonzague FAUDEMÉR,  
Invité*

- *Docteur en Chirurgie Dentaire*
- *Docteur en Sciences de l'Université Bordeaux I*
- *Ancien Assistant hospitalo-universitaire de l'Université Bordeaux 2*
- *Attaché d'Enseignement à l'Université de Bordeaux*
- *CES de Parodontologie*
- *DEA Biomorphologie quantitative variabilité de la forme humaine, Paris V*
- *DU de Réhabilitation orale et Implantaire*
- *DU de Parodontologie*
- *DU d'Anatomie cranio-cervico-faciale*
- *Post-Graduate de Parodontologie et Implantologie, Université de New-York*

*Vous avez spontanément accepté de participer à ce Jury et je vous en remercie. Je tiens également à témoigner de votre intérêt et disponibilité. Je vous remercie pour tout ce que vous m'avez inculquée au cours de mon stage actif cette année. Je vous remercie d'avoir accepté de réaliser un cas et du professionnalisme dont vous faites preuve. Permettez-moi de vous exprimer toute mon estime et mon admiration.*

*Un grand merci au Dr Davarpanah Mithridade.*

*Très étonnée à la lecture d'articles au sujet de poses d'implants transcrono-radiculaires, me vint l'idée saugrenue d'aller rencontrer les initiateurs de ce protocole novateur. Je vous remercie de m'avoir reçue lors de ma première visite impromptue, de partager vos expériences et connaissances, de m'avoir suivie dans ma démarche ainsi que de m'avoir aiguillée vers le Dr Szmukler-Moncler. Je vous remercie pour votre participation à ce travail et votre professionnalisme. Je vous remercie de rendre de par vos approches novatrices l'Implantologie encore plus fascinante.*

*Je remercie le Dr Barjou Bruno pour sa participation active ainsi que la disponibilité dont il a fait preuve.*

*Je remercie les Dr Albaret S, Dr Altglas S, Dr Bartala M, Dr Chiche F, Dr Darie P, Dr Degorce T, Dr Fortin JN, Dr Mayoute M, Dr Pruvost JL pour leur participation et pour avoir gentiment accepté de participer à cette thèse en me faisant part avec précision de leur expérience sur le sujet.*

*Je remercie les Dr Bezos V, Dr Corcos L, Dr Dr Minassian H, Dr Missika P, Dr Monsenego P, Dr Russo N, Dr Verdino JB.*

*Je remercie le Dr Laffon Gaelle pour l'année universitaire partagée des plus agréables.*

*Je remercie Mme Judas Agnès pour son accompagnement hospitalier tout au long de l'année et lors de ma première pose d'implant.*

*Enfin, je remercie la Faculté de Bordeaux, Mr Peli JF, Mme Perrault M ainsi que tous les professeurs que j'ai eu la chance de côtoyer au cours de mon cursus universitaire.*

*Je dédie cette thèse à mon directeur, mes parents,  
ma sœur ainsi qu'à tous mes amis.*

*A toda mi familia sevillana. Aunque todos no  
podrán estar presentes cuando la presentaré,  
pensaré mucho en ellos.*

## TABLE DES MATIERES

I. Introduction .....	10
II. Prologomènes à la thématique de l'Intégration minérale.....	11
II.1 L'inclusion dentaire .....	12
II.1.1 Fréquence .....	12
II.1.2 Étiologie .....	12
II.1.3 Traitement de l'adolescent .....	13
II.1.4 Traitement de l'adulte .....	14
II.2 Réhabilitation d'un site dont l'édentement est causé par la présence d'une dent incluse chez l'adulte .....	15
II.2.1 Les différentes modalités de réhabilitation de cet édentement.....	15
II.2.2 Nécessité d'une alternative aux méthodes classiques .....	19
II.3 L'implantation transcorno-radulaire .....	20
II.3.1 La problématique paradigmatique .....	20
II.3.2 Technique de la mise en place d'un implant transcorno-radulaire.....	21
III. Etude histologique de l'Intégration minérale (IM) .....	22
III.1 Introduction au concept d'Intégration minérale vs. Ostéointegration.....	22
III.2 Identification des études histologiques relevant de la problématique de l'IM .....	22
III.2.1 Etudes histologiques dans le champ de l'Implantologie .....	24
III.2.2 Etudes histologiques dans le champ de l'Orthodontie.....	26
III.2.3 Etudes histologiques dans le champ de l'Orthognatie .....	27
III.2.4 Etudes histologiques dans le champ des matériaux de comblement à base de dentine.....	27
III.2.5 Etudes histologiques dans le champ des ligaplants .....	28
III.3 Etudes histologiques relevant de la problématique de l'IM en Implantologie .....	30
III.3.1 Buser et coll. (1990) .....	30
III.3.2 Buser et coll. bis (1990) .....	30
III.3.3 Warrer et coll. (1993).....	31
III.3.4 Guarnieri et coll. (2002).....	32
III.3.5 Gray et coll. (2004) .....	33
III.3.6 Parlar et coll. (2005).....	34
III.3.7 Hürzeler et coll. (2010).....	35
III.3.8 Schwarz et coll. (2013).....	36
III.3.9 Bäumer et coll. (2013).....	37
III.4 Etudes histologiques relevant de la problématique de l'IM en Orthodontie .....	39
III.4.1 Jahangari et coll. (2005).....	39
III.4.2 Ascherricks et coll. (2008).....	40
III.4.3 Hembree et coll. (2009).....	40
III.4.5 Renjen et coll. (2010).....	41

III.4.4 Rinaldi et coll. (2009).....	42
III.5 Etudes histologiques relevant de la problématique de l’IM en Orthognatie.....	43
III.5.1 Nanda et coll. (1982) .....	44
III.5.2 Ellis et coll. (1985).....	45
III.5.3 Hitchcock et coll. (1985) .....	46
III.6 Etudes histologiques dans le champ des matériaux de comblement à base de dentine .....	47
III.6.1 Morris et coll. (1970) .....	47
III.6.2 Alton et coll. (1972) .....	48
III.6.3 Andersson et coll. (2010) .....	49
III.6.4 Nampo et coll. (2010) .....	49
III.6.5 Kim et coll. (2010,2013) .....	49
III.6.6 Murata et coll. (2011).....	50
III.7 Etudes histologiques dans le champ des ligapplants .....	52
III.7.1 Piatelli et coll. (1994).....	52
III.7.2 Takata et coll. (1994).....	52
III.7.3 Choi et coll. (2000) .....	52
III.7.4 Akira et coll. (2005) .....	52
III.7.5 Marei et coll. (2009) .....	53
III.7.6 Gault et coll. (2010) .....	54
III.7.7 Lin et coll. (2010) .....	54
III.7.8 Kano et coll. (2012).....	55
IV. Recensement des cas cliniques d’implantation transcorono-radiculaire.....	56
IV.1 Cas personnellement suivis.....	56
IV.1.1 Présentation du Cas 1 .....	56
IV.1.2 Présentation du Cas 2 .....	59
IV.2 Recensement des cas portés à notre connaissance .....	62
V. Discussion.....	
V.1. Le protocole non conventionnel et sa preuve histologique.....	66
V.2. L’Intégration minérale et la justification du néologisme.....	66
V.3. Le nouveau paradigme de l’Intégration minérale et son possible essor.....	71
VI. Conclusion.....	72
VII. Bibliographie.....	75
Résumé.....	79

*« Souvent on raffine davantage la théorie acceptée pour mieux l'adapter aux nouvelles observations et découvertes. Par contre, les grands changements se produisent quand cela n'est plus possible. Dans ce cas, les scientifiques atteignent tôt ou tard un point où ils préfèrent partir à la recherche d'une théorie plus simple et plus éclairante plutôt que d'essayer d'étirer les théories établies. Dès lors, la voie est ouverte à une innovation fondamentale : un changement de paradigme. »*

*Erwin Laszlo, 2004*

# I. Introduction

L'implantologie dentaire actuelle est régie et codifiée par le concept de l'Ostéointégration, « processus par lequel une fixation rigide et asymptomatique d'un matériau alloplastique (d'origine industrielle) est obtenue et maintenue dans l'os durant la charge fonctionnelle » (1). Cependant, il arrive qu'une dent incluse se trouve sur le trajet de l'implant, elle constitue un obstacle *a priori* infranchissable. Mais alors, comment traiter l'édentement canin provoqué par l'existence de cette inclusion ?

L'option thérapeutique la plus simple et la plus immédiate consisterait à poser un implant au travers de la dent incluse. Cependant, cela irait à l'encontre du paradigme actuellement accepté en implantologie qui exige un contact exclusif entre surface implantaire et tissu osseux. En effet, la mise en place d'implants trans-corono-radicaux ne peut qu'entraîner la formation de nouvelles interfaces autres qu'osseuse avec, par exemple, le ciment ou la dentine. Pourtant, la littérature internationale fait état de cette étonnante possibilité dès 2009 (2-5) sous la plume d'une équipe parisienne qui caractérise ce protocole clinique de l'adjectif 'non-conventionnel' (Unconventional implant placement en Anglais). Cette équipe fonde sa démarche en s'appuyant sur des études histologiques et va même jusqu'à créer un néologisme, « l'Intégration minérale » afin de rendre compte des phénomènes histologiques prenant place aux différentes interfaces ainsi générées (3).

De nombreuses questions surgissent alors :

1. Ces nouvelles interfaces, telles que l'interface implant-dentine ou l'interface implant-ciment sont-elles réellement le siège, ainsi que les auteurs le prétendent (2-9), d'une quelconque cicatrisation tissulaire qui assurerait aux interfaces une réaction biologique similaire, mais peut-être non identique, à celle observée lors de l'ostéointégration ? Les preuves avancées par cette équipe sont-elles crédibles, résistent-elles à l'analyse ?
2. Ces nouvelles interfaces sont-elles stables d'un point de vue histologique ? Quel est leur devenir sur le long terme ?
3. L'effraction pulpaire, lorsqu'elle a lieu lors de la pose implantaire, devrait systématiquement entraîner une algésie post-opératoire ainsi que des complications endodontiques. Pourtant, l'équipe parisienne souligne l'absence de douleurs post-opératoires ou de complications endodontiques (2)(4). Comment cela est-il possible, quelle est l'explication de ce phénomène observé cliniquement ?
4. La stabilité implantaire cliniquement observée par ces auteurs, est-elle le résultat exclusif d'un ancrage biomécanique ou fait-elle suite à une intégration biologique avec formation de tissus cicatriciels néoformés ?
5. Le terme 'Intégration Minérale' créé pour rendre compte des réactions qui ont lieu aux nouvelles interfaces ainsi générées (3) est-il indispensable ou n'est-il qu'une coquetterie superfétatoire d'auteurs en quête d'originalité? Ce néologisme aurait-il une signification histologique spécifique ainsi que des implications cliniques ?

Le sujet est neuf et la question de ce protocole implantaire non-conventionnel n'a jamais été abordée jusque-là dans le cadre d'une thèse. La problématique est clinique mais elle nous mène directement à une thématique histologique et tout autant paradigmatique. Ces dernières

constitueront le cœur de notre travail.

La thèse est articulée en 3 temps. Nous dirons tout d'abord quelles sont les situations cliniques confrontées à la thématique de l'Intégration minérale. Cette problématique ne concerne pas uniquement la pose d'implant trans-corono-radiculaire, mais également la pose d'implants au travers de dents ankylosées ou au contact de racines résiduelles (2-9).

Etant donné la nouveauté de ce champ de recherche, la littérature n'offre pas d'étude histologique spécifique au sujet ainsi que les auteurs qui ont introduit ce protocole innovant, l'ont d'ailleurs bien précisé (2)(3)(7)(8). C'est en fouillant dans des champs voisins à leur thématique qu'ils ont identifié des informations qui leur ont permis de mettre en place un faisceau d'indications en faveur de leur démarche clinique. Nous reprendrons les études qu'ils ont répertoriées et nous interrogerons la littérature afin de savoir si d'autres informations sont présentes ou ont été publiées ultérieurement à leurs premiers travaux de 2009. C'est dans cette seconde partie, que nous exposerons l'ensemble des informations histologiques exhumées afin d'esquisser des réponses aux questions soulevées précédemment.

Dans sa troisième section, le travail se poursuivra par deux cas cliniques que nous avons eu l'occasion de traiter avec des praticiens locaux et nous ferons un rapide recensement des quelques cas publiés dans la littérature ainsi que ceux, plus nombreux, dont nous avons eu connaissance. La thèse se terminera par une discussion qui portera sur les aspects histologiques et paradigmatiques que cette thématique nous aura permis d'aborder.

## **II. Prolégomènes à la thématique de l'Intégration minérale**

Avant d'entrer au cœur de notre sujet, nous aborderons les indications cliniques qui nous confrontent à la création de nouvelles interfaces. Dès lors qu'un obstacle sera présent sur le chemin de l'implant et empêchera un contact intime entre l'os et l'implant, il engendrera la formation d'interfaces autres que l'interface os-implant et entrera dans les critères d'inclusion de la thématique de l'Intégration minérale. Les situations cliniques concernées sont donc la présence d'une dent ankylosée, d'une racine résiduelle ou d'une dent incluse. L'équipe parisienne retranscrit dans ses publications l'application de son protocole non-conventionnel à chacune des indications sus-citées (3). Nous nous concentrerons sur la situation clinique la plus récurrente, celle en rapport avec la présence d'une dent incluse. Seront abordés dans ce paragraphe l'épidémiologie et les étiologies de l'inclusion dentaire, ainsi que les moyens de diagnostic et de traitement précoce.

## II.1 L'inclusion dentaire

### II.1.1 Fréquence

Selon une étude portant sur 3674 radiographies de contrôle (10), l'épidémiologie de l'inclusion dentaire fait état d'une population de 16,7% de personnes en moyenne avec au moins une dent incluse. Par ordre de prévalence d'inclusion, un taux de 22% concerne les troisièmes molaires maxillaires. Il est de 18% pour les troisièmes molaires mandibulaires, de 0,92% pour les canines maxillaires supérieures, distribuées en 1,17% pour les femmes et 0,51% pour les hommes, 0,4% pour les prémolaires mandibulaires, 0,13% pour les prémolaires maxillaires et enfin 0,09% pour les canines mandibulaires.

Les taux de canines incluses varient donc de 0,9% à 4,51% selon les études, ainsi que le **tableau 1** les expose, alors que 85% des canines incluses maxillaires sont palatines, 15% sont vestibulaires (11)(12).

ETUDE	Canines maxillaires	Canines mandibulaires	Canines maxillaires et mandibulaires confondues
Thilander et coll. (2001) (13)	2%	0,20%	-
Ericson et Kurol et coll. (1988) (14)	-	-	0,9 - 2 %
Gunduz et coll. (2010) (15)	-	-	4,51%
Sanu et coll. (2012) (16)	-	1,36%	-
Yavuz et coll. (2007) (17)	-	1,29%	-

**Tab. 1.** Taux d'inclusion des canines en fonction des diverses études disponibles

### II.1.2 Étiologie

Divers facteurs étiologiques de l'inclusion dentaire apparaissent dans la littérature, ils sont d'ordre généraux ou locaux.

Les facteurs généraux sont apparentés à la longueur réduite de l'arcade, l'oligodontie, la radiothérapie, les déficiences endocrines, les facteurs nutritionnels, les disparités géographiques, le caractère héréditaire ainsi que les maladies infectieuses .

Les facteurs locaux sont le maintien sur l'arcade prolongé des dents déciduales, la longueur réduite du canal de l'incisive latérale adjacente, l'ankylose de la canine incluse, le degré d'encombrement et l'espacement dentaire, l'échec de résorption de la canine déciduale, la présence d'incisives latérales courtes ou leur agénésie, l'obstruction du chemin d'éruption (dents surnuméraires, odontomes, mésiodens), les tumeurs des maxillaires, la malposition du germe dentaire, les fentes alvéolaires ainsi que les causes iatrogènes d'origine orthodontique.

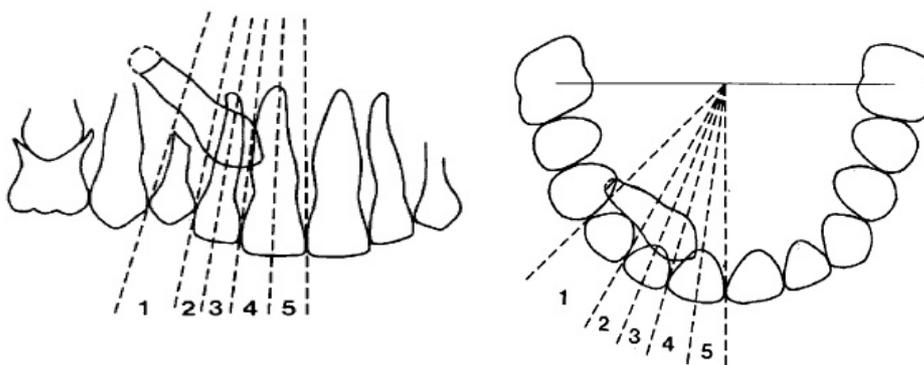
En général, l'éruption de la canine suit une direction mésiale jusqu'à rencontrer la face distale de

l'incisive latérale elle oriente son éruption de façon plus verticale. En l'absence de ce guidage, des problèmes peuvent survenir, la canine peut atteindre l'incisive centrale en cas d'agénésie de la latérale.

### II.1.3 Traitement de l'adolescent

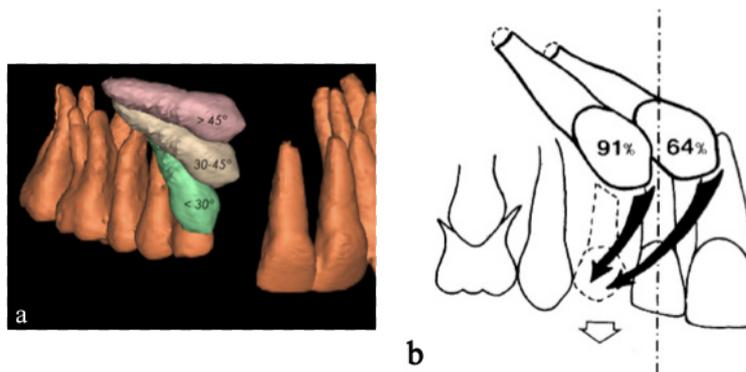
Le diagnostic de toute dent incluse doit se faire le plus précocement possible afin de surveiller son évolution et de mettre en oeuvre une thérapeutique adaptée au moment opportun. Chez l'adolescent, un traitement interceptif orthodontique peut être mis en place, avec ou sans chirurgie. Ceci nécessite un diagnostic précoce qui se base sur l'évaluation de signes cliniques (présence d'une voussure palatine, malposition de l'incisive latérale, retard d'éruption de la canine définitive, absence de la bosse canine après 12 ans et persistance de la canine temporaire après 14 ans) et radiologiques grâce à l'évolution des techniques radiographiques 3D de plus en plus performantes. La mesure d'interception la plus efficace est l'extraction de la canine primaire, voire des premières molaires temporaires, ceci élimine une obstruction potentielle et favorise l'éruption de la canine permanente. Le succès de l'interception dépendra du moment où cette intervention a lieu ou de la position ou malposition initiale de la canine.

Des indications géométriques ont été déterminées (14) pour diagnostiquer dès l'âge de 8 ans la possibilité d'une inclusion canine persistante. La canine est déterminée spatialement dans les 3 plans de l'espace frontal, sagittal et horizontal. Selon eux, si la pointe de la canine se situe dans les zones 2 et 3 présentées aux **figures 1a et b** avec un axe maximal de  $55^\circ$ , l'extraction de la canine lactéale entrainera l'éruption normale de la canine incluse dans les 12 mois suivants, dans 80% des cas. Si ce n'est pas le cas, l'éruption normale ne se produira pas et un autre traitement doit être envisagé. Plus la pointe de la canine se situe vers l'axe médian sagittal, plus son éruption sera difficile ainsi que la **figure 2** l'illustre.



**Fig. 1.** Critères de positionnement d'une canine incluse.

- Vue frontale des zones permettant d'évaluer la probabilité d'inclusion d'une canine incluse.
- Vue axiale des zones permettant d'évaluer la probabilité d'inclusion d'une canine incluse.

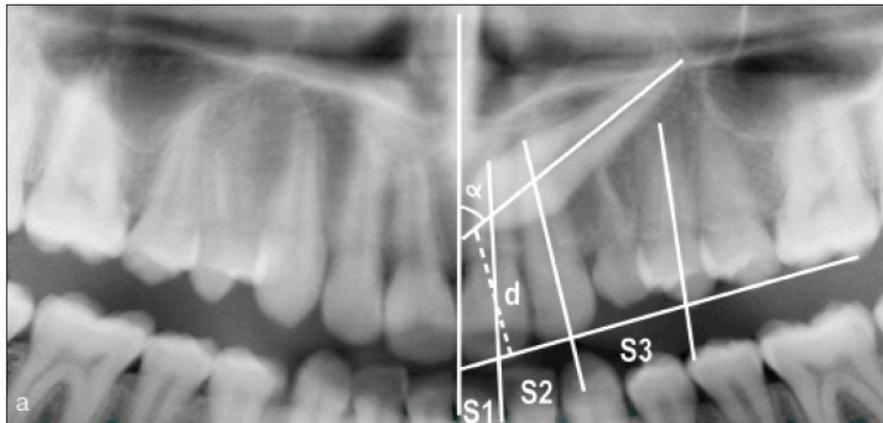


**Fig. 2.** Fréquence d'éruption en normoposition de la canine incluse fonction de son angulation initiale.

a. Représentation 3D de variation d'angulation initiale d'une canine incluse

b. Vue frontale de la fréquence d'éruption en normoposition d'une canine incluse fonction de son angulation initiale par rapport à un axe sagittal

Crescini et coll (18) dans une étude qui évalue à court et à long terme l'approche chirurgicale et-orthodontique dans le traitement des canines incluses identifient trois critères à prendre en compte afin d'anticiper le diagnostic d'inclusion, représentés en **figure 3**.



**Fig. 3.** Critères de diagnostic d'évolution de l'inclusion canine (18)

$\alpha$  : Angulation de la canine incluse : angle entre l'axe vertical et le grand axe de la canine

d : Hauteur d'inclusion : distance entre la pointe de la couronne et le plan occlusal incisive centrale-molaire

Migration de la canine incluse

S1 : axe vertical-axe de l'incisive centrale

S2 : axe incisive centrale-incisive latérale

S3 : axe incisive latérale-prémolaire

Ces inclusions ne sont pas nécessairement diagnostiquées et/ou traitées à l'adolescence. Certains patients conservent leurs canines lactéales tant qu'elles restent sur l'arcade. Les préoccupations de traitement arrivent ultérieurement, suite à une mobilité ou à un souci esthétique ; le praticien est alors confronté à son traitement.

#### II.1.4 Traitement de l'adulte

Les doléances esthétiques, voire fonctionnelles, des patients adultes dont l'inclusion n'a pas été traitée au préalable ne sont pas rares. Les canines lactéales peuvent devenir inesthétiques de part leur couleur et leur forme, ou absentes suite à une mobilité croissante. Il conviendra alors de

trouver un traitement adéquat à l'édentement canin entraîné chez l'adulte. Le paragraphe suivant présente les différents choix thérapeutiques qui s'offrent aux praticiens ainsi que leurs avantages et inconvénients.

## **II.2 Réhabilitation d'un site dont l'édentement est causé par la présence d'une dent incluse chez l'adulte**

Comme en témoigne l'épidémiologie de l'inclusion dentaire, les praticiens sont fréquemment confrontés au traitement de l'édentement canin entraîné par la présence d'une dent incluse chez l'adulte. Nous allons maintenant détailler les diverses approches conventionnelles de réhabilitation de cet édentement, leurs avantages, leurs inconvénients ainsi que leurs limites. Nous verrons en quoi ces dernières soulignent la nécessité d'une alternative thérapeutique.

### **II.2.1 Les différentes modalités de réhabilitation de cet édentement**

Afin de traiter l'édentement canin dû à la présence d'une canine incluse chez l'adulte, un panel d'approches thérapeutiques conventionnelles est à la disposition des praticiens. Les voies orthodontiques, chirurgicales puis implantaire ou prothétique, accompagnée ou non de l'avulsion de la canine incluse, s'offrent à eux et ils emprunteront celle qu'ils estiment la plus judicieuse pour apporter une solution au patient. Le paragraphe suivant détaille ces différentes approches ainsi que leurs avantages et inconvénients.

#### ***II.2.1.1 Traitement orthodontique***

L'orthodontie avec une traction de la canine incluse est le traitement de premier choix de l'inclusion. La traction orthodontique se déroule en trois phases :

1. la phase orthodontique pré-chirurgicale de réouverture pendant laquelle le praticien prépare le futur site de la canine
2. la phase chirurgicale de dégagement ostéomuqueux durant laquelle le praticien colle l'ancrage orthodontique tout en veillant à l'intégrité du parodonte
3. la phase post chirurgicale orthodontique de traction orthodontique

Le choix de la technique opératoire sera fonction de la dystopie vestibulaire ou palatine de la canine incluse, des tissus mous et du déplacement envisagé. Pour les canines maxillaires en dystopie vestibulaire, un lambeau déplacé est préconisé pour les inclusions peu profondes, un lambeau déplacé latéralement et apicalement est conseillé lors d'une proximité avec la dent adjacente, et un lambeau muco-périosté est conseillé lors d'inclusions hautes. Concernant les canines maxillaires en dystopie palatine, un lambeau palatin est préconisé pour les inclusions profondes mais un lambeau vestibulaire est préféré lorsqu'il est possible (19)(20).

Les inconvénients de cette technique sont nombreux :

- 1) le temps de traction est long car les forces utilisées ne doivent pas dépasser les 50 grammes pour éviter la désinclusion de la dent incluse et l'affaiblissement du parodonte.
- 2) des problèmes parodontaux peuvent s'aggraver ou apparaître, les complications les plus

fréquentes sont la survenue de récessions gingivales ou de pertes osseuses.

3) l'acceptation du traitement orthodontique et le port de brackets peuvent s'avérer difficile chez l'adulte.

4) le patient peut avoir des préoccupations d'ordre esthétique, soucieux de la teinte et de la forme de la canine incluse qui sera tractée. Or, l'aspect esthétique ne peut être prédit avant la fin du traitement.

5) un tel traitement peut provoquer des conséquences iatrogènes sur les dents adjacentes : résorptions, lésions ou mouvements parasites.

6) enfin, cette technique peut échouer. Les facteurs d'échec sont apparentés à l'ankylose (21), à l'ICRR (invasive cervical root resorption) (22)(23) qui est une forme agressive de résorption canalaire externe progressant dans la dentine et qui expliquerait de nombreux échecs orthodontiques, au risque de nécrose de la dent incluse après déplacement orthodontique avec changement de teinte et mortification par section du paquet vasculo-nerveux, à une coudure radiculaire, à une rhizolyse de la dent incluse ainsi qu'à l'échec auprès du patient lorsqu'il ne supporte pas le dispositif.

Une étude de la littérature (21) étudie la part d'échec de traitement orthodontique que l'on peut amputer à l'ankylose. Elle constitue selon les auteurs, le principal facteur d'échec ainsi que le reflètent les **tableaux 2 et 3**.

	Moins de 20 ans	Plus de 20 ans
Succès de la traction	107 (73,2%)	47 (61%)
Echec de la traction	39 (26,8%)	30 (39%)
	(10 avec ankyloses dont 8 cervicales et 2 apicales)	(19 avec ankylose dont 12 coronaires et 7 cervicoradiculaires)
Total	146	77

**Tab. 2.** Succès et échecs de traction des canines maxillaires dans la réhabilitation par traitement orthodontique (21)

	Moins de 20 ans	Plus de 20 ans
Succès de la traction	10 (83,3%)	5 (83,3%)
Echec de la traction	2 (16,7%)	1(16,7%)
	(1 du à une ankylose cervicale et 1 du à un dispositif orthodontique inadapté)	(ankylose cervicale)
Total	12	6

**Tab. 3.** Succès et échecs de tractions des canines mandibulaires dans la réhabilitation par traitement orthodontique (21)

Les résultats de cette étude explicitent les conséquences de l'âge sur la probabilité d'ankylose. La fréquence d'échec de traction est plus importante chez les plus de 20 ans, le taux d'échecs dus à une ankylose est de 26,8% chez les moins de 20 ans contre 39% chez les plus de 20 ans. L'âge entraîne un os plus minéralisé, une diminution des facteurs de croissance ainsi qu'un remaniement osseux moins intense : les conditions sont donc moins optimales pour effectuer une traction orthodontique. Avec l'âge, le sac folliculaire entourant la dent incluse peut diminuer voire disparaître, il entraîne un contact direct entre l'os et la couronne, l'ankylose présente est donc une contre-indication au déplacement orthodontique. Or, son rôle est capital : lors de l'éruption, il présente une activité de résorption osseuse qui permet l'avancée de la dent. Plus le patient est jeune, meilleur est le pronostic(22)(23) .La mise en place du collage du dispositif orthodontique peut entraîner l'élimination du sac folliculaire au niveau de la couronne et empêcher le processus de résorption et la traction. On estime à 3 mois de résistance au dispositif sans résultat de déplacement la durée au bout de laquelle une stratégie alternative à la stratégie orthodontique doit être envisagée sans attendre une déformation du plan occlusal.

32,4% de cas d'échecs de tractions orthodontiques sont dus à une ankylose en moyenne selon Becker et coll.(22), 54,2% selon Garcia (21).

La **figure 4** illustre le traitement orthodontique pour l'édentement canin.



**Fig.4.** Vue occlusale du dispositif de traitement orthodontique

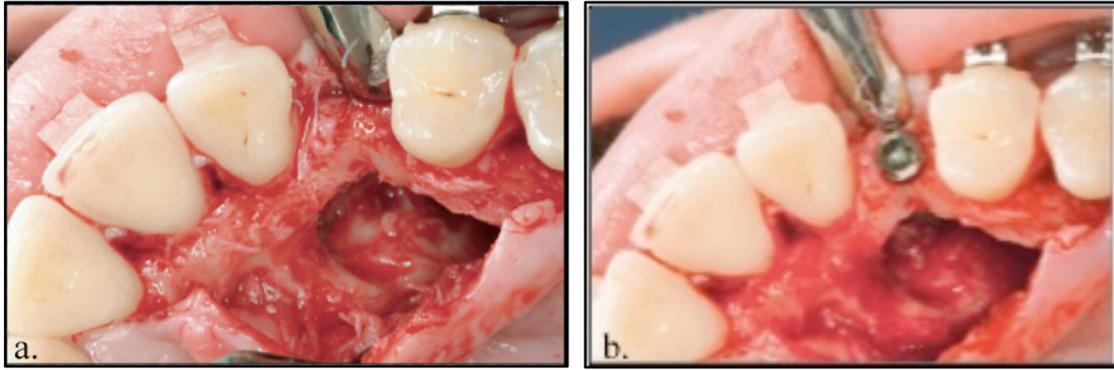
(avec l'aimable autorisation du Dr Pruvost Jean-Luc)

### ***II.2.1.2 Traitement chirurgical puis implantaire (avantages, inconvénients)***

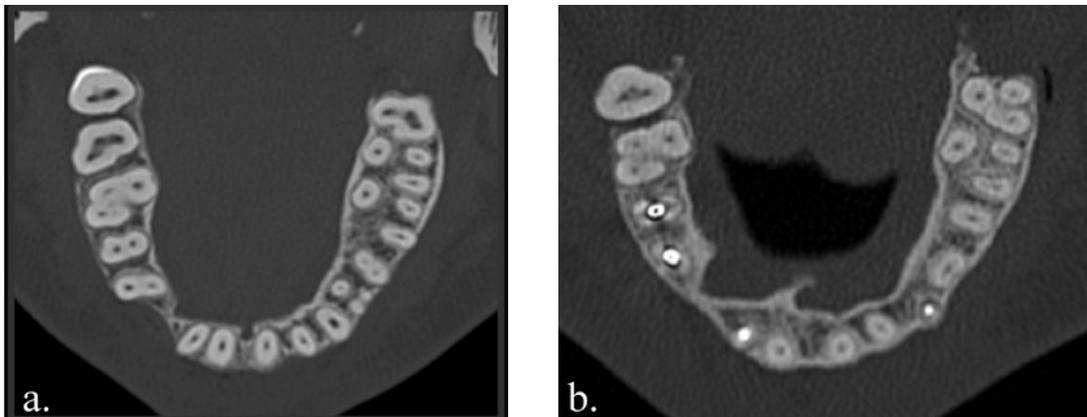
L'extraction avec comblement osseux et pose immédiate ou différée de l'implant dans l'os néoformé constitue une alternative à l'orthodontie. Quatre études (24-27) présentent l'extraction d'une canine incluse suivie d'une implantation immédiate avec utilisation de matériaux de comblement osseux.

Cette technique présente des avantages sur le plan esthétique d'une part, car on ne peut prédire la teinte de la dent incluse après traction, et sur la durée t du traitement nécessaire d'autre part.

Elle présente cependant des inconvénients : selon les auteurs, la technique n'est pas applicable à toutes les situations, une stabilité primaire suffisante est nécessaire, le délabrement osseux est important au niveau des tables osseuses vestibulaires (28) ou proximales comme le démontrent les **figures 5 et 6** et le taux de complications infectieuses est évalué à 1%.



**Fig. 5.** Délabrements osseux lors d'une réhabilitation par extraction-implantation immédiate (21)  
 a. Vue occlusale du site opératoire après avulsion de la canine incluse  
 b. Vue occlusale du site opératoire après implantation immédiate

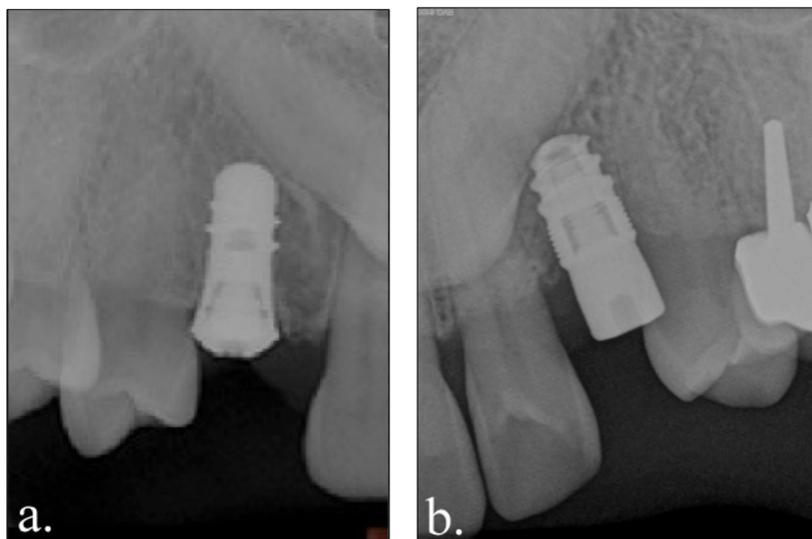


**Fig. 6.** Effondrement des tables osseuses mis en évidence par examen tomodensitométrique  
 a. Plan axial mettant en évidence la perte osseuse au niveau de la table vestibulaire  
 b. Plan axial mettant en évidence la perte osseuse au niveau de la table palatine

La **figure 6** illustre deux cas d'avulsions et fournit des exemples de délabrement post-opératoire.

### ***II.2.1.3 Mise en place d'implants courts***

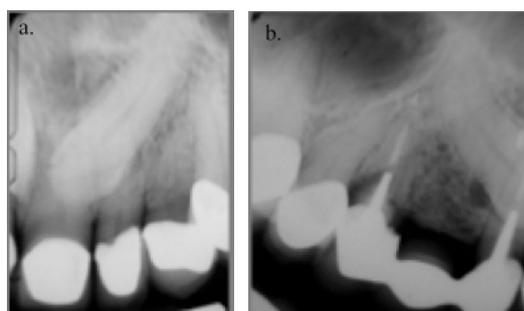
Lorsque la hauteur d'os entre la canine incluse et la crête osseuse est réduite, le traitement orthodontique ou l'avulsion de la canine incluse peuvent causer des dommages conséquents sur les dents adjacentes, la mise en place d'implants courts (6mm) sous la canine incluse in situ est une solution alternative. Cette technique est illustrée en **figure 7**. Une revue de la littérature sur le taux de survie des implants courts confirme leurs bonnes performances et fiabilité (29). Leur utilisation, lorsque la distance à la canine incluse le permet, évite le délabrement osseux important. Cependant, la distance crête osseuse – canine est bien souvent trop réduite pour appliquer cette thérapeutique.



**Fig. 7.** Mise en place d'implants courts sans extraire la canine laissée *in situ*.  
a. Radiographie rétroalvéolaire d'un implant court situé à moins d'un mm de la canine incluse  
b. Radiographie rétroalvéolaire d'un implant court situé au contact du ligament (cément)  
(avec l'aimable autorisation du Dr Lauerjat Y, 33000 Bordeaux)

#### **II.2.1.4 Autres alternatives thérapeutiques**

Les autres thérapeutiques alternatives sont apparentées à l'abstention thérapeutique, le traitement prothétique non implantaire **illustré en figure 8** ainsi que l'autotransplantation.



**Fig. 8.** Traitement prothétique non implantaire sans extraction chez une femme de 55 ans  
a. Radiographie rétroalvéolaire préopératoire en présence de la canine lactéale  
b. Radiographie rétroalvéolaire réalisée après le traitement prothétique par bridge dento-porté

#### **II.2.2 Nécessité d'une alternative aux méthodes classiques**

Les méthodes conventionnelles ont leurs limites ainsi que nous venons de le développer. Afin d'éviter ces problèmes et de trouver une solution thérapeutique viable lorsque les approches conventionnelles ne peuvent traiter l'édentement, la pose non conventionnelle d'implants trans-corono-radicaux au travers de ces dents incluses a été proposée (2)(8). Les auteurs ont publié une série d'articles exposant des cas réalisés avec succès, sans aucune douleur postopératoire ou inflammation particulière. Cette approche novatrice est intéressante car elle permet de traiter le problème de l'édentement causé par la présence d'une dent incluse en une seule séance en suivant

un protocole implantaire standard et sans, d'après eux, effets secondaires. Cependant, alors que la technique semble simple dans son essence, elle pose de sérieux problèmes d'ordre paradigmatique. Nous commencerons donc par développer la problématique paradigmatique.

## **II.3 L'implantation trans-corono-radriculaire**

### **II.3.1 La problématique paradigmatique**

Le mot *paradigme* tient son origine du mot grec ancien παράδειγμα / paradeigma qui signifie « modèle » ou « exemple ». Un paradigme est une matrice disciplinaire, un modèle théorique et cohérent qui repose sur des concepts définis. Il représente une forme de rail de la pensée dont les lois sont distinctes d'un autre paradigme.

L'implantation trans-corono-radriculaire enfreint quelques un des paradigmes les plus ancrés de notre profession. Nous allons donc les envisager successivement.

#### ***II.3.1.1 Quid de la création d'interfaces autres que l'interface os-implant***

Les protocoles cliniques et chirurgicaux de la thérapeutique implantaire sont dictés par le concept de l'ostéointégration.

Sur le plan histologique, l'ostéointégration d'un implant se caractérise par un contact direct os-implant sans interposition de tissu mou. En respectant ce paradigme, l'implantologiste doit donc systématiquement éviter de mettre au contact la surface implantaire avec tout autre tissu que le tissu osseux. Or, l'implantation trans-corono-radriculaire génère la création de 5 nouvelles interfaces en sus de l'interface implant-os. Il s'agit des interfaces suivantes :

- 1) interface implant-ligament alvéolo-dentaire
- 2) interface implant-cément,
- 3) implant-dentine
- 4) implant-pulpe,
- 5) implant-émail.

Les auteurs prétendent que ces nouvelles interfaces sont le siège d'une apposition tissulaire (2-6). Notre étude de la littérature tentera d'affirmer ou d'infirmer ces propos.

#### ***II.3.1.2 Quid de l'effraction de la chambre pulpaire***

Le paradigme actuel énonce que toute effraction de la chambre pulpaire est supposée engendrer des complications d'ordre algésique, elle se solde habituellement par le traitement endodontique de la dent concernée. La perturbation de l'architecture pulpaire impliquerait nécessairement une inflammation ou une nécrose responsables de douleurs chroniques. Or, le protocole de l'implantation trans-corono-radriculaire autorise l'implant à franchir la chambre pulpaire de la dent incluse. L'implant reste alors au contact de la pulpe, sans traitement pulpaire ou endodontique préalable sans aucune complication post-opératoire d'ordre algésique ou infectieuse d'après les auteurs.

### ***II.3.1.3 Intégration biomécanique ou intégration biologique***

La pérennité de l'implant mis en place lors d'une implantation trans-corono-radicaire résulterait, d'après les auteurs, de son intégration au contact de toutes les nouvelles interfaces évoquées précédemment. Nous allons donc nous interroger sur la nature même de cette intégration. La stabilité implantaire cliniquement observée par ces auteurs, est-elle le résultat exclusif d'un ancrage simplement biomécanique ou fait-elle suite, comme l'équipe parisienne le prétend (2-9) à une réelle intégration biologique au cours de laquelle une série de réactions biologiques d'apposition tissulaire assurerait une cicatrisation par néoformation tissulaire.

## **II.3.2 Technique de la mise en place d'un implant transcorono-radicaire**

### ***II.3.2.1 Abord radicaire vs. abord coronaire***

Selon la position initiale et l'angulation de la canine incluse, le praticien posera un implant transradicaire ou trans-corono-radicaire. La préparation du site « dento-osseux » dans le cas d'une dent incluse vitale (2) doit être rigoureusement suivie. Compte tenu de la composition d'une racine dentaire, l'abord radicaire sera plus aisé, le passage de la séquence de forêts standard sera suffisant. Lors de la pose d'implants trans-corono-radicaire, les auteurs recommandent l'utilisation d'une fraise boule en carbure de tungstène afin de fraiser l'émail et d'une fraise Zekrya à long fût pour réaliser une large ouverture au sein de la pulpe avec un saignement abondant.

### ***II.3.2.2 Protocole***

La pose d'implants trans-corono-radicaire doit suivre un protocole rigoureux, comme toute chirurgie implantaire.

Les auteurs conseillent certaines précautions :

1. Une analyse pré-implantaire rigoureuse doit être établie et doit prévoir un protocole de forage qui assure une stabilité primaire de l'implant dans l'os et qui évite une compression pulpaire lorsque l'effraction pulpaire se produit.
2. Un logiciel d'implantologie assisté par ordinateur semble indispensable afin d'évaluer le pourcentage de contact osseux et de s'assurer de la prédictibilité de cette technique (3)(4).
3. Des implants à larges spires sont préférés afin de permettre une bonne colonisation tissulaire.
4. Le praticien doit respecter rigoureusement les séquences de forage du fabricant. Il est recommandé de retirer tous les fragments mobiles ainsi que ceux de la couronne en regard de la crête et de combler la zone pour maintenir l'architecture alvéolaire.
5. Les cas doivent concerner des patients au biotype parodontal favorable.

### **III. Etude histologique de l'Intégration minérale (IM)**

#### **III.1. Introduction au concept d'Intégration minérale vs. Ostéointégration**

Le but de cette étude histologique est d'étudier à travers la littérature l'aspect histologique au niveau microscopique de l'implantation trans-corono-radicaire. Les auteurs ont proposé le néologisme de l'Intégration Minérale (3) afin d'étendre le concept de l'ostéointégration limité à l'interface os-implant aux autres interfaces de tissus minéralisés que sont le ciment, la dentine et l'émail qui entrent en jeu dans le cadre de l'implantation trans-corono-radicaire. Leur argument était que le concept de l'ostéointégration était devenu inadapté et obsolète lors de l'implantation trans-corono-radicaire. Dans notre approche critique, nous nous poserons la question de la nécessité de créer ce néologisme, de sa signification histologique spécifique ainsi que de ses implications cliniques. Nous explorerons la littérature afin de trouver une réponse à ces questions.

#### **III.2 Identification des études histologiques relevant de la problématique de l'IM**

La littérature ne fournit pas actuellement d'études histologiques directement dédiées à la pose d'implants trans-corono-radicaire ainsi que les auteurs parisiens l'ont eux-mêmes annoncé dans leurs publications. Ils ont donc été contraints d'étendre leurs recherches au sujet des nouvelles interfaces générées lors de l'implantation trans-corono-radicaire dans des champs voisins. Ils ont ainsi identifié plusieurs problématiques antérieures, indirectement liées à la thématique de l'Intégration minérale, qui sont susceptibles d'offrir des informations au sujet des interfaces implantaire autres qu'osseuse. Nous allons donc dans un premier temps passer en revue les différents champs de recherches ainsi identifiés par les auteurs. Puis, nous vérifierons par une étude fine de la littérature qu'aucune étude n'ait été omise et nous chercherons si des publications ultérieures à leurs dernières publications sont apparues dans la littérature afin d'être en mesure d'identifier les études histologiques relevant de la problématique de l'Intégration minérale de manière exhaustive et actualisée.

Nous avons choisi de classer par thématiques les différentes études ainsi identifiées.

##### **1) Champ de l'Implantologie endosseuse**

Les auteurs parisiens ont identifié dans cette branche trois catégories d'études susceptibles de nous fournir des informations sur l'Intégration minérale. La première concerne un ensemble d'études sur le modèle animal datant des années 1990 à 2005 (30-33) dont le but était de créer un ligament autour d'implants placés au contact ou perforants les racines dentaires et de déterminer si les cellules ligamentaires de ces racines pouvaient ou non servir de sources cellulaires potentiellement actives dans la cicatrisation tissulaire. La deuxième série d'études concerne les poses par inadvertance d'implants au contact de racines résiduelles ainsi que leurs conséquences sur

l'ostéointégration (34)(35). Chez l'Homme, un implant posé au contact direct d'une racine résiduelle a été retrouvé de façon fortuite après dépose de l'implant chez un patient suite à une manifestation de douleurs chroniques (36). La troisième catégorie concerne des études récentes au sujet de la « socket-shield technique » qui s'interrogent sur les possibilités d'obtenir l'intégration d'un implant posé au contact d'un pan radiculaire vestibulaire résiduel conservé volontairement à des fins esthétiques (28)(37).

## 2) Champ de l'Orthodontie

L'utilisation de mini-vis dans le développement d'un nouveau système d'ancrage intraosseux dans la fin des années 1990 (38) a révolutionné l'approche clinique et biomécanique de l'ancrage orthodontique. Les orthodontistes en quête d'« ancrage absolu » utilisent ces mini-vis afin de détenir un contrôle squelettique de l'ancrage. Ce dernier devient alors indépendant de la coopération du patient nécessaire dans l'utilisation des forces extra-orales ou directionnelles. Cependant, la mise en place de ces mini-vis peut s'avérer délicate du fait de proximités radiculaires. Elles peuvent entraîner la pose involontaire de mini-vis au contact ou au travers de dents vitales. Les orthodontistes ont jugé nécessaire de mener des études sur les complications éventuelles de telles poses accidentelles. L'équipe parisienne a identifié 2 études à ce sujet (39)(40). Nous avons identifié 4 études supplémentaires (41-44). Ces études permettront d'étudier les conséquences de la mise en place au contact de tissus dentaires d'une structure en titane semblable aux implants utilisés lors de l'implantation trans-corono-radiculaire.

## 3) Champ de l'Orthognathie

La chirurgie orthognathique est une composante de la chirurgie maxillofaciale. Elle vise à rétablir une fonctionnalité ou une esthétique normale pour des patients souffrant de disharmonie dentaire auquel un simple traitement orthodontique ne peut répondre. Une chirurgie orthognathique met en jeu une ostéotomie complète de la mâchoire nommée ostéotomie de LEFORT I pour la mâchoire supérieure et ostéotomie de DALPONT-OBWEGESER pour la mâchoire inférieure. Sur le trajet de cette ostéotomie, la présence d'une dent peut alors entraîner sa section radiculaire. Cela concerne plus particulièrement les racines des canines en raison de leur longueur. Les auteurs parisiens ont ainsi identifié deux études portant sur les conséquences de telles sections radiculaires au cours de chirurgies orthognathiques (45)(46). Nous avons trouvé au cours de notre recherche bibliographique un article supplémentaire à ce sujet (47). Ces études permettront de faire une analyse histologique des réactions biologiques de cicatrisation tissulaire suite à une section de dents vitales ainsi que le protocole de l'implantation trans-corono-radiculaire l'autorise.

Nous avons ensuite trouvé pertinent de questionner deux thématiques supplémentaires non envisagées jusqu'à présent.

## 4) Le champ des nouveaux matériaux de comblement à base de substrats dentaires tels que la dentine

Le principe consiste à exploiter la dentine voire le cément des dents extraites en raison des similarités structurales de ces deux composants avec l'os. Le but est d'élaborer un matériau de comblement osseux à base de substrats dentaires aisément récupérables chez l'homme. Nous avons identifié 6 études à ce sujet dans la littérature (48-53). Elles nous apporteront des informations sur le comportement de la dentine au contact de l'os dans un environnement tissulaire et de son rôle éventuel dans le métabolisme de la régénération osseuse. Elles nous permettront ainsi de comprendre les conséquences tissulaires de l'interface dentine-os ainsi que les réactions biologiques entraînées.

#### 5) Champ de l'Ingénierie tissulaire et ligaplants

Actuellement, les chercheurs tentent de créer par ingénierie tissulaire des ligaplants, c'est à dire des implants avec ligament « péri-implantaire » susceptibles de restituer la proprioception au patient. Nous avons identifié 8 études à ce sujet qui nous éclaireront sur la néoformation d'une structure équivalente au ligament parodontal autour des implants par une fine analyse de l'interface implant-ligament (54-61).

Ce corpus histologique nouvellement formé va donc nous permettre d'étudier chaque nouvelle interface créée par la pose d'implants trans-corono-radiculaires. Nous allons ainsi évaluer au travers la littérature la pertinence de cette technique et son pronostic biologique.

Nous allons dans un premier temps classer toutes les études ainsi identifiées par thématique. Chaque paragraphe développera une thématique spécifique à l'aide d'un tableau descriptif des différentes études sélectionnées.

Nous y détaillerons les matériels et méthodes de chaque étude avant de développer leurs résultats de manière détaillée.

Nos recherches d'articles se sont faites sur différentes bases de données telles que Pubmed, Researchgates, Elsevier, Wiley, Cochrane, Scopus, ScienceDirect et Pascal.

### **III.2.1 Etudes histologiques dans le champ de l'Implantologie**

La première recherche bibliographique a concerné les études et analyses histologiques en implantologie endosseuse au sujet d'implants au contact ou au travers de dents ou racines résiduelles.

Les mots clés suivants : " histology ", " dental implant ", " root contact", « pulp-implant interface », « PDL-implant interface », « cement-implant interface », « dentin-implant interface », « socket shield technique » ont été utilisés pour effectuer notre recherche sur ces bases de données.

Ces mots-clés ont mené à l'identification de 32 articles. Après analyse de ces articles, élimination des doublons, sélection des articles traitant des études histologiques, nous nous retrouvons avec 8 articles correspondants à notre recherche.

Le **tableau 4** détaille les caractéristiques, méthodes et buts de chaque étude.

ETUDE	Buser et coll.	Buser et coll.	Warrer et coll.	Guarnieri et coll.	Gray et coll.	Parlar et coll.	Hürzeler et coll.	Schwarz et coll.	Bäumer et coll.
Année de publication	1990 A)	1990 B)	1993	2002	2004	2005	2010	2013	2013
Modèle d'étude	Singe	Singe	Singe	Homme	Singe	Chien	Chien	Chien	Chien
Taille de l'échantillon n	non précisé	5	7	1	10	9	1	1	3
Caractéristiques des implants (type, préparations de surface, dimensions : diamètre x longueur)	implants cylindriques en titane pour préparation de surface TPS	implants cylindriques en titane pour préparation de surface TPS	implants en titane auto-tarandant	implant aux caractéristiques non précisées	implants en titane pur préparation de surface : mordantage à l'acide	Implant en titane préparation de surface TPS, SLA	Implant SPI titane	implant en titane préparation de surface : sablage, mordantage acide	implants en titane SPI
Nombre d'implants	non précisé	6	28	1	10	9	4	1	12
Méthode de l'étude	Implants placés dans des mandibules de singes au contact de racines	Implants placés dans des mandibules de singes au contact de racines	Suppression de la portion coronaire des 2 <sup>ème</sup> et 3 <sup>ème</sup> prémolaires à l'aide d'une fraise jusqu'à l'obtention des racines résiduelles de 3-4mm de longueur. 14 implants servent de témoins, 14 implants sont placés au contact de racines résiduelles	Suite à un trauma, un homme de 40 ans subit une expulsion de la 43. Après cicatrisation de plusieurs mois, un implant est mis en place. 1 an plus tard, l'implant est retiré pour douleurs et mobilité et une racine résiduelle non détectée au radiographie y adhère. Elle est analysée.	Avulsions de 12 dents chez chaque spécimen, laissant volontairement des racines résiduelles. Après 6 semaines, mise en place des implants, dont 10 implants proches ou au contact des racines résiduelles	La partie coronaire des canines est fraisée jusqu'au rebord gingival et le traitement endodontique est réalisé. Les implants sont placés en contact direct avec les racines résiduelles. Utilisation d'emdogain	Hémisection des 3ème et 4ème prémolaires. 2 implants servent de témoins. 2 implants sont placés en contact direct avec les racines résiduelles.	Avulsion d'une première prémolaire. Implant mis au contact d'une racine palatine résiduelle	Hémisection de la couronne palatine des 3ème et 4ème prémolaires maxillaires. Forage pour la mise en place des implants en laissant des pans radiculaires vestibulaires au contact desquels. Les implants sont alors placés. Contrairement à l'étude d'Hürzeler, pas d'utilisation d'emdogain, et séparation verticale du pan résiduel en 2 parties distinctes
Temps de suivi	12 mois	12 mois	3 mois	12 mois	5 mois	4 mois	4 mois	2 mois	4 mois
But de l'étude	Observer la formation éventuelle d'un nouveau ligament	Observer la formation éventuelle d'un nouveau ligament	Observer la formation éventuelle d'un nouveau ligament	Etudier l'histologie d'un implant au contact d'une racine résiduelle chez l'homme	Etudier les conséquences d'une pose d'implants au contact de racines résiduelles	Etudier la réparation de tissus parodontaux à l'intérieur des racines	Vérifier histologiquement la possibilité de poser un implant immédiatement au contact de pans radiculaires vestibulaires (socket shield technique)	Etudier les conséquences d'une pose d'implant au contact de racines résiduelles	Vérifier histologiquement la possibilité de poser un implant immédiatement au contact de pans radiculaires vestibulaires résiduels (socket shield technique)

Tab. 4. Descriptif des différentes études histologiques d'interfaces autres qu'osseuse en implantologie.

### III.2.2 Etudes histologiques dans le champ de l'Orthodontie

Notre deuxième axe de recherche concerne les poses de mini-vis au contact ou au travers de dents vitales en orthodontie. La deuxième recherche bibliographique concerne donc les études et analyses histologiques en orthodontie concernant les mini-implants, ou mini-vis en titane au contact de dents ou racines résiduelles.

Les mots clés suivants : " histology ", " orthodontics ", " root tip ", " miniscrews-root contact ", « root injuries », « miniscrews », ont été utilisés pour effectuer notre recherche sur ces bases de données. Seules les études histologiques ont été retenues.

Ces mots clés ont mené à l'identification de 24 articles. Après analyse de ces articles, élimination des doublons, sélection des articles traitant des études histologiques de mini-implants ou mini-vis laissés *in situ*, nous nous retrouvons avec 6 articles correspondants à notre recherche. (arbre de sélection en annexe).

Le **tableau 5** résume les différentes études, leurs caractéristiques, leurs méthodes ainsi que leurs buts.

ETUDE	Jahangari et coll.	Ascherricks et coll.	Hembree et coll.	Renjen et coll.	Rinaldi et coll.	Kim et coll.
Année de publication	2005	2008	2009	2009	2010	2011
Modèle d'étude	Chien	Chien	Chien	Chien	Rats	Mini-porcs
Nombre de sujets	6	5	7	3	24	4
Nombre de minivis ou mini-implants	12	20	42	60	48	80 (20x4)
Caractéristiques des minivis ou mini-implants (largeur x longueur)	3,3x5	1,7x6	1,8x8	2x10	1,2x4	1,6x8
Nombre d'implants proches ou au contact de canaux	6	11	39	16	48	30
Temps <i>in situ</i> mini-vis ou mini-implant	14 semaines	25 semaines	0 semaines, 6 semaines, 12 semaines	12 semaines	21 jours, 30 jours, 45 jours, 60 jours, 90 jours, 120 jours	0 semaine, 4 semaines, 8 semaines, 12 semaines, 16 semaines
Méthode	Avulsions bilatérales des 2ème prémolaires de chiens. 2 semaines plus tard, mise en place sur ces sites de mini-implants puis traction orthodontique des canaux des 2èmes prémolaires pour les placer en contact direct avec les mini-implants	Minivis insérées dans les mandibules de chiens entre les 2ème - 3ème, et 3ème - 4ème prémolaires	Dommmages intentionnels de mini-vis sur les 2ème, 3ème et 4ème prémolaires maxillaires des chiens	Mini-vis placés entre les prémolaires et molaires de chiens, avec dommmages canalaires intentionnels 20 des sites les plus lésés sont choisis pour étude	Mini-implant placé entre les canaux des 2èmes molaires mandibulaires de rats	20 mini-implants posés proches ou au contact des racines dentaires, la moitié des mini-implants sont retirés immédiatement après la pose et l'autre moitié est laissée <i>in situ</i>
But de l'étude	Evaluer la faisabilité de la formation d'un ligament parodontal sur un implant en introduisant un implant très proche d'une racine en orthodontie	Evaluer histologiquement les zones de contact entre mini-vis et racines afin de relier à un éventuel facteur d'échec de minivis	Evaluer les effets immédiats, à courts et longs termes de placement de MSI proches, au contact ou perforant les racines dentaires	Evaluer les effets sur la pulpe et les tissus environnants lors de lésions sévères des racines par pose de MSI	Décrire l'ultrastructure de l'interface entre les tissus parodontaux et des mini-implants en titane chez les rats	Evaluer la réparation tissulaire suivant des dommmages intentionnels sur les racines dentaires après pose de mini-implants proches ou à leur contact

**Tab. 5.** Descriptif des différentes études histologiques d'interfaces autres qu'osseuse en orthodontie.

### III.2.3 Etudes histologiques dans le champ de l'Orthognatie

Notre troisième axe de recherches explore le champ orthognatique. La pose d'implants trans-corono-radulaire implique une effraction partielle voire totale de la chambre pulpaire. Afin de comprendre la réparation éventuelle effectuée par l'organisme d'une altération de la pulpe, nous avons orienté nos recherches dans le champ orthognatique. Certaines chirurgies orthognatiques peuvent involontairement sectionner des racines dentaires. Des études ont étudié ces incidents et le mécanisme de réparation tissulaire engendré.

Le **tableau 6** détaille les caractéristiques, méthodes et buts de chaque étude.

ETUDE	Nanda et coll.	Ellis et coll.	Hitchcock et coll.
Année de publication	1982	1985	1985
Modèle d'étude	Singe	Singe	Singe
Sujets	6	2	4
Méthode	Ostéotomies maxillaires, avec section des canines quand celles-ci se trouvent sur la ligne d'ostéotomie	Ostéotomies de quadrants maxillaires et mandibulaires avec sections intentionnelles de toutes les dents sur leur tiers apical	Ostéotomies de quadrants maxillaires et mandibulaires avec sections intentionnelles de toutes les dents sur leur tiers apical
But de l'étude	Observer les réponses pulpaires et radiculaires aux ostéotomies maxillaires totales	Observer la réponse sur un suivi de 4 semaines aux ostéotomies sectionnant des dents vitales	Observer la réponse sur un suivi de 1 an aux ostéotomies sectionnant des dents vitales

**Tab. 6.** Descriptif des différentes études histologiques en Orthognathie.

### III.2.4 Etudes histologiques dans le champ des matériaux de comblement à base de dentine

Depuis plusieurs années, les études au sujet de nouveaux matériaux de comblement osseux se multiplient. Elles étudient le comportement de la dentine en milieu osseux et conjonctif. Nous avons donc utilisé ces résultats pour transposer le comportement éventuel de la dentine exposée à un milieu ouvert autre lors de pose d'implants trans-corono-radulaires.

Cette recherche bibliographique concerne les études et analyses histologiques concernant le développement de matériaux de comblement osseux à partir de dents extraites, dentine et ciment.

Les mots clés suivants : " histology", " bone graft", " dentin", " cement", « autogenous teeth bone graft materials» ont été utilisés pour effectuer notre recherche sur ces bases de données. Seules les études histologiques ont été retenues.

33 Articles ont été trouvés à partir d'une recherche de ces mots-clés. Après analyse de ces articles, élimination des doublons, sélection des articles traitant des études histologiques, nous nous retrouvons avec 6 articles correspondants à notre recherche.

Les caractéristiques, matériels, méthodes et buts de chaque étude sont présentés dans le **tableau 7**.

ETUDE	Année de publication	Modèle d'étude	Méthode	But de l'étude
Morris et coll.	1970	Rat	Des racines dentaires sont prélevés chez l'homme, coupés, cryopréservés, décalcifiés dans une solution d'EDTA 5%. L'amputation du fémur gauche du rat apporte de l'os et de la moelle. Le tout est introduit dans les tissus sous-cutanés d'abdomen de rat.	Observer l'action de dentine et ciment humain transplantés chez le rat et le rôle éventuel sur la formation osseuse
Alton et coll.	1972	Homme	Des dents sont extraites et sectionées. La pulpe, l'émail, le ciment et le ligament sont retirés. Les fragments dentinaires sont lavés, décalcifiés dans une solution de HCl et cryopréservés, irradiés au cobalt, mis dans l'alcool, lyophilisés et stérilisés Des volontaires traités pour problèmes parodontaux ont reçu les transplants de la matrice dentinaire ainsi préparée.	Rapporter 2 cas d'induction osseuse dans la gencive humaine en utilisant un substrat préparé à partir de dentine allogénique
Andersson et coll.	2010	Lapin	Préparation de cavités bilatérales dans les tibias des lapins. Les fragments dentinaires proviennent de prémolaires extraites pour raisons orthodontiques chez l'homme et servent de comblement. Ils sont mis en place dans les cavités préparées chez les lapins jusqu'à la moelle osseuse. Des témoins servent de comparaison.	Evaluer si la dentine est ankylosée et remplacée par un nouvel os quand elle est transplantée dans un défaut osseux de tibia de lapin
Nampo et coll.	2010	Rat	Des défauts osseux sont créés chez les rats Wistar et les défauts sont comblés de matériau de comblement à base de dent ou d'os iliaque témoin.	Evaluer le potentiel de dents utilisées comme matériau de comblement osseux, sachant que la pulpe contient des cellules souches parmi lesquelles des cellules de la crête neurale indifférenciée.
Kim et coll.	2010,2012, 2013	Homme	Mise en place d'AutoBT (matériau de comblement osseux dentaire autogène) et analyses de l'efficacité et fiabilité de ce matériau de comblement.	Evaluer les structure de surfaces et les caractéristiques physico-chimiques du matériau de comblement osseux dentaire autogène AutoBT.
Murata et coll.	2011	Homme	De la matrice dentinaire déminéralisée allogène est mise en place chez des patients présentant des défauts osseux et son action sur la formation osseuse est analysée.	Etudier les propriétés de la matrice dentinaire déminéralisée (DDM) ainsi que son rôle dans la régénération et l'augmentation osseuse.

**Tab. 7.** Descriptif des différentes études histologiques de matériaux de comblement à base de dentine.

### III.2.5 Etudes histologiques dans le champ des ligaplants

L'ingénierie tissulaire cherche depuis quelques années à développer les « ligaplants », c'est à dire des implants avec un ligament « péri-implantaire ». Elle étudie la possibilité de rétablir un

ligament parodontal néoformé fonctionnel autour d'un implant afin de pouvoir éventuellement rendre une proprioception au patient. L'interface implant-ligament engendrée par la pose d'implant transcorono-radiculaire est donc concernée.

Cette recherche bibliographique concerne les études et analyses histologiques concernant la recherche sur les ligaplasts, les interfaces d'un éventuel ligament adhérent aux implants.

Les mots clés suivants : " histology ", "dental implant", " ligaplasts", " interface ligament-implant", « interface PDL-implant » ont été utilisés pour effectuer notre recherche sur ces bases de données. Ces mots-clés ont mené à l'identification de 30 articles. Après analyse de ces articles, élimination des doublons, sélection des articles traitant des études histologiques de miniimplants ou minivis laissés in situ, nous nous retrouvons avec 8 articles correspondants à notre recherche. Le tableau ci dessous présente les méthodes et buts de chaque étude.

ETUDE	Année de publication	Modèle d'étude	Méthode	But de l'étude
Piattelli et coll.	1994	Porc	Avulsion des prémolaires lactéales Implantation un mois plus tard proche du germe sous jacent.	Evaluer le potentiel de différentes cellules du germe dentaire d'induction dans la formation de tissus durs et ligament autour d'implants en titane
Takata et coll.	1994	Chat	Observation de la régénération destissus parodontaux quand les cellules dérivées du ligament peuvent adhérer aux implants, avec divers biomatériaux.	Déterminer si une attache est possible sur des implants par addition de PDL-derived cells et si l'attache éventuelle serait influencée par le type de biomatériaux
Choi et coll.	2000	Chien	Obtention de cellules de ligament parodontal. Poses d'implants avec ces cellules à leur surface.	Evaluer la possibilité d'attache d'un ligament parodontal sur les implants quand ils sont posés additionnés de cellules de ligament cultivés
Akira et coll.	2005	Rat	Mise en place d'implants en titane dans des alvéoles dentaires contenant une partie de ligament résiduel immédiatement après avulsion dentaire.	Examiner la régénération des tissus parodontaux à partir des cellules du ligament restantes
Marei et coll.	2009	Chèvre	Avulsion des canines et poses immédiate d'implants modifiés par ingénierie tissulaire .	Atteindre une formation expérimentale de structure parodontale autour d'implants titane en utilisant des bone marrow mesenchymal stem cells, suivi à 10 jours et 1 mois
Gault et coll.	2010	Chien	Isolation de cellules de ligament, cultures cellulaires, mise en place de cellules de ligament dans l'alvéole et pose d'implants eux-même couverts de cellules ligamentaires.	Développer la notion d'implants améliorés par ajout de cellules de ligament créées par ingénierie tissulaire
Lin et coll.	2010	Rat	Avulsions de 1ere et 2eme molaires maxillaires, cultures cellulaires, implantation et analyses in vivo.	Evaluer la possibilité de formation de tissus parodontaux par ingénierie tissulaire à base de PDL-DPCs (dental progenitor cells) sur implants en titane
Kano et coll.	2012	Rat	Des implants en titane (HA+ ou HA-) sont posés immédiatement après avulsions dans l'alvéole contenant des cellules de ligament restantes.	Evaluer les effets de l'hydroxyapatite sur la régénération du PDL

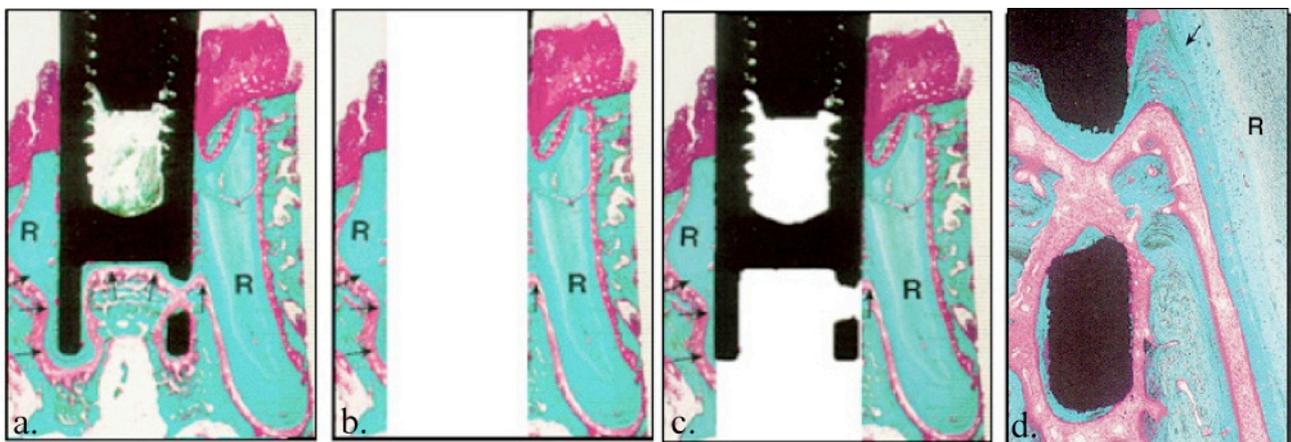
**Tab. 8.** Descriptif des différentes études histologiques au sujet du développement d'un ligament péri-implantaire « ligaplast ».

Nous allons dans la section suivante détailler les résultats de chacune des études suscitées.

### III.3 Etudes histologiques relevant de la problématique de l'IM en Implantologie

#### III.3.1 Buser et coll. 1990a (30)

Les auteurs ont réalisé cette étude dans le but de créer un ligament autour des implants. Ils émettent alors l'hypothèse selon laquelle les cellules du ligament parodontal des racines dentaires au contact de l'implant pourraient engendrer la formation d'un nouveau ligament autour des implants. Leurs résultats mettent alors en évidence la néoformation d'une structure ternaire sophistiquée et connue autour des implants (**fig. 9.a, d**) qui évoque un ligament. Cette dernière est en totale continuité avec le ligament parodontal des racines (**fig. 9d**).



**Fig. 9.** Implantation au travers d'une racine résiduelle chez le singe.

a. Vue générale de l'implant et des tissus dentaires adjacents. En vert, les tissus minéralisés, en rouge les tissus conjonctifs. Mise en évidence d'une structure conjonctive (flèches) en continuité avec le ligament alvéolo-dentaire bordant l'implant (grossissement original x 1,5).

b. Simulation d'une vue générale du site après forage.

c. Simulation du site opératoire immédiatement après la mise en place de l'implant. Mise en évidence de l'absence de tissu néoformé à ce stade afin de bien faire ressortir la néo-structure obtenue après 12 mois montrée à la figure a.

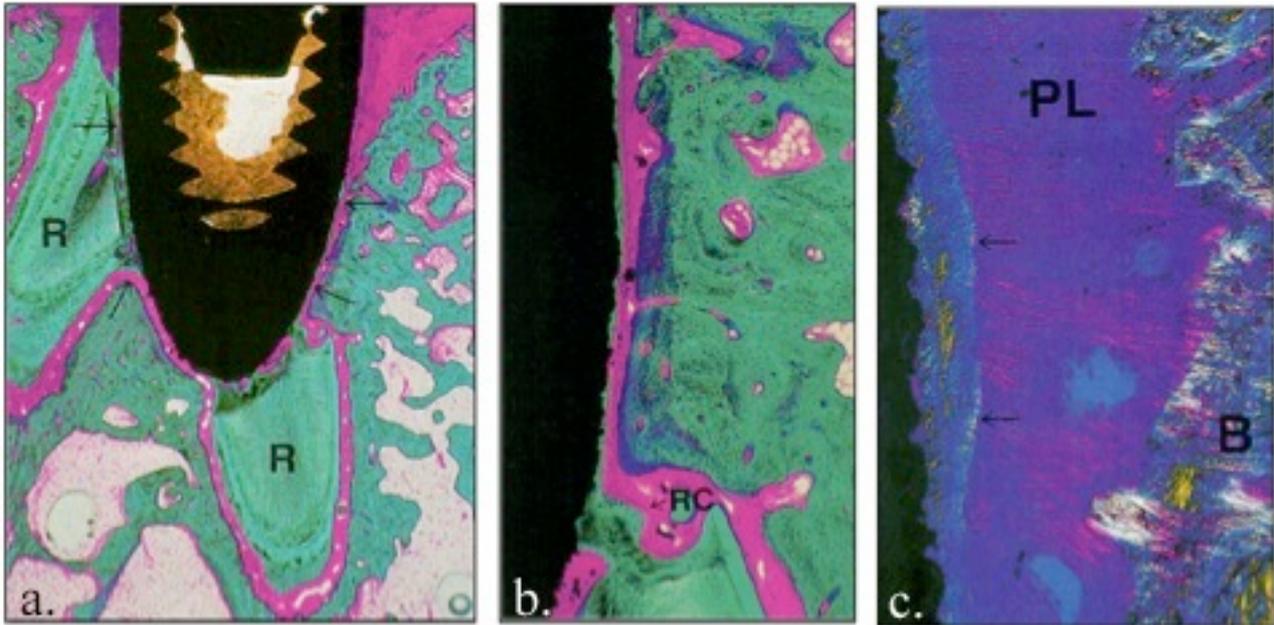
d. Grossissement au niveau de la zone conjonctive autour de la 'jambe' de l'implant présentée en a. Mise en évidence d'une structure ternaire qui évoque un ligament ainsi que de la continuité tissulaire entre le ciment de la racine résiduelle et le tissu néoformé autour de l'implant apparenté à une couche de néo-cément (grossissement original x 50).

*R : racine résiduelle ; PM : ligament parodontal ; B : os*

#### III.3.2 Buser et coll. 1990b (31)

Cette étude est réalisée par la même équipe que l'étude précédente. Elle a également pour objet l'implantation au contact de racines en vue d'explorer la possible formation d'un néo-ligament autour des implants.

Elle démontre la présence d'une structure tertiaire connue qui évoque une néo-formation ligamentaire (**fig. 10a, b**) caractérisée par la présence de faisceaux de collagène perpendiculaires à la fine couche minéralisée (**fig. 10c**) qui se trouve au contact de la surface implantaire. On y trouve aussi des vaisseaux sanguins caractéristiques d'un ligament.



**Fig. 10.** Implantation au contact d'une racine chez le singe.

a. Vue générale de l'implant et des tissus dentaires adjacents. En vert, les tissus minéralisés, en rouge les tissus conjonctifs. Mise en évidence d'une structure conjonctive néoformée (flèches) en continuité avec le ligament alvéolo-dentaire bordant l'implant (grossissement original x 1,5).

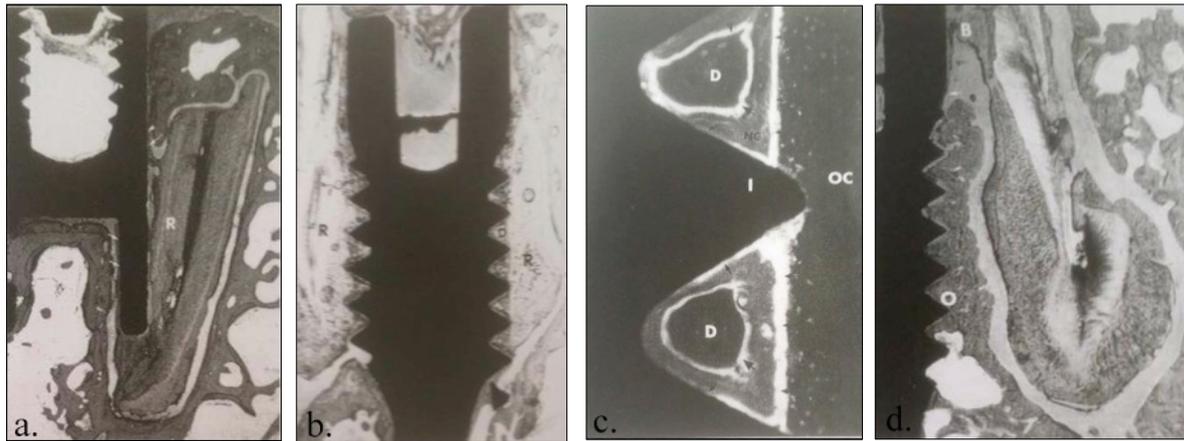
b. Grossissement au niveau de la zone conjonctive de l'image précédente. Mise en évidence au contact direct de la surface implantaire d'une fine couche minéralisée entre la structure conjonctive et le tissu osseux. Le néo-cément bordant l'implant est relié au ciment de la racine (grossissement original x 40).

c. Vue en lumière polarisée de la structure ternaire. Mise en évidence de la présence de l'insertion perpendiculaire de fibres de Sharpey dans la couche fine minéralisée (flèches) (grossissement original : x 125).

*R : racine; PL : ligament parodontal ; B : tissu osseux ; RC : ciment récemment formé*

### III.3.3 Warrer et coll. 1993 (32)

Cette équipe a également réalisé une étude dans le but de déterminer si la néoformation d'un ligament autour d'un implant placé au contact de racine dentaire s'avérait possible. Leurs résultats montrent la néoformation d'une structure ternaire sophistiquée (**fig. 11a-c**) au contact de la surface de l'implant lorsque celui est placé au contact d'une racine dentaire. Les auteurs constatent que de telles poses n'empêchent pas l'ostéointégration du reste de l'implant (**fig. 11d**).



**Fig. 11.** Implantation au contact d'une racine résiduelle chez le singe.

a. Vue générale d'un implant cylindrique creux et des tissus dentaires adjacents un an après la pose d'implant au contact radiculaire (grossissement original x 10). On note la néoformation d'un tissu semblable au ligament en continuité avec le ligament parodontal autour de la racine, avec une couche cémentaire distincte (petites flèches blanches) au contact de la surface de l'implant.

b. Vue générale d'un implant-vis et des tissus dentaires adjacents 3 mois après la pose d'implant au contact radiculaire (grossissement original x 10).

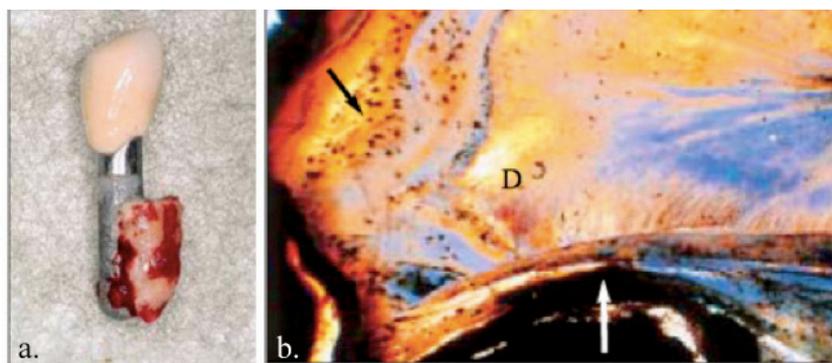
c. Grossissement au niveau des spires de l'implant (I) (grossissement original x 40). Le sommet des spires pénètrent le ciment (OC) de la racine dentaire. Une couche fine marquée par la calcéine et la dumocycline de couleur blanche (petites flèches noires) est à la fois présente au contact du ciment de la racine dentaire (OC) et de la surface de l'implant (I), ainsi qu'autour de chaque dôme de tissu mou (D) présent entre chaque spire. D'après les auteurs, il s'agit d'une couche de néo-cément.

d. Vue générale d'un implant-vis et des tissus dentaires adjacents (grossissement original x 10) Les auteurs notent un pont de tissu minéralisé qui évoque un tissu cémentaire et qui relie le néo-cément au contact de la surface de l'implant au ciment de la racine. Noter l'ostéointégration classique (O) au contact de la surface du reste de l'implant qui n'est pas au contact de la racine dentaire.

*R : racine; PL : ligament parodontal ; B : tissu osseux ; RC : ciment récemment formé ; OC : ciment de la racine dentaire ; I : implant*

### III.3.4 Guarnieri et coll. 2002 (36)

Cette étude est la seule étude histologique retrouvée chez l'Homme. La découverte fortuite d'une racine résiduelle adhérente à un implant (**fig. 12a**) après dépose suite à l'apparition de douleurs chroniques chez un homme de 40 ans suscite l'étonnement au cœur du département de parodontologie de l'université de Turin. Avec l'accord du patient, l'échantillon est analysé. Il révèle l'apposition d'une couche de néo-cément le long de l'implant en contact avec la racine résiduelle (flèches blanches) ainsi que la présence de nombreux cémentocytes (flèches noires) ainsi que la **figure 12b** le démontre.



**Fig. 12.** Analyse d'un implant au contact d'une racine résiduelle adhérente chez l'Homme retrouvée de façon fortuite.

a. Vue de l'implant après dépose. Noter la racine résiduelle adhérente

b. Vue de l'interface implant-racine (grossissement original x 32). Mise en évidence de la déposition cémentaire au contact de la surface de l'implant (flèche blanche) et de la présence de nombreux cémentocytes (flèche noire). Noter la ligne de démarcation entre la dentine (D) et l'apposition néo-cémentaire.

*D : dentine*

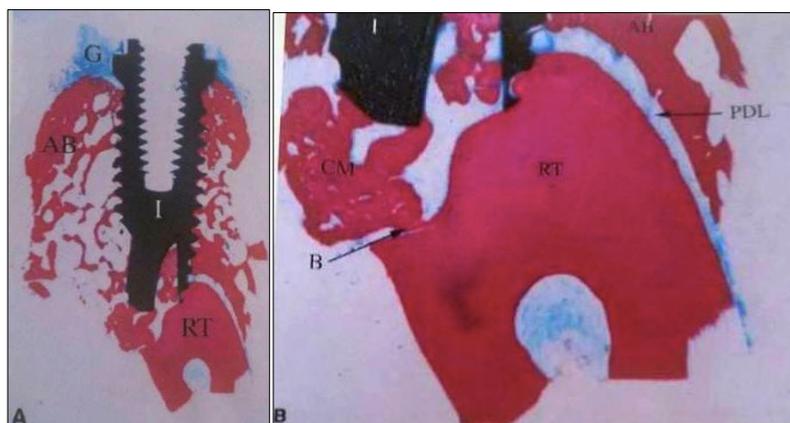
### III.3.5 Gray et coll. 2004 (34)

Cette étude expose les conséquences de poses d'implants involontairement placés au contact de racines résiduelles. Les auteurs observent la néoformation d'un tissu qui évoque du tissu cémentaire (**fig. 13b**) entre l'implant et la racine résiduelle lorsque l'espace disponible entre ces deux éléments est suffisant. Les auteurs notent la présence d'une continuité cémentaire (**fig. 13b, fig. 14b**) entre la couche de néo-cément bordant l'implant et celui de la racine résiduelle. Au niveau de certaines zones de la surface implantaire, un tissu calcifié est observé sans que les auteurs déterminent s'il s'agit de tissu osseux ou cémentaire. Ils notent une ostéointégration classique à la surface de l'implant au niveau des zones qui ne sont pas en contact avec la racine résiduelle.

**Fig. 13.** Implantation au contact d'une racine résiduelle chez le singe.

a. Vue générale d'un implant (I) et des tissus dentaires (RT), gingivaux (G) et osseux (AB) adjacents.

b. Grossissement au niveau de la partie apicale de l'implant (I) au contact de la racine dentaire (RT). Mise en évidence de la présence d'une continuité cémentaire (B) reliant le néo-cément (CM) au contact de l'implant (I) à la racine résiduelle (RT).



(grossissements originaux non spécifiés)

*G : tissus gingivaux ; I : implant ; RT : racine résiduelle ; B : pont cémentaire ; CM : néo-cément ; PDL : ligament parodontal ; AB : os alvéolaire*

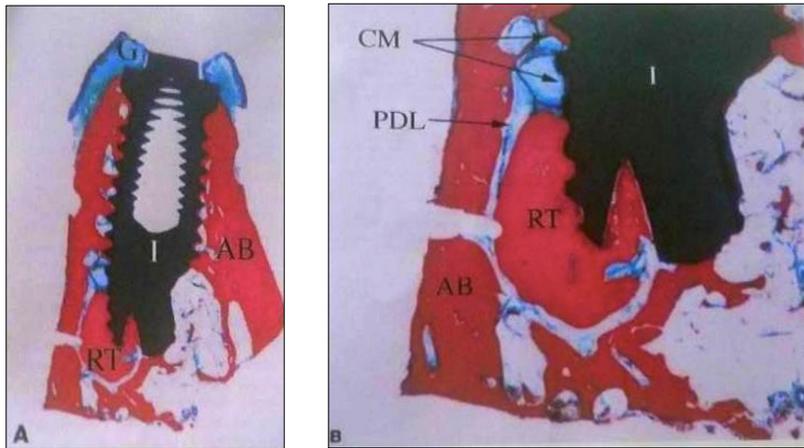
**Fig. 14.** Implantation au contact d'une racine résiduelle chez le singe.

a. Vue générale d'un implant (I) et des tissus dentaires (RT), gingivaux (G) et osseux (AB) adjacents.

b. Grossissement au niveau de la partie apicale de l'implant (I) au contact de la racine dentaire (RT).

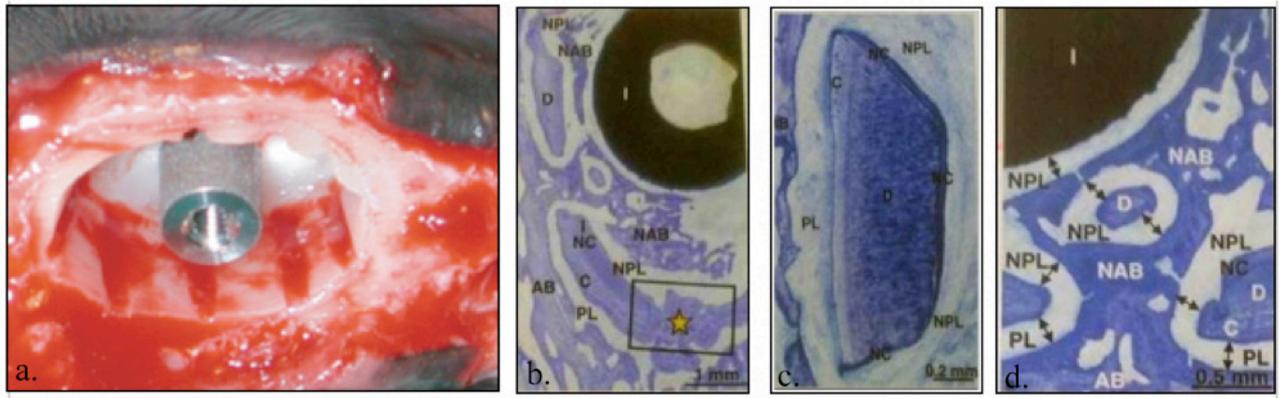
Noter la néo-formation d'un tissu minéralisé aux caractéristiques cémentaires (CM) au contact direct de la racine dentaire (RT) (grossissements originaux non spécifiés)

*G : tissu gingivaux ; I : implant ; RT : racine résiduelle ; B : pont cémentaire ; CM : néo-cément ; PDL : ligament parodontal ; AB : os alvéolaire*



### III.3.6 Parlar et coll. 2005 (33)

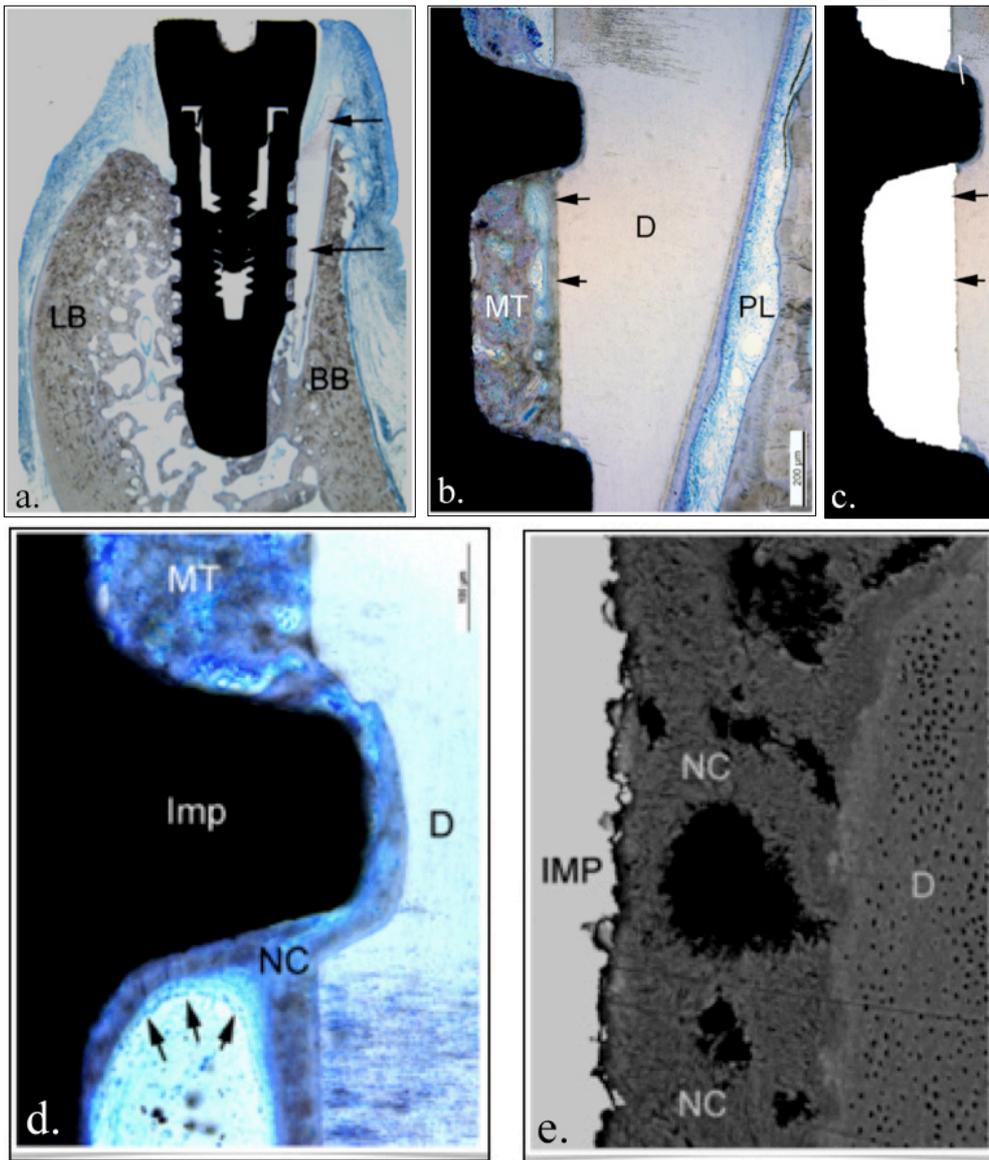
Cette étude expose également les conséquences de la mise en place d'implants au contact de racines dentaires de chiens au cours d'une expérimentation nouvelle. Elle met en jeu la résection coronaire ainsi qu'une la pénétration dentinaire à l'aide d'une fraise à os avant la pose de l'implant (**fig. 15a**). Elle a pour but d'observer une éventuelle néo-formation ligamentaire autour des implants. Les auteurs notent à certains endroits la présence d'une infiltration cellulaire caractéristique d'une réaction inflammatoire ainsi qu'une absence de tissu dur ou mou. Une encapsulation fibreuse se produit autour de la plupart des implants. L'espace laissé entre l'implant et la chambre dentinaire est rempli d'un tissu néoformé aux caractéristiques ligamentaires, du tissu mou, de l'os ainsi qu'une fine couche minéralisée apparentée à une couche de néo-cément (**fig. 15b, d**) au contact de la surface implantaire. Ils notent une continuité tissulaire entre les tissus néoformés et les tissus originels (**fig. 15d**). La couche de néo-cément retrouvée à la surface implantaire d'un implant à la surface traitée au TPS ou SLA est plus susceptible, selon les auteurs, d'être formée par l'action de cémentoblastes plutôt que par la différenciation des cellules ligamentaires.



**Fig. 15.** Implantation au travers la dentine d'une racine résiduelle chez le chien.  
a. Vue du site immédiatement après la pose de l'implant. Noter la résection coronaire ainsi que la préparation de puits dentinaires.  
b. Vue générale en coupe axiale de l'implant (I) et des tissus dentaires adjacents (grossissement original : échelle = 1 mm).  
c. Grossissement au niveau d'un fragment dentinaire (D). Noter l'apposition d'une couche minéralisée qui évoque du néo-cément (NC) au contact direct de la surface dentinaire ainsi que d'une couche apparentée au ligament (NPL) (grossissement original : échelle = 0,2 mm).  
d. Grossissement au niveau de la surface implantaire. Mise en évidence de la néoformation d'un tissu qui évoque un ligament présent à la surface de l'implant (I) ainsi qu'à la surface des fragments dentinaires (D). Noter la largeur similaire (flèches) de ce tissu néoformé à celle du ligament original de la racine dentaire (PL) (grossissement original : échelle = 0,5 mm).  
*NAB : os alvéolaire néoformé ; NPL : néo-ligament ; NC : néo-cément ; I : implant ; D : dentine ; C : ciment ; PL : ligament parodontal*

### III.3.7 Hürzeler et coll. 2010 (28)

Hürzeler et ses collaborateurs analysent au travers cette publication la « socket shield technique ». Le protocole de cette technique autorise la conservation d'un pan radiculaire vestibulaire dans la réhabilitation implantaire en secteur antérieur esthétique (**fig. 16.a**). D'après les auteurs, la préservation d'un pan radiculaire vestibulaire n'empêche pas l'ostéointégration classique du reste de l'implant et permet la préservation de la table osseuse vestibulaire pour un apport esthétique. Les auteurs notent sur la surface implantaire la néo-formation d'une structure ternaire sophistiquée qui évoque un ligament. Cette étude met en évidence l'apposition d'une couche de tissu minéralisé apparentée à une couche de néocément, ainsi que la présence de cémentoblastes (**fig. 16a-c**).



**Fig. 16.** Implant placé dans le cadre d'une « socket shield technique » au contact d'un pan radiculaire vestibulaire résiduel chez le chien.

a. Vue générale de l'implant et des tissus dentaires adjacents (grossissement original non spécifié).

b. Grossissement au niveau d'une spire de l'implant présenté en a (grossissement original : échelle = 200 µm). Les flèches montrent le trait de forage. Noter le remplissage de l'espace entre les spires par un tissu minéralisé.

c. Simulation d'une vue générale du site après forage et immédiatement après implantation. A ce moment, cet espace n'est pas encore colonisé par un quelconque tissu.

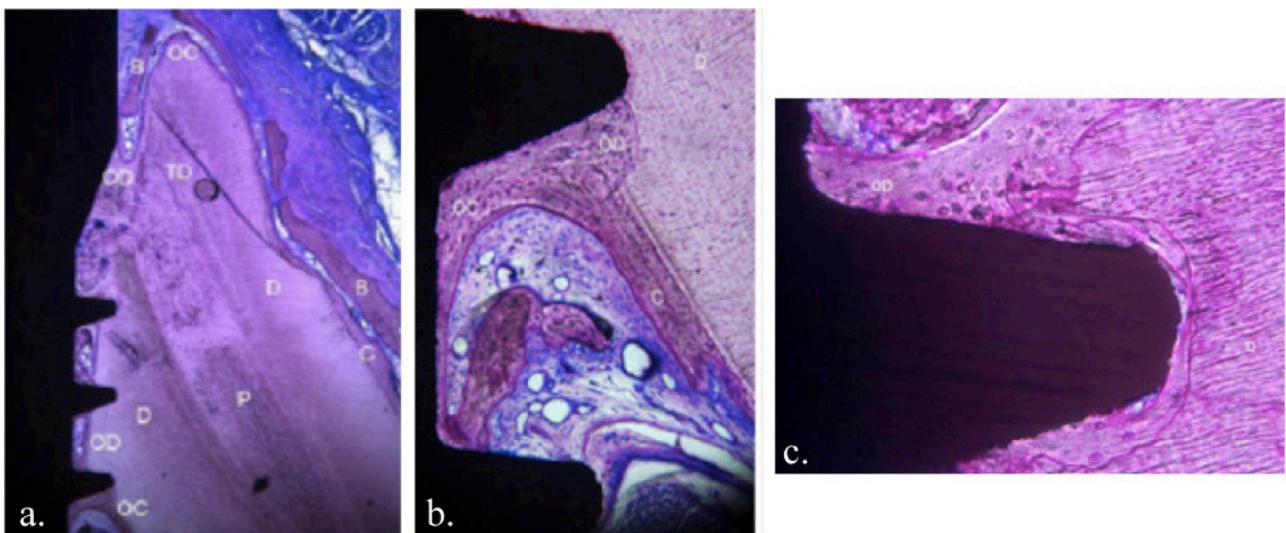
d. Grossissement au niveau au niveau d'une spire de l'implant (IMP) entaillant la dentine (D). Mise en évidence de l'apposition d'une couche de tissu minéralisé qui évoque une couche de néo-cément (NC) au niveau de la surface de l'implant au contact du pan dentinaire (D). Noter la ligne bordante d'odontoblastes (flèches) (grossissement original : échelle = 200 µm).

e. Vue de la surface implantaire (IMP) au contact du pan dentinaire (D) en microscopie électronique à balayage (grossissement original non spécifié). Noter la présence d'un tissu néo-cémentaire entre la dentine (D) et la surface implantaire (IMP) qui semble s'immiscer dans les rugosités de surface de l'implant. Les cavités sont celles des cémentocytes.

*BB : table osseuse vestibulaire ; LB : table osseuse linguale ; D : dentine ; NC : néo-cément ; Imp : Implant ; MT : tissu minéralisé*

### III.3.8 Schwarz et coll. 2013 (35)

Cette étude concerne l'analyse des interfaces générées lors de la pose involontaire d'un implant placé au contact d'une racine résiduelle chez le chien. Cette étude montre la formation de tissu dur cicatriciel à l'intérieur du canal à l'interface pulpe-implant. Selon les auteurs, la couche externe de la dentine exposée durant le forage développe une dentine atubulaire réactionnelle entre l'implant et la pulpe exposée. La sialoprotéine, fortement marquée, est connue comme étant un composant de la dentine tertiaire, elle est également retrouvée dans le tissu osseux. Elle est produite par les odontoblastes et les ostéoblastes et est impliquée dans la minéralisation de la matrice extracellulaire. Les auteurs supposent que l'agression causée par la mise en place de l'implant active le potentiel de différenciation des cellules de la pulpe. Cette étude met en évidence la néoformation d'un tissu dur minéralisé que les auteurs qualifient d'ostéodentine (OD) et d'ostécément (OC) (**fig. 17 a,b**) en continuité avec le ciment de la racine résiduelle. Les auteurs notent l'insertion perpendiculaire de fibres de collagène dans la couche d'ostéodentine (**fig. 17c**).



**Fig. 17.** Implantation au contact du complexe dentino-pulpaire d'une racine résiduelle chez le chien.

a. Vue à faible grossissement de la surface de l'implant au contact de tissus dentaires. Mise en évidence de structures minéralisées à la surface de l'implant au contact de la racine résiduelle. Noter aussi la néoformation tissulaire dans les espaces initialement vides entre les spires et le trait de forage dans la dentine (grossissement original : x 25).

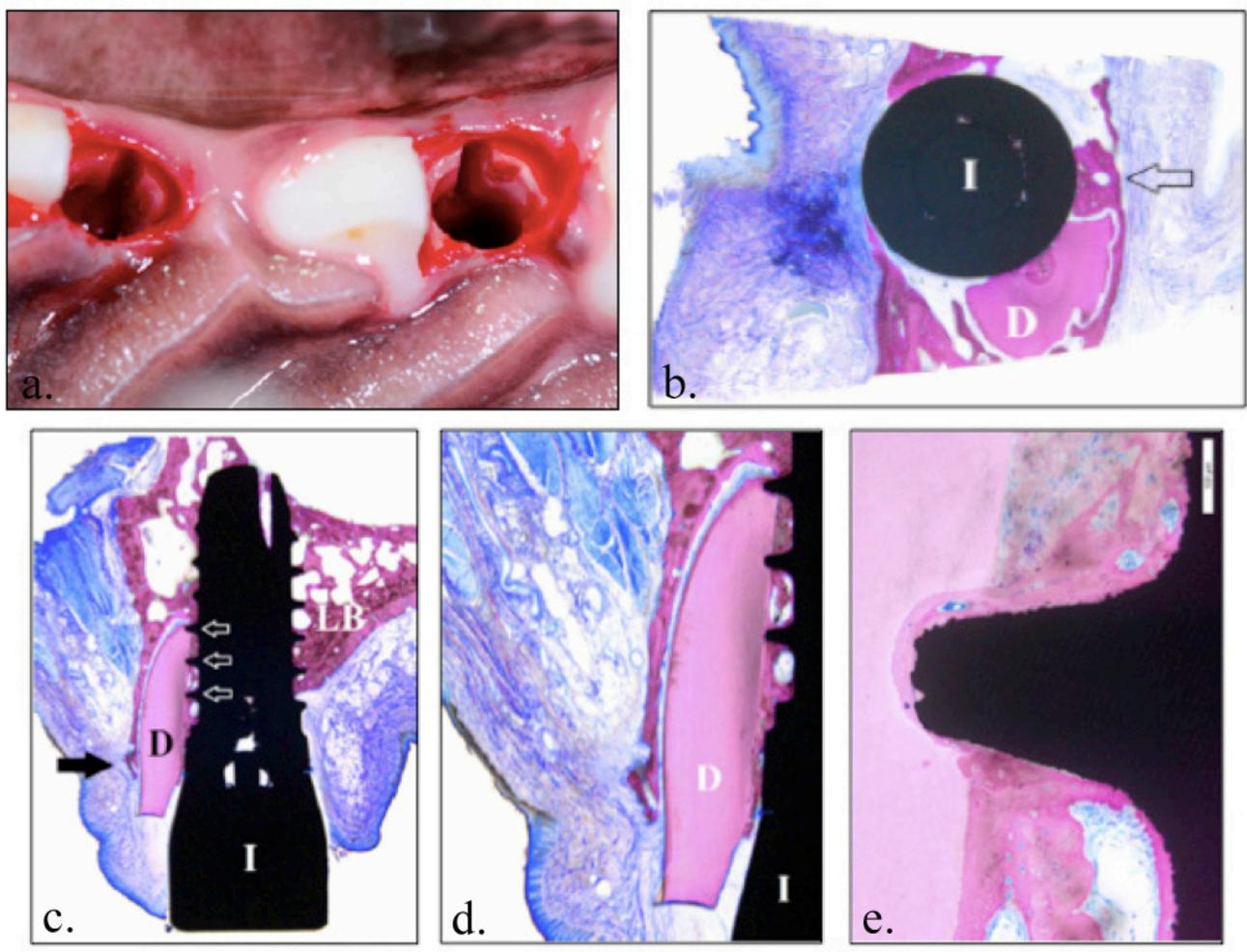
b. Grossissement au niveau de la spire inférieure de l'implant présenté à la figure a. Mise en évidence d'une structure minéralisée à la surface de l'implant au contact de la racine résiduelle en continuité avec le ciment de la racine résiduelle (grossissement original : x 40).

c. Grossissement au niveau d'une spire de l'implant. Mise en évidence du remodelage d'un tissu minéralisé riche en cellules au contact de la dentine radiculaire, probablement suite à une nécrose tissulaire induite lors de la mise en place de l'implant (grossissement original x 200).

OD : ostéodentine ; OC : ostécément ; P : pulpe ; C : ciment ; D : dentine ; TD : dentine tertiaire

### III.3.9 Bäumer et coll. 2013 (37)

Cette étude réalise une analyse histologique détaillée de la « socket shield technique » (**fig. 18a**) dont le principe sus-cité avait été développé en 2010 (28). Les auteurs signalent l'absence d'un quelconque processus inflammatoire ou délétère. Une ostéointégration classique est notée au contact de la surface de l'implant qui n'est pas en contact avec le pan radiculaire vestibulaire (**fig. 18b, c**). De manière étonnante et en opposition avec ce qui a été trouvé jusque-là, les auteurs observent la néo-formation d'un tissu aux caractéristiques osseuses entre les spires de l'implant placé au contact du pan radiculaire vestibulaire (**fig. 18d**) ainsi qu'entre les fragments radiculaires séparés par un fraisage vertical (**fig. 18a**). Le remodelage observé au niveau de la spire de l'implant met en jeu un tissu osseux avec son contenu cellulaire et ses espaces médullaires caractéristiques (**fig. 18e**). Ceci s'explique peut-être par l'absence dans cette étude de l'utilisation d'Emdogain mise en oeuvre par l'équipe précédente (28). Une étude pour vérifier ce propos est requise. Les tissus mous repérés autour de l'implant sont sains, avec un épithélium jonctionnel physiologique, sans processus inflammatoire. La portion apicale du fragment dentaire n'est pas le siège de résorption.



**Fig. 18.** Analyse histologique de la « socket shield technique »  
a. Vue du site opératoire avant implantation. Mise en évidence de la résection coronaire ainsi que de la séparation du pan radiculaire vestibulaire en deux pans distincts.  
b. Vue d'une coupe axiale passant par l'implant (I) et des tissus dentaires (D) et osseux adjacents

(grossissement original : échelle = 100 µm). Mise en évidence de l'ostéointégration en surface de l'implant non en contact avec le fragment dentaire (flèche).

c. Vue générale de l'implant (I) et des tissus osseux (LB) et dentaires (D) adjacents (grossissement original non spécifié). Noter l'ostéointégration de la surface au contact du tissu osseux et la présence d'un tissu néoformé entre les spires de l'implant.

d. Grossissement au niveau des spires de l'implant au contact du pan radiculaire vestibulaire signalé par une flèche en c (grossissement original non spécifié). Noter la présence d'un tissu minéralisé remplissant les espaces entre les spires.

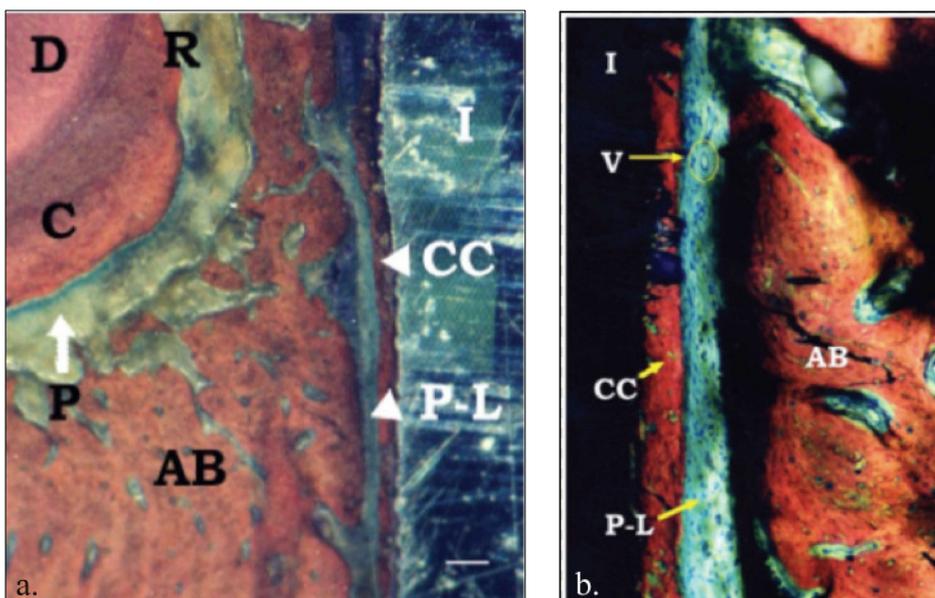
e. Grossissement au niveau d'une spire de l'implant ayant entaillé la dentine. Noter au contact de la dentine, le remodelage d'un tissu minéralisé présentant, d'après les auteurs, des caractéristiques osseuses avec ses espaces médullaires à l'intérieur du tissu minéralisé (grossissement original : échelle = 100 µm).

*I : implant ; D : dentine ; LB : os alvéolaire*

### III.4 Etudes histologiques relevant de la problématique de l'IM en Orthodontie

#### III.4.1 Jahangari et coll. (2005) (42)

Cette étude illustre la cicatrisation tissulaire à la surface d'un implant lorsque celui-ci est en contact ou très proche d'une dent orthodontiquement tractée en sa direction. Les auteurs ont mis en évidence, sur 4 des 6 cas de leur étude, la néo-formation d'une structure ternaire sophistiquée ressemblant à un ligament naturel avec la présence de néo-cément cellulaire à la surface des implants où un contact direct a été établi (**fig. 19a**) ainsi que la présence de vaisseaux sanguins caractéristiques d'un ligament (**fig. 19b**). Les conditions optimales nécessaires à cette régénération restent à déterminer.



**Fig. 19.** Interface mini-implant-dent après traction orthodontique de la dent en direction du mini-implant chez le chien.

a. Vue à fort grossissement de l'interface mini-implant (I)-dent (D). Mise en évidence de la néo-formation d'une structure ternaire évoquant une structure ligamentaire ainsi qu'une couche minéralisée cellulaire apparentée à une couche de néo-cément cellulaire (CC) sur la surface

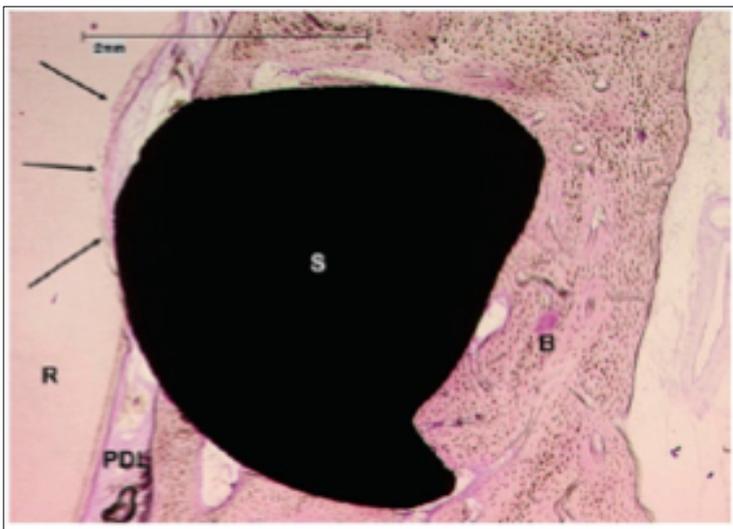
implantaire en regard de la dent. Noter en R la résorption radiculaire (grossissement original : échelle = 280  $\mu\text{m}$ ).

b. Mise en évidence à l'interface implantaire de la présence de vaisseaux sanguins caractéristiques d'un ligament (V) (grossissement original : échelle = 100  $\mu\text{m}$ ).

*D* : dentine ; *R* : résorption radiculaire ; *C* : ciment ; *I* : implant ; *CC* : néo-cément cellulaire ; *P-L* : ligament parodontal ; *AB* : os alvéolaire ; *V* : vaisseaux

### III.4.2 Asschericks et coll. 2008 (41)

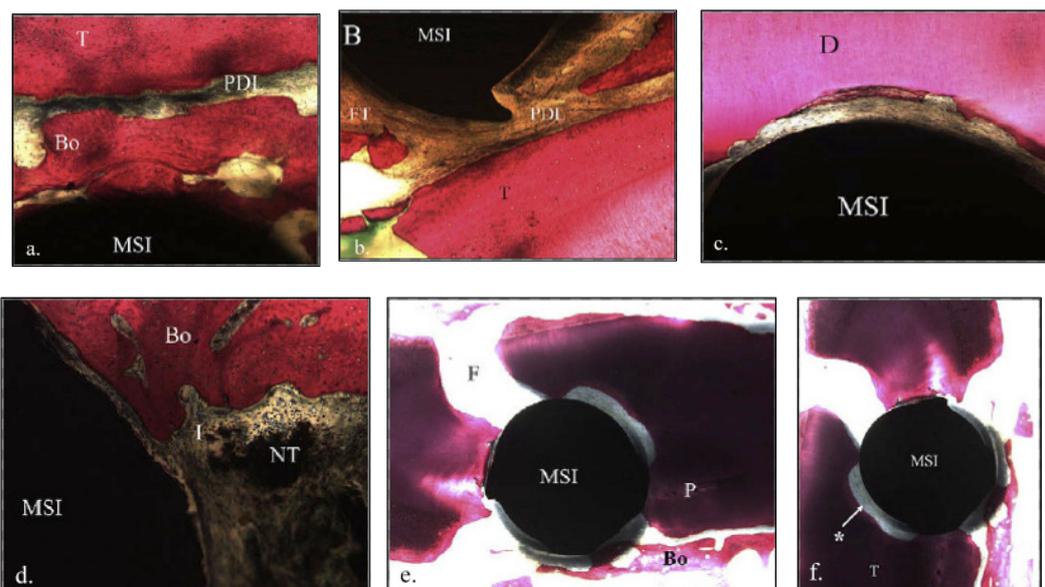
Cette étude, dont le but initial était de montrer la proximité dent-mini-vis orthodontique comme étant un facteur de risque d'échec lors du maintien de la mini-vis orthodontique, montre la présence de néo-cément (flèches) sur la surface radiculaire en contact direct avec l'implant (**fig. 20**). D'après les auteurs, la proximité des mini-vis aux racines dentaires peut être un facteur de risque augmentant les échecs de mini-vis orthodontiques. Ils précisent que la taille de l'échantillon étant trop faible, cette étude ne peut mener à une quelconque affirmation.



**Fig. 20.** Mise en place d'une mini-vis orthodontique au contact d'une surface dentaire chez le chien (grossissement original : échelle = 2mm).

### III.4.3 Hembree et coll. 2009 (40)

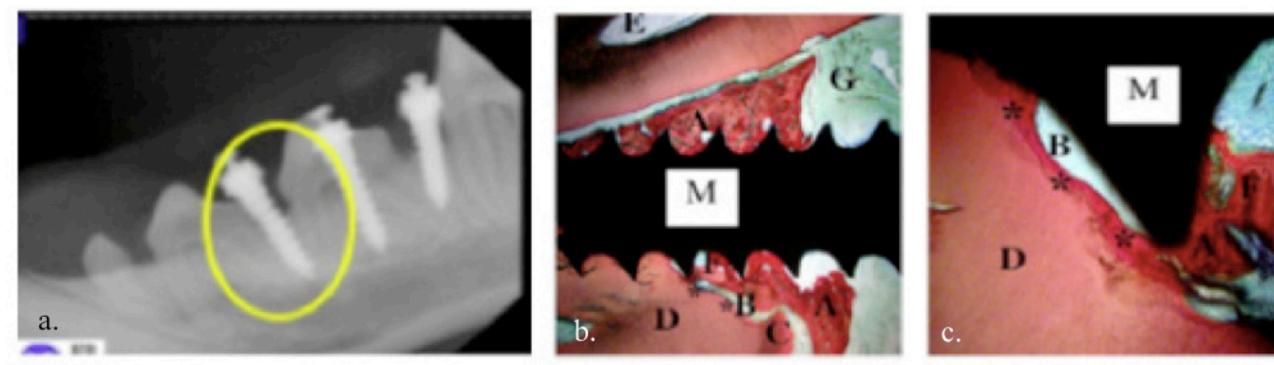
Cette étude expose les divers dommages provoqués par la mise en place de mini-implants sur le ligament, le ciment, la dentine et la pulpe à court et à long terme. D'après les auteurs, les structures parodontales ne varieront que très peu à court et à long terme. Les auteurs remarquent la néo-formation d'une couche minéralisée qui évoque une couche de néo-cément à court et long terme à la surface des mini-implants laissés *in situ* au contact des racines dentaires (**fig. 21c**). Dans certains cas, ils notent la présence de tissu nécrotique (**fig. 21d**) au niveau de furcations radiculaires ou l'absence de réparation localisée (**fig. 21f**).



**Fig. 21.** Mise en place de mini-implants orthodontiques au contact direct de racines chez le chien. a. Mise en évidence des dommages immédiats causés par un mini-implant orthodontique (MSI) sur le ligament parodontal (PDL) de la dent adjacente (grossissement original : x 100). b. Mise en évidence des dommages à long terme causés par un mini-implant orthodontique sur le ligament parodontal (PDL) de la dent adjacente. Noter la présence de tissu fibreux (FT) adjacent au mini-implant (grossissement original : x 100). c. Mise en évidence des dommages à long terme causés par un mini-implant sur la dentine (D) (grossissement original : x 100). d. Mise en évidence de la perte osseuse au niveau de la furcation causée par un mini-implant. Noter la présence de tissu nécrotique (NT) (grossissement original : x 100). e. Mise en évidence des dommages à long terme sur la pulpe causés par un mini-implant ainsi que de la ligne de fracture (F) allant jusqu'à l'os. Noter la présence d'un tissu fibreux autour de l'implant (grossissement original : x 25). f. Coupe axiale mettant en évidence l'absence de réparation au niveau du défaut noté par un astérisque (grossissement original : x 25).  
*MSI : mini-vis ; T : dent ; P : pulpe ; PDL : ligament parodontal ; F : zone de fracture ; FT : tissu fibreux ; NT : tissu nécrotique*

#### III.4.4 Renjen et coll. 2009 (39)

Cette étude est réalisée dans le but d'observer les réactions tissulaires autour de mini-vis orthodontiques placées au contact de racine dentaires (**fig. 22a**), perforant la dentine et la pulpe. D'après les auteurs de cette étude, la mise en place de mini-vis orthodontiques proches ou perforant les racines dentaires n'entraînerait pas automatiquement de dommages permanents sur la pulpe ou les tissus environnants. Cette étude montre l'absence de réponse inflammatoire particulière, de résorption externe, de nécrose pulpaire ou d'ankylose. Les auteurs montrent une néo-formation de tissu minéralisé qui évoque une couche de néo-cément (**fig. 22b, c**) le long de chaque racine mise au contact d'une mini-vis orthodontique.



**Fig. 22.** Mise en place de mini-vis orthodontiques au contact de racines dentaires chez le chien.

a. Radiographie de la mise en place de mini-vis orthodontiques au contact direct de racines dentaires.

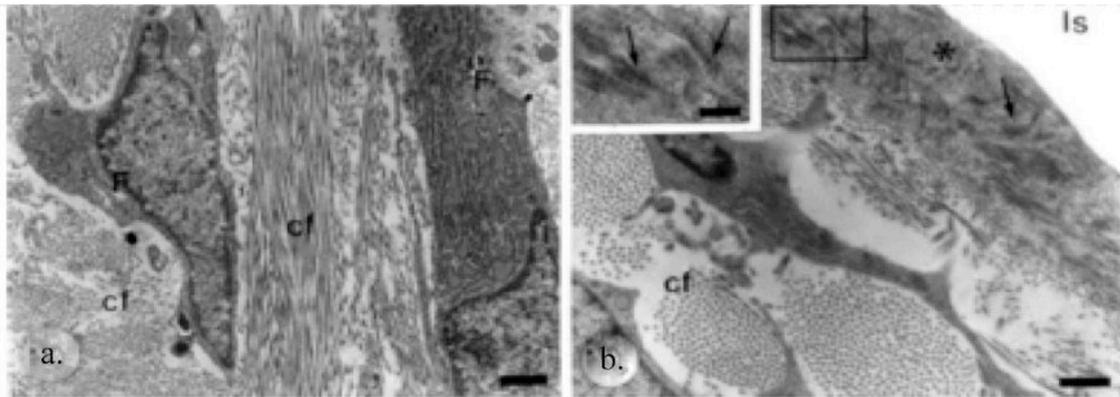
b. Vue à faible grossissement de la surface d'une mini-vis orthodontique perforant la dentine d'une racine dentaire (grossissement original x 25).

c. Grossissement au niveau d'une spire de la mini-vis présentée en b (grossissement original x 200). Les astérisques indiquent une couche de néo-cément en regard de l'implant.

*A : os alvéolaire, B : ligament parodontal, C : ciment initial, D : dentine, E : pulpe, \* : néo-cément, F : fragments dentinaires déplacés, G : tissus mous gingivaux, M : minivis en titane*

### III.4.5 Rinaldi et coll. 2010 (43)

Les auteurs ont mené cette étude afin de décrire l'ultrastructure de l'interface entre les tissus parodontaux et les mini-implants en titane lorsque les mini-implants sont placés au contact de tissus dentaires entre les molaires de rats. Les auteurs notent une réparation tissulaire à la surface des mini-implants placés entre les racines de molaires de rats. D'après les auteurs, la cicatrisation résulte d'une activité cémentoblastique apposant une fine couche de néo-cément à la surface des mini-implants. La structure tissulaire néo-formée observée à la surface des mini-implants possèdent les caractéristiques d'un ligament contenant des fibres de collagène ainsi que des fibroblastes (**fig. 23a, b**). Cette étude met en évidence un contact intime continu entre le néo-ligament et l'implant (**fig. 24a, b**).

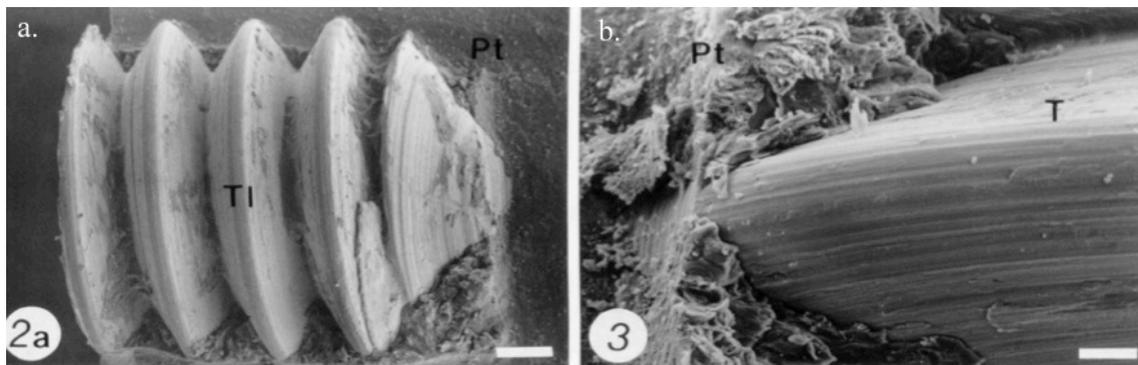


**Fig. 23.** Poses de mini-implants placés entre les racines molaires de rats.

a. Vue à faible grossissement du site 60 jours après mise en place de l'implant. Mise en évidence d'une structure à l'aspect typique ligamentaire. Noter les fibroblastes (F) entre les faisceaux de collagène (cf) qui synthétisent des organites (grossissement original : échelle = 100  $\mu\text{m}$ ).

b. Vue à fort grossissement du site 120 jours après mise en place de l'implant. Mise en évidence d'une fine couche qui évoque une couche de néo-cément d'environ 1 à 1,5  $\mu\text{m}$  d'épaisseur à la surface de l'implant (\*) (grossissement original : échelle = 35  $\mu\text{m}$ ).

*F* : fibroblastes ; *Is* : mini-implant ; *cf* : faisceaux de collagène



**Fig. 24.** Poses de mini-implants placés au contact de tissus dentaires entre les canaux molaires de rats.

Mise en évidence d'un contact intime continu ligament-implant par microscopie électronique à balayage

a. Vue à faible grossissement du mini-implant et des tissus environnants en microscopie électronique à balayage. Mise en évidence d'un contact intime continu à l'interface ligament (Pt)-implant (Ti) (grossissement original : échelle = 1  $\mu\text{m}$ ).

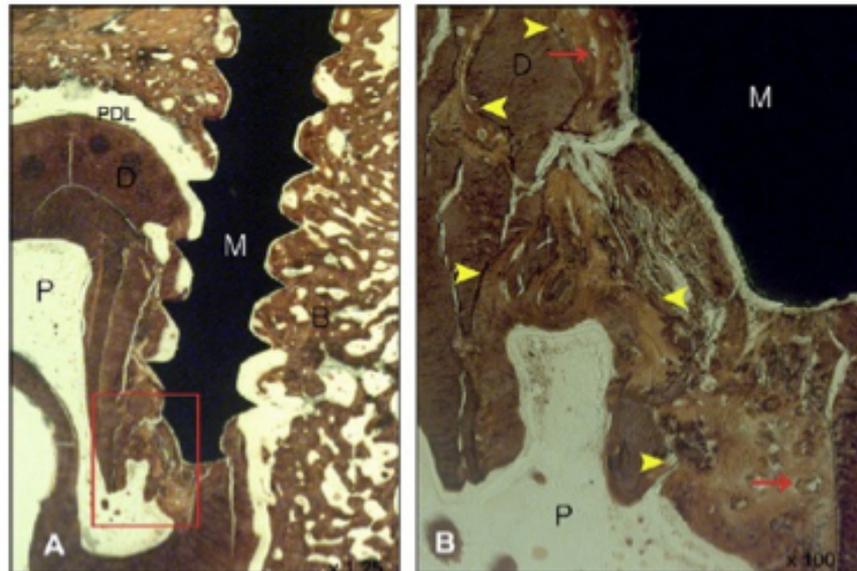
b. Vue à fort grossissement du mini-implant et des tissus environnants en microscopie électronique à balayage montrant la continuité de structure (grossissement original : échelle = 0,5  $\mu\text{m}$ ).

*Ti* : mini-implant ; *Pt* : ligament

### III.4.6 Kim et coll. 2011 (44)

Cette étude analyse les réactions tissulaires à la surface de mini-implants (M) perforant le complexe dentino-pulpaire des racines dentaires du mini-porc (**fig. 25a**). D'après les auteurs,

lorsque les mini-implants sont placés à moins de 1 mm des racines dentaires, une résorption externe est observée et une couche de néo-cément survient 12 semaines après implantation. Lorsque les mini-implants perforent la pulpe, ils notent la néo-formation d'ostéodentine (**fig. 25b**). Lorsque les conditions ne sont pas optimales, ils notent l'absence de réparation.



**Fig. 25.** Mise en place de mini-implants (M) proches et perforants les racines dentaires chez les mini-porcs.

a. Vue générale du mini-implant et des tissus dentaires adjacents. Noter la rupture du complexe dentino-pulpaire ainsi que la formation d'ostéo-dentine de réparation (grossissement original : x 1,25).

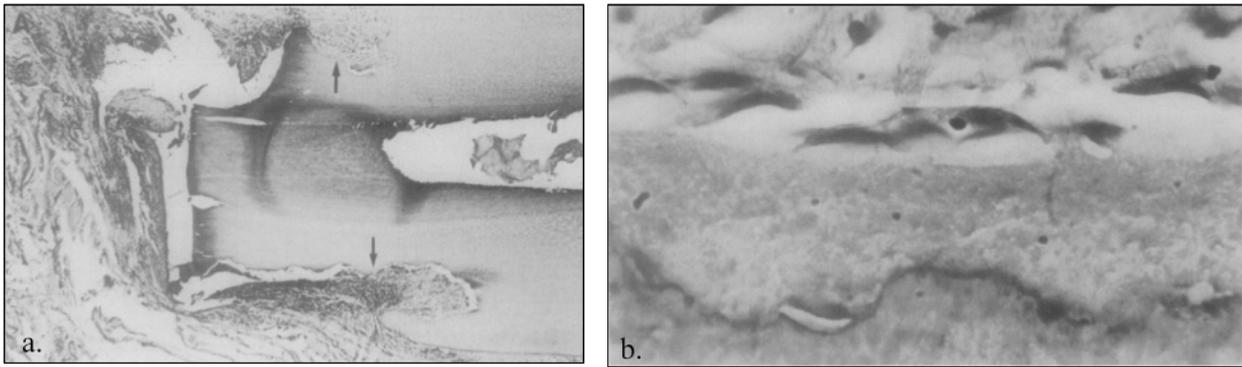
b. Grossissement au niveau de l'apex. Mise en évidence de la formation rapide de dentine réparatrice irrégulière (flèches jaunes) avec inclusions cellulaires (flèches rouges) nommée ostéodentine (grossissement original : x 100).

*M : mini-implant ; D : dentine ; P : pulpe ; PDL : ligament parodontal*

### III.5 Etudes histologiques relevant de la problématique de l'IM en Orthognatie

#### III.5.1 Nanda et coll. 1982 (47)

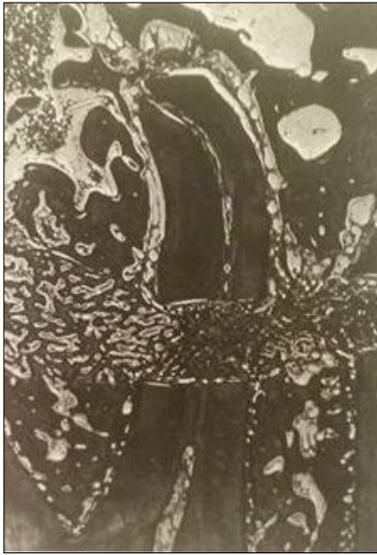
Cette étude expose les réactions tissulaires lorsque les traits d'ostéotomies réalisées lors d'une chirurgie orthognatique interceptent une dent qui se trouve sur le trajet de l'ostéotomie. D'après les auteurs, une phase de résorption radiculaire (**fig. 26a**) est suivie d'une phase d'apposition de tissu néo-formé (**fig. 26b**) qui permet la réparation tissulaire.



**Fig. 26.** Sections de canines maxillaires vitales lors d'une chirurgie orthognatique.  
a. Vue à faible grossissement de la section. Mise en évidence de la phase de résorption après ostéotomie (grossissement original : x 25).  
b. Vue à fort grossissement de la section. Mise en évidence de la phase d'apposition tissulaire après ostéotomie (grossissement original : x 1,000).

### III.5.2 Ellis et coll. 1985 (45)

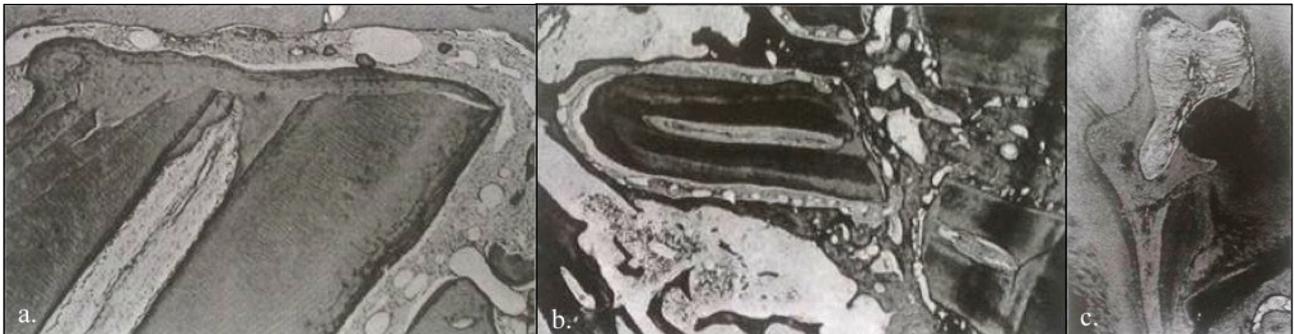
En 1985, Ellis, Cox et Hitchcock publient deux études sur les singes *Macaca Mulatta* sur lesquels des sections intentionnelles sur les racines dentaires ont été réalisées afin d'étudier la réponse pulpaire à 4 semaines (45) et 1 an (46). D'après les auteurs, la perturbation de l'architecture pulpaire est suivie d'une dégénérescence pulpaire puis d'un remplacement par néo-formation d'une structure semblable au ligament. Une couche de néo-cément est mise en évidence chez tous les spécimens étudiés. Les pulpes observées contiennent entre autres des odontoblastes; de la dentine tertiaire est repérée à certains endroits. Selon eux, l'activité ostéoclastique chasse la dentine secondaire des canaux. Le remplacement pulpaire se termine par la déposition cémentaire sur les parois canalaires et la chambre pulpaire. Dès 4 semaines, la plupart des pulpes dentaires sont remplacées par un tissu néo-formé semblable à un ligament (**fig. 27**). Certains fragments apicaux de racines volontairement coupés sont restés vitaux et leur architecture pulpaire apparaît normale. L'architecture du néo-ligament évolue avec le temps. En effet, la densité de fibres de collagène retrouvée augmente, avec un aspect de plus en plus uniforme. A la fin de l'étude à 1 an, la continuelle déposition cémentaire a entraîné une oblitération ou une fermeture quasi totale des canaux et de la chambre pulpaire (**fig. 28**). Les faisceaux de collagène denses s'insèrent perpendiculairement à l'intérieur de la ligne cémentaire (**fig. 29**). Ils traversent la chambre pulpaire pour rejoindre la paroi opposée. Les auteurs notent la présence de fibroblastes, de cémentoblastes ainsi que d'éléments vasculaires matures caractéristiques d'un ligament. Aucune ankylose n'est mise en évidence.



**Fig. 27.** Section d'une dent vitale au cours d'une chirurgie orthognathique chez le singe. Vue du site sectionné à 4 semaines. Mise en évidence d'un dépôt cémentaire sur toutes les surfaces de dentine sectionnées ainsi qu'à l'intérieur du canal (grossissement original : x 10).

### III.5.3 Hitchcock et coll. 1985 (46)

Cette étude expose à long terme, avec un suivi post-opératoire d'une année, les conséquences des sections de dents vitales étudiées dans l'étude précédente. Les figures 28a-c illustrent les résultats de cette étude. Tous les fragments radiculaires sectionnés sont clos par une couche de néo-cément (**fig. 28a,b**). Le trait de fracture entre les fragments est occupé par un tissu osseux (**fig. 28b**).



**Fig. 28.** Sections radiculaires de dents vitales lors d'une chirurgie orthognathique chez le singe.

a. Vue à fort grossissement du site à 52 semaines. Noter le long du fragment radiculaire la présence d'une couche minéralisée apparentée à une couche de néo-cément qui recouvre la dentine sectionnée et fusionne avec la dentine réparatrice afin d'obturer la chambre pulpaire. Noter également la présence d'odontoblastes bordant la périphérie de la chambre pulpaire du fragment radiculaire (coloration à l'hématoxyline-éosine, grossissement original x 100).

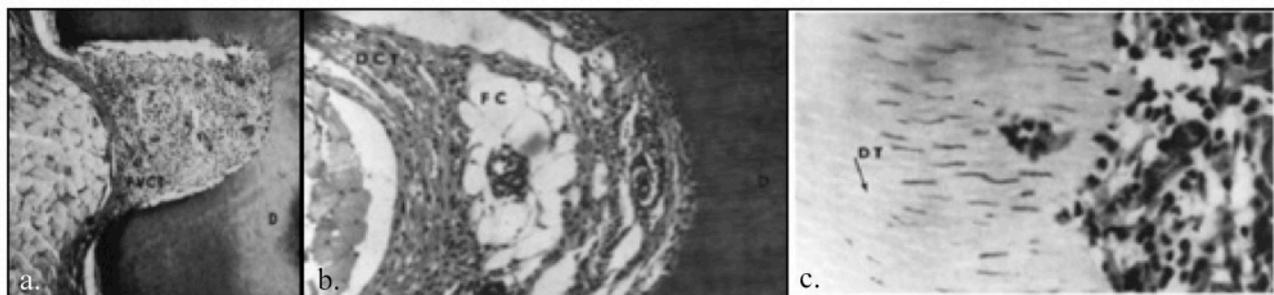
b. Vue à faible grossissement du site à 52 semaines. Noter l'aspect normal de l'architecture pulpaire du fragment apical avec la présence d'odontoblastes en périphérie ainsi que la présence de cément cellulaire sur toute la surface de dentine sectionnée. Noter l'apposition osseuse entre les fragments radiculaires (coloration au trichrome de Preece, grossissement original x 10).

c. Vue à faible grossissement d'un site à 52 semaines. Mise en évidence d'une néo-formation tissulaire à l'intérieur de la chambre pulpaire. La chambre pulpaire est bordée sur presque toute la surface de sa paroi interne d'une fine couche qui évoque une couche de néo-cément. Noter l'aspect caractéristique des faisceaux de collagène (coloration au trichrome de Peerce, grossissement original x 25).

### III.6 Etudes histologiques dans le champ des matériaux de comblement à base de dentine

#### III.6.1 Morris et coll. 1970 (48)

Cette étude montre les conséquences biologiques de l'implantation de dentine humaine décalcifiée et de ciment dans les tissus sous-cutanés d'abdomen de rats avec utilisation d'os et de moelle osseuse autogènes qui précipitent la formation osseuse. La partie organique du ciment et de la dentine contiendrait d'après les auteurs un stimulateur de l'activité cellulaire. Leurs résultats sont illustrés aux **figures 30a-c**.



**Fig. 30.** Implantation de dentine humaine déminéralisée dans les tissus sous-cutanés de l'abdomen du rat.

a. Vue à 1 semaine. Mise en évidence de la présence de tissu fibro-vasculaire dans une brèche de la dentine (FVCT).

b. Vue à 4 semaines à faible grossissement. Mise en évidence de la présence d'un tissu conjonctif dense (DCT) et de grosses cellules (FC) dans une brèche de dentine (grossissement original non spécifié).

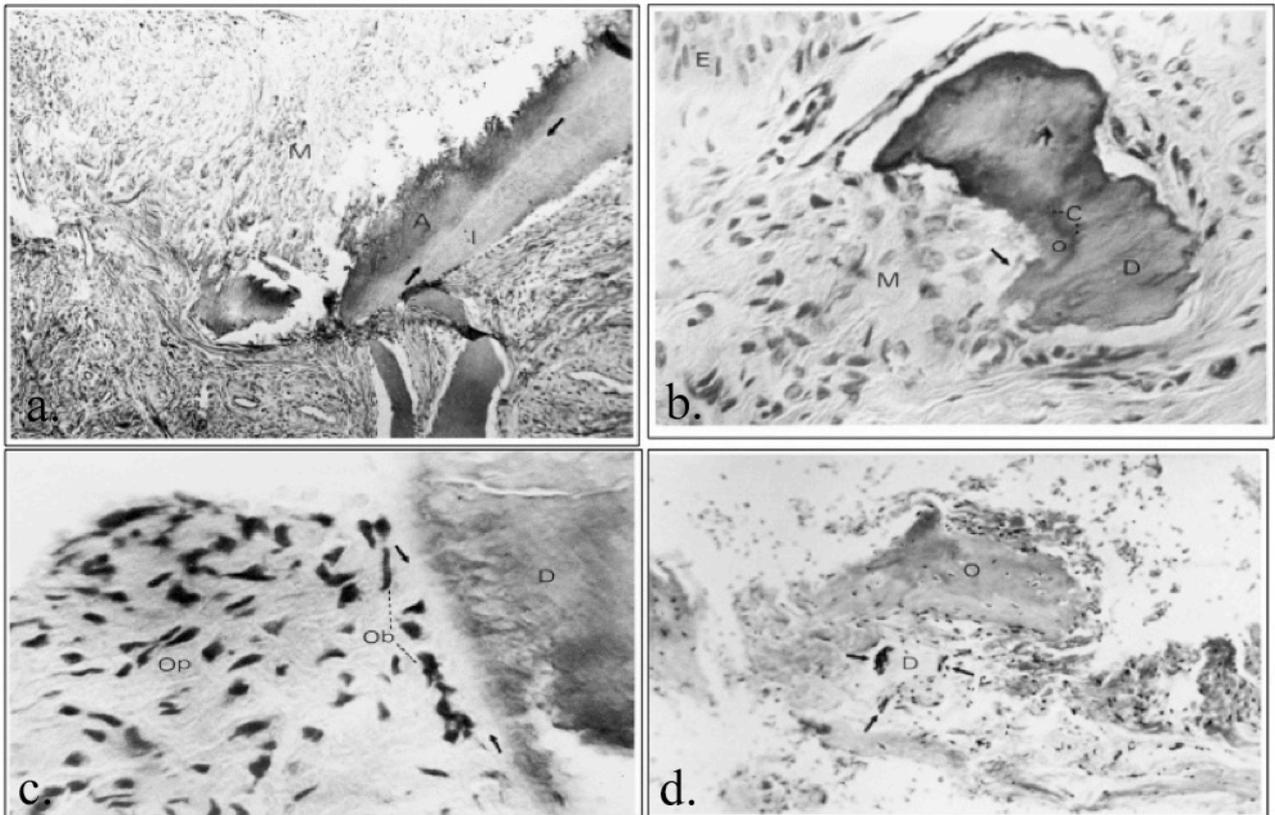
c. Vue à 4 semaines à fort grossissement. Mise en évidence de l'envahissement des tubuli dentinaires (DT) par les cellules de tissu conjonctif (grossissement original non spécifié).

*DT : tubuli dentinaires ; FC : cellules géantes ; D : dentine ; FVCT : tissu conjonctif fibro-vasculaire ; DCT : tissu conjonctif dense*

*Grossissements originaux non spécifiés*

#### III.6.2 Alton et coll. (1972) (49)

Cette étude analyse les résultats d'une greffe de matrice dentinaire allogénique dans le but d'assurer un comblement osseux. Elle démontre l'acceptation de la matrice dentinaire allogénique par l'organisme, la différenciation des cellules mésenchymateuses en ostéoblastes, la formation, la calcification et la maturation osseuse ainsi que la survie de l'os néo-formé sur une période de suivi de 6 mois. Ses résultats sont illustrés aux **figures 31a-d**.



**Fig. 31.** Greffe d'un matériau de comblement à base de dentine.

a. Vue à faible grossissement du site à 45 jours. Mise en évidence de la limite (flèche) entre une partie active (A) de remaniement au niveau de la dentine et une partie inactive (I) : des cellules mésenchymateuses indifférenciées (M) répondent à la surface active (grossissement original : x 100).

b. Vue à fort grossissement du site à 60 jours. Les cellules mésenchymateuses (M) se sont différenciées en ostéoblastes (flèche) proches de la chambre dentinaire (D) et synthétisent un tissu ostéoïde (o), le ciment (C) marque l'interface entre le tissu ostéoïde et la dentine (grossissement original : x 970).

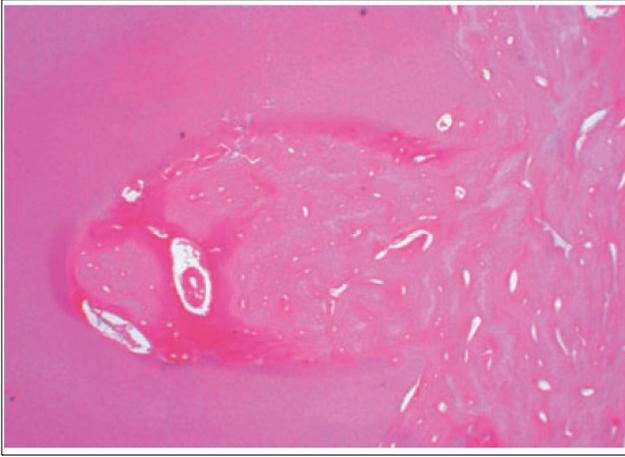
c. Vue à fort grossissement du site à 60 jours. Mise en évidence de la différenciation des cellules mésenchymateuses en ostéoblastes (ob) et ostéoprogéniteurs (op) déposant la matrice ostéoïde (flèche) contre la paroi du biomatériau greffé (grossissement original : x 970).

d. Vue à fort grossissement du site à 60 jours. Mise en évidence de la présence de nombreux ostéoïdes (o) associés à la résorption de la matrice dentinaire par les cellules (flèches) (grossissement original : x 450).

*C : ciment ; D : dentine ; O : tissu ostéoïde ; M : cellules mésenchymateuses ; A : partie active dans le remaniement osseux ; I : partie inactive dans le remaniement osseux ; ob : ostéoblaste ; op : ostéoprogéniteur ; o : tissu ostéoïde ; D : dentine*

### III.6.3 Andersson et coll. 2010 (50)

Cette étude montre que les xéno greffes de dentine ont le potentiel d'être incorporées dans l'os sans inflammation. Elles sont résorbées graduellement puis remplacées par de l'os néoformé. Les résultats sont représentés en **figure 32**.

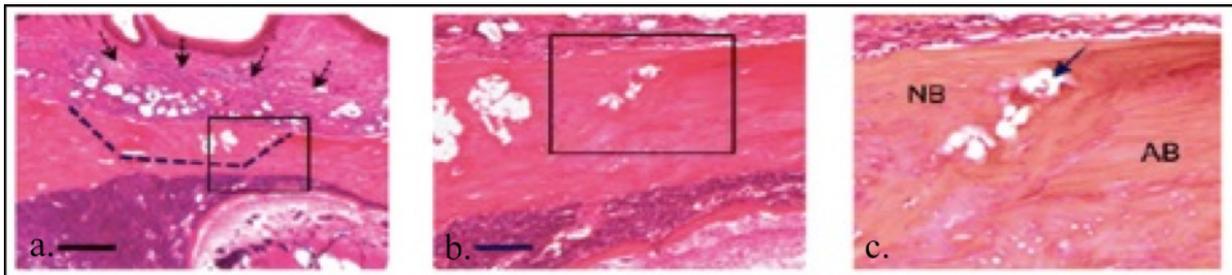


**Fig. 32.** Vue du site à 6 mois après la greffe du biomatériau.

Mise en évidence de la fusion entre la dentine et l'os (grossissement original non spécifié).

### III.6.4 Nampo et coll. 2010 (51)

Cette étude montre que les substrats dentaires peuvent être utilisés comme matériaux de comblement osseux en alternative à l'utilisation d'os autogène. Les **figures 33a-c** illustrent les résultats de cette étude.



**Fig. 33.** Greffe d'un matériau de comblement à base de dentine.

a. Vue à faible grossissement (grossissement original : x 25).

b. Vue à fort grossissement (grossissement original : x 100).

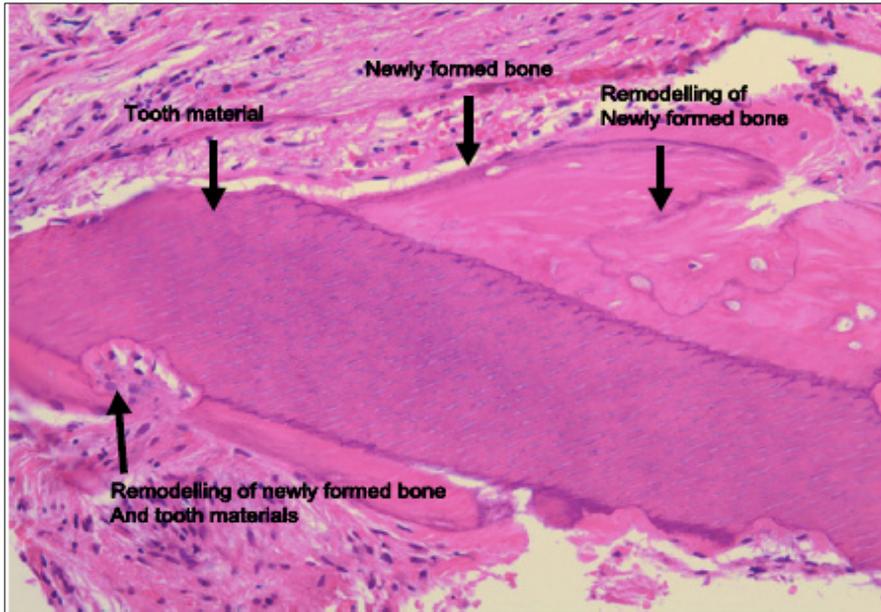
c. Vue à très fort grossissement (grossissement original : x 200).

Mise en évidence de la présence d'os néoformé à 8 semaines post-opératoires ainsi que de l'incorporation de la dentine dans l'os néoformé.

NB : os néoformé ; AB : os d'origine

### III.6.5 Kim et coll. 2010,2013 (52)

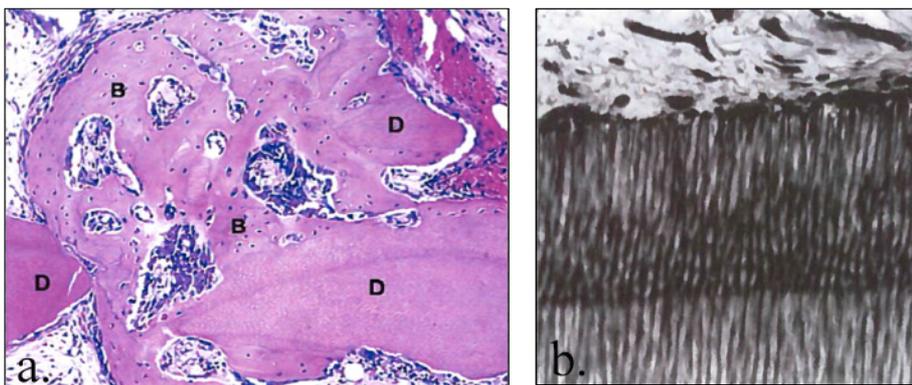
Cette équipe sud-coréenne présente dans ses diverses publications le matériau de comblement AutoBT (matériau de comblement osseux d'origine dentaire autogène) à base de substrats ainsi que ses propriétés. Le biomatériau subit d'après les auteurs une résorption graduelle. Il est ensuite remplacé par de l'os néoformé. Les auteurs mettent en évidence des réactions d'ostéoinduction et d'ostéoconduction. La **figure 34** illustre leurs résultats.



**Fig. 34.** Greffe du matériau AutoBT à base de dentine dans un défaut osseux. (grossissement original : x 100)  
 Mise en évidence de la présence d'os néoformé (newly formed bone) ainsi que du remodelage osseux autour du biomatériau AutoBT (tooth material) (grossissement original : x 100).

### III.6.6 Murata et coll. 2011 (53)

Cette étude montre l'efficacité de l'utilisation de la dentine déminéralisée humaine (DDM) en tant que biomatériau de comblement et son rôle dans la régénération osseuse. La **figure 35** illustre les résultats de cette étude.



**Fig. 35.** Observations à 3 semaines après mise en place de dentine déminéralisée humaine dans un défaut osseux.  
 a. Vue du site à faible grossissement à 3 semaines. Mise en évidence de la présence de l'os néoformé (B) réalisant un pont avec le matériau DDM (D) ainsi que le processus de différenciation active ostéoblastique (grossissement original non spécifié).  
 b. Vue en microscopie électronique à 3 semaines. Mise en évidence de la présence de fibroblastes à la surface du biomatériau DDM ainsi que de tubuli dentinaires (grossissement original non spécifié).  
*B : os néoformé ; D : dentine déminéralisée humaine*

Les résultats de toutes ces études concordent, les matériaux de comblement à base de dents extraites entraînent une néoformation osseuse de qualité, avec ostéoinduction et ostéoconduction. Les dents ont une composante organique et une composante minérale. Les compositions chimiques des dents et de l'os sont similaires. La dentine et le cément sont connus pour avoir de nombreux facteurs de croissance osseux (BMP, BMP-2) et la matrice dentinaire est spécialement riche en BMP. Ces BMP activent la formation de cartilage et d'os en différenciant des cellules progénitrices mésenchymateuses en chondrocytes et cellules ostéogéniques. Les protéines non collagéniques de la dentine comme l'ostéocalcine, l'ostéonectine, les phosphoprotéines et les sialoprotéines sont impliquées pour leur part dans la calcification osseuse. Ces matériaux de comblement osseux à partir de composants dentaires ont une excellente biocompatibilité.

Lors de la pose d'implants trans-corono-radiculaires, la dentine de la dent incluse se retrouve exposée au milieu osseux adjacent. Les résultats de toutes ces études nous permettent d'envisager sereinement l'évolution de l'interface dentine–os engendrée. La dentine jouera, d'après ces études, le rôle de matériau de comblement osseux et contribuera de par sa biocompatibilité à une bonne réparation tissulaire.

### III.7 Etudes histologiques dans le champ des ligaplasts

Au vu de la similarité de résultats de chaque étude, nous avons choisi de n'illustrer que les plus représentatives.

#### III.7.1 Piattelli et coll. 1994 (54)

Tous les implants de cette étude sont recouverts de tissus durs minéralisés avec une apparence histologique similaire au ciment et séparés de l'os par un ligament et des fibres de collagène.

#### III.7.2 Takata et coll. 1994 (55)

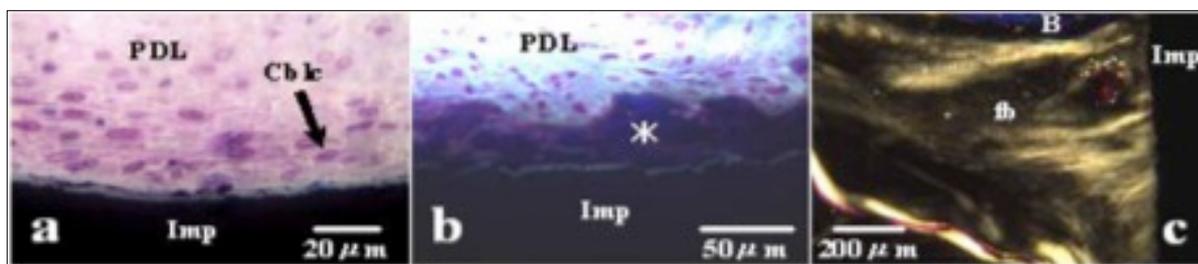
Cette étude montre que les cellules issues du ligament peuvent former un nouveau tissu conjonctif adhérent aux implants. Elle précise que la bioactivité dépend du biomatériau utilisé et influence le phénomène.

#### III.7.3 Choi et coll. 2000 (56)

Cette étude montre que les cellules du ligament parodontal peuvent assurer la néo-formation d'un tissu ressemblant à un véritable ligament autour des implants. Les auteurs notent une couche de néo-cément où s'insèrent des fibres de collagène.

#### III.7.4 Akira et coll. 2005 (57)

Cette étude montre que la force mécanique du ligament péri-implantaire néo-formé augmente de 14 à 28 jours. De 14 à 28 jours, un tissu dur minéralisé qui évoque un tissu cimentaire se forme sur la surface implantaire (**fig. 36a, b**). La formation de néo-cément fonctionnel avec fibres de collagène (**fig. 36c**) est démontrée ainsi que l'impact sur la force mécanique.



**Fig. 36.** Création de ligaplasts par ingénierie tissulaire.

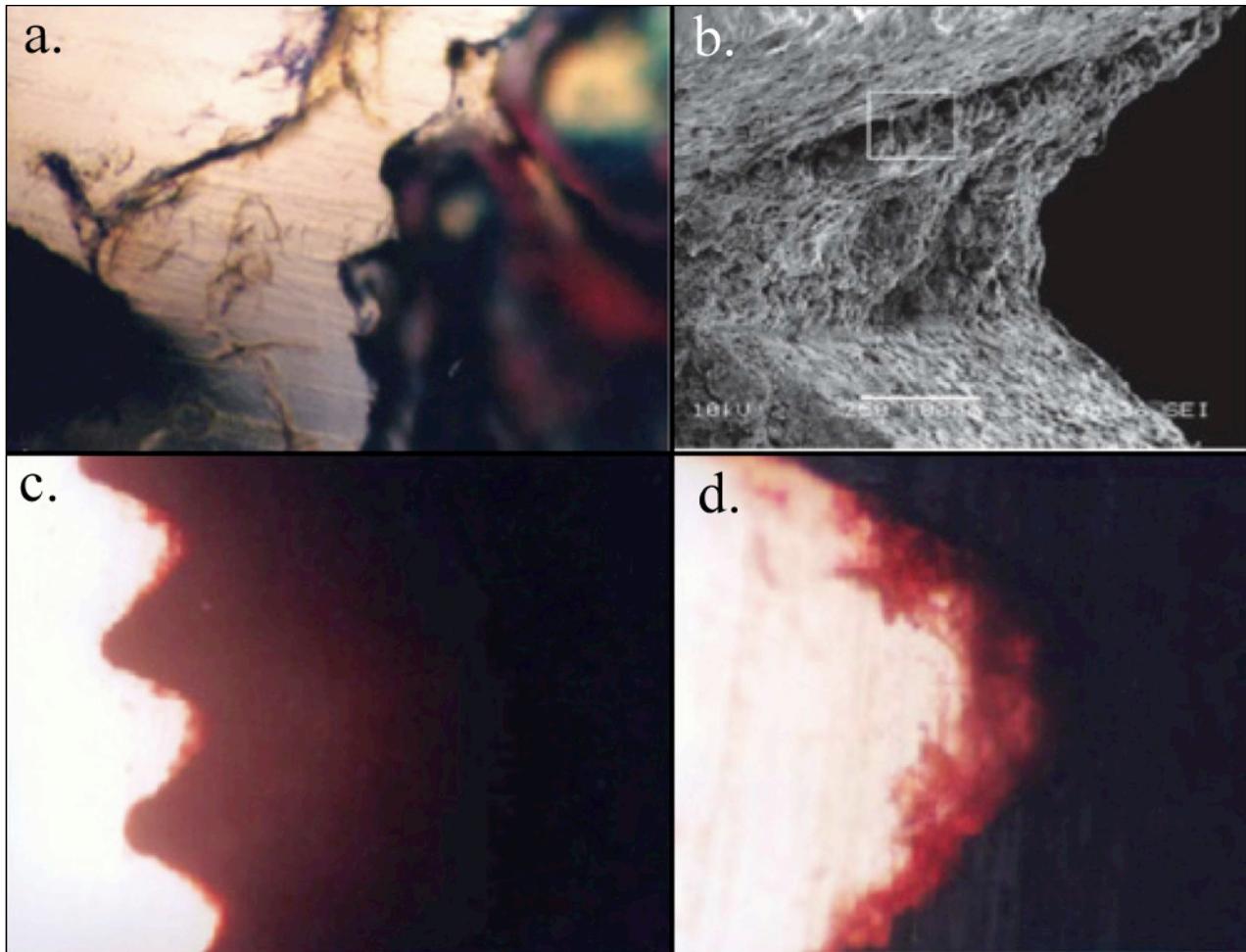
a. Vue à 7 jours. Mise en évidence de la présence d'une fine couche de tissu minéralisé qui évoque une couche de néo-cément cellulaire à la surface de l'implant (grossissement original : échelle = 20  $\mu\text{m}$ ).

b. Vue à 28 jours. Mise en évidence d'une matrice calcifiée (astérisque) autour de l'implant (grossissement original : échelle = 20  $\mu\text{m}$ ).

c. Vue à 21 jours. Mise en évidence de la présence de fibres de collagène perpendiculaires à la surface implantaire allant jusqu'à la lamina propria (grossissement original : échelle = 20  $\mu\text{m}$ ).

### III.7.5 Marei et coll. 2009 (58)

Cette étude montre la néo-formation par ingénierie tissulaire (**fig. 37 a-d**) d'un ligament fonctionnel sur la surface de l'implant.



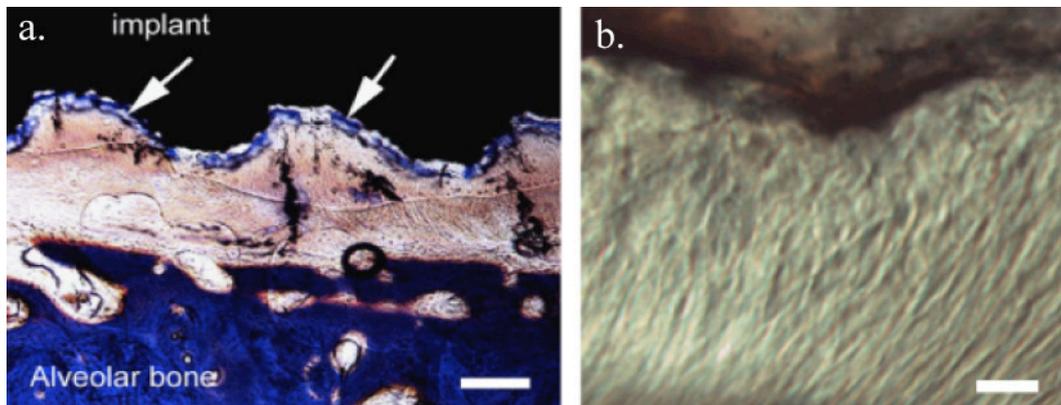
**Fig. 37.** Formation de ligaplants par ingénierie tissulaire.

- a. Vue à fort grossissement de la surface implantaire au contact du ligament néo-formé (grossissement original : x 400).
- b. Vue à fort grossissement de la surface implantaire au contact du ligament néo-formé (grossissement original : x 400).
- c. Vue à faible grossissement de la surface implantaire au contact du ligament néo-formé (grossissement original : x 40).
- d. Vue à moyen grossissement de la surface implantaire au contact du ligament néo-formé (grossissement original : x 200).
- e. Vue en microscopie électronique à balayage de la surface implantaire au contact du ligament néo-formé (grossissement original : échelle = 100  $\mu$ m).

Mise en évidence de la présence et la continuité de la matrice de néo-cément sur la surface implantaire ainsi que de la présence des fibres de collagène s'y insérant perpendiculairement. La matrice de néo-cément est structurée et homogène.

### III.7.6 Gault et coll. 2010 (59)

Cette étude in vivo démontre la faisabilité de créer des ligaplots par ingénierie tissulaire (**fig. 38 a, d**). Cela présenterait, d'après les auteurs, des avantages sur l'ostéointégration classique.



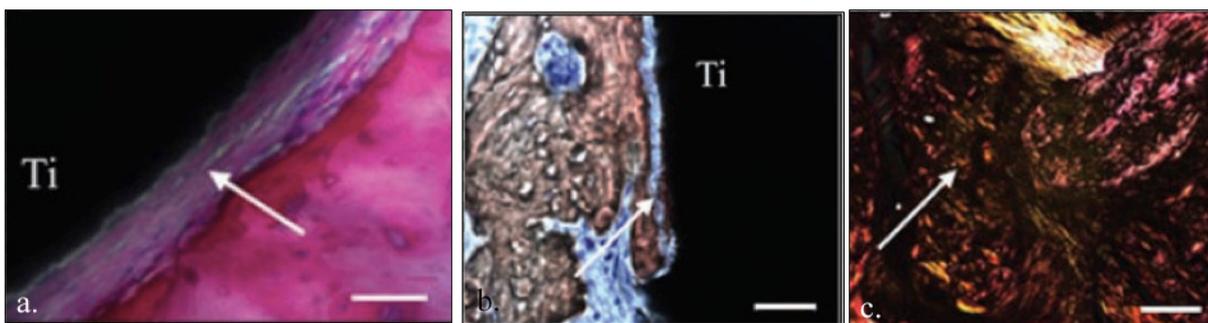
**Fig. 38.** Formation de ligaplots par ingénierie tissulaire

a. Mise en évidence de la couche de collagène dense qui recouvre l'implant (flèches blanches) (grossissement original : échelle = 20  $\mu$ m).

b. Mise en évidence de la densité et de l'orientation des fibres de collagène à la surface du ligaplot (grossissement original : échelle = 20  $\mu$ m).

### III.7.7 Lin et coll. 2010 (60)

Cette étude démontre la néo-formation in vivo de tissus parodontaux par ingénierie tissulaire à base de cellules souches du ligament à la surface d'implants en titane (**fig. 39 a-c**).



**Fig. 39.** Néo-formation in vivo de tissus aux mêmes caractéristiques que les tissus parodontaux à la surface d'implants en titane

a. Vue à fort grossissement.(grossissement original : échelle de 50  $\mu$ m)

b. Vue à faible grossissement (grossissement original : échelle de 200  $\mu$ m).

c. Vue en lumière polarisée à faible grossissement. Mise en évidence de la présence de fibres de collagène (grossissement original : échelle de 200  $\mu$ m).

Les flèches blanches en a et b indiquent la couche de néo-cément présente à la surface implantaire.

### **III.7.8 Kano et coll. 2012 (61)**

Cette étude montre que les cellules de ligament restant dans l'alvéole permettent lors de la mise en place immédiate de l'implant dans l'os de constituer un ligament autour de l'implant. Le développement d'un ligament fonctionnel péri-implantaire est envisageable et à développer.

Un tissu aux caractéristiques semblables au ligament parodontal peut se former autour des implants dentaires. Ces études nous montrent par une analyse histologique de l'interface implant-ligament que cette interface ne pose pas de problème de compatibilité particulier.

## IV. Recensement des cas cliniques d'implantation transcorono-radicaire

### IV.1 Cas personnellement suivis

Ce type de protocole cas a été discuté avec plusieurs praticiens locaux expérimentés afin d'avoir leur avis quant à la pertinence clinique de cette approche thérapeutique non-conventionnelle. J'ai perçu une grande réticence étant donné le peu de recul clinique et le faible nombre de cas publiés dans la littérature. Deux praticiens (Drs Barjou et Faudemer) ont accepté de réaliser des poses trans-corono-radicaire sur des patients qui justement entraient dans le cadre de l'indication. Ces derniers avaient de nombreuses années d'expérience en implantologie, un recul nécessaire et la capacité de réagir en cas de complication. Les cas concernent une canine incluse en position très horizontale destinée à recevoir un implant transradicaire ainsi qu'une canine incluse plus verticale.

Les patients ont été clairement informés de la nouveauté de la technique et des doutes engendrés par le peu de recul de la technique. Un consentement éclairé spécifique a été réalisé.

#### IV.1.1 Présentation du Cas 1

Mlle ML est âgée aujourd'hui de 25 ans, elle présentait un cas d'inclusion double de ses canines maxillaires. Ses canines incluses étaient en position relativement horizontale ( $> 55^\circ$ ) et ne se prêtaient pas au traitement orthodontique. Du côté droit, la canine lactéale était mobile, la patiente a donc subi l'avulsion de sa dent de lait, l'extraction de la canine incluse, le comblement osseux du site, puis la pose différée de l'implant en site canin. Etant traumatisée par ce parcours thérapeutique, la patiente était opposée à l'avulsion de la canine incluse gauche. Le docteur Barjou a donc proposé ce traitement non-conventionnel à la patiente qui était ravie de se voir proposer une alternative à la chirurgie qu'elle avait jugé très invasive.

Le parodonte est sain et le terrain immunocompétent, il ne présente aucune pathologie particulière. Un consentement éclairé a été signé et la pose a eu lieu le 28 mars 2014. Le succès clinique sera évalué avec les critères de Buser et coll. (1997) qui établissent les critères du succès clinique. Un suivi ultérieur à plus long terme devra les confirmer.

Dans un premier temps, la dent de lait a été extraite (**fig. 40a-c**) puis l'implant a été posé selon un protocole de cicatrisation transmuqueuse. L'implant est un Biotech de type Kontakt Ø 3,6 x 14 mm (Biotech SA, Avignon), pilier angulé à  $15^\circ$ , hauteur de col 3mm avec utilisation de PRF. Les séquences radiographiques rétro-alvéolaire et tomodynamétrique sont montrées aux **figures 41a-c** et **42a-c** respectivement, les **figures 43a-c** illustrent la séquence clinique.



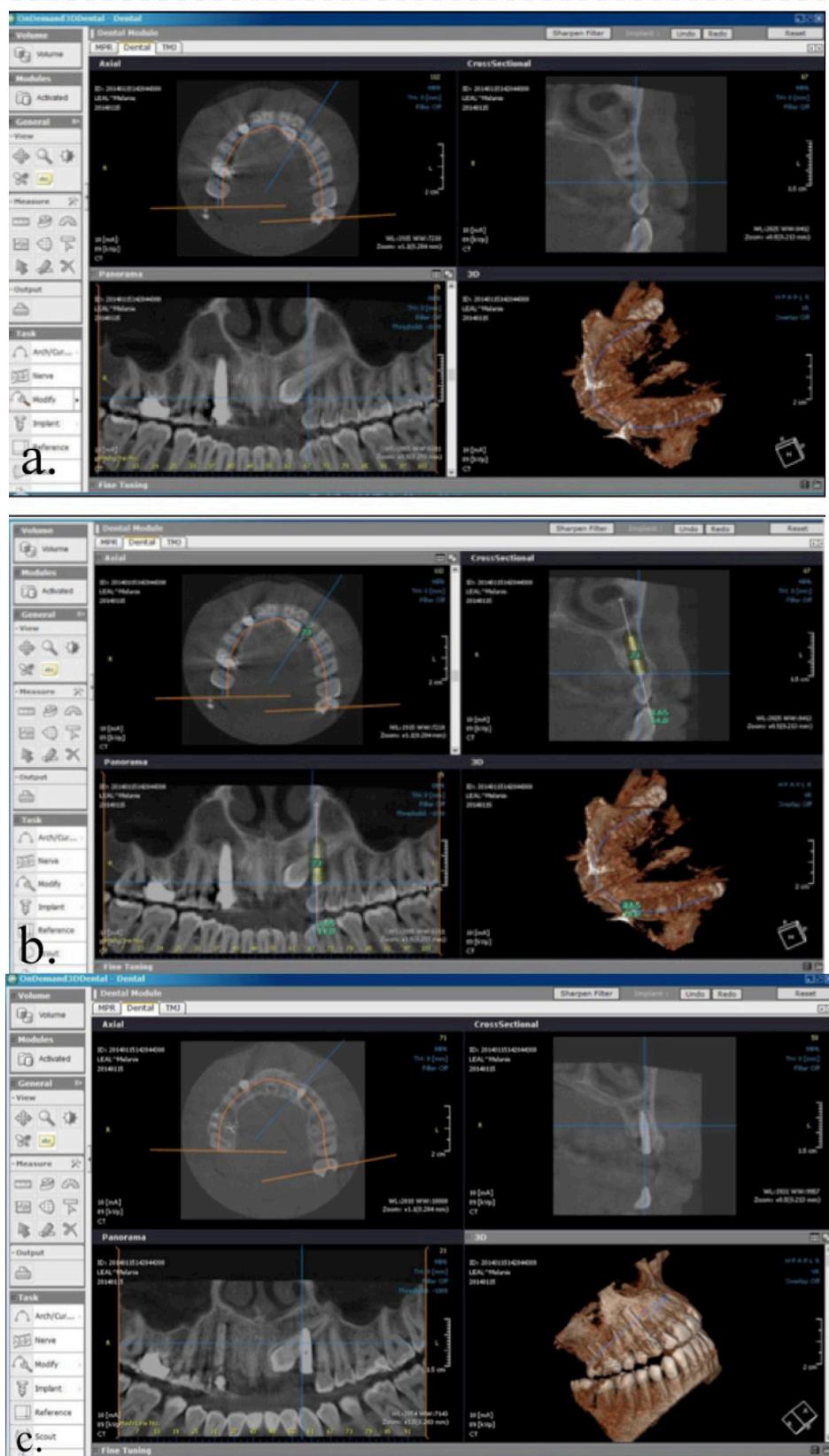
**Fig. 40.** Situation préopératoire.

- a. Radiographie rétro-alvéolaire avant l'avulsion de la canine lactéale.
- b. Radiographie rétro-alvéolaire après l'avulsion de la canine lactéale.
- c. Vue vestibulaire avant l'avulsion de la canine de lait mobile.



**Fig. 41.** Séquence radiographique par examen rétroalvéolaire.

- a. Vue du site avec le forêt pilote en place (Ø 2,0 mm).
- b. Vue du site avec le forêt trispade en place (Ø 3,0 mm).
- c. Vue de l'implant en place avec effraction de la chambre pulpaire.



**Fig. 42.** Séquence radiographique des examens tomodensitométriques.  
 a. Situation préopératoire.  
 b. Simulation 3D de la mise en place de l'implant à l'aide d'un logiciel informatique.  
 c. Situation post-opératoire.

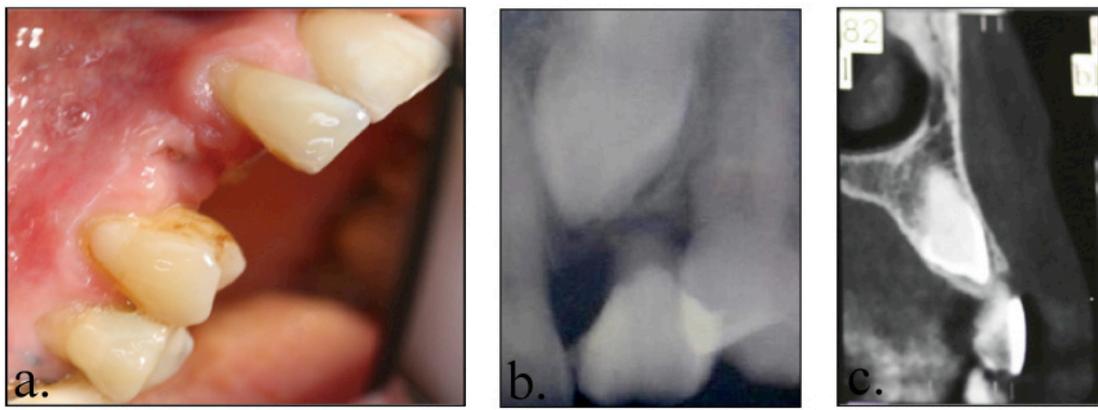


**Fig. 43.** Séquence clinique et prothétique.  
a. Vue occlusale per-opératoire. Mise en évidence de la racine de la canine incluse.  
b. Mise en évidence de la suppression de tissus dentaires au cours du forage.  
c. Situation post-opératoire.

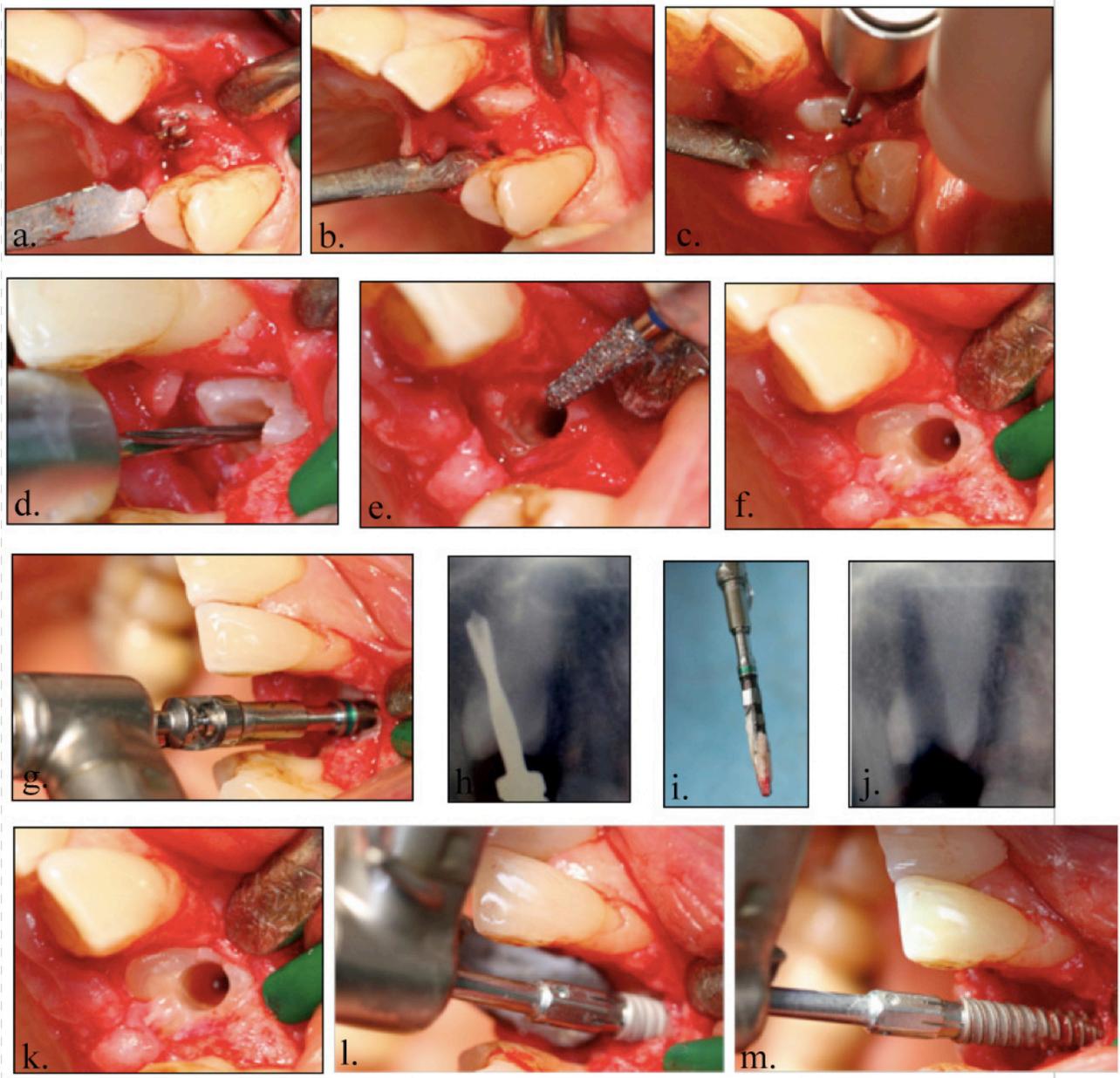
#### IV.1.2 Présentation du Cas 2

Mme BY est âgée de 60 ans, elle présente une canine incluse du côté gauche en position relativement verticale ( $< 30^\circ$ ). Son parodonte est sain et le terrain est immunocompétent, sans pathologie particulière. Le docteur Faudemer a tenté une traction orthodontique ainsi que l'iconographie ci-dessous le montre (**fig. 44**), cependant la patiente n'a pas supporté l'appareillage. En seconde intention, le protocole non-conventionnel de pose d'un implant transcorono-radicaire avec cicatrisation transmuqueuse a été proposé et a été accepté par la patiente qui a signé un consentement éclairé spécifique. La pose a eu lieu le 18 avril 2014.

Comme précédemment, le succès clinique a été déterminé en rapport avec les critères de succès de Buser et coll. (1997). L'implant posé est un implant In kone-Tekka  $\varnothing 4 \times 13\text{mm}$  (Tekka, GlobalD, Lyon) avec une vis de cicatrisation de 3 mm de hauteur.

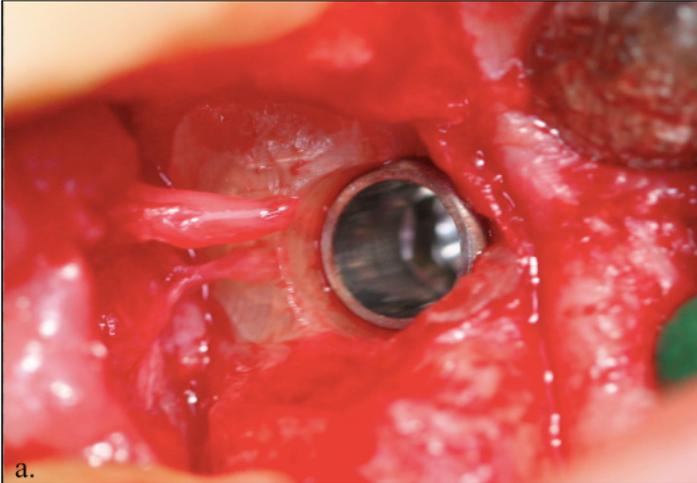


**Fig. 44.** Situation préopératoire.  
a. Vue vestibulaire du site édenté.  
b. Radiographie rétro-alvéolaire de la canine incluse en position verticale.  
c. Plan transverse de l'examen cone beam passant par la canine incluse.



**Fig. 45.** Etapes peropératoires.

- a. Vue de la couronne et du bracket dérivant de la tentative de traction orthodontique.
- b. Couronne de la dent incluse en position verticale.
- c. Fraisage de l'émail de la couronne à la fraise boule.
- d. Ouverture de la chambre pulpaire à la fraise Zékria en carbure de tungstène.
- e. Mise à ras des bords dentinaires de de la couronne.
- f. Situation de la dent incluse avant le début du passage de la séquence standard de forage.
- g. Passage du forêt de Ø 3,0 mm.
- h. Radiographie de la dent incluse avec le foret. Elle montre l'effraction de la chambre pulpaire.
- i. Suppression de tissus dentaires et osseux.
- j. Radiographie de la dent incluse sans foret montrant l'ablation de tissu coronaire.
- k. Microfissure aperçue sur le pan mésial de la couronne.
- l. Insertion de l'implant dans la logette de tissu dentaire et osseux.
- m. Insertion de l'implant après dévissage afin de relaxer les contraintes sur le matériau coronaire.



**Fig. 46.** Situation postopératoire.

a. Vue occlusale de l'implant en position finale avant la pose du pilier de cicatrisation.

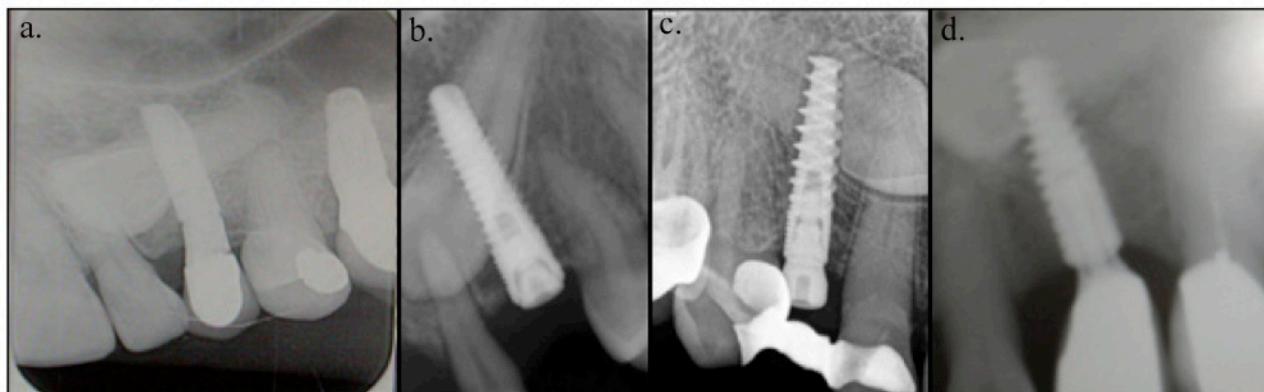
b. Radiographie rétro-alvéolaire de contrôle.



Praticien	Ville/Pays	Nombre d'implants	Publication	Date du premier cas	Efraction pulpaire	Abord coronaire vs. radiculaire	Douleurs post-opératoires
Dr Davarpanah M	Paris, F	10 cas, 15 imp.	Oui	2003	oui si nécessaire	Indifférent	non
Dr Davarpanah M	Paris, F	15 cas, 16 imp.	en cours	2003	oui si nécessaire	Indifférent	non
Dr Chiche F	Paris, F	13 cas, 13 imp.	non	2007	oui si nécessaire	Indifférent	non
Dr Degorce T	Paris, F	14 cas, 15 implants	non	2009	oui si nécessaire	Indifférent	non
Dr Mayoute M	Pointe à Pitre, 97, F	6 cas, 6 imp.	non	2009	non précisé	Indifférent	non
Dr Altglas	Paris, F	3 cas, 3 imp	en cours	2009	oui si nécessaire	Indifférent	non
Dr Lauverjat Y	Bordeaux, F	1 cas, 1 imp.	non	2011	non	Coronaire (émail)	non
Dr David E	Paris, F	1 cas, 1 imp.	non	2012	non	Radiculaire	non
Dr Corcos L	Paris, F	1 cas, 1 imp.	non	2012	oui	Radiculaire	non
Dr Missika P	Paris, F	1 cas, 1 imp.	oui	2012	non	Radiculaire	non
Dr Bezos V	Lausanne, CH	1 cas, 1 imp.	non	2013	oui	Radiculaire	non
Dr Russo N	Benevento, I	1 cas, 1 imp.	non	2013	oui	Radiculaire	non
Dr Verdino JB	Toulon, F	1 cas, 1 imp.	non	2013	non précisé	non précisé	non
Dr Fortin XX	Berson 33, F	1 cas, 1 imp.	non	2013	oui	Radiculaire	non
Dr Darie P	Bayonne, F	1 cas, 1 imp	non	2013	oui	Radiculaire	non
Dr Albaret	Nîmes, F	1 cas, 1 imp.	non	2013	oui	Radiculaire	non
Dr Faudemer G	Bordeaux, F	1 cas, 1 imp.	non	2014	oui	Coronaire	non
Dr Barjou B	Le Bouscat 33, F	1 cas, 1 imp	non	2014	non	Radiculaire	non
Dr Monsenego P	Paris, F	1 cas, 1 imp.	non	201x	oui	non précisé	non
Dr Minnassian H	Villefranche/Saone	1 cas, 1 imp.	non	201x	non précisé	non précisé	non
Dr XX	Cluses 74, F	2 cas, 2 imp.	non	201x	non précisé	non précisé	non
Total	F, CH, I	86 implants	2 publications	2003-2014	Indifférent	Indifférent	aucun cas de douleur post-opératoire

Tab. 9. Répartition des cas d'implants trans-corono-radiculaires selon les praticiens

Les **figures 48, 49 et 50** sont des cas d'implantation trans-corono-radicaire réalisés sur le territoire français métropolitain et d'outre-mer.



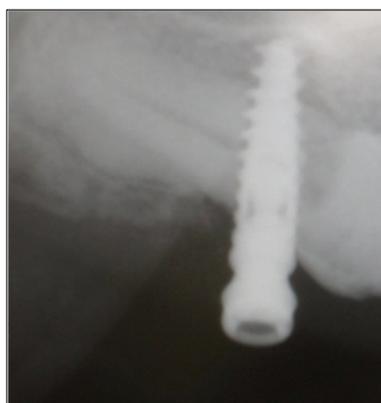
**Fig.48.** Cas d'implantations trans-corono-radicaire non publiés dans la littérature.

a. Radiographie rétroalvéolaire de contrôle à 13 mois. Avec l'aimable autorisation du Dr Albaret Stéphane (Nîmes, 30900)

b. Radiographie rétroalvéolaire de contrôle à 14 mois. Avec l'aimable autorisation du Dr Darie Pierre (Bayonne, 64100)

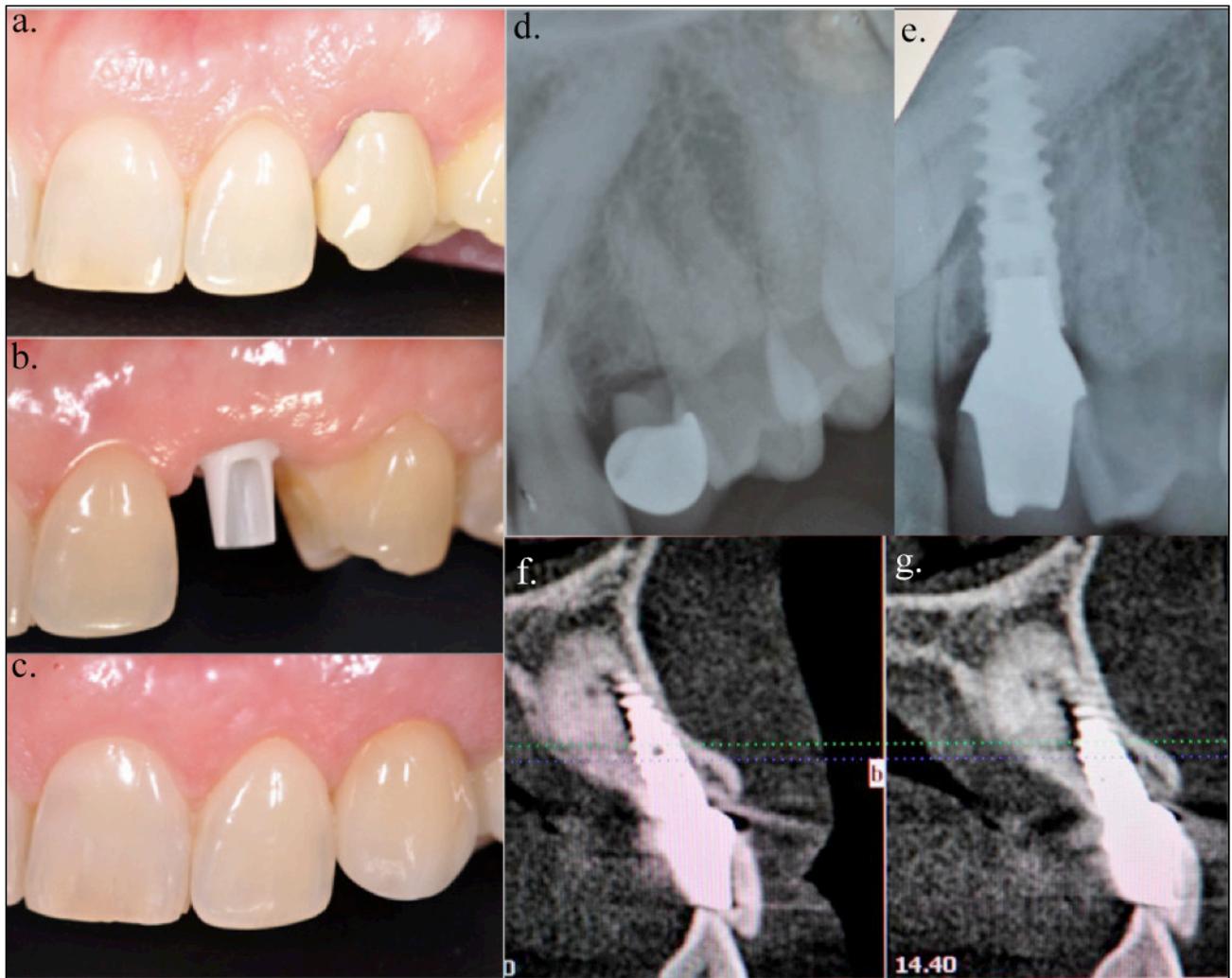
c. Radiographie rétroalvéolaire de contrôle à 9 mois. Avec l'aimable autorisation du Dr Fortin Jean-Noël (Berson, 33390)

d. Radiographie rétroalvéolaire de contrôle à 15 mois. Avec l'aimable autorisation du Dr Mayoute Marius (Les Abymes, 97139)



**Fig. 49.** Cas d'échec d'une implantation trans-corono-radicaire.

Avec l'aimable autorisation du Dr Mayoute Marius (Les Abymes, 97139) l'attachement est de type LOCATOR, après 18 mois de mise en fonction, et malgré une tentative de compensation de la perte osseuse par greffe de copeaux d'os autogène + Bio-Oss protégée par unemembrane collagène, le praticien a été contraint de déposer l'implant. La patiente ressentait une gêne mais aucune douleur particulière.



**Fig. 50.** Implantation trans-corono-radulaire avec l'aimable autorisation du Dr Altglas Sylvain (Paris, 75016)

a. Situation préopératoire.

b. Situation à J+10 jours.

c. Couronne définitive à 6 mois post-opératoires.

d. Radiographie rétroalvéolaire préopératoire.

e. Radiographie rétroalvéolaire de contrôle.

f. g. Coupes transverses de l'examen tomodensitométrique post-opératoire.

## **V. Discussion**

### **V.1. Le protocole non-conventionnel et sa preuve histologique**

La mise en place d'implants trans-corono-radicaux est un protocole non conventionnel introduit par les Drs Davarpanah et Szmukler-Moncler en 2009 (2)(8). Ce protocole novateur permet de traiter rapidement et de manière non invasive un édentement provoqué par la présence d'une dent incluse, en général la canine. Cependant, il suscite des réticences au sein de la communauté scientifique car on lui oppose des obstacles d'ordre conceptuels et paradigmatiques bien compréhensibles. En effet, l'implantation trans-corono-radicaire contrevient au paradigme de l'ostéointégration. Ce concept, ancré, acquis et fondateur de l'implantologie moderne, implique qu'un implant doit être placé exclusivement au contact de tissu osseux. Or, ce protocole génère la création de 5 nouvelles interfaces, les interfaces implant-ligament, implant-cément, implant-dentine, implant-pulpe et implant-émail, dont on ne connaît que peu de choses. Par ailleurs, les praticiens sont dubitatifs car ils s'attendent à ce qu'il provoque des douleurs post-opératoires lors d'une effraction de la chambre pulpaire. Ils se posent aussi la question du devenir de la pulpe sectionnée ainsi que de la dent incluse.

La réalité clinique fait pourtant état de résultats positifs car nous avons pu répertorier 86 implants en France ainsi que dans les pays limitrophes. Les plus anciens offrent un recul de 8 ans et trois échecs seulement nous ont été signalés pour un taux de survie de 96,5 %. 2 ont eu lieu 21 mois après la pose alors qu'ils étaient en fonction sur une prothèse provisoire chez une patiente qui avait reçu 2 implants de faible diamètre dans sa canine, dans un espace trop étroit. Le troisième échec a eu lieu après 18 mois de mise en charge suite à un ressenti de gêne de la patiente. Aucune douleur post-opératoire, aucune complication clinique ou radiographique n'a été signalée par aucun des nombreux praticiens cités. De plus, l'équipe parisienne fait état de 5 implants posés au travers de dents ankylosées avec un recul de 42 mois à 1 an (7) ainsi que de 7 implants posés au contact de racines résiduelles avec recul de 8 à 1 ans (9).

Face à cette réalité clinique indéniable, il convient alors de s'interroger sur les phénomènes histologiques ayant lieu aux interfaces autres qu'osseuses ainsi que sur le devenir de la pulpe. L'objet histologique de cette thèse était de savoir si le silence clinique signalé dès 2009 correspondait à une réaction biologique menant à une intégration biologique ou à une simple intégration mécanique à l'instar d'une vis posée dans une pièce de bois. Les auteurs de ce protocole soutiennent l'existence de réactions biologiques d'apposition tissulaire en se basant sur des présomptions venues de travaux expérimentaux indirects. Le but de notre travail était de vérifier le bien-fondé de leur assertion et d'établir, le cas échéant, leur qualité de la preuve. Nous avons repris la littérature histologique qu'ils avaient citée et nous avons cherché s'il existait d'autres études qu'ils auraient omises ou des publications ultérieures à 2012. Par ailleurs, nous sommes focalisés sur le devenir de la pulpe et la raison du silence clinique qui demeure encore non expliqué dans la littérature.

### V.1.1 La preuve histologique des nouvelles interfaces

Nous pouvons affirmer qu'il n'existe pas d'expérimentation portant spécifiquement sur le devenir de ces nouvelles interfaces autre que l'interface os-implant, elle reste à faire. Cependant, au vu des travaux histologiques que nous avons identifiés et qui existent depuis les années 90, nous pouvons dire que les auteurs ont eu raison de dire avoir trouvé l'appui qu'ils cherchaient dans la littérature. La stabilité clinique des implants trans-corono-radiculaire n'est pas certainement pas due un ancrage biomécanique, elle est le résultat d'une réaction biologique aux interfaces. Dans l'environnement immédiat de chaque interface des réactions différentes auront lieu et dépendront du protocole de pose. En synthèse de nos recherches littéraire, nous pouvons dire que la pose d'implants trans-corono-radiculaires génère de nouvelles interfaces en plus de l'interface os-implant. Du moins vers le plus invasif, nous retrouvons les interfaces suivantes :

- interface ligament alvéolo-dentaire-implant
- interface émail-implant
- interface ciment-implant
- interface dentine-implant
- interface pulpe-implant

Il nous a paru nécessaire de soumettre les études du corpus histologique étudié à une évaluation de puissance démonstrative. L'approche critique de la revue bibliographique s'appuie sur deux critères : la puissance de démonstration de chaque étude ainsi que la représentativité de son échantillonnage (**Tab. 10**). La puissance de démonstration sera fonction de l'étendue du champ d'application des matériels et méthode de l'étude (études portant sur la pulpe et/ou les interfaces) ; la représentativité de l'échantillonnage sera classée de faible à forte en fonction du nombre de sujets faisant part de l'étude en question et de la taille de son échantillon (faible  $n < 8$  ; fort :  $n \geq 8$ ). Bien que n'appartenant pas au champs d'investigation dédié, la puissance de démonstration de l'ensemble des études est suffisante pour tisser un faisceau d'indications suffisamment convaincant.

ETUDE	Puissance de démonstration	Taille de l'échantillon (nb de sujets-nb d'imp)
Buser et coll. 1990	forte	non précisé
Buser et coll. 1990	forte	faible (1 - 6 )
Warrer et coll. 1993	forte	fort (7 - 28)
Guarnieri et coll. 2002	forte	faible (1-1)
Gray et coll. 2004	forte	fort (10-120)
Parlar et coll. 2005	forte	fort (9-9)
Hurzeler et coll. 2010	forte	faible (1-4)
Schwarz et coll. 2013	forte	faible (1-1)
Baumer et coll. 2013	forte	faible (3-12)
Jahangari et coll. 2005	faible	fort (6-12)
Ascherricks et coll. 2008	faible	fort (5-20)
Hembree et coll. 2009	forte	fort (7-42)
Renjen et coll. 2010	forte	fort (3-60)
Rinaldi et coll. 2009	modérée	fort (24-48)
Kim et coll. 2011	forte	fort (4-80)
Nanda et coll. 1982	faible à fort	faible (6-non précisé)
Ellis et coll. 1985	faible à fort	faible (2-non précisé)
Hitchcock et coll. 1985	faible à fort	faible (4-non précisé)
Morris et coll. 1970	modérée	non précisé
Alton et coll. 1972	modérée	faible (n=2)
Andersson et coll. 2010	modérée	faible (n=5)
Nampo et coll. 2010	modérée	fort (n=60)
Kim et coll. 2010, 2013	modérée	non précisé
Murata et coll. 2011	modérée	non précisé
Piatelli et coll. 1994	modérée	non précisé
Takata et coll. 1994	modérée	non précisé
Choi et coll. 2000	modérée	faible (3-non précisé)
Akira et coll. 2005	modérée	fort (26-35)
Marei et coll. 2009	modérée	moyen à fort (5-10)
Gault et coll. 2010	modérée	non précisé
Lin et coll. 2010	modérée	moyen à fort (7-8)
Kano et coll. 2012	modérée	fort (47-non précisé)

**Tab. 10.** Evaluation de la puissance de démonstration des différentes études identifiées.

Voici, d'après nos recherches, une synthèse des caractéristiques des différentes interfaces engendrées :

### **1) Interface ligament alvéolo-dentaire-implant**

Lorsqu'un implant vient au contact du ligament alvéolo-dentaire, la formation d'une structure ternaire classique évoquant un «ligament péri-implantaire» ou «PDL-like» peut se mettre en place à proximité et en continuité du ligament alvéolo-dentaire (30-32). Si un espace à coloniser est laissé autour de l'implant suite à un forage trop large, les cellules conjonctives du ligament alvéolo-dentaire adjacent pourront coloniser à distance la surface implantaire tout en n'étant pas systématique (34). Ils pourront alors former une structure ligamentaire ternaire péri-implantaire étendue avec des fibres de Sharpey perpendiculaires pénétrant dans le néo-cément et riche en vaisseaux. Cette structure ligamentaire possède la même largeur que le ligament alvéolo-dentaire originel.

Cliniquement, cette information histologique engage à une pose implantaire plus ajustée que lâche dans la partie de la logette en contact avec le tissu dentaire.

### **2) Interface émail-implant**

Aucune donnée analysant histologiquement cette interface n'a été identifiée. La seule information positive concernant cette interface est d'ordre radiologique (2-8).

### **3) Interface ciment-implant**

La réparation tissulaire du ciment met en jeu une activité cémentoblastique. Les cémentoblastes mis en évidence peuvent produire une couche continue de ciment à la surface de l'implant en contiguïté avec le ciment du ligament de la dent incluse (30-32)(36). Schwarz et coll. (35) qualifie ce tissu observé d'« osteocement ». Les espaces existant entre les spires et aménagés lors du forage (cf. fig. **11b**, **c** et **16b**, **d**) sont comblés par un tissu minéralisé lorsqu'ils sont laissés au voisinage de ciment radiculaire. La surface implantaire des spires est colonisée par un tissu minéralisé néo-cémentaire (cement-like tissue).

### **4) Interface dentine-implant**

L'interface entre l'implant et la dentine peut être occupée soit par une fine couche cémentaire interposée (28)(32), une couche de tissu osseux (37) ou par de l'ostéodentine (35). Lorsque la dentine radiculaire est nécrosée, ce qui peut arriver au contact du sommet des spires de l'implant lors d'une pose vigoureuse (28)(35), un processus de remodelage est mis en place par l'organisme. Cette dentine peut-être substituée par l'un des trois tissus sus-mentionnés. Aucune étude ne

permet de déterminer les facteurs influençant l'orientation de la différenciation. La préférence est peut être fonction du tissu se trouvant le plus à proximité du site à remodeler.

La nature du tissu nommé « ostéodentine » par Schwarz et coll. (35) nécessite de s'y attarder. En fonction du tissu qu'il remplace, ciment ou dentine, ces auteurs dénomment le tissu cellulaire de réparation « osteodentine » ou « osteocement ». Leur choix semble davantage en rapport avec la nature du tissu substitué qu'en rapport avec une structure ou une origine cellulaire distincte. Lorsque le terme « osteodentine » a été interrogé sur diverses bases de données, il n'est apparu qu'un nombre de fois limité et sa signification n'était pas claire. Les auteurs ont probablement employé ces termes pour décrire un tissu néoformé aux caractéristiques identiques à celles d'une dentine réparatrice atubulaire ressemblant à de la dentine tertiaire.

En tout état de cause, il n'est pas étonnant de voir une apposition directe de tissu minéralisé au contact de la dentine car toutes les études portant sur son usage en tant que matériaux de comblement montrent sa biocompatibilité et son intégration dans le métabolisme du remodelage osseux (48-53).

#### **4) Interface pulpe-implant**

Schwarz et coll. (35) montrent que 8 semaines après implantation, la surface pulpaire exposée en regard de l'implant est recouverte d'une fine couche d'interposition de dentine réactionnelle. Dès 1993, Warrer et coll. (32) avaient effectué une observation similaire après 12 semaines d'implantation. Il semble que l'agression pulpaire causée par le forage et la mise en place de l'implant peut stimuler le potentiel dentinogénique de la pulpe tant que le site est à l'abri de l'inflammation. Cela devrait être le cas lors de l'implantation qui nous intéresse. Ce résultat de réparation pourrait être aussi expliqué par le fait que la dentine et le ciment exposés sont connus pour être le siège de nombreux facteurs de croissance osseuse (par exemple, BMP, BMP-2).

Ce résultat d'une couche d'interposition en continuité tissulaire du ciment adjacent est confirmé par les études portant sur la section de dents vitales ayant lieu lors d'une chirurgie orthognatique. Le mécanisme de réparation met en jeu une apposition graduelle de tissus néoformés aux caractéristiques histologiques connues par activité cémentoblastique (45,46).

#### **V.1.2 Devenir de la pulpe altérée**

Une des principales difficultés soulevées par les praticiens concerne le devenir de la pulpe sectionnée lors d'une implantation trans-corono-radiculaire. Qu'advient-il de la pulpe, est-elle le siège d'une inflammation, d'une nécrose ; l'effraction est-elle accompagnée d'une douleur chronique ou d'autres signes encore en rapport avec la nécrose pulpaire ? Les praticiens anticipent des complications d'ordre algésique ou infectieuse. Pourtant, les patients ayant subi une effraction pulpaire lors de la pose d'un implant trans-corono-radiculaire sont unanimes, ils ne rapportent aucune douleur particulière. Comment expliquer cet étonnant phénomène ?

D'après la littérature, les étiologies des douleurs et nécroses pulpaire sont apparentées à l'infection et à la compression du tissu pulpaire (62). Dans le protocole clinique en question, l'effraction est plus large que le diamètre de l'implant posé et la compression douloureuse est peut être évitée. Il en va de même pour l'inflammation car l'intervention se veut stérile. Les complications pulpaires iatrogènes des dents adjacentes à un implant résultant d'une agression radiculaire survenue lors du forage ou de la mise en place de l'implant peuvent être, quant à elles, provoquées par un hématome postopératoire et une ischémie. Ces dernières sont probablement évitées lors d'une effraction franche de la chambre pulpaire. Une explication claire reste néanmoins à trouver.

A plus long terme, plusieurs études témoignent d'une absence d'infiltrat inflammatoire ou de nécrose pulpaire. Une étude a pu mettre en évidence la formation de dentine tertiaire à 3 mois, sans induire de réactions inflammatoires ni douleurs chez le sujet (63). Une autre étude chez le chien a montré que 3 mois après la pose de mini-vis en titane au travers de racines dentaires, aucun infiltrat inflammatoire ni de nécrose pulpaire n'avaient été relevés (64). Chez le singe, la pulpe au contact d'une surface implantaire est apparue saine et normale à 3 mois (32). En revanche, 3 études notent dans certains cas l'absence de réparation pulpaire (40)(42)(52) mais sans donner d'explications. Schwarz et coll. (35) avaient noté après 2 mois, une fermeture de la chambre pulpaire au contact de l'implant mais la persistance au sein de la pulpe d'une légère réaction inflammatoire. Enfin, les études portant sur les sections vitales lors d'une chirurgie orthognatique font aussi état de la possibilité d'une obturation quasi complète de la chambre pulpaire par apposition néo-cémentaire contre les parois radiculaires.

Tous ces scénarii sont envisageables mais seules les expériences animales dédiées nous renseigneront avec plus de précision sur cette question particulièrement intrigante.

## **V.2 L'Intégration minérale et la justification du néologisme**

Ainsi que nous l'avons montré, la réalité histologique piochée dans la littérature conforte autant les succès cliniques que les assertions des auteurs ayant proposé ce protocole. Le concept de l'ostéointégration devient alors trop étroit, car il implique qu'aucun autre contact que le contact os-implant ne peut être envisagé en implantologie. Or, des réactions biologiques de réparation par apposition tissulaire à la surface des implants, similaires à celles qui prennent place lors de l'ostéointégration, surviennent au contact des tissus de l'organe dentaire. Devant cette nouvelle réalité, il convient de rendre compte de l'existence de ces nouvelles interfaces implantaires autres qu'osseuses. Créer un néologisme devient alors nécessaire. Le concept d'Intégration minérale déverrouille le concept d'ostéointégration et le fait accéder de manière plus globale à l'ensemble des tissus minéralisés de la dent.

Schwarz et coll. ont employé le terme de « dentointégration » pour décrire ce qu'ils ont aussi perçu comme une nouvelle réalité, cependant ce terme renvoie à un phénomène macroscopique, clinique plus qu'histologique. Le terme d'Intégration minérale de l'implant paraît alors plus adapté compte tenu du caractère tissulaire et microscopique du phénomène.

En implantologie, le passage de la période moderne (1930-1977) à la période contemporaine (de

1977 à nos jours) a été marqué par le néologisme de l'ostéointégration (osseointegration en anglais) introduit par Brånemark et coll. En 1977 (65). Il décrivait la nouvelle réalité, en ce temps, d'une apposition directe à l'interface os-implant en opposition avec la fibro-intégration recherchée à l'interface implantaire dans le but de mimer le ligament alvéolo-dentaire (Weiss C. 1988). Chaque nouvelle progression nécessite une adaptation des concepts qui la décrivent et le terme d'Intégration minérale semble ainsi répondre à une réelle nécessité conceptuelle et non à une simple coquetterie.

### **V.3 Le nouveau paradigme de l'Intégration minérale et son possible essor**

Un paradigme désigne une manière de penser commune à une discipline. Les implications « paradigmatiques » prennent effet dans la réalité en ce qu'elles régulent ce qu'il est possible ou admis de penser ou de faire. Actuellement, l'ostéointégration constitue le paradigme du savoir scientifique en implantologie. Pour la plupart des implantologistes, le protocole trans-corono-radiculaire est provocateur car il est perçu comme enfrenant le paradigme de l'ostéointégration et de l'endodontie également.

La question est de savoir si le changement de paradigme (paradigm shift en anglais) auquel nous assistons avec ce protocole et qui nous fait passer de l'ère de l'ostéointégration à celle de l'intégration minérale se fera aisément ou non. Son acceptation permettrait aux cliniciens de concevoir ce protocole non-conventionnel avec davantage de facilité et de sérénité, voire de l'incorporer ultérieurement dans un exercice de routine lorsque la documentation s'y prêtera.

L'histoire des sciences nous montre que les changements de paradigmes ne sont pas aisément acceptés par les communautés scientifiques. Le passage du géocentrisme, modèle physique ancien selon lequel la Terre était immobile et au centre de l'Univers à l'héliocentrisme, modèle qui plaçait le Soleil au centre de l'Univers et qui faisait tourner la Terre autour de lui illustre les difficultés qu'un paradigme peut rencontrer avant de s'imposer.

Il est dans l'ordre des choses que la proposition d'une nouveauté divise les communautés scientifiques en 3 camps distincts : d'un côté ceux qui s'opposent à la nouveauté systématiquement car la démarche de leur esprit est conservatrice ; de l'autre ceux qui s'enflamment pour la nouveauté presque tout aussi systématiquement car ils s'identifient comme progressistes. Le troisième camp, médian, est constitué de ceux qui n'ont pas d'avis préétabli sur la question. Ils attendent que la poussière de bataille entre les 2 groupes suscités se redépose pour y voir plus clair. Thomas Kuhn en 1962 dans son livre 'la structure des révolutions scientifiques' (66) introduit la notion de changement de paradigme. Avec Erwin Laszlo en 2004 (67) ils expliquent qu'un paradigme en cours, accepté par une communauté scientifique, ne tombe en aucun cas sous les coups d'une seule et unique remise en question. Il faut un amas de remises en question avant qu'il ne vacille et ne cède la place à un autre paradigme qui aura fait dans l'intervalle son chemin dans les cœurs.

L'acceptation d'un nouveau paradigme peut donc nécessiter plusieurs années avant de s'imposer,

Brånemark et ses collègues pourront aisément en témoigner. Il sera intéressant de suivre le parcours de ce nouveau concept et de mesurer le temps qu'il lui faudra avant de devenir communément admis, s'il y réussit.

## VI. Conclusion

Les différentes études que nous avons identifiées en rapport avec l'intégration minérale proviennent d'expérimentations animales antérieures, d'une analyse sur une racine humaine et d'expérimentations *in vitro*. Elles vont toutes dans la même direction. L'étude du corpus histologique recueilli dans ce travail de compilation n'apporte pas de contre-indication à la pose d'implants trans-corono-radicaux. En effet, elle montre que les interfaces implantaires autres qu'osseuses n'induisent pas de réactions inflammatoires ou délétères et que la stabilité clinique des implants est à attribuer à des réactions biologiques aux interfaces et non pas à un ancrage biomécanique.

Les auteurs de ce protocole avaient donc raison lorsqu'ils soutenaient avoir trouvé des appuis à leur démarche clinique dans la littérature expérimentale, sous la forme d'un faisceau consistant d'indications. En soutien supplémentaire, nous avons trouvé d'autres études qu'ils n'avaient pas citées ou dont ils n'avaient pas eues encore connaissance. La question intrigante du silence clinique suite à une effraction de la chambre pulpaire n'a pas été résolue mais des pistes cohérentes ont été tracées.

La littérature à disposition nous a fait apparaître que le néologisme de l'Intégration minérale introduit par les auteurs était effectivement devenu une nécessité conceptuelle. En effet, il leur fallait déverrouiller le concept de l'Ostéointégration car il cantonne les esprits dans l'exclusivité de l'interface os-implant et exclut les autres interfaces que nous avons vues décrites dans la littérature histologique. Il sera intéressant de suivre l'essor de ce concept, de ce néologisme et de ce protocole encore non-conventionnel car à l'instar de chaque grande évolution en dentisterie, les réticences sont présentes et compréhensibles. Le passage de l'Ostéointégration à l'Intégration minérale risque de prendre un certain temps car la communauté scientifique est face à des problèmes d'ordre conceptuels et paradigmatiques.

D'un point de vue plus clinique, nous avons pu recenser 86 implants en France et dans les pays limitrophes posés suivant ce protocole et les résultats sont excellents. Bien que non-conventionnel, certains experts auprès de la cour de Paris s'y sont eux-mêmes risqués avec succès (Dr Missika P)(68). Le protocole de l'implantation trans-corono-radicaux ne fait pas partie de la médecine par la preuve (evidence based medicine), c'est pourquoi il ne peut être appliqué de manière routinière par tous. D'un point de vue médico-légal, l'implantologiste doit s'assurer des prérequis cliniques et médico-légaux avant d'exécuter l'acte implantaire. Le patient doit refuser le traitement conventionnel de sa situation, l'indication du traitement implantaire doit être posée et le patient doit avoir reçu toute l'information nécessaire avant de prendre sa décision et signer un consentement éclairé spécifique. Avant de s'y frotter, l'implantologiste doit être capable d'identifier les complications possibles, d'avoir les épaules assez larges pour gérer les complications qui

viendraient à se présenter.

Enfin terminons par dire que seules des études animales dédiées et une documentation clinique abondante et à long terme pourront avoir raison des réticences de la communauté scientifique. Ces dernières pourront confirmer la reproductibilité de cette technique, en définir les limites et les recommandations. Les implications seraient alors chirurgicales pour les dizaines de milliers de patients concernés de par le monde par cette indication mais aussi esthétiques pour un plus grand nombre encore ainsi que Hürzeler et coll. en 2010 (28) nous l'ont fait découvrir.

## VII. Bibliographie

- 1) Albrektsson T. Direct bone anchorage of oral implants : clinical and experimental considerations of the concept of osseointegration. 1990; 3: 30-41.
- 2) Davarpanah M, Szmukler-Moncler S. Unconventional implant treatment. II. Implant placed through impacted teeth. 3 case reports. *Int J Periodontics Restorative Dent* 2009a; 29: 405-413.
- 3) Szmukler-Moncler S, Davarpanah M, Davarpanah K, Rajzbaum P, Demurashvili G, De Corbière S. Mise en place d'implants au contact de tissu autre qu'osseux. L'intégration minérale, esquisse d'une possible évolution de paradigme en implantologie. *Manuel d'implantologie clinique*. 3<sup>e</sup> Edition. Concepts, intégration des concepts et esquisse de nouveaux paradigmes. 2012, Editions CdP, Paris
- 4) Davarpanah M, Szmukler-Moncler S, Davarpanah K, Rajzbaum P, de Corbière S, Capelle-Ouadah N, Demurashvili G. Unconventional transradicular implant placement to avoid invasive surgeries: toward a potential paradigm shift. *Rev Stomatol Chir Maxillofac* 2012; 113: 335-349
- 5) Szmukler-Moncler S, Davarpanah K, Davarpanah M, Rajzbaum P, Capelle-Ouadah N, Demurashvili G. Implants in contact with tissues other than bone. Is there room for a potential paradigm shift? *Swiss Dental J* 2014; 124:1 49-156
- 6) Szmukler-Moncler S, Davarpanah K, Davarpanah M, Rajzbaum P, Capelle-Ouadah N, Demurashvili G. Implants in contact with tissues other than bone. Is there room for a potential paradigm shift? *Swiss Dental J* 2014; 124: 49–164
- 7) Davarpanah M, Szmukler-Moncler S. Unconventional implant treatment. I. Implant placement in contact with ankylosed root fragments. A series of 5 case reports. *Clin Oral Implants Res* 2009b; 20: 851-856
- 8) Szmukler-Moncler S, Davarpanah M. Reliability of the rootimplant interface in unconventionally placed implants: an up to 6-year follow-up of 23 implants covering 3 distinct clinical applications. *Clin Oral Implants Res* 2009; 20:814
- 9) Szmukler-Moncler, S., Davarpanah, M., Davarpanah, K., Capelle-Ouadah, N., Demurashvili, G. and Rajzbaum, P. Unconventional Implant Placement Part III: Implant Placement Encroaching upon Residual Roots – A Report of Six Cases. *Clin Implant Dent Relat Res* 2014 Jul 17
- 10) Dachi S, Howell F. A survey of 3,874 routine full-mouth radiographs: II. A study of impacted teeth. 1961; 14(10): 1165–1169
- 11) Hitchin A D. The impacted maxillary canine. *British Dental Journal* 1956; 100: 1-14
- 12) Rayne J. The unerupted maxillary canine. *Dental Practitioner and Dental Record* 1964; 19: 194-204
- 13) Thilander B, Myrberg N The prevalence of malocclusion in Swedish school children. *J Dent Res*, 1973; 81: 12-20
- 14) Ericson S, Kurol J. Early treatment of palatally erupting maxillary canines by extraction of the primary canines. *Eur J Orthod* 1988; 10(4): 283-295

- 15) Gunduz K, Peruze C. The incidence of impacted transmigrant canines: a retrospective study. *Oral Radiology* 2010; 26: 77-81
- 16) Sanu O, Adeyemi T. Incidence of impacted mandibular canine and associated pathologies in an orthodontic patient population in Lagos, Nigeria. *Nig Q J Hosp Med* 2012; 22(4):291-295
- 17) Yavuz M S, Aras M H, Büyükkurt M C, Tozugu S. Impacted mandibular canines. *J Contemp Dent Pract.* 2007; 8: 78–85
- 18) Crescini A, Nieri M. Orthodontic and periodontal outcomes of treated impacted maxillary canines. *Angle orthod.* 2007; 77: 571–577
- 19) Lallam-Laroy C, Dridi S. La désinclusion des canines maxillaires retenues : une chirurgie parodontale orthodontique essentielle. *AOS* 2008; 244: 345-354
- 20) Zerouaoui M., Bahije L., Mise en place orthodontico-chirurgicale des canines incluses : moyens de prévisions des échecs. *AOS* 2012; 260: 313-325
- 21) Garcia. Ankylosis of impacted canines : A retrospective post-surgical study. *International Orthodontics* 2013; 11: 422-431
- 22) Becker A, Gavriel C., Analysis of failure in the treatment of impacted maxillary canines. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2010; 137: 743-54
- 23) Becker A., Chauschu S. Success rate and duration of orthodontic treatment for adult patients with palatally impacted maxillary canines. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2003; 124: 509-14
- 24) Mazor Z, Peleg M, Redlich M: Immediate placement of implants in extraction sites of maxillary impacted canines. *J Am Dent Assoc* 1999; 30: 1767–1770
- 25) Cardaropoli D, Debernardi C, Cardaropoli G: Immediate placement of implant into impacted maxillary canine extraction socket. *Int J Periodontics Restorative Dent* 2007; 27: 71–77
- 26) Peñarrocha M, Peñarrocha M, Extraction of Impacted Maxillary Canines With Simultaneous Implant Placement. *J Oral Maxillofac Surg* 2007; 65: 2336-2339
- 27) Garcia B, Boronat A. Immediate implants after the removal of maxillary impacted canines: a clinical series of nine patients. *Int J Oral Maxillofac Imp* 2009; 24(2): 348-352
- 28) Hürzeler M B, Zuhr O, Schupbach P, Rebele S F, Emmanouilidis N, Fickl S: The socket-shield technique: a proof-of-principle report. *J Clin Periodontol* 2010; 37: 855–862
- 29) Srinivasan M, Vazquez L, Rieder P, Moraguez O, Bernard J-P, Belser UC. Survival rates of short (6 mm) micro-rough surface implants: a meta-analysis. *Clin. Oral Impl. Res.* 2014; 25, 539–545
- 30) Buser D, Warrer K, Karring T, Stich H: Titanium implants with a true periodontal ligament: An alternative to osseointegrated implants? *Int J Oral Maxillofac Implants* 1990a; 5: 113–116
- 31) Buser D, Warrer K, Karring T. Formation of a periodontal ligament around titanium implants. *J Periodontol* 1990b; 61: 597–601
- 32) Warrer K, Karring T, Gotfredsen K: Periodontal ligament formation around different types of dental titanium implants. I. The self-tapping screw type implant system. *J Periodontol* 1993; 64: 29–34
- 33) Parlar A, Bosshardt D D, Unsal B, Cetiner D, Haytaç C, Lang N P. New formation of periodontal tissues around titanium implants in a novel dentin chamber model. *Clin Oral Implants Res* 2005;

16: 259–267

- 34) Gray J L, Vernino A R: The interface between retained roots and dental implants. A histologic study in baboons. *J Periodontol* 2004; 75: 1102–1106
- 35) Schwarz F, Mihatovic I, Golubovic V, Becker J. Dentointegration of a titanium implant : a case report. *Oral and Maxillofacial Surgery* 2013; 17: 235-241
- 36) Guarnieri R, Giardino R. Cementum formation around a titanium implant: a case report. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 2002; 17(5): 729-32
- 37) Bäumer D, Zuhr O. The Socket-Shield Technique: First Histological, Clinical, and Volumetrical Observations after Separation of the Buccal Tooth Segment - A Pilot Study. *Clin Implant Dent Relat Res.* 2013 Apr 30
- 38) Costa A, Raffaini M, Melsen B. Miniscrews as orthodontic anchorage : a preliminary report. *Int J Adult Orthodont Orthognath Surg* 1998; 13: 201-209
- 39) Renjen R, Maganzini A L, Rohrer M D, Prasad H S, Kraut R A Root and pulp response after intentional injury from miniscrew placement. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 2009; 136: 708–714
- 40) Hembree M, Buschang P H, Carrilo R, Spears R, Rossouw P E Effects of intentional damage of the roots and surrounding structures with miniscrew implants. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 2009;135: 280.e1–280.e9
- 41) Asscherickx K, Vannet B V, Wehrbein H, Sabzevar M M. Success rate of miniscrews relative to their position to adjacent roots. *European Journal of Orthodontics* 2008; 30: 330–335
- 42) Jahangari L, Hessamfar R, Ricci J L. Partial generation of periodontal ligament on endosseous dental implants in dogs. *Clinical Oral Implants Research* 2005; 16: 396-401
- 43) Rinaldi J C, Arana-Chavez V E. Ultrastructure of the interface between periodontal tissues and titanium mini-Implants. *Angle Orthodontics* 2010; 80: 459–465
- 44) Kim H, Kim T W Histologic evaluation of root-surface healing after root contact or approximation during placement of mini-implants. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 2011; 139: 752–760
- 45) Ellis E III, Cox C F, Hitchcock R, Baker J: Vital apicoectomy of the teeth: a 1–4 week histopathological study in *Macaca mulatta*. *J Oral Pathol* 1985; 14: 718–732
- 46) Hitchcock R, Ellis E III, Cox C F. Intentional vital root transection: a 52-week histopathologic study in *Macaca mulatta*. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1985; 60: 2–14
- 47) Nanda R. Legan H. Pulpal and radicular response to maxillary osteotomy in monkeys. *Oral Surg* 1982; 53 : 624-635
- 48) Morris, M. L. The implantation of decalcified human dentin and cementum into the subcutaneous tissues of the rat. *J Periodontol Res* 1967; 2: 273–281
- 49) Alton A. Irwin W., Human Bone Induction by Allogeneic Dentin Matrix, *J Periodontol* 1972; 43: 459-467
- 50) Andersson L. Dentin xenografts to experimental bone defects in rabbit tibia are ankylosed and undergo osseous replacement. *Dental Traumatology* 2010; 26: 398–402

- 51) Nampo T. A New Method for Alveolar Bone Repair Using Extracted Teeth for the Graft Material *J Periodontol* 2010; 81: 1264-1272
- 52) Kim Y-K, Bone graft materials using teeth. *J Korean Assoc Oral Maxillofac Surg* 2013; 38: 134-8
- 53) Murata M, Akazawa T. human dentin as novel biomaterial for bone generation regeneration ; *Biomaterials Physics and chemistry. Editions Intech* 2011
- 54) Piattelli Formation of Dental Hard Tissues and Periodontal Ligament Around Titanium Implants After Tooth-Bud Injury: A Pilot Study. *Int J Oral Maxillofac Implants* 1994; 9: 417-421
- 55) Takata T, Katauchi K, Akagawa Y, Nikai H. New connective tissue attachment formation on various biomaterials implanted in roots. *Int J Oral Maxillofac Implants* 1994; 9: 77-84
- 56) Choi BH. Periodontal ligament formation around titanium implants using cultured periodontal ligament cells: A pilot study. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2000;15:193-6
- 57) Akira M, Effect of remaining periodontal ligament on the healing up of the implant placement. *International symposium of Maxillofacial & Oral Biology in Okayama* 2005
- 58) Marei MK, Saad MM, El-Ashwah AM, Ei-Backly RM, Al-Khodary MA. Experimental formation of periodontal structure around titanium implants utilizing bone marrow mesenchymal stem cells: A pilot study. *J Oral Implantol* 2009; 35: 106-29
- 59) Gault P, Black A. Tissue-engineered ligament implant constructs for tooth replacement. *J Clin Periodontol* 2010; 37: 750–758
- 60) Lin Y., Gallucci Y.O, Bioengineered Periodontal Tissue Formed on Titanium Dental Implants *J Dent Res* 2011;90(2):251-256
- 61) Kano T, Yamamoto R. Regeneration of Periodontal Ligament for Apatite-coated Tooth-shaped Titanium Implants with and without Occlusion Using Rat Molar Model. *Journal of Hard Tissue Biology* 2012; 21(2): 189-202
- 62) Iqbal M, K. S. An investigation into differential diagnosis of pulp and peri-apical pain : A PennEndo database study. *J Endod* 2007; 33 : 548-551
- 63) Blanco L . Treatment of crown fractures with exposed pulps. *J Calif Dent Assoc* , 2002; 30 : 419-425
- 64) Dao V, Renjen R, Prasad H S, Robrer M D, Maganzini A L, Kraut R A Cementum, pulp, periodontal ligament, and bone response after direct injury with orthodontic anchorage screws: a histomorphologic study in an animal model. *Journal Oral of Maxillofacial Surgery* 2009; 67: 2440–2445
- 65) Brånemark PI, Hansson BO, Adell R. Osseointegrated implants in the treatment of the edentulous jaw. Experience from a 10-year period. *Scand J Plast Reconstr Surg Suppl.* 1977; 16: 1-132
- 66) Kuhn T. *La structure des révolutions scientifiques.* Champs Flammarion. 1962
- 67) Laszlo E. *Science et champ akashique.* Editions Ariane. 2004
- 68) Missika P. Agénésie des canines maxillaires. 22 cas d'école en Implantologie. *Espace ID.* 2013 (5) :42-49

## **Résumé**

La mise en place d'implants trans-corono-radiculaires est un protocole non conventionnel qui permet de traiter de manière non invasive un édentement provoqué par la présence d'une dent incluse. L'objet histologique de cette thèse était de vérifier si la stabilité clinique correspondait à une réaction tissulaire menant à une intégration biologique ou à une simple intégration mécanique. Cette thèse montre que les nouvelles interfaces implantaire autres qu'osseuse n'induisent pas de réactions inflammatoires ou délétères et que la stabilité clinique des implants est à attribuer à des réactions biologiques aux interfaces et non pas à un ancrage biomécanique. Devant cette nouvelle réalité, il convient de rendre compte de leur existence. Créer un néologisme devient alors nécessaire. Le concept d'Intégration minérale déverrouille le concept d'Ostéointégration et le fait accéder de manière plus globale à l'ensemble des tissus minéralisés de la dent.