HAL
open science

Les bonnes pratiques en radiologie conventionnelle intra-orale. Enquête réalisée au service d'odontologie du CHRU de Nancy

Alexandre Baudet

To cite this version:

Alexandre Baudet. Les bonnes pratiques en radiologie conventionnelle intra-orale. Enquête réalisée au service d'odontologie du CHRU de Nancy. Sciences du Vivant [q-bio]. 2015. hal-01731708

HAL Id: hal-01731708

https://hal.univ-lorraine.fr/hal-01731708

Submitted on 14 Mar 2018

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 LORRAINE

AVERTISSEMENT

Ce document est le fruit d'un long travail approuvé par le jury de soutenance et mis à disposition de l'ensemble de la communauté universitaire élargie.

Il est soumis à la propriété intellectuelle de l'auteur. Ceci implique une obligation de citation et de référencement lors de l'utilisation de ce document.

D'autre part, toute contrefaçon, plagiat, reproduction illicite encourt une poursuite pénale.

Contact : ddoc-thesesexercice-contact@univ-lorraine.fr

LIENS

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 122. 4
Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 335.2- L 335.10
http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg_droi.php
http://www.culture.gouv.fr/culture/infos-pratiques/droits/protection.htm

ACADEMIE DE NANCY-METZ

UNIVERSITE DE LORRAINE
FACULTE D'ODONTOLOGIE

Année 2015 N° 7019

THESE

pour le

DIPLOME D'ETAT DE DOCTEUR
EN CHIRURGIE DENTAIRE

par

Alexandre BAUDET
Né le 22 janvier 1991 à Dole (Jura)

LES BONNES PRATIQUES EN RADIOLOGIE CONVENTIONNELLE INTRA-ORALE

ENQUETE REALISEE AU SERVICE D'ODONTOLOGIE DU CHRU DE NANCY.

Présentée et soutenue publiquement le
Lundi 05 octobre 2015

Examinateurs de la Thèse :

Pr J.M. MARTRETTE	Professeur des Universités	Président
Pr C. STRAZIELLE	Professeur des Universités	Juge
Dr C. CLEMENT	Maître de Conférences des Universités	Juge
Dr K. YASUKAWA	Maître de Conférences des Universités	Juge

UNIVERSITÉ DE LORRAINE

Faculté d'Odontologie

Président : Professeur Pierre MUTZENHARDT ***Doyen : Professeur Jean-Marc MARTRETTE***

Vice-Doyens : Pr Pascal AMBROSINI — Dr Céline CLEMENT

Membres Honoraires : Dr L. BABEL – Pr. S. DURIVAUX – Pr A. FONTAINE – Pr G. JACQUART – Pr D. ROZENCWEIG - Pr M. VIVIER – Pr ARTIS -

Doyen Honoraire : Pr J. VADOT, Pr J.P. LOUIS

Professeur Emérite : Pr J.P. LOUIS

Maître de conférences CUM MERITO : Dr C. ARCHIEN

Sous-section 56-01 Odontologie pédiatrique	Mme Mme M. Mlle Mlle M.	**DROZ Dominique (Desprez)** JAGER Stéphanie PREVOST Jacques HERNANDEZ Magali LAUVRAY Alice MERCIER Thomas		Maître de Conférences * Maître de Conférences * Maitre de Conférences Assistante * Assistante Assistant *
Sous-section 56-02 Orthopédie Dento-Faciale	Mme M. Mlle Mlle	**FILLEUL Marie Pierryle** EGLOFF Benoît BLAISE Claire LACHAUX Marion		Professeur des Universités * Maître de Conférences * Assistante Assistante
Sous-section 56-03 Prévention, Epidémiologie, Economie de la Santé, Odontologie légale	Mme M. Mme	**CLEMENT Céline** CAMELOT Frédéric LACZNY Emily		Maître de Conférences * Assistant * Assistante
Sous-section 57-01 Parodontologie	M. Mme M. M. Mlle Mlle	**AMBROSINI Pascal** BISSON Catherine JOSEPH David PENAUD Jacques BÖLÖNI Eszter PAOLI Nathalie		Professeur des Universités * Maître de Conférences * Maître de Conférences * Maître de Conférences Assistante Assistante *
Sous-section 57-02 Chirurgie Buccale, Pathologie et Thérapeutique Anesthésiologie et Réanimation	Mme M. Mlle Mlle M. Mlle M.	**GUILLET-THIBAULT Julie** BRAVETTI Pierre PHULPIN Bérengère BALZARINI Charlotte DELAITRE Bruno KICHENBRAND Charlène MASCHINO François		Maître de Conférences * Maître de Conférences Maître de Conférences * Assistante Assistant Assistante * Assistant
Sous-section 57-03 Sciences Biologiques (Biochimie, Immunologie, Histologie, Embryologie, génétique, Anatomie pathologique, Bactériologie, Pharmacologie)	M. M.	**YASUKAWA Kazutoyo** MARTRETTE Jean-Marc		Maître de Conférences * Professeur des Universités *
Sous-section 58-01 Odontologie Conservatrice, Endodontie	M. M. M. M. M. Mlle M.	**MORTIER Éric** AMORY Christophe BALTHAZARD Rémy ENGELS-DEUTSCH Marc BON Gautier MUNARO Perrine VINCENT Marin		Maître de Conférences * Maître de Conférences Maître de Conférences * Maître de Conférences Assistant Assistante Assistant *
Sous-section 58-02 Prothèses (Prothèse conjointe, Prothèse adjointe partielle, Prothèse complète, Prothèse maxillo-faciale)	M. M. Mme Mme M. M. M. Mlle	**DE MARCH Pascal** SCHOUVER Jacques VAILLANT Anne-Sophie CORNE Pascale HIRTZ Pierre LACZNY Sébastien MAGNIN Gilles SIMON Doriane		Maître de Conférences Maître de Conférences Maître de Conférences * Assistante * Assistant * Assistant Assistant Assistante
Sous-section 58-03 Sciences Anatomiques et Physiologiques Occlusodontiques, Biomatériaux, Biophysique, Radiologie	Mme Mme M. M.	**STRAZIELLE Catherine** MOBY Vanessa (Stutzmann) SALOMON Jean-Pierre HARLE Guillaume		Professeur des Universités * Maître de Conférences * Maître de Conférences Assistant Associé

Souligné : ***responsable de la sous-section*** * temps plein

Mis à jour le 01.09.2015

A NOTRE PRESIDENT DE THESE

Monsieur le Professeur Jean-Marc MARTRETTE,

Docteur en Chirurgie Dentaire
Docteur en Sciences Pharmacologiques
Professeur des Universités - Praticien Hospitalier
Doyen de la Faculté d'Odontologie de Nancy
Chef de Service du CSERD de Nancy
Habilité à diriger des Recherches
Sous-section : Sciences Biologiques (Biochimie, Immunologie, Histologie, Embryologie, Génétique, Anatomie pathologique, Bactériologie, Pharmacologie)

Vous nous faites le grand honneur de présider le jury de notre thèse.

Pour votre dévouement et votre investissement au sein de la Faculté en tant que doyen et au sein du CSERD en tant que chef de service, veuillez trouver ici l'assurance de notre profond respect.

Soyez assuré de notre sincère reconnaissance et de notre profonde considération.

A NOTRE JUGE ET DIRECTRICE DE THESE

Mademoiselle le Professeur Catherine STRAZIELLE,

Docteur en Chirurgie Dentaire
Docteur en Neurosciences
Professeur des Universités - Praticien Hospitalier
Habilitée à diriger des Recherches
Responsable de la sous-section : Sciences Anatomiques et Physiologiques, Occlusodontiques, Biomatériaux, Biophysique, Radiologie

Nous vous remercions d'avoir accepté de diriger notre thèse. Votre enseignement nous a aiguillés dans le domaine de la Radioprotection pour le choix de notre sujet de thèse.

Pour l'aide que vous nous avez apportée, notamment dans la partie statistique de notre étude, veuillez recevoir nos sincères remerciements.

Soyez assurée de notre considération pleine et entière pour la confiance que vous nous avez témoignée, pour votre extrême gentillesse, votre disponibilité et votre écoute attentive.

A NOTRE JUGE

Madame le Docteur Céline CLEMENT,

Docteur en Chirurgie Dentaire
Docteur de l'Université de Lorraine
Maître de Conférences des Universités - Praticien Hospitalier
Vice-Doyen en charge de la pédagogie
Responsable de la sous-section : Prévention, Epidémiologie, Economie de la Santé, Odontologie Légale

Vous nous faites le grand honneur de juger notre travail.

Pour vos qualités pédagogiques et humaines et pour votre confiance durant notre stage hospitalier au Secteur Accueil-Santé, veuillez recevoir nos sincères remerciements.

Soyez assurée de notre sincère reconnaissance et de notre profond respect.

A NOTRE JUGE

Monsieur le Docteur Kazutoyo YASUKAWA,

Docteur en Chirurgie Dentaire
Docteur en Sciences de la Vie et de la Santé
Maître de Conférences des Universités - Praticien Hospitalier
Responsable de la sous-section : Sciences Biologiques (Biochimie, Immunologie, Histologie, Embryologie, Génétique, Anatomie pathologique, Bactériologie, Pharmacologie)

Vous nous faites le grand honneur de juger notre travail.

Pour votre confiance, votre bienveillance et pour tout le temps passé en votre compagnie, veuillez recevoir notre affection. C'est avec grand plaisir que nous avons travaillé avec vous au Secteur Accueil-Santé cette année.

Soyez assuré de notre profonde considération et de notre sincère amitié.

Aux P'tits Loups,

Ces années d'études passées à vos côtés seront pour toujours gravées dans mon cœur. Merci pour votre présence réconfortante et pour tous les bons moments passés ensemble.

Dédicaces spéciales aux dentaires : à David pour le fameux brame du cerf des Vosges, à Camille pour les succulentes dégustations des schnaps du pays de Bitche, à Margaux pour les merveilleux week-ends à Gérardmer, à Mélanie pour toutes les passionnantes parties de jeux de société, à Chloé pour les sympathiques soirées de dance et à Romain pour l'inoubliable : « Jamais Baudet ! C'est la liberté de la presse ! ».

Dédicaces spéciales aux "pièces rapportées" : à Elodie pour mon magnifique cabinet dentaire miniature, à Max pour le spectaculaire lancé de couche, à Ben pour mes splendides fonds d'écrans, à Greg pour l'épique bataille dans la neige, à Jon pour ses surprenantes navettes et à Hugo, le premier bébé des P'tits Loups.

A ma famille,

Je suis heureux de vous savoir à mes côtés et vous remercie pour tous les moments, bons comme moins bons, passés à vos côtés.

Pensées particulières à mes parents pour leur soutien, leurs valeurs, et sans qui je n'en serai pas là aujourd'hui. A mes grandes sœurs, beaux frères, neveux et nièces que j'aime tant et dont la présence me ravie à chaque fois.

Maintenant que mes études se terminent et que je retourne dans le Jura, j'espère vous voir bien davantage.

A toute l'équipe enseignante de la Faculté et du CHRU de Nancy,

Merci pour l'accompagnement et l'enseignement prodigués.

Un merci tout particulier à Rémy pour m'avoir communiqué sa passion de l'endodontie et pour l'aide qu'il m'a apportée cette année, notamment dans l'élaboration de mon poster.

A tous les étudiants en chirurgie dentaire que j'ai côtoyés lors de mes années études,

Merci à mes anciens binômes pour tous les bons moments passés en clinique.

Merci à mes camarades qui ont étés à mes côtés lors de mes différents stages hospitaliers.

Et merci à tous les externes que j'ai épiés et qui ont ainsi intégré l'étude de ma thèse.

A Myrtille,

Pour tous les moments de détente, les ronronnements et le réconfort que m'a apporté cette "coquinette" tout au long de l'année.

Aux musiques, livres, films et séries,

Pour la distraction et les moments d'évasion apportés et sans qui je n'aurais pu tenir le coup cette année.

Sommaire

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

Introduction

1 Les rayons X en cabinet dentaire

2 Radioprotection des patients et des travailleurs

3 Enquête sur les pratiques radiologiques au service d'Odontologie du CHRU de Nancy

Annexes

Bibliographie

Table des matières

Liste des figures

- Figure 1 : Exposition globale du public en mSv pour 2008 (traduit d'après UNSCEAR, 2008) 26
- Figure 2 : Délimitation des zones réglementées (ZR) et spécialement réglementées (ZSR) (ASN, 2013) 28
- Figure 3 : Panneau installé à chacun des accès des zones surveillées du CHRU de Nancy 29
- Figure 4 : Règlement intérieur affiché au CHRU de Nancy 30
- Figure 5 : Plan du box n°1 du SAS au CHRU de Nancy 31
- Figure 6 : Effets des rayonnements ionisants (Gambini et Granier, 2007) 39
- Figure 7 : Relations entre dose et effets cancérigènes (Foucart, 2007) 47
- Figure 8 : Schématisation d'un générateur radiogène (traduit d'après White et Pharoah, 2014) 57
- Figures 9 et 10 : Tube de Coolidge (traduit d'après White et Pharoah, 2014) 57
- Figure 11 : Phénomène de pénombre (traduit d'après Whaites et Drage, 2013) 58
- Figure 12 : Relation entre le temps d'exposition et la dose d'irradiation lorsque la tension et l'intensité sont constantes (60 kVp et 6 mA) (traduit d'après Bhaskaran et al., 2005) 62
- Figure 13 : Graphique illustrant le temps d'exposition d'une molaire maxillaire pour un film argentique et des capteurs ERLM et CCD (traduit d'après Anissi et Geibel, 2014) 63
- Figure 14 : Action de la filtration sur les photons du faisceau de rayons X (traduit d'après Whaites et Drage, 2013) 64
- Figure 15 : Collimateurs circulaire (A) et rectangulaire (B) (traduit d'après White et Pharoah, 2014). 65
- Figures 16 et 17 : Adjonction d'un dispositif collimateur rectangulaire à l'extrémité d'un cône cylindrique (Attal et Kaleka, 2008 ; White et Pharoah, 2014) 66
- Figure 18 : Adaptateur rectangulaire pour cône cylindrique et ses diaphragmes de lumière différente selon la taille du récepteur (ADF, 2007) 67
- Figure 19 : Réduction de la divergence du faisceau de rayons X par adjonction d'un collimateur rectangulaire à l'extrémité du tube radiogène (White et Pharoah, 2014) 67
- Figure 20 : Angulateurs équipés d'un champ métallique rectangulaire (ADF, 2007) 67
- Figure 21 : *Design* ancien (à gauche) et moderne (à droite) d'un générateur radiogène permettant de conserver une distance foyer-récepteur identique avec un cône d'espacement plus court grâce au positionnement de l'ampoule de Coolidge en arrière de la source de courant (Whaites et Drage, 2013) 68

- Figure 22 : Réduction de la divergence du faisceau X par augmentation de la distance foyer-récepteur (White et Pharoah, 2014) 68
- Figure 23 : Nouveau type de générateur (Rouas et Hauret, 2014) 69
- Figure 24 : Générateur mobile (Service d'Odontologie, CHRU Nancy) 70
- Figure 25 : Générateur portatif (Whaites et Drage, 2013) 70
- Figure 26 : Traitements informatiques de l'image numérique par le logiciel DBSWIN® de Dürr Dental présent au service d'Odontologie du CHRU de Nancy (traitement endodontique réalisé par le Dr Balthazard) 75
- Figure 27 : Jauge d'exposition du récepteur affichée lors du développement du capteur ERLM avec le logiciel DBSWIN® de Dürr Dental au service d'Odontologie du CHRU de Nancy (sous-exposition à gauche (barre rouge courte), bonne exposition au centre (barre verte) et sur-exposition à droite (barre rouge longue)) 76
- Figure 28 : Composition d'un capteur CMOS (traduit d'après White et Pharoah, 2014)78
- Figure 29 : Capteur solide avec et sans doigtier en latex (Courtoisie Dr Barone) 79
- Figure 30 : Les différentes tailles de capteurs ERLM (Lasfargues et al., 2008) 80
- Figure 31 : Eléments constituant un angulateur (schéma personnel) 81
- Figure 32 : Porte-récepteur avec collimateur rectangulaire associé (Whaites et Drage, 2013) 82
- Figure 33 : Angulateur XCP® de Dentsply RINN pour secteur postérieur avec capteur ERLM (Service d'Odontologie, CHRU Nancy) 82
- Figure 34 : Portes-capteurs CCD/CMOS pour clichés rétro-alvéolaires postérieurs (verts), antérieurs (oranges), clichés rétro-coronaires (bleu) et dédié à l'Endodontie (rouges). (Courtoisie Dr Barone) 83
- Figure 35 : Portes-capteurs numériques universels XCP-DS FIT® de Dentsply RINN (Courtoisie Dr Barone) 83
- Figure 36 : Angulateurs XCP® de Dentsply RINN (Service d'Odontologie, CHRU Nancy) 83
- Figure 37 : Emmenix® Flap collé sur capteur ERLM pour réaliser un cliché rétro-coronaire (Service d'Odontologie, CHRU Nancy) 84
- Figure 38 : Porte-récepteur universel à usage unique Uni-Grip® 360 de Dentsply RINN (Courtoisie Dr Barone) 84
- Figure 39 : Emmenix® Film Holder de Gager et Werken (Service d'Odontologie, CHRU Nancy) 84
- Figure 40 : Endoray® de Dentsply RINN pour film ou capteur ERLM en secteur postérieur (Courtoisie Dr Balthazard) 85
- Figure 41 : Endoray® de Dentsply RINN, capteur solide en secteur postérieur (Whaites et Drage, 2013) 85

- Figure 42 : Endoray® de Dentsply RINN, capteur solide en secteur antérieur (Whaites et Drage, 2013) 85
- Figure 43 : Radiographie maîtres cônes, sous digue, prise par mes soins avec un angulateur XCP® de Dentsply RINN (visibilité du bloc de morsure légèrement radio-opaque) (Service d'Odontologie, CHRU Nancy) 85
- Figure 44 : Radiographie finale, sous digue, prise par mes soins avec un angulateur XCP® de Dentsply RINN (visibilité du bloc de morsure légèrement radio-opaque) (Service d'Odontologie, CHRU Nancy) 85
- Figure 45 : Schématisation des techniques de la bissectrice (à gauche) et des plans parallèles (à droite) (traduit d'après Jones et al., 2007) 90
- Figure 46 : Schématisation de la technique de la bissectrice (modifié et traduit d'après Whaites et Drage, 2013) 90
- Figure 47 : Portes-récepteurs pour technique de la bissectrice (Whaites et Drage, 2013) 91
- Figure 48 : Technique de la bissectrice avec un bloc de morsure Rinn Greene Stabe® (Whaites et Drage, 2013) 91
- Figure 49 : Technique de la bissectrice avec film maintenu par l'index de la patiente (Whaites et Drage, 2013) 91
- Figure 50 : Erreurs d'angulation du tube conduisant à la distorsion de l'image (modifié et traduit d'après Whaites et Drage, 2013) 91
- Figure 51 : Schématisation de la technique des plans parallèles (Whaites et Drage, 2013) 92
- Figure 52 : Technique des plans parallèles au maxillaire (Whaites et Drage, 2013) 92
- Figure 53 : Technique des plans parallèles à la mandibule (Whaites et Drage, 2013) ... 92
- Figure 54 : Angulation verticale au maxillaire (Fava et Dummer, 1997) 94
- Figure 55 : Schématisation d'un cliché orthogonal puis excentré à 20° (modifié d'après Arbab-Chirani et Diemer, 2010) 94
- Figure 56 : Projections des canaux endodontiques sur le récepteur avec diverses angulations horizontales (Fava et Dummer, 1997) 94
- Figure 57 : Images d'incidence orthogonale puis excentrées à 10 et 20° (Arbab-Chirani et Diemer, 2010) 94
- Figures 58 et 59 : Schématisation d'un mordu maxillaire orthocentré (Whaites et Drage, 2013) 95
- Figure 60 : Mordu maxillaire orthocentré chez l'adulte avec film occlusal 57 × 76 mm et angulation verticale de 45° (White et Pharoah, 2014) 96
- Figure 61 : Mordu maxillaire orthocentré chez l'adulte avec film occlusal 57 × 76 mm et angulation verticale de 65° (White et Pharoah, 2014) 96

- Figure 62 : Mordu maxillaire orthocentré chez l'enfant avec récepteur standard 3 × 4 cm (Service d'Odontologie, CHRU Nancy) 96
- Figures 63 et 64 : Schématisation d'un mordu mandibulaire orthocentré (Whaites et Drage, 2013) 96
- Figure 65 : Mordu mandibulaire orthocentré avec angulation verticale de 90° (White et Pharoah, 2014) 96
- Figures 66 et 67 : Schématisation d'un mordu mandibulaire centré (Whaites et Drage, 2013) 97
- Figure 68 : Mordu mandibulaire centré avec angulation verticale de 45° (White et Pharoah, 2014) 97
- Figures 69 et 70 : Schématisation d'un mordu maxillaire dysocclusal (Whaites et Drage, 2013) 97
- Figure 71 : Mordu maxillaire dysocclusal (Cavézian et Pasquet, 2005) 97
- Figures 72 et 73 : Schématisation d'un mordu mandibulaire dysocclusal (Whaites et Drage, 2013) 98
- Figure 74 : Mordu mandibulaire dysocclusal (White et Pharoah, 2014) 98
- Figure 75 : Schématisation des sources d'irradiation (schéma personnel) 99
- Figure 76 : Schématisation des rayonnements présents autour du patient (traduit d'après Whaites et Drage, 2013) 100
- Figure 77 : Règles de distance et de positionnement du praticien (inspiré de Foucart, 2007) 101
- Figure 78 : Position à 50 cm (1 à 8) et à 1 m (9 à 16) autour du patient. Les zones vertes indiquent les positions favorables, les zones oranges les positions à éviter et la zone rouge les positions fortement déconseillées (INRS, 2009) 101
- Figure 79 : Plateau sous-mentonnier plombé (Whaites et Drage, 2013) 107
- Figure 80 : Rétro-alvéolaire et rétro-coronaire trop sombres (Whaites et Drage, 2013 ; Commission européenne, 2004) 109
- Figure 81 : Rétro-alvéolaire et rétro-coronaire trop claires (Whaites et Drage, 2013 ; Commission européenne, 2004) 110
- Figure 82 : Images présentant diverses distorsions (Service d'Odontologie, CHRU Nancy) 111
- Figure 83 : Images présentant des dents non visibles en intégralité à cause d'un mauvais positionnement du capteur ERLM (Service d'Odontologie, CHRU Nancy) 111
- Figure 84 : Images présentant des superpositions des dents adjacentes en proximale due à une mauvaise angulation horizontale du tube radiogène (Service d'Odontologie, CHRU Nancy) 111

- Figure 85 : Rétro-alvéolaires présentant un "*cone-cutting*" (Service d'Odontologie, CHRU Nancy)..... 112
- Figure 86 : Film (à gauche) et capteur solide (à droite) placés à l'envers (Whaites et Drage, 2013) 112
- Figure 87 : Images floues dues aux mouvements du patient lors d'une radiographie maître-cône avec capteur ERLM taille 2 sur un enfant de 12 ans et lors d'un cliché rétro-coronaire avec capteur ERLM taille 1 chez un enfant de 4 ans (Service d'Odontologie, CHRU Nancy) 113
- Figure 88 : Superpositions d'images avec capteur ERLM (Service d'Odontologie, CHRU Nancy)..... 113
- Figure 89 : Radiographies avec prothèse amovible à infrastructure métallique laissée en bouche (Service d'Odontologie, CHRU Nancy) 113
- Figure 90 : Détériorations de capteurs ERLM visibles visuellement, radiologiquement puis lors de clichés endobuccaux (Service d'Odontologie, CHRU Nancy) 114
- Figure 91 : Artefact dû à une souillure radio-opaque sur le capteur ERLM (White et Pharoah, 2014) 114
- Figure 92 : Artefacts dus à une pliure (à gauche), une empreinte de doigt (au centre) et des empreintes d'ongles (à droite) sur un film radiographique (Whaites et Drage, 2013) 114
- Figure 93 : Divers problèmes de développement de capteurs ERLM (Service d'Odontologie, CHRU Nancy) 115
- Figure 94 : Doigts d'étudiants en Odontologie visibles sur des images (Service d'Odontologie, CHRU Nancy) 115
- Figure 95 : Risque de malformation et de retard mental (IRSN, 2011a)..... 117
- Figure 96 : Cliché intra-buccal chez un patient sous anesthésie générale (Whaites et Drage, 2013) 123
- Figure 97 : Répartition des clichés radiographiques effectués par service..... 136
- Figure 98 : Répartition des radiographies par classe d'opérateurs 137
- Figure 99 : Répartition des radiographies par classe d'aides-opérateurs..... 138
- Figure 100 : Répartition des clichés observés par catégorie d'âge 139
- Figure 101 : Nombre des radiographies prises en fonction du sexe et de l'âge des patients 139
- Figure 102: Tierce personne présente lors de la prise des clichés radiographiques 141
- Figure 103 : Type de clichés..... 142
- Figure 104 : Secteurs dentaires radiographiés 142
- Figure 105 : Port du dosimètre pour les travailleurs..... 143

- Figure 106 : Réglage du générateur en fonction du grade de l'opérateur..... 144
- Figure 107 : Position des opérateurs..... 145
- Figure 108 : Position des aides-opérateurs 146
- Figure 109 : Position des opérateurs par rapport au faisceau primaire..... 147
- Figure 110 : Position des aides-opérateurs par rapport au faisceau primaire 147
- Figure 111 : Positionnement de la main des opérateurs sur le générateur..... 148
- Figure 112 : Tenue du récepteur en fonction du grade de l'opérateur..... 149
- Figure 113 : Tenue du récepteur en fonction de la catégorie d'âge du patient..... 150
- Figure 114 : Tenue du récepteur en fonction du type de radiographie 151
- Figure 115 : Score de radioprotection de l'opérateur en fonction de son grade..... 152
- Figure 116 : Score de radioprotection de l'opérateur en fonction du type de radiographie 153
- Figure 117 : Score de radioprotection de l'opérateur en fonction de la catégorie d'âge du patient..... 154
- Figure 118 : Score de radioprotection de l'aide-opérateur en fonction de son grade... 155
- Figure 119 : Score de radioprotection de l'aide-opérateur en fonction du type de radiographie 156
- Figure 120 : Score de radioprotection de l'aide-opérateur en fonction de la catégorie d'âge du patient..... 157
- Figure 121 : Scores de radioprotection du patient en fonction de sa catégorie d'âge .. 158
- Figure 122 : Qualité des images en fonction du grade de l'opérateur 159
- Figure 123 : Qualité des images en fonction de la catégorie d'âge du patient 159
- Figure 124 : Qualité des images en fonction du type de radiographie 160
- Figure 125 : Qualité des images en fonction de la technique de tenue du récepteur.... 160
- Figure 126 : Qualité des images en fonction du secteur dentaire radiographié..... 161

Liste des tableaux

- Tableau 1 : Facteur de pondération dépendant de la nature du rayonnement ionisant (Wr) (ADF, 2007) 22
- Tableau 2 : Facteurs de pondération tissulaires (Wt) (adapté de la Directive 2013/59/EURATOM) 23
- Tableau 3 : Doses reçues par différents organes lors de prises de clichés intra-buccaux 24
- Tableau 4 : Paramètres d'exposition et doses à l'entrée d'examens d'imagerie en Odontologie (d'après HAS et al., 2006) 25
- Tableau 5 : Equivalence des risques en radiodiagnostic (adapté de Foucart, 2007) 27
- Tableau 6 : Limites de dose d'exposition des différentes populations (Adapté de : ADF, 2012 ; Circulaire DGT/ASN n°04, 2010 ; ADF, 2007) 33
- Tableau 7 : Résultats dosimétriques des travailleurs en cabinet dentaire en France (d'après IRSN, 2006, 2008a, 2008b, 2009, 2010, 2011b, 2012a et 2013a) 34
- Tableau 8 : Effets déterministes lors d'une exposition globale (Foucart, 2007) 43
- Tableau 9 : Effets déterministes lors d'une exposition partielle (Foucart, 2007) 44
- Tableau 10 : Influence de l'âge sur le risque d'apparition d'effets stochastiques, le risque moyen étant donné pour les sujets de 30 ans (d'après Foucart, 2007 et Commission européenne, 2004) 46
- Tableau 11 : Estimation du risque d'induction d'un cancer létal chez un sujet exposé à divers examens d'imagerie dentaire (Adapté de : ADF, 2007 ; Foucart, 2007 ; Commission européenne, 2004 ; [1] moyenne d'après Vallaeys et Hodez, 2014) 49
- Tableau 12 : Guide des indications de radiologie (d'après HAS et al., 2006 et Commission européenne, 2004) ..... **Erreur ! Signet non défini.**
- Tableau 13 : Facteurs relatifs du temps d'exposition selon la dent à examiner (d'après Attal et Kaleka, 2008) 63
- Tableau 14 : Sensibilité des films (d'après la norme NF EN ISO 3665) 71
- Tableau 15 : Dimensions des films (d'après la norme NF EN ISO 3665) 72
- Tableau 16 : Niveaux d'exposition annuelle (à raison de 2 radiographies par heure pour 2000 heures travaillées par an) d'un praticien avec et sans port du tablier de protection pour 2 générateurs endobuccaux selon sa position (cf figure 78) (INRS, 2009) 101
- Tableau 17 : Epaisseurs relatives de matériaux requises pour la radioprotection (d'après Foucart, 2007 et Commission européenne, 1995) 103
- Tableau 18 : Critères et objectifs de qualité des images (d'après Carmichael, 2005 et NRPB, 2001) 109
- Tableau 19 : Score de radioprotection des travailleurs 134

- Tableau 20 : Score de radioprotection des patients 134
- Tableau 21 : Répartition des fiches d'observation complétées par service..... 136
- Tableau 22 : Coopération et présence d'un réflexe nauséeux selon la catégorie d'âge du patient..... 140
- Tableau 23 : Protections plombées selon la catégorie d'âge du patient..... 140
- Tableau 24 : Niveaux de radioprotection des opérateurs..... 152
- Tableau 25 : Niveaux de radioprotection des aides-opérateurs 155
- Tableau 26 : Qualité des images 158

Liste des abréviations

- AAPD : *American Academy of Pediatric Dentistry*
- ADA : *American Dental Association*
- ADF : Association Dentaire Française
- ADN : Acide DésoxyriboNucléique
- AEN : Agence pour l'Energie Nucléaire
- AHU : Assistant Hospitalo-Universitaire
- AIEA : Agence International de l'Energie Atomique
- ANDEM : Agence Nationale pour le Développement de l'Evaluation Médicale
- ANSM : Agence Nationale de Sécurité du Médicament et des produits de santé
- APS : *Active Pixel Sensor*
- ASN : Autorité de Sûreté Nucléaire
- CAN : Convertisseur Analogique-Numérique
- CBCT : *Cone Beam Computed Tomography*
- CCD : *Charge Coupled Device*
- CDC : *Centers for Disease Control and prevention*
- CECSMO : Certificat d'Études Cliniques Spéciales, Mention Orthodontie
- CHRU : Centre Hospitalier Régional Universitaire
- CMOS : *Complementary metal-oxide silicon*
- DFASO1 : Diplôme de Formation Approfondie en Sciences Odontologiques 1 (étudiant en 4ème année d'Odontologie)
- DFASO2 : Diplôme de Formation Approfondie en Sciences Odontologiques 2 (étudiant en 5ème année d'Odontologie)
- DGSNR : Direction Générale de la Sûreté Nucléaire et de la Radioprotection
- DGT : Direction Générale du Travail
- DTC : Dispositif à Transfert de Charge
- DUPIC : Diplôme Universitaire de Parodontologie et d'Implantologie Clinique
- EPC : Equipements de Protection Collective
- EPI : Equipements de Protection Individuelle
- ERLM : Ecran RadioLuminescent à Mémoire
- EURATOM : *European Atomic Energy Community*

- FDA : *Food and Drug Administration*
- HAS : Haute Autorité de Santé
- ICRP : *International Commission on Radiological Protection*
- INRS : Institut National de Recherche et de Sécurité
- InVS : Institut de Veille Sanitaire
- IRSN : Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire
- LSO : Luminescence Stimulée Optiquement
- MCU-PH : Maître de Conférences des Universités – Praticien Hospitalier
- NRC : *National Research Council of the national academies*
- NRD : Niveau de Référence Diagnostique
- NRPB : *National Radiological Protection Board*
- ODF : Orthopédie Dento-Faciale
- OMS : Organisation Mondiale de la Santé
- ONU : Organisation des Nations Unies
- PCR : Personne Compétente en Radioprotection
- PDS : Produit Dose × Surface
- PSP : *Photo-Stimulable Phosphor*
- PU-PH : Professeur des Universités - Praticien Hospitalier
- QCM : Questionnaire à Choix Multiples
- RPL : Radio-PhotoLuminescence
- RVG : RadioVisioGraphie
- SAS : Secteur Accueil-Santé
- SISERI : Système Information Surveillance Exposition Rayonnements Ionisants
- SMR : Suivi Médical Renforcé
- TCEO1 : Troisième Cycle des Etudes Odontologiques 1 (étudiant en 6ème année d'Odontologie)
- TIB : Téléradiographie Intra-Buccale
- TLD : *ThermoLuminescent Dosimeter*
- UNSCEAR : *United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation*

Introduction

Wilhelm Roentgen découvrit accidentellement les rayons X en décembre 1895 et cela lui vaudra le prix Nobel de physique en 1901. Quelques semaines après l'annonce de cette découverte, le Dr Otto Walkhoff prit, sur lui-même et assisté par le professeur Geisel, la première radiographie dentaire extra-orale avec un temps d'exposition de 25 minutes. Début 1896 le Dr C. Edmund Kells, un dentiste de la nouvelle Orléans, prit la première radiographie intra-orale. Le Dr Kells sera le premier à relever des problèmes associés à l'utilisation des rayons X, il remarque qu'une longue exposition engendre une légère irritation de la peau comparable à un coup de soleil et qui disparait au bout d'un court laps de temps. Après 12 ans d'utilisation de sa machine à rayons X dont il vérifiait, avant chaque radiographie, le bon fonctionnement et le bon réglage en plaçant sa main entre le tube radiogène et le film, il développa une tumeur maligne au niveau de ses doigts (Cavézian et Pasquet, 2005 ; Abbott, 2000). En 1897 à New York, Mlle McDonald subit deux clichés radiographiques dentaires, l'un de 8 minutes et l'autre de 13 minutes de temps d'exposition, quelques jours après, sa peau se couvrit de vésicules puis se desquama au niveau du visage, des épaules, du bras et du sein gauches, ses cheveux tombèrent en larges placards et une de ses oreilles gonfla puis elle perdit l'audition de ce côté (Smith, 1968). Dès 1902, le premier cas de cancer cutané radio-induit fut publié et dans les 5 années qui suivirent 170 lésions furent rapportées, principalement chez les manipulateurs de sources radiologiques (Foucart, 2007). A cette même époque d'autres effets néfastes des rayonnements ionisants furent mis en évidence, des sarcomes osseux chez les travailleurs utilisant de la peinture lumineuse de radium sur les montres, des cancers des poumons chez les mineurs d'uranium, des érythèmes cutanés et des leucémies chez les radiologues (Abbott, 2000).

Suite à cela, les radiologues anglais créèrent en 1921 le premier Comité pour la protection contre les rayons X et le radium. Puis, en 1928, le premier organisme international vit le jour sous le nom de Commission internationale de protection contre les rayons X et le radium (Foucart, 2007). Aujourd'hui, la radioprotection s'organise au niveau international avec notamment la Commission internationale de protection radiologique (ICRP), le Comité scientifique des Nations unies pour l'étude des effets des radiations ionisantes (UNSCEAR), l'Agence international de l'énergie atomique (AIEA), la Communauté européenne de l'énergie atomique (EURATOM) et l'Agence européenne pour l'énergie nucléaire (AEN). Au niveau national, elle est assurée en France avec l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN), l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) et les législations françaises du code de santé publique et du code du travail.

Chaque jour à travers le monde, 10 millions d'examens radiologiques sont réalisés soit 4 milliards par an (Praveen et al., 2013 ; Le Heron et al., 2010). Le nombre d'examens d'imagerie médicale est en constante augmentation (ICRP, 2006), le domaine de l'Odontologie n'étant pas en reste. En 2012, le nombre d'actes d'imagerie diagnostique réalisés en France est estimé à environ 81,8 millions (+ 6% par rapport à 2007) pour une dose efficace moyenne par habitant de 1,6 mSv (+ 20% par rapport à 2007). La radiologie dentaire représente 34% de ces actes avec une progression considérable depuis 2002 (+ 50% d'actes)

pour seulement 0,2% de la dose efficace collective (IRSN, 2014). Malgré l'augmentation fulgurante du nombre de radiographies dentaires prises durant ces 30 dernières années, la dose collective des chirurgiens-dentistes a régulièrement diminué passant de 120 homme-sieverts par an entre 1975 et 1979 à 24 homme-sieverts par an entre 2000 et 2002 (IRSN, 2014). En Odontologie, 90% des actes d'imagerie chez l'adulte sont des clichés endobuccaux. Chez l'enfant, ils représentent respectivement 85% et 80% des actes pour les 5-10 ans et les 10-15 ans (IRSN, 2014). La moyenne haute du nombre de radiographies prises par un dentiste sur un an est de 2000 (ADF, 2012).

Le succès de l'imagerie dentaire est dû au fait qu'elle permet une évaluation anatomique non invasive des éléments squelettiques et dentaires maxillo-faciaux et apporte des informations complémentaires souvent indispensables à la mise en évidence, la caractérisation, l'évaluation et le suivi de pathologies, ainsi qu'à leur traitement (Bonnet et Chauvel, 2014 ; Arbab-Chirani et Diemer, 2010). De plus, elle constitue, avec le dossier médical du patient, un élément médico-légal indispensable (Arbab-Chirani et Diemer, 2010).

Toutefois, la réalisation d'une radiographie n'est pas anodine, elle peut avoir des conséquences sur la santé des personnes exposées (Rouas et Hauret, 2014). Il faudra donc qu'elle soit justifiée par un examen clinique préalable et veiller, par mesure de précaution, à appliquer consciencieusement les mesures de radioprotection lors de sa mise en œuvre. Ce sont ces bonnes pratiques que nous allons étudier à travers cette thèse.

1 Les rayons X en cabinet dentaire

Rappelons tout d'abord que « l'emploi des rayonnements ionisants sur le corps humain est réservé aux médecins et chirurgiens-dentistes réunissant les qualifications prévues » (Code de santé publique, art. R1333-67). Les assistantes dentaires ne peuvent pas réaliser de radiographies. Elles peuvent, toutefois, installer et préparer le patient puis prérégler les paramètres d'acquisition (ADF, 2012). Comme pour tout acte médical, le praticien a un devoir d'information du patient ou de son représentant légal. Avant de réaliser un acte d'imagerie, il devra l'informer des risques potentiels et des bénéfices attendus (Directive 2013/59/EURATOM, art. 57 ; ADF, 2007 ; Commission européenne, 2004) puis obtenir le consentement éclairé verbal du patient (ADF, 2007 ; Foucart, 2007 ; Commission européenne, 2004).

Le radiodiagnostic dentaire comprend des examens endobuccaux (clichés rétro-alvéolaires, rétro-coronaires et occlusaux) et exobuccaux (clichés exobuccaux, radiographies panoramiques, téléradiographies et tomographies). Il conduit à une exposition externe, partielle et hétérogène du patient (Wambersie, 1991) à des rayons X qui sont des rayonnements électromagnétiques ionisants car susceptibles de produire des ions en arrachant des électrons à la matière (White et Pharoah, 2014 ; Ammerich, 2013 ; Directive 2013/59/EURATOM ; Praveen et al., 2013 ; Cordoliani et Foehrenbach, 2008 ; ADF, 2007 ; Foucart, 2007 ; Gambini et Granier, 2007 ; NRC, 2006 ; Cavézian et Pasquet, 2005).

1.1 Dosimétrie

1.1.1 Grandeurs dosimétriques

Afin de mieux appréhender la suite de cette thèse, il est nécessaire de rappeler un certain nombre de définitions de dosimétrie.

La dose absorbée (D) correspond au quotient de l'énergie délivrée divisée par la masse de tissu irradié. C'est une grandeur mesurable qui s'exprime en gray (Gy), unité correspondante à un joule par kilogramme (J/kg). Anciennement son unité était le rad (*radiation absorbed dose*), avec 1 Gy = 100 rad. La dose absorbée caractérise une irradiation et mesure son importance, c'est une référence essentielle en radiologie et en radioprotection car l'effet d'une irradiation est proportionnel à l'énergie communiquée par le rayonnement à la masse de tissu irradié (White et Pharoah, 2014 ; Directive 2013/59/EURATOM, art. 4 ; Whaites et Drage, 2013 ; Okano et Sur, 2010 ; Cordoliani et Foehrenbach, 2008 ; ADF, 2007 ; Foucart, 2007 ; Gambini et Granier, 2007 ; ICRP, 2007a ; Jones et al., 2007 ; NRC, 2006 ; Cavézian et Pasquet, 2005 ; Cordoliani, 2005 ; Wambersie, 1991). La dose absorbée est utilisée pour les effets déterministes (Ammerich, 2013).

La dose équivalente (H) est égale au produit de la dose absorbée (D) dans un organe multipliée par un facteur de pondération dépendant de la nature du rayonnement ionisant (Wr) (tableau 1). Elle ne se mesure pas mais se calcule et s'exprime en sievert (Sv) qui correspond aussi à un joule par kilogramme puisque le facteur de pondération n'a pas d'unité.

Anciennement, son unité était le rem (*roentgen equivalent man*), tel que 1 Sv = 100 rem. En radioprotection, elle permet de calculer le risque qui, à dose absorbée égale, ne sera pas le même selon la nocivité du type de rayonnement. On notera qu'en radiologie dentaire la dose équivalente est numériquement égale à la dose absorbée puisque le facteur de pondération des rayons X est égal à 1 (White et Pharoah, 2014 ; Ammerich, 2013 ; Directive 2013/59/EURATOM, art. 4 ; Whaites et Drage, 2013 ; Okano et Sur, 2010 ; Cordoliani et Foehrenbach, 2008 ; ADF, 2007 ; Foucart, 2007 ; Gambini et Granier, 2007 ; ICRP, 2007a ; Jones et al., 2007 ; NRC, 2006 ; Cavézian et Pasquet, 2005 ; Cordoliani, 2005 ; Wambersie, 1991).

Rayonnement		Facteur de qualité (coef. de pondération - W_R)
Rayons X		1
Rayons γ		1
Particules β		1
Protons		10
Neutrons	Neutrons lents	5
	Neutrons rapides	10 à 20
Particules α et fragments de fission		20

Tableau 1 : Facteur de pondération dépendant de la nature du rayonnement ionisant (Wr) (ADF, 2007)

La dose efficace (E) est égale à la somme de toutes les doses équivalentes (H) reçues par chaque organe, chacune multipliée par le facteur de pondération tissulaire (Wt) de cet organe (tableau 2). La somme de tous les facteurs de pondération tissulaire étant égale à 1. La dose efficace est également obtenue par calcul et s'exprime aussi en sievert (Sv). Elle permet de comparer les risques radiologiques d'effets stochastiques liés à des examens d'imagerie concernant des zones anatomiques différentes. L'intérêt de cette grandeur est de permettre l'addition des risques d'effets aléatoires dus à plusieurs irradiations partielles et d'exprimer par un seul chiffre le risque cumulatif théorique sur l'ensemble de l'organisme. En effet, en cas d'irradiation partielle ou hétérogène, la probabilité d'apparition de complications tardives (cancers et effets génétiques) ne dépend pas seulement de la dose absorbée et de la qualité du rayonnement, mais également de la radiosensibilité des organes irradiés (IRSN, 2014 ; White et Pharoah, 2014 ; Ammerich, 2013 ; Directive 2013/59/EURATOM, art. 4 ; Whaites et Drage, 2013 ; Okano et Sur, 2010 ; Cordoliani et Foehrenbach, 2008 ; Ludlow et al., 2008 ; ADF, 2007 ; Foucart, 2007 ; Gambini et Granier, 2007 ; ICRP, 2007a ; Jones et al., 2007 ; Martin, 2007 ; Cavézian et Pasquet, 2005 ; Cordoliani, 2005). Il existe des organes plus radiosensibles, tels que la moelle osseuse et chez l'enfant le sein et la thyroïde, et d'autres peu radiosensibles, comme la peau et le foie. De plus, la sévérité de l'effet ne sera pas la même si le cancer radio-induit est de mauvais pronostic, tel que le cancer du poumon, ou de bon pronostic, comme le cancer de la thyroïde. Le facteur de pondération tissulaire est périodiquement réévalué en fonction de l'évolution des connaissances. Ainsi, au niveau des

gonades on est passé d'un Wt de 0,20 à 0,08 de 1991 à 2005 car on a constaté que les effets génétiques étaient moins graves que ce que l'on avait d'abord pensé et, *a contrario*, le Wt correspondant au sein a augmenté de 0,05 à 0,08 durant la même période (Jones et al., 2007) et est actuellement de 0,12.

Tissu	Wt
Moelle osseuse	0,12
Colon	0,12
Poumon	0,12
Estomac	0,12
Seins	0,12
Gonades	0,08
Vessie	0,04
Œsophage	0,04
Foie	0,04
Thyroïde	0,04
Surface osseuse	0,01
Cerveau	0,01
Glandes salivaires	0,01
Peau	0,01

Tableau 2 : Facteurs de pondération tissulaires (Wt)
(adapté de la Directive 2013/59/EURATOM)

La dose absorbée dans l'air (DA) est mesurée sur l'axe du faisceau de rayons X à la sortie du cône à l'aide d'une chambre d'ionisation et s'exprime en gray (Gy) (Cordoliani et Foehrenbach, 2008 ; HAS et al., 2006).

Le produit dose × surface (PDS) correspond au produit de la dose absorbée dans l'air (DA) par la surface de la section du faisceau de rayons X. Son intérêt est qu'à dose égale l'effet sera moindre si la surface est réduite. Par exemple une dose de 5 à 6 Gy sur 10 cm² entraînera un érythème de la zone alors que cette même dose appliquée sur le corps entier sera généralement mortelle. Il est indépendant de la distance entre la source et la surface d'entrée car dose et surface varient en sens inverse selon le carré de la distance. Il s'exprime en Gy.cm² (Cordoliani et Foehrenbach, 2008 ; ADF, 2007 ; Foucart, 2007 ; HAS et al., 2006).

La dose à l'entrée (DE) ou dose à la peau mesure la dose absorbée dans l'air (DA) à laquelle s'ajoute le rayonnement rétrodiffusé au point d'intersection du faisceau primaire de rayons X avec la peau du patient. Elle s'exprime en gray (Gy) et se mesure à l'aide d'un dosimètre placé sur la peau du patient (Cordoliani et Foehrenbach, 2008 ; ADF, 2007 ; Foucart, 2007 ; Gambini et Granier, 2007 ; Cavézian et Pasquet, 2005 ; Commission européenne, 2004).

La dose en profondeur ou dose à l'organe est calculée à partir de la dose à l'entrée (DE) ou du produit dose × surface (PDS) pondéré par un coefficient déterminé sur fantôme anthropomorphe. Elle s'exprime en gray (Gy) (Cordoliani et Foehrenbach, 2008 ; Gambini et Granier, 2007 ; Cavézian et Pasquet, 2005).

La dose collective permet d'estimer le risque des rayonnements ionisants sur une population. Elle prend en compte la dose efficace d'une population sur une période de temps donnée pour une source irradiante donnée. Elle s'exprime en homme-sievert (Whaites et Drage, 2013 ; UNSCEAR, 2008 ; ICRP, 2007a ; Cavézian et Pasquet, 2005).

1.1.2 Niveaux énergétiques

1.1.2.1 Doses en imagerie odontologique

En imagerie intra-orale, pour un cliché rétro-alvéolaire ou rétro-coronaire la dose efficace est de 1 à 8 µSv (IRSN, 2015 ; Rouas et Hauret, 2014 ; Vallaeys et Hodez, 2014 ; Foucart, 2007 ; ADF, 2007 ; Commission européenne, 2004 ; ANDEM, 1996) avec 5 µSv en moyenne (White et Pharoah, 2014 ; ADF, 2007 ; InVS et IRSN, 2006 ; NRPB, 2002), la dose absorbée est de 0,2 mGy (Gambini et Granier, 2007) répartis sur les différents organes exposés (tableau 3), la dose à l'entrée est de 1 à 8 mGy (IRSN, 2015) avec 1 mGy en moyenne (tableau 4) et le PDS est d'environ 30 mGy.cm² (Cordoliani et Foehrenbach, 2008). Concernant le cliché occlusal maxillaire, sa dose efficace moyenne est de 8 µSv (Foucart, 2007 ; Commission européenne, 2004).

	Dose absorbée (mGy) ou dose équivalente (mSv)								
	1 rétro-alvéolaire film E		4 rétrocoronaires films F/ERLM, collimation rectangulaire	bilan long cône					
				18 fims F/ERLM, collimation :		20 films E, collimation :		14 films E	14 clichés ERLM
	mandibule	maxillaire		cylindrique	rectangulaire	cylindrique	rectangulaire		
Cerveau	0,004	0,004	0,000	0,100	0,033			0,023	0,009
Hypophyse						0,289	0,087	0,131	0,061
Cristallin								0,103	0,071
Sinus maxillaire								2,217	1,151
Thyroïde	0,008	0,003	0,000	0,55	0,117	0,628	0,269	0,127	0,050
Parotide						5,236	0,859	0,899	0,148
Glande sous maxillaire						7,833	3,49		
Glande sub-linguale						8,984	2,497	1,849	1,011
Glandes salivaires	0,05	0,04	0,156	4,11	0,783	7,351	2,282		
Moelle osseuse	0,003	0,003	0,004	0,134	0,029	0,143	0,043	0,220	0,100
Surface osseuse	0,003	0,002	0,017	0,542	0,117	0,664	0,200		
Références	Cordoliani, 2005		Ludlow et al., 2008			Underhil et al., 1988		Kiefer et al., 2004	

Tableau 3 : Doses reçues par différents organes lors de prises de clichés intra-buccaux

Pour l'imagerie extra-orale bidimensionnelle, la dose efficace est de 4 à 30 µSv pour une radiographie panoramique (IRSN, 2015 ; Rouas et Hauret, 2014 ; Foucart, 2007 ; Commission européenne, 2004) avec 10 µSv en moyenne (ADF, 2007 ; InVS et IRSN, 2006 ; NRPB, 2002) et un PDS de 3 à 7 mGy.cm² (IRSN, 2015). Pour une téléradiographie, la dose efficace reste inférieure à 6 µSv (Vallaeys et Hodez, 2014 ; White et Pharoah, 2014), en étant généralement comprise entre 2 et 3 µSv (IRSN, 2015 ; Rouas et Hauret, 2014 ; Foucart, 2007 ; Commission européenne, 2004) et la dose à l'entrée est de 1 à 7 mGy (IRSN, 2015).

Pour l'imagerie tridimensionnelle, on aura une dose efficace généralement inférieure à 100 µSv pour un CBCT petit et moyen champ (Vallaeys et Hodez, 2014 ; Okano et Sur, 2010) et comprise entre 80 à 300 µSv pour un grand champ (Vallaeys et Hodez, 2014). En ce qui concerne les scanners maxillo-faciaux, la dose efficace s'étend de 180 à 2100 µSv (Vallaeys

et Hodez, 2014), voire de 100 à près de 3300 µSv selon les auteurs (Commission européenne, 2004).

Examen	Récepteur	Tension (kV)	Charge (mAs)	Dose à l'entrée (mGy)
Rétro-alvéolaire canine maxillaire	argentique	70	0,994	0,4
		70	1,12	0,6
		70	1,4	0,8
Rétro-alvéolaire molaire maxillaire	argentique	70	2,24	1,6
		70	1,246	0,5
Mordu maxillaire	argentique	70	2,97	2,2
Mordu mandibulaire	argentique	70	2,97	1,5
Téléradiographie de face à 4 m	argentique	85	125	0,3
Téléradiographie de face à 1,6 m	CCD	85	19,6	0,3
Téléradiographie de profil à 4 m	argentique	80	100	0,2
Téléradiographie de profil à 1,6 m	CCD	85	12	0,2
Panoramique	argentique	70	120	0,2 (fosse occipitale)
				0,6 (sinus maxillaire)
	CCD	80	208,5	0,3 (fosse occipitale)
				0,9 (sinus maxillaire)
	ERLM	77	260	0,9 (fosse occipitale)
				2,1 (parotides)
Scanner (coupes tangeantielles)	ERLM	77	269	25
Scanner (coupes transverses)	ERLM	77	210	20
CBCT de l'hémi-mandibule	CCD	80	87,5	5,6 (commissure labiale)
CBCT du maxillaire	CCD	110	187	2,6

Tableau 4 : Paramètres d'exposition et doses à l'entrée d'examens d'imagerie en Odontologie (d'après HAS et al., 2006)

1.1.2.2 Niveaux de référence diagnostiques

Le niveau de référence diagnostique (NRD) est fixé au 75ème *percentile* des doses mesurées pour un examen sur un grand nombre de patients et dans de multiples centres de soins (Cordoliani et Foehrenbach, 2008 ; ADF, 2007 ; HAS et al., 2006 ; Cordoliani, 2005).

« Pour les examens exposant aux rayonnements ionisants les plus courants et pour les examens les plus irradiants, des niveaux de référence diagnostiques de dose sont fixés par arrêté du ministre chargé de la santé, pour des examens types sur des groupes de patients types ou sur des matériaux simulant le corps humain […]. Le médecin ou le chirurgien-dentiste qui réalise un acte exposant aux rayonnements ionisants à des fins de diagnostic prend les mesures nécessaires pour ne pas dépasser les niveaux de référence diagnostiques » (Code de santé publique, art. R1333-68). Toutefois, ce niveau de référence n'est pas une limite de dose, il peut être dépassé lors d'un examen et ne constitue au final qu'une valeur indicative et un élément d'appréciation des pratiques radiologiques (ADF, 2007 ; HAS et al., 2006 ; Cordoliani, 2005).

A ce jour en France, il n'a pas été défini de niveau de référence diagnostique relatif à la radiologie intra-buccale (HAS et al., 2006) mais la Commission européenne recommande un niveau de référence diagnostique de 4 mGy de dose absorbée dans l'air à la sortie du tube

pour la radiographie intra-orale d'une molaire maxillaire (Commission européenne, 2004). Une étude espagnole montre qu'en 2007 seul 6,5% des clichés pris dépassaient cette dose de 4 mGy (Alcaraz et al., 2010).

1.1.2.3 Comparaison avec l'irradiation naturelle

Au niveau mondial, la dose efficace moyenne d'irradiation naturelle est de 2,4 mSv/an comprenant 1,26 mSv/an dû au radon, 0,48 mSv/an aux radiations terrestres externes, 0,39 mSv/an aux radiations cosmiques et 0,29 mSv/an par ingestion. S'ajoute à cela, l'irradiation médicale pour 0,6 mSv/an, l'industrie pour 0,3 mSv/an et les activités militaires pour 0,1 mSv/an (figure 1) (UNSCEAR, 2008). En France, chaque individu reçoit des radiations naturelles à hauteur de 2,4 mSv/an, soit 6,5 µSv/jour, représentant 58% des radiations, les 42% restant étant dus aux irradiations artificielles (ADF, 2007) dont 1,6 mSv/an dus à l'imagerie médicale (IRSN, 2014).

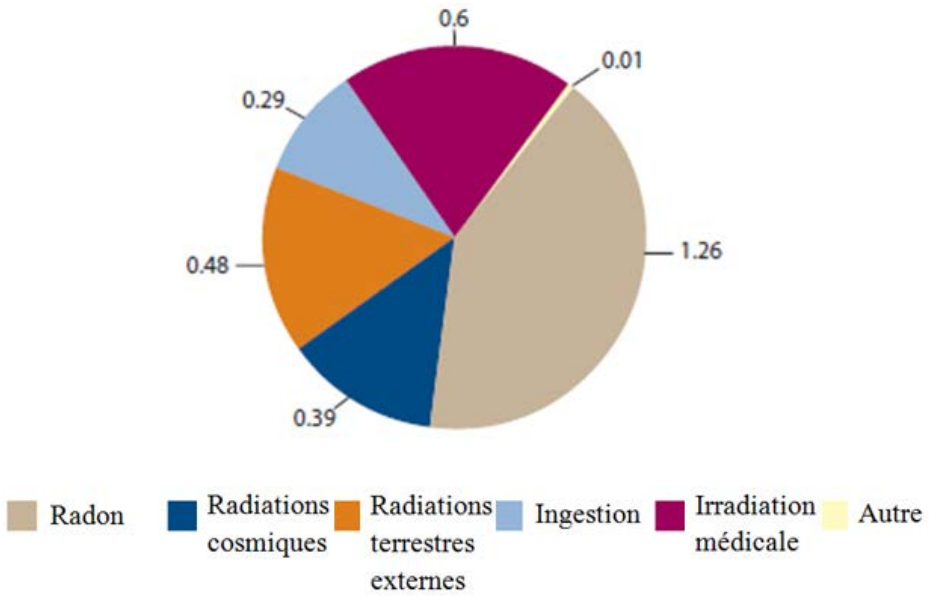


Figure 1 : Exposition globale du public en mSv pour 2008 (traduit d'après UNSCEAR, 2008)

La radiologie dentaire ne représente que 0,2% de la dose efficace collective (IRSN, 2014) ; de plus, on considère que pour la radiologie conventionnelle dentaire, les doses et les risques sont minimaux car comparables à quelques jours d'exposition naturelle (tableau 5) (Commission européenne, 2004).

Examen d'imagerie	dose efficace (µSv)	temps d'irradiation naturelle (en jours et heures)	temps de vol ou séjour à 3000 m (en heures)
Cliché rétro-alvéolaire	1-8	4h-1j	1-2
Cliché occlusal maxillaire	8	1j	2
Bilan long-cône	30-150	5-20j	8-40
Panoramique	4-30	10h-5j	1-8
Téléradiographie	2-3	12h	1
Tomodensitométrie maxillaire	25-100	4-15j	8-30
Radiographie du thorax	200	30j	60
Radiographie du bassin	1200	185j	340
Tomodensitométrie de l'abdomen	8000	1200j	2200

Tableau 5 : Equivalence des risques en radiodiagnostic (adapté de Foucart, 2007)

1.1.3 Classification des lieux de travail

Les mesures légales de protection des travailleurs contre les dangers des rayonnements ionisants comprennent, entre autres, la délimitation et la signalisation des zones de travail (Circulaire DGT/ASN n°04, 2010 ; Gambini et Granier, 2007). En effet, la délimitation par l'employeur d'une zone réglementée autour d'une source de rayonnements constitue l'un des premiers actes à effectuer pour la radioprotection collective des travailleurs puisqu'elle permet d'identifier le danger dû aux rayonnements ionisants (ASN, 2013).

Au niveau de la législation européenne, il est inscrit que « les États membres veillent à ce que […] une classification en différentes zones soit […] opérée, sur la base d'une évaluation des doses annuelles prévisibles ainsi que de la probabilité et de l'ampleur des expositions potentielles. Une distinction est faite entre les zones contrôlées et les zones surveillées » (Directive 2013/59/EURATOM, art. 36). La « zone contrôlée [est] une zone soumise à une réglementation spéciale pour des raisons de protection contre les rayonnements ionisants […] et dont l'accès est réglementé » et la « zone surveillée [est] une zone faisant l'objet d'une surveillance à des fins de protection contre les rayonnements ionisants » (Directive 2013/59/EURATOM, art. 4).

En France, on définit « une zone surveillée, dès lors que les travailleurs sont susceptibles de recevoir, dans les conditions normales de travail, une dose efficace dépassant 1 mSv par an ou bien une dose équivalente dépassant un dixième de l'une des limites fixées à l'article R. 4451-13 ; une zone contrôlée dès lors que les travailleurs sont susceptibles de recevoir, dans les conditions normales de travail, une dose efficace de 6 mSv par an ou bien une dose équivalente dépassant trois dixièmes de l'une des limites fixées à l'article R. 4451-13 » (Code du travail, art. R4451-18). Il est parfois plus simple d'estimer la dose horaire plutôt que la dose annuelle, dans ce cas « pour l'exposition externe […] de l'organisme entier, la zone est désignée zone surveillée tant que la dose efficace susceptible d'être reçue en une heure reste inférieure à 0,0075 mSv ; au-delà et jusqu'à 0,025 mSv, la zone est désignée zone contrôlée » et « pour l'exposition externe des extrémités (mains, avant-bras, pieds, chevilles), la zone est désignée zone surveillée tant que la dose équivalente susceptible d'être reçue en

une heure reste inférieure 0,2 mSv ; au-delà et jusqu'à 0,65 mSv, la zone est désignée zone contrôlée » (figure 2) (Arrêté du 15 mai 2006, art. 5). Et il faut que « dans les bâtiments, locaux ou aires attenants aux zones surveillées ou contrôlées […] la dose efficace susceptible d'être reçue par un travailleur reste inférieure à 0,080 mSv par mois » (Arrêté du 15 mai 2006, art. 5).

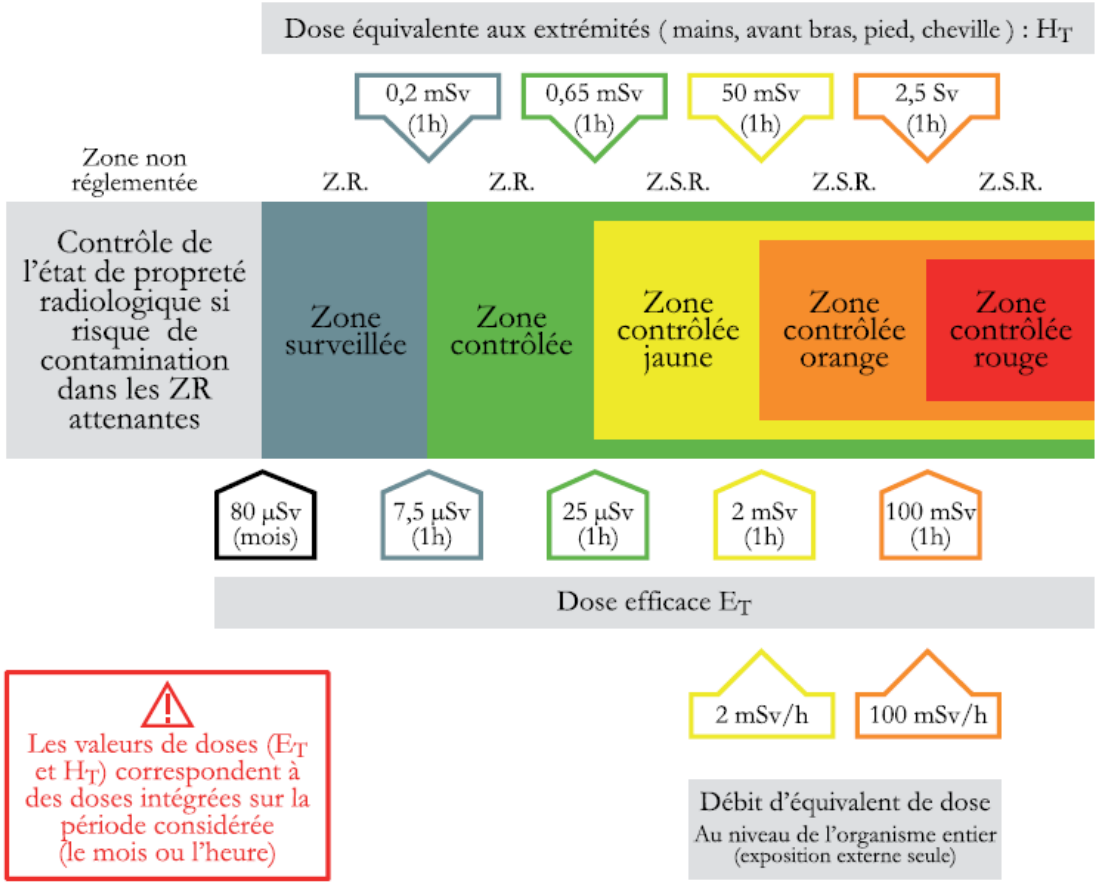


Figure 2 : Délimitation des zones réglementées (ZR) et spécialement réglementées (ZSR) (ASN, 2013)

« Sous la responsabilité de l'employeur […] la personne compétente en radioprotection [PCR] […] procède à une évaluation préalable permettant d'identifier la nature et l'ampleur du risque encouru par les travailleurs exposés » (Code du travail art. R4451-112). Puis « la personne compétente en radioprotection est consultée sur la délimitation des zones surveillée ou contrôlée et sur la définition des règles particulières qui s'y appliquent » (Code du travail, art. R4451-110).

« La zone surveillée […] peut être limitée à une partie du local ou à un espace de travail défini sous réserve que la zone ainsi concernée fasse l'objet d'une délimitation continue, visible et permanente, permettant de distinguer les différentes zones [...] [et] d'une signalisation complémentaire mentionnant leur existence, apposée de manière visible sur chacun des accès au local » (Arrêté du 15 mai 2006, art. 4). En pratique, dans le cabinet dentaire, les limites de la zone réglementée sont étendues jusqu'aux parois de la pièce qui contient le générateur afin de ne pas à avoir à les matérialiser sur le sol (ADF, 2012).

On notera que « lorsque l'émission de rayonnements ionisants n'est pas continue, et que les conditions techniques le permettent, la délimitation de la zone contrôlée […] peut être intermittente. Dans ce cas, […] la signalisation […] [est] assurée par un dispositif lumineux et, s'il y a lieu, sonore, interdisant tout accès fortuit d'un travailleur à la zone considérée » et « une information complémentaire, mentionnant le caractère intermittent de la zone, est affichée de manière visible à chaque accès de la zone » (Arrêté du 15 mai 2006, art. 9). En Odontologie, la salle contenant le tube radiogène peut ainsi être classée en zone surveillée intermittente (Foucart, 2007).

« Les zones […] sont signalées de manière visible par des panneaux installés à chacun des accès de la zone » (figure 3) (Arrêté du 15 mai 2006, art. 8), « la forme des panneaux de signalisation […] est définie par […] trois secteurs également répartis, dont un orienté vers le bas. Les couleurs des panneaux sont définies en fonction des zones qu'ils identifient : gris-bleu pour la zone surveillée ; vert pour la zone contrôlée ; jaune et orange pour les zones spécialement réglementées ; rouge pour la zone interdite. […] Des inscriptions et autres signes peuvent être associés au schéma de base lorsqu'il convient d'indiquer le type de rayonnement, les limites de l'espace intéressé ou d'autres indications du même ordre, mais ils ne doivent en aucun cas affecter la clarté du schéma. […] Les panneaux [doivent être] conformes à la norme NF M 60-101 ou à toute autre norme en vigueur dans un Etat membre de l'Union européenne et justifiant d'une équivalence avec la norme française » (Arrêté du 15 mai 2006, article annexe).

Figure 3 : Panneau installé à chacun des accès des zones surveillées du CHRU de Nancy

Outre la signalisation de ces accès à l'aide d'un panneau normalisé trisecteur (trèfle) bleu-gris, le règlement intérieur (figure 4) ainsi qu'un plan indiquant la localisation de la zone et la nature du risque (figure 5) doivent être affichés à l'entrée de la salle contenant le générateur (ADF, 2014 ; INRS, 2009 ; ADF, 2007 ; Foucart, 2007). « A l'intérieur des zones surveillée et contrôlée, les sources de rayonnements ionisants sont signalées et les risques d'exposition externe […] font l'objet d'un affichage remis à jour périodiquement. Cet affichage comporte également les consignes de travail adaptées à la nature de l'exposition et aux opérations envisagées » (Code du travail, art. R4451-23). « L'employeur porte à la connaissance de chaque travailleur amené à intervenir en zone surveillée, […] le nom et les coordonnées de la ou des personnes compétentes en radioprotection » (Code du travail, art. R4451-51).

REGLES D'ACCES en ZONE SURVEILLEE

Générateurs électriques de radiologie médicale exclusivement

ACCES REGLEMENTE

(Article R4452-1 du Code du Travail – Arrêté du 15 mai 2006 - Application du décret n°2003-296 du 31 mars 2003)

Le local à l'accès duquel est affiché le présent règlement constitue une « zone surveillée » dont l'accès est réglementé pour des raisons de protection du personnel contre les rayonnements ionisants. Ses accès sont signalés par l'étiquette réglementaire (trisecteur gris-bleu).

Aptitude et surveillance médicale du personnel

***Pendant le fonctionnement de l'appareil à rayons X**, seuls peuvent demeurer dans le local les membres autorisés ayant fait l'objet d'une attestation d'aptitude délivrée par le* **SERVICE de MEDECINE de Santé au Travail et, renouvelée annuellement.**

Nom de la personne chargé de procéder aux examens des personnes affectées dans la zone surveillée :

Docteur Marie Line LEPORI ☎ : 03.83.85.14.47

Surveillance dosimétrique du personnel

En application des articles R.4453.19 et R.4453.26 du code du travail et dès lors que vous êtes appelé à intervenir en zone surveillée, quels que soient la durée de cette intervention, votre classement radiologique (catégorie A ou B), votre contrat de travail et votre appartenance ou non au personnel de l'établissement, vous faites l'objet d'une surveillance dosimétrique individuelle.

La dosimétrie individuelle passive est obligatoire en zone surveillée

Toute personne affectée en zone surveillée est tenue de porter à hauteur du thorax, son dosimètre individuel sous le tablier de protection contre les rayons X.

La période de port du dosimètre est le trimestre civil.

En dehors des périodes de travail, les dosimètres sont obligatoirement déposés sur le tableau prévu à cet effet et comportant un dosimètre témoin.

Sous réserve des dispositions de l'article R.4451.12 du code du travail et du décret 2003-296, l'équivalent de dose reçu pour le corps entier au cours d'une année par travailleur affecté en zone contrôlée ne doit pas dépasser 20mSv pour le personnel de catégorie A et 6mSv pour le personnel de catégorie B

Information du personnel

Le personnel présent pendant l'émission des rayons X est tenu de prendre connaissance du présent règlement qui lui a été remis par l'employeur. Les informations complémentaires spécifiques à son poste de travail pourront lui être fournies par la Personne Compétente en Radioprotection.

Dispositions spécifiques :

- Eviter toute exposition inutile au rayonnement.
- Pendant l'émission des rayons X, porter impérativement le tablier de protection anti-X et selon les besoins, les équipements de protection collective (paravent mobile, ...) et individuelle mis à votre disposition
- N'oublier pas de fermer la porte de la salle d'examen.
- Ne placer ni votre corps ni les mains dans le faisceau primaire, même avec des gants plombés.
- Ne pas maintenir les sujets examinés en radiodiagnostic.
- Respecter les consignes d'utilisation qui vous ont été données par le fournisseur, et la Personne Compétente en Radioprotection du secteur auprès de laquelle vous pourrez trouver toute information et conseils utiles en radioprotection

PERSONNE COMPETENTE en RADIOPROTECTION.

Chargée de veiller à l'application du règlement dans la zone surveillée :

Christophe GUIONNET ☎ : 03.83.85.28.86 ou 03.83.18.48.74

Jacques PREVOST ☎ : 03.83.15.42.56

En cas d' URGENCE radiologique :

ASN (24h/24h et 7j/7j) ☎ : 0 800 804 135

UNITE de RADIOPROTECTION.

Personne Spécialisée en Radiophysique Médicale ☎ : 03.83.85.17.21

Coordonnateur technique - PCR : Daniel PHULPIN ☎ : 03.83.85.23.91

Figure 4 : Règlement intérieur affiché au CHRU de Nancy

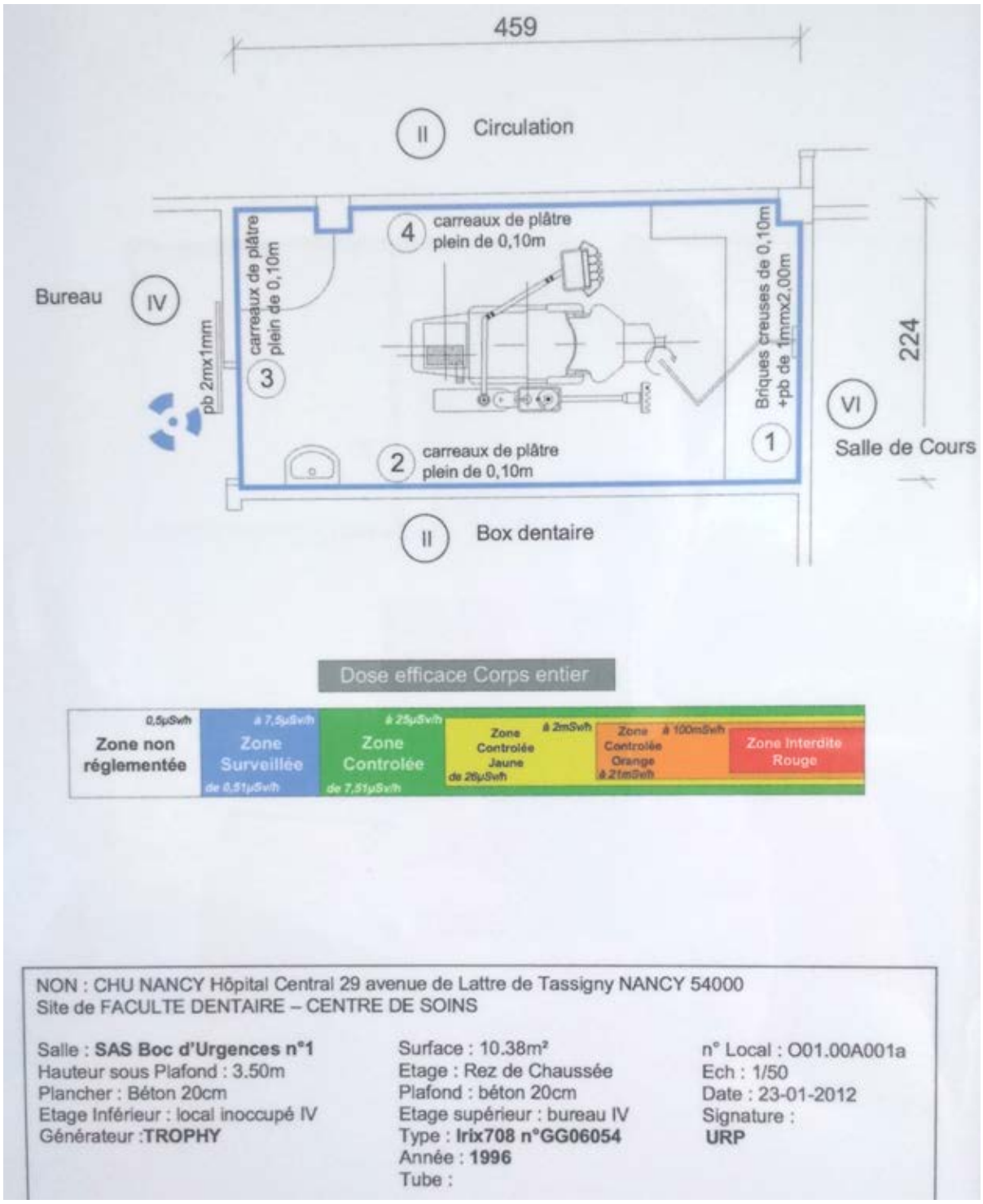


Figure 5 : Plan du box n°1 du SAS au CHRU de Nancy

Une nouvelle norme d'installation NF C15-160 a été publiée en 2011 par l'AFNOR, elle remplace celle de 1975 et regroupe maintenant en un seul document toutes les normes antérieures relevant de l'installation des générateurs dans le domaine médical et est entrée en application depuis le 1er janvier 2014. Depuis, il n'y a plus de surface minimale à la pièce contenant le générateur alors qu'auparavant la pièce devait faire au moins 9 m² plus 3 m² par générateur supplémentaire. De plus, la méthode simplifiée proposant des épaisseurs de parois type par domaine d'activité a été abandonnée. Précédemment, toutes les parois (plafond,

plancher et parois latérales) du local contenant le générateur devaient comporter une équivalence de 0,5 mm de plomb et les ouvertures (portes et fenêtres) devaient aussi avoir une équivalence de 0,5 mm de plomb sauf pour les fenêtres donnant sur un espace où aucune personne n'était amenée à stationner habituellement et pour les portes situées à plus de 2,5 m du tube (ADF, 2014 ; IRSN, 2013a ; Norme NF C 15-160 ; ADF, 2007).

A titre informatif, au niveau électrique l'installation doit répondre à la norme NF C15-100 qui relève de la compétence des électriciens. Elle comprend, entre autres, la section des fils d'alimentation, la protection du circuit, les appareils de coupure et la mise à la terre. Pour un générateur radiogène, la ligne d'alimentation doit être protégée par un disjoncteur différentiel de 30 mA (ADF, 2007). Pour les générateurs de radiographie endobuccale aucune signalisation lumineuse extérieure n'est exigée (Norme NF C 15-160). L'installation s'accompagne obligatoirement d'un certificat de conformité d'installation électrique (ADF, 2007).

1.1.4 Classification des travailleurs

La limitation des expositions est l'un des grands principes de radioprotection. Elle vise à limiter le risque d'effets stochastiques au niveau de l'organisme entier, et à prévenir les effets déterministes sur la peau, le cristallin et les extrémités notamment. Pour cela la dose reçue doit être maintenue en-dessous des valeurs limites fixées réglementairement (tableau 6) (White et Pharoah, 2014 ; Aubert, 2010 ; Circulaire DGT/ASN n°04, 2010 ; Okano et Sur, 2010 ; ADF, 2007).

En ce qui concerne l'exposition du public « la somme des doses efficaces […] ne doit pas dépasser 1 mSv par an […], les limites de dose équivalente admissibles sont fixées, pour le cristallin, à 15 mSv par an et, pour la peau, à 50 mSv par an en valeur moyenne pour toute surface de 1 cm² de peau, quelle que soit la surface exposée » (Code de santé publique, art. R1333-8). On retrouve les mêmes limites de dose dans l'article 12 de la directive 2013/59/EURATOM du conseil de l'Union européenne.

« Les travailleurs susceptibles de recevoir, dans les conditions habituelles de travail, une dose efficace supérieure à 6 mSv par an […], sont classés par l'employeur dans la catégorie A » (Code du travail, art. R4451-44). « La somme des doses efficaces reçues par exposition externe et interne ne doit pas dépasser 20 mSv sur douze mois consécutifs » (Code du travail, art. R4451-12). « Les limites de doses équivalentes pour les différentes parties du corps exposées sont les suivantes : pour les mains, les avant-bras, les pieds et les chevilles, l'exposition reçue au cours de douze mois consécutifs ne peut dépasser 500 mSv ; pour la peau, l'exposition reçue au cours de douze mois consécutifs ne peut dépasser 500 mSv. Cette limite s'applique à la dose moyenne sur toute surface de 1 cm², quelle que soit la surface exposée ; pour le cristallin l'exposition reçue au cours de douze mois consécutifs ne peut dépasser 150 mSv » (Code du travail, art. R4451-13). Les limites de doses sont identiques au niveau européen sauf en ce qui concerne le cristallin, en effet la législation européenne est plus stricte et « la limite de dose équivalente pour le cristallin est fixée à 20 mSv par an ou à 100 mSv sur une période de cinq années consécutives, pour autant que la dose reçue au cours

d'une année ne dépasse pas 50 mSv » (Directive 2013/59/EURATOM, art. 9). On notera que « les femmes enceintes et les jeunes travailleurs […] ne peuvent être affectés à des travaux qui requièrent un classement en catégorie A » (Code du travail, art. R4451-45).

« Les travailleurs exposés aux rayonnements ionisants ne relevant pas de la catégorie A sont classés en catégorie B dès lors qu'ils sont soumis dans le cadre de leur activité professionnelle à une exposition à des rayonnements ionisants susceptible d'entraîner des doses supérieures à l'une des limites de dose fixées à l'article R. 1333-8 du code de la santé publique » (Code du travail, art. R4451-46).

		Public	Travailleuse enceinte	Travailleur mineur	Catégorie B	Catégorie A	Interdit
Dose efficace (mSv/12 mois)		< 1	< 1 (pour l'enfant à naître)	< 6	< 6	< 20	> 20
Dose équivalente (mSv/12 mois)	Extrémités (mains, avant-bras, pieds, chevilles)	< 50		< 150	< 150	< 500	> 500
	Peau (pour 1 cm²)	< 50		< 150	< 150	< 500	> 500
	Cristallin	< 15		< 45	< 45	< 150 (< 20 pour la directive EURATOM de 2013)	> 150

Tableau 6 : Limites de dose d'exposition des différentes populations
(Adapté de : ADF, 2012 ; Circulaire DGT/ASN n°04, 2010 ; ADF, 2007)

« Sous la responsabilité de l'employeur […] la personne compétente en radioprotection […] définit les objectifs de dose collective et individuelle pour chaque opération et s'assure de leur mise en œuvre » (Code du travail, art. R4451-112).

Les doses professionnelles reçues en cabinet sont très faibles, en effet la dose efficace annuelle moyenne est estimée à environ 0,06 mSv (UNSCEAR, 2008) et moins de 1% des travailleurs reçoivent une dose supérieure à 1 mSv/an (tableau 7) (ADF, 2012 ; UNSCEAR, 2008). Si l'on prend l'exemple des 452 travailleurs surveillés par dosimètre passif au service d'Odontologie de l'Assistance publique des Hôpitaux de Paris (AP-HP) en 2006, la dose efficace moyenne était de 0,000 mSv par personne (Gambini et al., 2009). En générale, le praticien est classé en catégorie B et le personnel du cabinet n'est pas classé donc rattaché à la catégorie "public" (INRS, 2009 ; Foucart, 2007). Toutefois, le praticien n'est pas forcément classé en catégorie B, il peut aussi appartenir à la catégorie "public" notamment si le déclencheur est à l'extérieur de la pièce (ADF, 2007).

Année	Effectif surveillé	< 1 mSV	1 à 6 mSV	6 à 20 mSv	> 20 mSv
2005	26561	26456	97	8	0
2006	26973	26885	84	3	1
2007	29983	29888	90	5	0
2008	32073	31979	90	4	0
2009	37367	37243	118	5	1
2010	42053	41850	198	5	0
2011	44476	44311	159	5	1
2012	46239	46057	174	7	1

Tableau 7 : Résultats dosimétriques des travailleurs en cabinet dentaire en France (d'après IRSN, 2006, 2008a, 2008b, 2009, 2010, 2011b, 2012a et 2013a)

1.1.5 Suivi dosimétrique

Les mesures légales de protection des travailleurs contre les dangers des rayonnements ionisants comprennent, entre autres, le suivi individuel de l'exposition des travailleurs (Circulaire DGT/ASN n°04, 2010).

La mesure de l'exposition des travailleurs aux rayonnements ionisants est atypique puisque, à la différence des autres risques professionnels, elle est évaluée individuellement par le biais d'un dosimètre nominatif (Circulaire DGT/ASN n°04, 2010).

En termes de suivi dosimétrique des travailleurs, le secteur de l'Odontologie représente le deuxième effectif le plus important du domaine médical avec 21% des travailleurs en 2011 (IRSN, 2012a).

1.1.5.1 Mise en œuvre

« Lorsque l'exposition est externe, le suivi dosimétrique est assuré par des mesures individuelles, appelées dosimétrie passive » (Code du travail, art. R4451-62). En zone surveillée, une dosimétrie externe passive est nécessaire et suffisante, elle permet un contrôle en temps différé (IRSN, 2013a ; ADF, 2007). Le dosimètre personnel passif sera porté à la poitrine afin de déterminer la dose reçue par le corps entier et il devra être porté sous le tablier plombé lorsque l'on en est équipé afin d'avoir une bonne estimation de l'exposition du corps entier (IRSN, 2013a ; Le Heron et al, 2010 ; UNSCEAR, 2008). En dehors des temps d'utilisation, le dosimètre est rangé dans un emplacement placé à l'abri de toute source d'exposition de rayonnements ionisants et à proximité d'un dosimètre témoin (Circulaire DGT/ASN n°04, 2010).

Outre la dosimétrie individuelle, un dosimètre d'ambiance trimestriel doit être placé à un endroit représentatif de l'exposition de la zone réglementée à raison d'un dosimètre d'ambiance par générateur (ADF, 2012 ; Arrêté du 15 mai 2006, art. 5).

De plus, un dosimètre témoin trimestriel est toujours joint aux dosimètres personnels et d'ambiance. Il doit être placé dans un lieu abrité de l'irradiation émise par le générateur afin de donner une valeur de référence correspondant à l'irradiation naturelle. Les valeurs dosimétriques issues des dosimètres personnels et des dosimètres d'ambiances seront retranchées de la valeur de référence du dosimètre témoin afin d'obtenir les doses d'irradiation artificielle engendrées par le générateur radiogène (ADF, 2012 ; Foucart, 2007).

On notera que l'utilisation de dosimètres actifs, offrant une lecture en temps réelle, n'est obligatoire que pour les travailleurs de la catégorie A.

1.1.5.2 Intérêt

Le personnel doit porter correctement son dosimètre afin de surveiller les doses reçues et contrôler que les doses limites ne soient pas dépassées (IRSN, 2013a ; Praveen et al., 2013 ; ADF, 2012 ; Circulaire DGT/ASN n°04, 2010 ; Le Heron et al, 2010). Si le travailleur n'est pas compliant, soit par négligence, soit par choix délibéré, et ne porte pas continuellement son dosimètre, on obtiendra alors une sous-estimation de l'exposition de la personne (IRSN, 2013a ; Le Heron et al, 2010).

Le dosimètre ne doit pas être perçu négativement, en réalité c'est un outil qui apporte une valeur ajoutée à la radioprotection en confirmant les bonnes pratiques ou en alertant le praticien sur la nécessité de corriger ses mauvaises pratiques (Praveen et al., 2013 ; ADF, 2012 ; Circulaire DGT/ASN n°04, 2010 ; Le Heron et al, 2010).

1.1.5.3 Travailleurs concernés

Au niveau de la législation européenne, il est dit que « les États membres peuvent exiger que les travailleurs de la catégorie B soient soumis à une surveillance radiologique individuelle et, au besoin, à des mesures individuelles, réalisés par un service de dosimétrie » (Directive 2013/59/EURATOM, art. 41). Cela a été mis en application en France puisque « chaque travailleur appelé à exécuter une opération en zone surveillée […] fait l'objet d'un suivi dosimétrique adapté au mode d'exposition. Lorsque l'exposition est externe, le suivi dosimétrique est assuré par des mesures individuelles, appelées dosimétrie passive » (Code du travail, art. R4451-62). On notera que ce n'est pas le cas de tous les pays de l'Union européenne : au Royaume-Uni, par exemple, le port du dosimètre est une obligation uniquement pour les praticiens qui risquent une exposition supérieure à 1 mSv par an, soit environ 100 radiographies intra-orales ou 50 radiographies panoramiques par semaine ; pour les autres praticiens le port du dosimètre est simplement recommandé (Commission européenne, 2004 ; NRPB, 2001).

Le dosimètre personnel devra donc être porté par tout travailleur intervenant en zone réglementée et sa mise à disposition par l'employeur est une obligation (Convention collective nationale des cabinets dentaires, art. 3.17). Ainsi, les praticiens et les assistantes dentaires devront en être équipés mais en ce qui concerne la secrétaire elle devra le porter seulement si elle est amenée à rentrer dans la salle de soins lorsque le générateur est sous

tension. Par contre, si le règlement intérieur lui interdit de pénétrer dans la salle lorsque le générateur est sous tension, il n'est pas nécessaire de l'en équiper. Pour le personnel d'entretien, le dosimètre n'est pas nécessaire puisqu'il intervient lorsque les générateurs ne sont pas sous tension (ADF, 2012).

1.1.5.4 Types de dosimètres passifs

Il existe différents types de dosimètres externes passifs permettant de détecter les rayons X (IRSN, 2013a).

Le dosimètre thermoluminescent (TLD) utilise le principe de la thermoluminescence. Certains matériaux, tel que le fluorure de lithium, libèrent, lorsqu'ils sont chauffés, une quantité de lumière proportionnelle à la dose de rayonnements ionisants auxquels ils ont été soumis. La mesure de cette quantité de lumière permet de déterminer la dose de rayonnements reçue. L'inconvénient de ces dosimètres est qu'ils ne peuvent être lus qu'une seule fois (IRSN, 2013a ; Whaites et Drage, 2013 ; Giguère et Joly, 2010 ; Cordoliani et Foehrenbach, 2008).

Le dosimètre basé sur la luminescence stimulée optiquement (LSO) repose sur le même principe de lecture d'une émission de lumière par le matériau irradié, ici l'oxyde d'aluminium. Mais avec cette technologie, la production de lumière est générée par une stimulation à l'aide de diodes électroluminescentes au lieu du chauffage ce qui permet la relecture du dosimètre (IRSN, 2013a ; Whaites et Drage, 2013 ; Giguère et Joly, 2010).

Le dosimètre utilisant la radio-photoluminescence (RPL) fonctionne sur le principe. Les rayonnements ionisants incidents arrachent des électrons à la structure de verre du détecteur, ceux-ci étant ensuite piégés par des impuretés du verre. Lorsque l'on place le dosimètre RPL sous un faisceau ultra-violet, on obtient une désexcitation avec émission de lumière proportionnelle à la dose reçue. Ce dosimètre offre aussi une possibilité de relecture (IRSN, 2013a ; Giguère et Joly, 2010).

1.1.5.5 Grandeurs opérationnelles

Le dosimètre passif utilisé en Odontologie doit mesurer l'exposition suivant l'équivalent de dose individuel Hp(10) correspondant à la mesure de dose à la profondeur de 10 mm dans les tissus afin d'évaluer la dose efficace et de calculer le risque d'exposition du corps entier (ADF, 2012 ; IRSN, 2012a ; Circulaire DGT/ASN n°04, 2010 ; Gambini et al., 2009 ; UNSCEAR, 2008 ; Gambini et Granier, 2007 ; ICRP, 2007a). La grandeur opérationnelle pour la surveillance d'ambiance est l'équivalent de dose ambiant H*(10) (Gambini et Granier, 2007 ; ICRP, 2007a).

Le seuil d'enregistrement d'un dosimètre passif, c'est-à-dire la plus petite dose non nulle enregistrée, ne peut être supérieur à 0,1 mSv et le pas d'enregistrement ne peut être supérieur à 0,05 mSv (IRSN, 2012a ; Circulaire DGT/ASN n°04, 2010 ; Gambini et Granier, 2007).

1.1.5.6 Recueil des résultats

Les dosimètres passifs, qu'ils soient personnels, d'ambiances ou témoins, doivent être envoyés à l'organisme chargé de la dosimétrie tous les trois mois pour mesurer l'exposition subie durant cette période (Praveen et al., 2013 ; ADF, 2012). « L'employeur prend toutes les dispositions pour que les dosimètres soient transmis dès la fin de la période de port aux organismes de dosimétrie et au plus tard dix jours après l'échéance de cette période » (Arrêté du 17 juillet 2013, art. 13).

Les mesures et analyses effectuées sur les dosimètres sont confiées à l'IRSN ou à des organismes agréés par l'ASN (Circulaire DGT/ASN n°04, 2010). « Les résultats individuels de dosimétrie passive […] sont transmis par l'organisme de dosimétrie à SISERI sans délai et au plus tard vingt jours après l'échéance de la période de port d'exposition des dosimètres » (Arrêté du 17 juillet 2013, art. 16).

Le médecin du travail dont relève le travailleur reçoit les résultats par informatique ou sous pli confidentiel, il peut aussi y accéder via SISERI. Les PCR n'ont pas compétence pour recevoir les résultats de la dosimétrie passive, elles y ont uniquement accès via SISERI pendant douze mois (Circulaire DGT/ASN n°04, 2010) à condition que l'employeur ait signé un protocole d'accès à SISERI afin de permettre l'accès aux résultats par la PCR et le médecin du travail (IRSN, 2013a). Les travailleurs, les inspecteurs du travail et de la radioprotection, les organismes de recherche et les autres ayants droits peuvent accéder à l'historique des résultats sur demande (ADF, 2012).

Concernant les résultats de la dosimétrie d'ambiance, ils sont adressés par courrier à la PCR et ne figurent pas sur SISERI (ADF, 2012).

1.1.5.7 Cas de dépassement de dose

En cas de dépassement des valeurs limites de dose, l'organisme agréé ayant en charge la mesure des doses à partir des dosimètres informe l'employeur et le médecin du travail (Circulaire DGT/ASN n°04, 2010). Le médecin du travail prend alors toutes les dispositions qu'il estime utile, de plus toute exposition ultérieure du travailleur concerné requiert son avis (Code du travail, art. R4451-78). En outre, il informe le travailleur sans délai, le convoque, enquête sur la véracité de cette surexposition, rédige une fiche d'inaptitude temporaire à l'exposition aux rayonnements ionisants (IRSN, 2013b), enfin il établit un bilan dosimétrique de cette exposition et un bilan de ses effets (Circulaire DGT/ASN n°04, 2010). Le chef d'établissement informe le personnel et l'inspecteur du travail en précisant les causes présumées, les circonstances et les mesures prises pour éviter que cela ne se reproduise (Ammerich, 2013 ; ADF, 2007). La PCR contrôle les appareils émetteurs de rayonnements ionisants utilisés par le travailleur et le laboratoire de dosimétrie effectue des analyses complémentaires du dosimètre (IRSN, 2013b).

Pendant la période où la dose reçue demeure supérieure à l'une des valeurs limites, le travailleur bénéficie des mesures de surveillance médicale applicables aux travailleurs

relevant de la catégorie A (Ammerich, 2013 ; Circulaire DGT/ASN n°04, 2010) et il ne peut être affecté à des travaux l'exposant aux rayonnements ionisants (Ammerich, 2013 ; Circulaire DGT/ASN n°04, 2010 ; ADF, 2007).

On notera que les cas de dépassement de dose sont exceptionnels en Odontologie (tableau 7).

1.1.6 Suivi médical

Avant d'être employé à un poste soumis à des rayonnements ionisants le travailleur doit consulter la médecine du travail. « Dans le cadre de l'examen médical préalable à l'affectation d'un travailleur à des travaux l'exposant à des rayonnements ionisants […], le médecin du travail communique à l'employeur son avis sur la proposition de classement du travailleur, […] ainsi que l'absence de contre-indications à effectuer des travaux exposant ce dernier à des rayonnements ionisants » (Arrêté du 17 juillet 2013, art. 4). La première visite à la médecine du travail aboutira à la création d'une carte individuelle de suivi médical et à l'ouverture d'un dossier médical individuel (ADF, 2007 ; ADF, 2012). La carte individuelle de suivi médical est délivrée par le médecin du travail à chaque travailleur exposé aux rayonnements ionisants et comporte deux volets, le premier destiné au travailleur en vue de sa présentation au médecin du travail à chaque examen médical, le second adressé par le médecin du travail à l'IRSN (Circulaire DGT/ASN n°04, 2010). Le dossier médical individuel comprend les résultats du suivi dosimétrique avec les doses efficaces reçues et un double de la fiche d'exposition individuelle établit par l'employeur, potentiellement aidé par la PCR et le médecin du travail, et indiquant la nature du travail effectué, les caractéristiques des sources d'irradiation, la nature des rayonnements, les périodes d'exposition, les autres risques du poste de travail et la classification retenue pour le travailleur (ADF, 2012 ; ADF, 2007).

Le travailleur exposé devra avoir un suivi médical renforcé (SMR) avec une périodicité minimale de 24 mois pour les personnes de la catégorie B (Ammerich, 2013 ; ADF, 2012).

On notera que même les praticiens libéraux sont considérés comme des travailleurs par la médecine du travail ce qui leur impose d'avoir un suivi médical (ADF, 2012 ; INRS, 2009 ; ADF, 2007).

1.2 Effets biologiques

Afin de comprendre l'intérêt des mesures de radioprotection il faut étudier les effets produits par les rayons X sur le corps humain et savoir que la réalisation d'une radiographie n'est pas anodine et qu'elle peut avoir des conséquences sur la santé des personnes exposées.

Au niveau physique, les effets biologiques des rayons X s'enchaînent en cascade au niveau moléculaire, cellulaire, tissulaire jusqu'à atteindre le niveau organique (figure 6) (Foucart, 2007 ; Gambini et Granier, 2007).

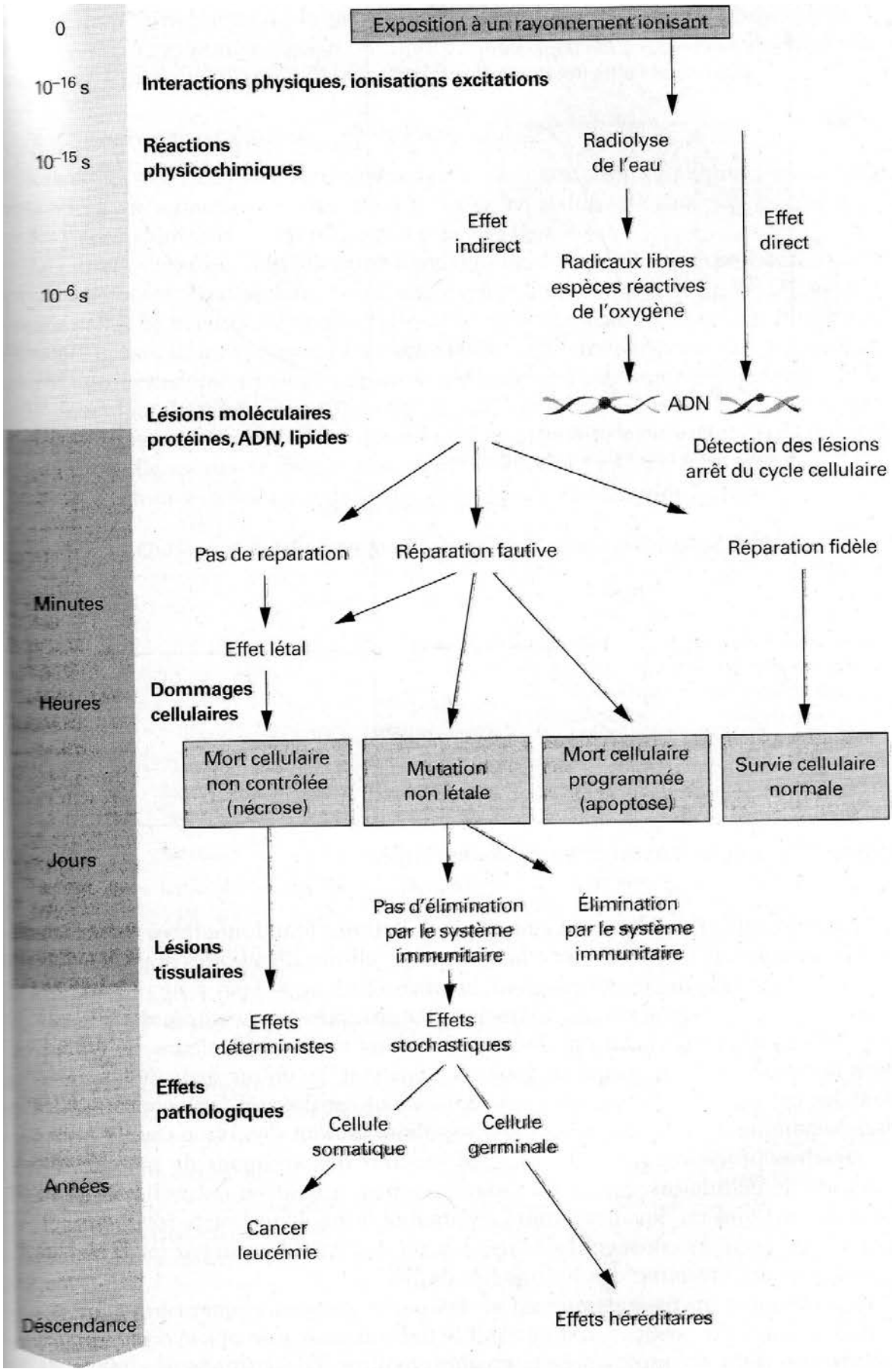


Figure 6 : Effets des rayonnements ionisants (Gambini et Granier, 2007)

1.2.1 Interactions physiques

Les interactions physiques inhérentes à la radiologie intra-buccale sont principalement l'effet Compton et l'effet photoélectrique. Leurs proportions varient en fonction de la tension du générateur (Whaites et Drage, 2013) mais, en général, on retrouve environ 60% d'effet Compton, 30% d'effet photoélectrique (White et Pharoah, 2014 ; Foucart, 2007 ; Gibbs et al., 1984) et 9 à 10% de rayons qui traversent les tissus sans interagir (White et Pharoah, 2014 ; Gibbs et al., 1984).

L'effet photoélectrique prédomine avec les photons de faible énergie. Il correspond à la collision d'un électron d'une couche orbitale profonde d'un atome par le photon X incident dont l'énergie est égale ou légèrement supérieure à l'énergie de liaison entre l'électron et son noyau. Le photon X incident est totalement absorbé et l'électron est éjecté, on le nomme alors photoélectron, avec une énergie cinétique donnée qui pourra engendrer des ionisations secondaires (White et Pharoah, 2014 ; Whaites et Drage, 2013 ; Giguère et Joly, 2010 ; Cordoliani et Foehrenbach, 2008 ; Foucart, 2007 ; NRC, 2006). L'atome est ionisé puis regagne son état stable en réorganisant son cortège électronique par rayonnement de fluorescence ou par effet Auger, ces deux phénomènes pouvant engendrer des ionisations secondaires, et capte un électron libre (Whaites et Drage, 2013 ; Cordoliani et Foehrenbach, 2008 ; Foucart, 2007 ; Gambini et Granier, 2007). L'effet photoélectrique est essentiel en radiodiagnostic car c'est le principal contributeur à l'obtention de l'image, en effet la quantité d'interactions photoélectriques est proportionnelle au cube du numéro atomique des tissus traversés, ainsi plus un tissu sera dense plus le nombre d'interactions sera élevé ce qui réduira le nombre de photons atteignant le récepteur et on obtiendra donc une image révélant la densité des tissus traversés (White et Pharoah, 2014 ; Cordoliani et Foehrenbach, 2008).

L'effet Compton prédomine avec les photons de haute énergie. Il correspond à la percussion d'un électron libre de la matière ou d'un électron orbital d'une couche externe d'un atome par le photon X incident. Le photon X transmet une partie de son énergie à l'électron qui est éjecté, nommé alors électron Compton, avec une énergie cinétique donnée, puis le photon X, maintenant qualifié de diffusé, repart atténué dans une autre direction. L'électron Compton et le photon diffusé sont ensuite capables de créer de nouvelles interactions. Le photon diffusé peut être soit à l'origine d'un effet photoélectrique, soit à l'origine d'un rayonnement secondaire diffusé dans l'environnement (White et Pharoah, 2014 ; Whaites et Drage, 2013 ; Giguère et Joly, 2010 ; Cordoliani et Foehrenbach, 2008 ; Gambini et Granier, 2007 ; Foucart, 2007 ; NRC, 2006). L'effet Compton contribue lui aussi à l'obtention de l'image car la quantité d'interactions Compton est proportionnelle à la densité des tissus traversés (White et Pharoah, 2014).

1.2.2 Interactions moléculaires

Les interactions moléculaires peuvent se faire soit directement, lorsque le rayonnement ionisant transfert de l'énergie à la molécule ce qui engendre une ionisation ou une excitation, soit indirectement par le biais de radicaux libres formés par radiolyse de l'eau (Asha et al., 2015 ; Whaites et Drage, 2013 ; Giguère et Joly, 2010 ; Cordoliani et Foehrenbach, 2008 ;

Foucart, 2007 ; Gambini et Granier, 2007). Toutes les molécules contenues dans les tissus biologiques sont ainsi susceptibles d'être altérées directement ou indirectement par les rayonnements ionisants (Whaites et Drage, 2013 ; Foucart, 2007).

Les dommages directs se produisent quand un photon X ou un électron éjecté percute directement une molécule, telle que l'ADN, l'ARN, les protéines ou les enzymes. La molécule est alors ionisée car les liaisons qui forment les molécules ne sont que de quelques électrons-volts alors que les photons X produisent des milliers d'électrons-volts. Il va alors se produire un changement moléculaire par dissociation ou réticulation afin que la molécule redevienne stable. Selon la gravité de l'altération de la molécule, les effets cellulaires sont variables allant du simple dommage temporaire si un processus de réparation se met en place, jusqu'à un processus de cancérisation, de mutation génétique, voire de mort cellulaire (White et Pharoah, 2014 ; Whaites et Drage, 2013 ; Foucart, 2007 ; NRC, 2006). Selon les auteurs, approximativement 33 à 40% des interactions moléculaires résultent de dommages directs (White et Pharoah, 2014 ; Cordoliani et Foehrenbach, 2008 ; Gambini et Granier, 2007).

Les dommages indirects font suite aux interactions physiques qui, lorsqu'elles concernent les molécules d'eau, vont engendrer la formation de radicaux libres H^o et OH^o. L'eau étant largement présente dans le corps humain (environ 70%), on observera donc une majorité d'interactions indirectes engendrées par les rayonnements ionisants, approximativement 60 à 66% des dommages selon les auteurs (White et Pharoah, 2014 ; Gambini et Granier, 2007). La présence d'oxygène favorise la formation de radicaux libres car ceux-ci présentent un atome porteur d'un électron célibataire très réactif qui réalise une liaison covalente avec une molécule du milieu pour former du peroxyde d'hydrogène (H_2O_2) et du radical superoxyde (O_2^{O-}) qui présentent tous deux une forte toxicité cellulaire (White et Pharoah, 2014 ; Whaites et Drage, 2013 ; Giguère et Joly, 2010 ; Cordoliani et Foehrenbach, 2008 ; Foucart, 2007 ; Gambini et Granier, 2007 ; NRC, 2006).

1.2.3 Interactions cellulaires

Les interactions cellulaires conduisent à des effets immédiats ou différés (Foucart, 2007 ; Gambini et Granier, 2007). Comme nous l'avons vu, les effets d'un rayonnement ionisant sur une cellule peuvent être soit nuls si la cellule se répare, soit néoplasiques ou héréditaires si la cellule est réparée imparfaitement, soit mener à la mort cellulaire (figure 6) (Ammerich, 2013 ; Foucart, 2007 ; NRC, 2006).

La mort cellulaire se produit plus ou moins rapidement lorsque c'est un organite vital de la cellule qui est atteint irréversiblement, par exemple le chromosome (Foucart, 2007 ; Gambini et Granier, 2007).

Les effets néoplasiques sont difficilement quantifiables car ils sont aléatoires, tardifs et non spécifiques des rayonnements ionisants. Ils sont probablement engendrés par désactivation de gènes suppresseurs de tumeur (p16, p53, p73,…) ou par activation de gènes proto-oncogènes (src, ras,..) (Foucart, 2007 ; Gambini et Granier, 2007 ; NRC, 2006).

Les effets héréditaires se transmettent aux générations suivantes, ils sont aléatoires et interviennent lorsque la mutation concerne une cellule germinale (Foucart, 2007 ; Gambini et Granier, 2007).

L'effet d'une exposition sur une cellule dépend du type de cellule exposée, la loi de Bergonié et Tribondeau (1906) dit que « la sensibilité d'une cellule aux rayons X est directement proportionnelle à sa capacité de reproduction et inversement proportionnelle à son degré de différenciation. Ce sont donc les cellules les plus jeunes qui se montrent les plus sensibles ». Il dépend aussi de l'environnement cellulaire et de la phase du cycle cellulaire avec une plus grande radiosensibilité en phase de mitose et une meilleure radiorésistance en phase de synthèse. L'effet sera bien évidemment fonction de l'énergie, de la dose et du temps d'exposition, ainsi que de la nature du rayonnement, d'où l'utilisation du facteur de pondération Wr pour le calcul de la dose équivalente (Foucart, 2007 ; Gambini et Granier, 2007).

1.2.4 Interactions tissulaires

Les effets biologiques des radiations peuvent être classés en effets somatiques ou génétiques. Les effets somatiques concernent uniquement la personne irradiée et se manifestent par des effets aigües (tels que des érythèmes cutanés, des pigmentations et des ulcérations) ou chroniques (comme des leucémies et des cancers) alors que les effets génétiques concernent la personne irradiée ainsi que sa descendance (Giguère et Joly, 2010 ; Abbott, 2000 ; Wambersie, 1991).

En Odontologie, les structures radiosensibles potentiellement exposées sont la peau, la glande thyroïde, les glandes salivaires, le cristallin, la moelle osseuse et le cerveau (Foucart, 2007 ; Danforth et Torabinejad, 1990).

1.2.4.1 Effets déterministes

Les effets déterministes apparaissent rapidement chez tous les sujets exposés lorsque la dose dépasse un certain seuil, mais si le seuil n'est pas atteint aucun effet n'est à redouter. Les effets déterministes apparaissent lorsque plusieurs cellules d'un organe ou d'un tissu sont affectées et conduisent à la mort cellulaire d'un grand nombre de cellules. La gravité des effets sera proportionnelle à la dose (Rouas et Hauret, 2014 ; White et Pharoah, 2014 ; Ammerich, 2013 ; Whaites et Drage, 2013 ; Circulaire DGT/ASN n°04, 2010 ; Giguère et Joly, 2010 ; ICRP, 2010 ; Okano et Sur, 2010 ; Cordoliani et Foehrenbach, 2008 ; Foucart, 2007 ; Gambini et Granier, 2007 ; ICRP, 2007a ; ICRP, 2007b ; Cavézian et Pasquet, 2005 ; Wambersie, 1991). Ces effets sont précoces car apparaissent après quelques heures à quelques semaines (Giguère et Joly, 2010 ; ADF, 2007 ; Foucart, 2007 ; Gambini et Granier, 2007) et peuvent être réversibles si les lésions ne sont pas trop sévères (Foucart, 2007 ; Gambini et Granier, 2007). On notera toutefois que la valeur du seuil varie légèrement selon la radiosensibilité des individus (Ammerich, 2013 ; Giguère et Joly, 2010 ; Foucart, 2007 ; Gambini et Granier, 2007 ; Wambersie, 1991).

Les effets déterministes se produisent lors d'une exposition globale dépassant le seuil de 0,2 à 0,3 Gy (tableau 8) (Foucart, 2007) ou lors d'une exposition partielle (tableau 9).

Dose absorbée (Gy)	Effets	
	Forme/Seuil	Symptomatologie
0,2-0,3	Dose seuil	– Aucune
< 1	Infraclinique	– Généralement aucun signe clinique – Lymphopénie temporaire
1-2	Réaction générale légère	– Nausée, vomissement, anorexie, malaise – Lymphopénie temporaire
2		– Hospitalisation dans un centre spécialisé
2-4	Hématopoïétique modérée	– Asthénie, nausée, vomissement, anorexie et malaise sévères – Lymphopénie et thrombopénie pendant 4 semaines, anémie à partir de la 3e semaine – Retour à la normale en 4 à 6 mois
4	**Dose létale 50**	– Mort dans 50 % des cas
4-6	Hématopoïétique grave	– Signes cliniques sévères : hémorragies... – Aplasie médullaire – Mort dans 50 à 90 % des cas en l'absence de traitement
6-8	Gastro-intestinale	– Atteintes de la muqueuse intestinale, diarrhées, vomissements, hémorragies – Greffe de moelle osseuse obligatoire
8-10	Pulmonaire	– Insuffisance respiratoire aiguë, hémoptysie – Mort en l'absence de greffe de moelle osseuse en moins de 2 semaines
> 10-15	Cardio-vasculaire et cérébrale	– Coma et mort en 24 heures

Tableau 8 : Effets déterministes lors d'une exposition globale (Foucart, 2007)

Tissus	Relation dose-effets	
	Dose absorbée indicative	Symptomatologie
Tissus cutanés	Exposition unique 3-5 Gy 8-10 Gy 12-20 Gy > 20 Gy	– **Radiodermite précoce (≈ 3 semaines)** – Érythème, lésions réversibles du 1er degré – Épidermite sèche, alopécie, pigmentation – Phlyctènes, dénudation du derme, desquamation humide – Atteintes vasculaires, nécroses, greffes cutanées
	Exposition fractionnée 5 mGy/j (1,8 Gy/an)	– **Radiodermite tardive* (> 5 ans)** – Atrophie des tissus cutanés et sous-cutanés, télangiectasies, alopécie, sécheresse cutanée par atteinte des glandes sébacées, achromies et hyperchromies, ulcérations réactionnelles, disparition des empreintes digitales – Cancérisation possible au bout de 15 ans
Glandes salivaires	0-60 Gy > 60 Gy	– Diminution du flux salivaire – Xérostomie
Gonades – Testicules – Ovaires	 0,15-5 Gy > 5 Gy 7 Gy 12-15 Gy	 – Stérilité temporaire – Stérilité définitive – Stérilité chez la femme d'âge > 40 ans – Stérilité chez la femme d'âge > 25 ans
Cristallin	0,5-2 Gy > 5 Gy	– Opacités – Cataracte tardive à évolution rapide (de 1 à 10 ans)
Embryon	0,2 Gy < 10 jours 10 jours-3 mois > 3 mois	– Seuil de proposition d'une IVG – Loi du tout ou rien : soit mort spontanée, soit survie sans séquelles – Organogenèse : • 3-10 semaines : œil (cataracte...), squelette (malformation...) • 8-16 semaines : cerveau (retard mental...) – Retard de croissance

Tableau 9 : Effets déterministes lors d'une exposition partielle (Foucart, 2007)

Force est de constater que le seuil d'apparition ne peut être atteint en cabinet dentaire puisqu'il est établi pour des doses supérieures à 100 mGy (White et Mallya, 2012 ; ICRP, 2010 ; Okano et Sur, 2010).

Toutefois, en ce qui concerne les praticiens, il existe un risque de radiodermite des doigts et des mains qui peuvent ensuite dégénérer en cancer. Sachant que la dose efficace professionnelle en Odontologie est faible, seul quelques cas de radiodermites ont été rapportés pour des praticiens qui maintenaient habituellement les films en bouche avec leurs doigts (Commission européenne, 2004 ; Wambersie, 1991 ; Warin, 1979). Les radiodermites aigües se déclarent lorsque la dose dépasse 5 Gy, on ne retrouvera donc pas ce type de pathologie en Odontologie. Mais il existe des radiodermites tardives survenant de 6 mois à plusieurs années après les irradiations et résultant de l'accumulation chronique de petites doses. Ce phénomène peut concerner le chirurgien-dentiste maintenant les films avec ses doigts. Ces radiodermites chroniques sont d'ailleurs reconnues comme maladie professionnelles et peuvent être

déclarées dans un délai de 10 ans (Décret du 22 juin 1984, art. 1). Ces lésions tardives sont irréversibles, la peau est alors asséchée, amincie, fissurée, fragilisée, moins élastique, elle présente des zones d'achromie et d'hyperchromie, des télangiectasies signant des lésions vasculaires et une cicatrisation difficile. Les premiers signes de l'exposition chronique des mains aux rayonnements ionisants sont la disparition progressive des empreintes digitales, la chute des poils, en comparant mains droite et gauche, et des lésions au niveau de la racine des ongles qui présentent des stries longitudinales (Gambini et Granier, 2007 ; Cordoliani et Foehrenbach, 2008 ; Wambersie, 1991 ; Warin, 1979). Le risque à long terme pour le praticien qui tient les récepteurs avec ses doigts n'est donc pas négligeable mais, grâce aux mesures de radioprotection, de tels cas ne devraient plus se produire de nos jours (Commission européenne, 2004).

Une étude s'est intéressée à l'exposition des yeux des patients lors des clichés dentaires. Il a été calculé que la dose absorbée moyenne au cristallin pour 4 à 8 clichés rétro-alvéolaires pris lors d'un traitement endodontique est d'environ 0,183 mGy. Sachant que la dose seuil pour engendrer une cataracte est de 2000 mGy, on en déduit qu'il faudrait réaliser environ 10900 traitements endodontiques comprenant chacun 4 à 8 clichés sur le même patient (Danforth et Torabinejad, 1990 ; Torabinejad et al., 1989). Le risque de cataracte radio-induite en Odontologie peut donc être considéré comme nul.

Même si en Odontologie on ne peut induire d'effets déterministes chez le patient, il faut connaître leur existence puisque des effets secondaires retardés risquent de se produire sur un terrain irradié. C'est notamment le cas des ostéoradionécroses survenant à la suite d'une extraction des mois voire des années après une radiothérapie du secteur (Whaites et Drage, 2013).

1.2.4.2 Effets stochastiques

Les effets stochastiques dits aléatoires, statistiques ou probabilistes conduisent à des lésions sub-létales de l'ADN des cellules engendrant des mutations. Ces mutations sont à l'origine soit de cancers lorsque l'altération touche une cellule somatique, soit des effets génétiques lorsque l'altération concerne une cellule germinale : spermatozoïde ou ovule. Les effets stochastiques ne possèdent pas de seuil et sont théoriquement susceptibles d'apparaitre dès que l'on est exposé à un rayonnement ionisant mais avec un risque de survenue proportionnel à la dose. La maladie apparaît chez un certain nombre d'individus mais pas chez tous, avec une gravité d'emblée, indépendante de la dose et une survenue retardée de plusieurs années. Se sont des effets aspécifiques et donc non quantifiables. En cabinet dentaire, on est potentiellement exposé à ces effets et c'est pour cela qu'il faut prendre des précautions (Rouas et Hauret, 2014 ; White et Pharoah, 2014 ; Ammerich, 2013 ; Whaites et Drage, 2013 ; Circulaire DGT/ASN n°04, 2010 ; ICRP, 2010 ; Okano et Sur, 2010 ; Cordoliani et Foehrenbach, 2008 ; ADF, 2007 ; Foucart, 2007 ; Gambini et Granier, 2007 ; ICRP, 2007a ; ICRP, 2007b ; Cavézian et Pasquet, 2005 ; Wambersie, 1991).

Le risque d'induction d'effets stochastiques varie en fonction de l'âge (la radiosensibilité des tissus diminuant avec l'âge) (tableau 10), de l'espérance de vie (la

diminution de l'espérance de vie lors du vieillissement rend moins probable l'expression d'effets stochastiques présentant une grande période de latence), du sexe (radiosensibilité légèrement plus élevée des femmes par rapport aux hommes), de la radiosensibilité des tissus (elle-même fonction de l'activité mitotique des tissus) et de la fréquence des expositions radiographiques (Rouas et Hauret, 2014 ; Whaites et Drage, 2013 ; Circulaire DGT/ASN n°04, 2010 ; ICRP, 2010 ; Okano et Sur, 2010 ; ADF, 2007 ; Foucart, 2007 ; NRC, 2006 ; Cavézian et Pasquet, 2005 ; Commission européenne, 2004 ; Abbott, 2000 ; Wambersie, 1991).

Groupe d'âge (années)	Coefficient multiplicateur de risque
< 10	3
10-20	2
20-30	1,5
30	1
30-50	0,5
50-80	0,3
>80	Risque négligeable

Tableau 10 : Influence de l'âge sur le risque d'apparition d'effets stochastiques, le risque moyen étant donné pour les sujets de 30 ans (d'après Foucart, 2007 et Commission européenne, 2004)

On peut retenir que les effets potentiels des rayonnements issus de générateurs dentaires sont minimes puisque les doses efficaces sont faibles (Foucart, 2007). De plus, nous disposons des conditions et des moyens nécessaires pour que l'exposition reste en dessous des limites de doses pour lesquelles les risques ne sont plus significatifs (Wambersie, 1991). Toutefois, le principe de précaution reste de vigueur et doit être appliqué du fait d'un risque potentiel aux faibles doses (ADF, 2007 ; ICRP, 2007a ; HAS et al., 2006 ; Cavézian et Pasquet, 2005) d'autant plus pour le praticien qui risque d'accumuler des faibles doses durant toute sa carrière (Praveen et al., 2013).

1.2.4.2.1 Induction de cancer

Le risque de cancérogénèse est le risque le plus important à redouter en cas d'expositions répétées à des petites doses de rayonnements comme c'est le cas en radiodiagnostic dentaire (Cordoliani, 2005 ; Wambersie, 1991).

Pour évaluer le risque d'induction de cancers aux faibles doses (< 100 mSv) on effectue une extrapolation à partir des constatations faites pour les doses moyennes et élevées relevées notamment avec les bombes d'Hiroshima et Nagasaki, l'incident de Tchernobyl, ainsi que sur les travailleurs de l'industrie nucléaire et lors des radiothérapies et autres examens ionisants. Pour ces doses élevées, il a pu être établi une relation linéaire entre la dose reçue et la probabilité de développer un cancer. A partir de là, pour les faibles doses, on réalise une extrapolation qui reste une estimation incertaine pouvant conduire à plusieurs hypothèses plus ou moins optimistes ou pessimistes (figure 7). L'estimation du risque ainsi faite permet de

fixer les doses limites utilisée en radioprotection (White et Pharoah, 2014 ; Ammerich, 2013 ; Lin et al., 2013 ; Preston et al., 2013 ; Whaites et Drage, 2013 ; White et Mallya, 2012 ; ICRP, 2010 ; ADF, 2007 ; Foucart, 2007 ; NRC, 2006 ; Cordoliani, 2005 ; Wambersie, 1991).

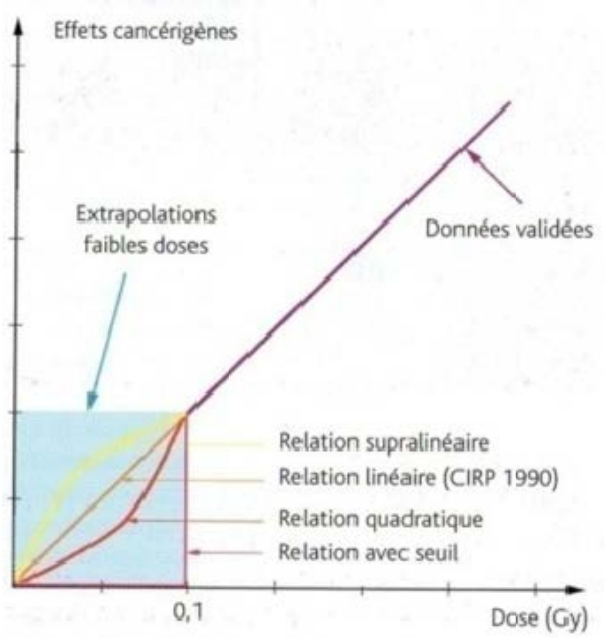


Figure 7 : Relations entre dose et effets cancérigènes (Foucart, 2007)

L'augmentation du risque d'induction de tumeurs n'a donc été démontrée que pour des doses supérieures à 100 mGy (White et Pharoah, 2014 ; ADF, 2007). Pour les doses inférieures à 100 mGy, le risque n'a pas pu être mis en évidence mais il ne doit pas pour autant être exclu (White et Pharoah, 2014 ; White et al., 2013 ; White et Mallya, 2012 ; ADF, 2007 ; NRC, 2006 ; Brenner et al., 2003).

Pour les faibles doses, les hypothèses proposées pour quantifier le risque néoplasique en fonction de la dose d'irradiation sont les suivantes. L'hypothèse très pessimiste de la relation supralinéaire, où le risque aux faibles doses serait proportionnellement plus important que celui mesuré aux fortes doses, semble la moins probable (Foucart, 2007 ; NRC, 2006 ; Wambersie, 1991). L'hypothèse de la relation linéaire sans seuil, pour laquelle le risque cancérigène serait proportionnel entre faibles et fortes doses, est elle aussi pessimiste et peu probable, pourtant c'est celle qui est retenue par la plupart des sociétés savantes travaillant sur la radioprotection, notamment l'ICRP, afin d'établir les doses limites en radiologie (Ammerich, 2013 ; ADF, 2007 ; ICRP, 2007a ; Foucart, 2007 ; NRC, 2006 ; Wambersie, 1991). Ce modèle est volontairement pessimiste puisqu'en réalité les faibles doses sont fractionnées ce qui supposerait une réduction du facteur de risque de 2 à 10 fois (Cordoliani et Foehrenbach, 2008 ; Cordoliani, 2005) et ainsi le risque de mortalité par cancer est surestimé d'environ 6% par Sv (Cordoliani, 2005). Ce pessimisme délibéré permet, en fait, de s'assurer une marge de précaution suffisante pour les limites de doses fixées réglementairement selon cette hypothèse (Ammerich, 2013 ; Cordoliani et Foehrenbach, 2008 ; ADF, 2007 ; Foucart,

2007 ; NRC, 2006). Les autres hypothèses sont la relation quadratique qui est quant à elle plus optimiste et enfin la relation avec seuil qui propose un seuil en dessous duquel une exposition ne pourrait pas produire d'effet. Ceci suppose donc qu'il existe des phénomènes de réparation pleinement efficaces jusqu'à un certain point (ADF, 2007 ; Foucart, 2007 ; NRC, 2006 ; Wambersie, 1991).

De nos jours, il est impossible de prouver le lien de causalité entre un cancer et une irradiation antérieure à faible dose pour plusieurs raisons. D'abord, parce qu'il existe un risque naturel de développer des cancers et l'incidence de ces cancers spontanés est élevée. Elle est estimée de 20 à 30% selon les auteurs (Farman, 2014 ; Ammerich, 2013 ; Cordoliani et Foehrenbach, 2008 ; Foucart, 2007 ; Cordoliani, 2005 ; Wambersie, 1991). Ainsi, la mise en évidence de l'augmentation du taux de cancers de l'ordre de quelques pourcents lors d'irradiation à faible dose face à l'incidence spontanée élevée est impossible, par exemple pour une dose de un centigray on aurait, au maximum, une augmentation de taux de cancers de un pour mille (Wambersie, 1991). De plus, il existe une longue période de latence qui sépare l'induction du diagnostic de la pathologie (Preston et al., 2013 ; NRC, 2006 ; Commission européenne, 2004 ; Gibbs, 1982). Ceci s'explique par le fait que les tumeurs malignes se développent lentement et mettront plusieurs années avant d'aboutir à des manifestations cliniques. Une tumeur solide peut mettre plus de 20 ans à se manifester (Gambini et Granier, 2007). L'induction d'une tumeur par une exposition ionisante peut donc passer inaperçue pendant des années puis se révéler des dizaines d'années plus tard (UNSCEAR, 2013). Or, durant cette période, le patient aura subi de multiples irradiations et on ne pourra pas identifier l'exposition responsable (Abbott, 2000). Ainsi, la survenue d'un cancer, différé dans le temps, ne peut être attribuée directement à une exposition donnée (ICRP, 2010). Enfin, il faut tenir compte de multiples autres facteurs pouvant conduire et influencer le développement de tumeurs malignes, par exemple le mode de vie, l'alimentation, l'environnement, les expositions chimiques, les facteurs génétiques,… (Preston et al., 2013 ; NRC, 2006 ; Abbott, 2000 ; Wambersie, 1991).

La probabilité de survenue d'un risque pour les faibles doses est faible (ICRP, 2010). Le risque théorique de développement d'un cancer létal a été estimé à 1/80000 par mSv (Abbott, 2000), pour l'ICRP il serait de 1/20000 par mSv (Whaites et Drage, 2013). A partir de cette estimation théorique du risque néoplasique létal, il a été calculé le risque potentiel pour un certain nombre d'examens d'imagerie dentaire (tableau 11).

Examen d'imagerie	doses efficaces moyennes (µSv)	risque maximum théorique de cancer létal par million d'individu
Cliché rétroalvéolaire ou rétrocoronaire	1 à 8	0,02 à 0,6
Cliché occlusal maxillaire	8	0,4
Panoramique	4 à 30	0,2 à 2
Téléradiographie de profil	2 à 3	0,3 à 0,4
CBCT (petit/moyen champ)	30 à 60 [1]	1,5 à 3
CBCT (grand champ)	80 à 300 [1]	4 à 20
Scanner maxillaire ou mandibulaire	100 à 3300	8 à 240

Tableau 11 : Estimation du risque d'induction d'un cancer létal
chez un sujet exposé à divers examens d'imagerie dentaire
(Adapté de : ADF, 2007 ; Foucart, 2007 ; Commission européenne, 2004 ;
[1] moyenne d'après Vallaeys et Hodez, 2014)

Si l'on considère l'ensemble de la population, il est donc tout à fait probable que les radiographies dentaires soient responsables d'une très faible proportion de cancers mortels. Ainsi, les 20 millions d'examens d'imagerie dentaire pratiqués par an au Royaume-Uni seraient potentiellement responsables de 10 cas de cancers (Whaites et Drage, 2013) et on pourrait imputer 4 cancers létaux aux radiographies panoramiques sur l'année 2007 au Royaume-Uni puisque plus de 2 millions de ces clichés avaient été pris (Ceri et al., 2005). Toutefois, ces calculs du nombre hypothétique de cancers pouvant être associés aux faibles doses sont inappropriés en raison de l'incertitude de la véracité du modèle linéaire sans seuil choisi (Cordoliani et Foehrenbach, 2008 ; ICRP, 2007a). En effet, ces calculs sont réalisés à partir d'une extrapolation théorique pessimiste du risque néoplasique et utilisent la notion de dose collective ce qui aboutit à des valeurs erronées et beaucoup plus élevées que la réalité. En fait, il faut garder à l'esprit que ces estimations de cancers représentent la limite supérieure du risque et donc que le risque réel est compris entre zéro et la valeur calculée (Cordoliani et Foehrenbach, 2008 ; Cordoliani, 2005).

Le risque de développer un cancer létal pour un examen d'imagerie intra-buccale, lorsqu'il est calculé selon le risque théorique maximal et arrondi à l'unité supérieure, est d'une chance sur un million. A titre de comparaison, ce risque est équivalent à celui de fumer 1 à 2 cigarettes par jour, parcourir 16 km à vélo, faire entre 65 et 100 km en voiture, voler 4000 km en avion, naviguer 6 minutes en canoë ou encore vivre 20 minutes pour un homme de 60 ans (Foucart, 2007 ; Cavézian et Pasquet, 2005 ; Abbott, 2000).

Il est donc important de rassurer nos patients si ceux-ci s'inquiètent du risque que représente l'exposition aux rayonnements ionisants lors de la prise de clichés dentaires. En effet, ce risque est extrêmement faible et encore plus réduit grâce aux évolutions technologiques (Abbott, 2000).

Evoquons tout de même quelques tumeurs auxquelles l'imagerie dentaire est présentée comme un facteur de risque. C'est par exemple le cas des tumeurs cérébrales (Lin et al., 2013 ; Claus et al., 2012 ; Longstreth et al., 2004 ; Preston-Martin et White, 1990 ; Preston-Martin et al., 1980), des tumeurs de la thyroïde (Neta et al., 2012 ; Memon et al., 2010 ;

White, 1992 ; Preston-Martin et al., 1987) et des glandes salivaires (Horn-Ross et al., 1997 ; Preston-Martin et White, 1990 ; Preston-Martin et al., 1988).

En ce qui concerne le cerveau, les examens d'imagerie conventionnelle dentaire ne lui délivrent qu'une faible dose (tableau 3) mais des études ont montré que des expositions fréquentes aux rayons X de radiodiagnostic dentaire augmenteraient le risque de tumeurs cérébrales bénignes (Lin et al., 2013) et de méningiomes intracrâniens (Claus et al., 2012 ; Longstreth et al., 2004 ; Preston-Martin et al., 1980).

En ce qui concerne la thyroïde, la radiographie conventionnelle dentaire ne lui délivre pas une dose conséquente (tableau 3) toutefois, plusieurs rapports suggèrent qu'elle peut-être considéré comme un facteur de risque pour les cancers thyroïdiens (Neta et al., 2012 ; Memon et al., 2010 ; Preston-Martin et al., 1987). On notera cependant que les principaux facteurs de risque pour ce cancer peu répandu sont les hormones et le déficit en iode (NRC, 2006). Il est à noter que les radiations ionisantes engendrent un plus fort risque de cancer thyroïdien avant 20 ans (Ron et al., 1995).

Pour conclure, on peut dire que le risque d'induire un cancer est présent lorsque l'on irradie une cellule somatique mais que la quantification de ce risque est complexe et controversée (Jorgensen, 2013 ; Whaites et Drage, 2013 ; Whites et al., 2013).

1.2.4.2.2 Effets héréditaires

Les effets génétiques sont dus à des mutations de l'ADN des cellules germinales : spermatozoïdes et ovules. Ces mutations peuvent se produire spontanément ou être engendrées par des facteurs externes tels que les rayonnements ionisants (Whaites et Drage, 2013).

Le risque héréditaire est, lui aussi, difficile voire impossible à mettre en évidence pour les faibles doses (Whaites et Drage, 2013 ; Wambersie, 1991) notamment car il existe un taux élevé de malformations congénitales spontanées : 5 à 14% selon les auteurs (NRC, 2006 ; Wambersie, 1991).

D'ailleurs, en ce qui concerne les effets héréditaires, les données épidémiologiques actuelles n'ont pas montré d'augmentation des anomalies génétiques dues aux rayonnements ionisants des radiodiagnostics (Cordoliani et Foehrenbach, 2008 ; Foucart, 2007 ; Gambini et Granier, 2007 ; ICRP, 2007a). Et le risque d'effets héréditaires est considéré comme négligeable en Odontologie (White et Pharoah, 2014 ; Commission européenne, 2004 ; White, 1992).

2 Radioprotection des patients et des travailleurs

Les mesures de radioprotection visent à protéger le patient des expositions aux rayonnements ionisants mais aussi le praticien et son personnel qui doivent s'exposer *a minima*. Ainsi, le praticien devra être "radioprotecteur" pour ses patients et son assistante et "radioprotégé" pour lui-même (Arbab-Chirani et Diemer, 2010).

La radioprotection passe par trois grands principes : 1) la justification : toute utilisation des rayonnements ionisants doit être évaluée au titre d'un bilan des avantages individuels ou collectifs qu'elle apporte par rapport à la nuisance qui peut en résulter ; 2) l'optimisation : concept selon lequel le matériel, les procédures et l'organisation doivent être conçus de telle sorte que les expositions individuelles ou collectives soient maintenues aussi basses qu'il est raisonnablement possible, en tenant compte des facteurs économiques et sociaux ; et, 3) la limitation des expositions : visant à limiter le risque des effets stochastiques au niveau de l'organisme entier et à prévenir les effets déterministes en particulier sur la peau, le cristallin et les extrémités. En tout état de cause, les doses reçues doivent être maintenues en dessous des valeurs limites fixées réglementairement (White et Pharoah, 2014 ; Ammerich, 2013 ; Circulaire DGT/ASN n°04, 2010 ; Aubert, 2010 ; Okano et Sur, 2010 ; Cordoliani et Foehrenbach, 2008 ; ADF, 2007 ; ICRP, 2007a).

2.1 Formation des professionnels de santé

« Les professionnels pratiquant des actes de radiodiagnostic […] exposant les personnes à des rayonnements ionisants […] doivent bénéficier, dans leur domaine de compétence, d'une formation théorique et pratique, initiale et continue, relative à la protection des personnes exposées à des fins médicales » (Code de santé publique, art. L1333-11). Cela se justifie d'autant plus que les professionnels de santé utilisent de plus en plus les rayonnements ionisants. Une formation à la radioprotection est indispensable à la bonne radioprotection des patients et des professionnels de santé (ICRP, 2010).

Cette formation se déroule sur une journée (ADF, 2007), elle se compose d'une partie commune à toutes les professions puis d'un programme spécifique à chaque catégorie professionnelle (Arrêté du 18 mai 2004, art. 2). Elle fait partie de la formation initiale de l'étudiant dans toutes les facultés d'Odontologie de France. Elle est dispensée par les Universités ou par des organismes de formation s'engageant à délivrer une formation conforme à l'arrêté du 18 mai 2004 (ADF, 2012). La formation est à renouveler au minimum tous les 10 ans (Arrêté du 18 mai 2004, art. 1). Une évaluation de la formation, sous forme de QCM ou de questions rédactionnelles, est mise en place afin de contrôler l'acquisition des connaissances du professionnel de santé. La réussite à cet examen donne lieu à une accréditation du professionnel (ICRP, 2010) qui reçoit un document attestant de la validation de cette formation (Arrêté du 18 mai 2004, art. 3).

Avant la mise en place de cette formation obligatoire, les praticiens étaient insuffisamment formés et peu d'attention était portée à la qualité de la technique radiographique ainsi qu'aux mesures de radioprotections (OMS, 1987). Ainsi, près de 80%

des dentistes australiens déclaraient avoir besoin d'une formation continue dans le domaine de la radiologie dentaire lors d'une enquête de 1988 (Monsour et al., 1988b). Depuis, malgré une amélioration de la formation aussi bien en période universitaire que post-universitaire, il semblerait que celle-ci ait besoin d'être améliorée car les connaissances en matière de radiologie et de radioprotection restent insuffisantes chez les dentistes (Aps, 2010). Dans de nombreux pays, la formation à la radioprotection est déficiente (ICRP, 2010) car les progrès technologiques sont rapides mais la formation ne suit pas et cela conduit à un décalage entre les avantages de la modernisation et le manque de connaissances des utilisateurs qui se retrouvent souvent plus exposés que nécessaire aux rayonnements ionisants ce qui est préjudiciable sur le plan de la santé (Santos et al., 2010).

Outre cette formation, tout travailleur du cabinet dentaire, même le personnel qui n'est pas présent ou sort de la salle lors des radiographies (praticien, assistante, aide dentaire, secrétaire), intervenant en zone surveillée ou contrôlée doit suivre une formation portant sur les risques de l'exposition et les règles de radioprotection. Cette formation a lieu au moins tous les 3 ans et est organisée par le chef d'établissement (ADF, 2012 ; INRS, 2009 ; ADF, 2007 ; Foucart, 2007). « La personne compétente en radioprotection participe à la définition et à la mise en œuvre de la formation à la sécurité des travailleurs exposés » (Code du travail, art. R4451-111) et « le médecin du travail participe à l'information des travailleurs sur les risques potentiels pour la santé de l'exposition aux rayonnements ionisants » (Code du travail, art. R4451-117).

2.2 Justification

« La justification est la confirmation argumentée de l'indication clinique et du choix de la technique d'imagerie » (HAS et al., 2006).

« Une activité nucléaire […] ne peut être entreprise ou exercée que si elle est justifiée par les avantages qu'elle procure, notamment en matière sanitaire, sociale, économique ou scientifique, rapportés aux risques inhérents à l'exposition aux rayonnements ionisants auxquels elle est susceptible de soumettre les personnes » (Code de santé publique, art. L1333-1). En d'autres termes, étant donné que la radiologie représente un risque dû à l'irradiation ionisante, elle ne doit être utilisée que si elle procure des informations dont le bénéfice est supérieur au risque pour le traitement du patient (Directive 2013/59/EURATOM, art. 4 et 55 ; White et Mallya, 2012 ; ICRP, 2010 ; Okano et Sur, 2010 ; Attal et Kaleka, 2008 ; ADA, 2006 ; HAS et al., 2006 ; Cavézian et Pasquet, 2005 ; Commission européenne, 2004). « Toute exposition d'une personne à des rayonnements ionisants, dans un but diagnostique, […] fait l'objet d'une analyse préalable permettant de s'assurer que cette exposition présente un avantage médical direct suffisant au regard du risque qu'elle peut présenter » (Code de santé publique, art. R1333-56). Ainsi, un examen radiographique ne devra être réalisé que lorsqu'il est indiqué par l'anamnèse (comprenant, entre autres, les symptômes et antécédents), l'examen clinique (révélant notamment les conditions cliniques et la zone anatomique à analyser), voire l'estimation du risque carieux du patient et qu'il apporte une plus value pour le diagnostique et le traitement (Praveen et al., 2013 ; ADA, 2006 ; HAS et al., 2006 : Espelid et al., 2003 ; NRPB, 2001). En effet, chaque patient étant différent, la

prise en charge radiologique devra être individualisée (Okano et Sur, 2010 ; White et al., 2001).

Par conséquent, il ne faut pas instaurer de radiographies de routine (Rouas et Hauret, 2014 ; Okano et Sur, 2010 ; Foucart, 2007 ; ADA, 2006 ; Commission européenne, 2004 ; White et al., 2001 ; Horner, 1994 ; OMS, 1987) car les radiographies sans indication clinique ne sont jamais justifiées et conduisent à une exposition superflue aux rayonnements ionisants (Le Heron et al., 2010 ; ADF, 2007 ; Martinez-Beneyto et al., 2007). Malheureusement, 42% de radiographies panoramiques sont réalisés de manière systématique sur les nouveaux patients sans examen clinique étayant cet examen (Ruston et al., 1999).

De plus, le praticien doit au préalable rechercher des clichés antérieurs ou, à défaut, leur compte-rendu et s'y référer afin de limiter les irradiations supplémentaires inutiles et de permettre un suivi radiologique lorsque cela est nécessaire (lésions inflammatoires péri-apicales d'origine endodontique, par exemple) dans un délai défini à partir de la date du dernier cliché (White et Mallya, 2012 ; Bonnet, 2008 ; Foucart, 2007 ; ADA, 2006 ; HAS et al., 2006 ; ANDEM, 1996).

Une fois l'indication de l'examen d'imagerie posée, il faut choisir la technique d'imagerie la plus appropriée afin de réduire les expositions inutiles (White et Mallya, 2012 ; Attal et Kaleka, 2008 ; HAS et al., 2006 ; Cavézian et Pasquet, 2005) « en tenant compte de l'efficacité, des avantages et des risques que présentent d'autres techniques disponibles visant le même objectif mais n'impliquant aucune exposition ou une exposition moindre aux rayonnements ionisants » (Directive 2013/59/EURATOM, art. 55). Par conséquent, il faut « s'assurer […] qu'aucune autre technique d'efficacité comparable comportant de moindres risques ou dépourvue d'un tel risque n'est disponible » (Code de santé publique, art. R1333-56).

Pour faciliter notre travail, la justification des différentes techniques d'imagerie dentaire a été développée dans plusieurs guides à l'intention des chirurgiens-dentistes (tableau 12). En France, « la justification d'une exposition aux rayonnements ionisants à des fins médicales […] s'appuie soit sur les recommandations de pratique clinique de la Haute Autorité de Santé, soit sur l'avis concordant d'experts » (Code de santé publique, art. R1333-56). Le respect des référentiels pourrait permettre de réduire de 43% le nombre de radiographies prises sans augmentation du taux de maladies non diagnostiquées (Atchison et al., 1995). Néanmoins, les recommandations ne doivent pas être appliquées systématiquement, elles ne l'emportent pas sur le jugement clinique du praticien et peuvent, ainsi, ne pas être adaptées à certains patients (ADA et FDA, 2012 ; HAS et al., 2006 ; Commission européenne, 2004 ; White et al., 2001 ; ANDEM, 1996). Et « dans le cas où une exposition n'est habituellement pas justifiée au regard des recommandations […] mais où elle paraît cependant nécessaire pour un patient déterminé dans un cas particulier, le médecin prescripteur et le médecin réalisateur de l'acte indiquent les motifs la justifiant dans la demande d'examen et le compte-rendu d'examen » (Code de santé publique, art. R1333-56).

		Patient				
		Enfant		Adolescent	Adulte	
		Denture temporaire	Denture mixte	Denture permanente	Denté	Edenté
Première visite	Si l'examen clinique le justifie et que cela est techniquement possible	Panoramique	Panoramique	Panoramique	Panoramique	Panoramique
	A défaut et sous les mêmes conditions	Clichés rétro-alvéolaires sur les dents à atteinte carieuse pénétrante + clichés rétro-coronaires postérieurs si les surfaces proximales ne sont ni visibles, ni sondables	Clichés rétro-alvéolaires sur les dents à atteinte carieuse pénétrante + clichés rétro-coronaires postérieurs			
	Examen personnalisé	Clichés occlusaux si traumatisme	Clichés rétro-alvéolaires sélectifs et/ou clichés occlusaux	Clichés rétro-alvéolaires, clichés rétro-coronaires sélectifs et/ou clichés occlusaux Bilan complet en TIB lorsque le patient présente des signes cliniques de maladie dentaire diffuse ou des antécédents de soins intensifs	Bilan complet en TIB lorsque le patient présente des signes cliniques de maladie dentaire diffuse ou des antécédents de soins intensifs	Clichés rétro-alvéolaires, clichés rétro-coronaires sélectifs et/ou clichés occlusaux
Visite de suivi des patients fidélisés à risque carieux élevé	Prévention	Examen rétro-coronaire des régions molaires tous les 6 mois jusqu'à diminution du risque carieux	Examen rétro-coronaire des régions prémolaires et molaires tous les 6 mois jusqu'à diminution du risque carieux	Examen rétro-coronaire des régions prémolaires et molaires tous les 6 à 12 mois jusqu'à diminution du risque carieux	Examen rétro-coronaire des régions prémolaires et molaires tous les 12 à 18 mois jusqu'à diminution du risque carieux	
	Diagnostic	Clichés rétro-alvéolaires pour l'évaluation de l'état apical des dents porteuses de caries pénétrantes				
Visite de suivi des patients fidélisés à risque carieux faible		Examen rétro-coronaire des régions molaires tous les 12 à 24 mois si les surfaces proximales des dents temporaires ne sont ni visibles, ni sondables	Examen rétro-coronaire des régions prémolaires et molaires tous les 12 à 24 mois si les surfaces proximales des dents ne sont ni visibles, ni sondables	Examen rétro-coronaire des régions prémolaires et molaires tous les 18 à 36 mois ou jusqu'à disparition de toute lésion carieuse	Examen rétro-coronaire des régions prémolaires et molaires tous les 21 à 36 mois ou jusqu'à disparition de toute lésion carieuse	
Traitement endodontique		Clichés rétro-alvéolaires (pré, per et post opératoire) Si besoins complété par examen d'imagerie sectionnelle lorsque l'anatomie canalaire inhabituelle				
Maladie parodontale	Pertes osseuses horizontales légères	Clichés rétro-coronaires				
	Atteintes parodontales plus marquées	Bilan intra-buccale complet (en TIB) ou panoramique complété de clichés rétro-alvéolaires sélectifs				
	Atteintes inter-radiculaires	Clichés rétro-alvéolaires				
Examen pré-chirugical, analyse des pathologies ou des traumatismes osseux	Examen pré-chirugical, pathologie osseuse limitée d'origine dentaire et traumatisme dentaire localisé	Clichés rétro-alvéolaires complétés si nécessaire par un cliché occlusal				
	Examen pré-chirugical des troisièmes molaires, pathologies diffuse ou traumatisme osseux	Panoramique, voire imagerie sectionnelle				
Implantologie	Site implantaire unique				Cliché rétro-alvéolaire en première intention puis imagerie sectionnelle si nécessaire	
	Sites implantaires multiples				Panoramique en première intention puis imagerie sectionnelle si nécessaire	

Tableau 12 : Guide des indications de radiologie
(d'après HAS et al., 2006 et Commission européenne, 2004)

2.3 Optimisation

« La radioprotection des personnes soumises à une exposition professionnelle ou à l'exposition du public est optimisée dans le but de maintenir l'amplitude des doses individuelles, la probabilité de l'exposition et le nombre de personnes exposées au niveau le plus faible qu'il soit raisonnablement possible d'atteindre, compte tenu de l'état actuel des connaissances techniques et des facteurs économiques et sociétaux » (Directive 2013/59/EURATOM, art. 4). Ainsi, il faut que « toute dose liée à une exposition à des fins médicales pour un acte diagnostique utilisant les rayonnements ionisants […] soit maintenue au niveau le plus faible qu'il soit raisonnablement possible d'atteindre tout en permettant d'obtenir l'information médicale requise » (Directive 2013/59/EURATOM, art. 56). Ces notions, au niveau de la législation européenne, ont été retranscrites dans la législation française où il est dit que « l'exposition des personnes aux rayonnements ionisants […] doit être maintenue au niveau le plus faible qu'il est raisonnablement possible d'atteindre, compte tenu de l'état des techniques, des facteurs économiques et sociaux et, le cas échéant, de l'objectif médical recherché » (Code de santé publique, art. L1333-1). Et plus spécifiquement pour les travailleurs, « les expositions professionnelles individuelles et collectives aux rayonnements ionisants sont maintenues […] au niveau le plus faible qu'il est raisonnablement possible d'atteindre » (Code du travail, art. R4451-10). En d'autres termes, lorsque la décision a été prise de réaliser un cliché radiographique (justification), celui-ci devra être mené de telle sorte qu'il amènera un maximum d'informations, dont l'information diagnostique recherchée, tout en maintenant l'exposition au niveau le plus faible possible (optimisation) tant pour le patient que pour les travailleurs (Clée et Soueidan, 2014 ; Rouas et Hauret, 2014 ; Praveen et al., 2013 ; ADF, 2007).

Par le fait, il existe une notion de rendement par unité d'exposition (Praveen et al., 2013).

Le principe d'optimisation est aussi connu sous le nom de principe ALARA (*As Low As Reasonably Achievable radiation exposure* ou exposition aux rayons aussi faible que raisonnablement possible) parfois nommé ALADA (*As Low As Diagnostically Acceptable*) ou ALARP (*As Low As Reasonably Practicable*) (Law et al., 2014 ; White et al., 2014).

L'optimisation se fait à 2 niveaux, celui de la conception des équipements et des installations et celui des procédures quotidiennes de travail (ICRP, 2007b). En pratique « l'optimisation de la radioprotection comporte le choix de l'équipement, la production régulière d'informations diagnostiques […] adéquats, les aspects pratiques des procédures radiologiques médicales, l'assurance de la qualité et l'évaluation des doses administrées au patient » (Directive 2013/59/EURATOM, art. 56). De plus, il faut que « pour chaque type de procédure radiologique médicale courante, des protocoles écrits soient établis pour chaque équipement et chaque catégorie de patients concernée » (Directive 2013/59/EURATOM, art. 58). Ainsi « Les […] chirurgiens-dentistes qui réalisent des actes établissent, pour chaque équipement, un protocole écrit pour chaque type d'acte de radiologie […] diagnostique qu'ils effectuent de façon courante, en utilisant des guides de procédures […]. Ces protocoles écrits

sont disponibles, en permanence, à proximité de l'équipement concerné » (Code de santé publique, art. R1333-69).

En pratique, il existe 3 niveaux sur lesquels on peut influer durant un acte radiologique : à la source, sur le chemin de la radiation et sur les caractéristiques et position des individus exposés (Praveen et al., 2013). Il faudra donc veiller au choix et à la maintenance des équipements radiologiques, au respect des protocoles, à l'assurance qualité (Rouas et Hauret, 2014 ; ADA, 2006) et sélectionner la dose d'exposition la plus faible possible tout en utilisant des techniques permettant de réduire l'exposition du patient (White et Mallya, 2012).

L'optimisation est « une mesure de précaution permettant de compenser les incertitudes concernant le détriment sanitaire en cas de doses inférieures au seuil pour les réactions tissulaires » (Directive 2013/59/EURATOM, art. 4). Elle requiert la conviction, l'engagement et la compétence du personnel médical (ICRP, 2010).

2.3.1 Optimisation au niveau du matériel

Le choix du matériel doit être mûrement réfléchi car il représente un investissement conséquent et une fois acheté les équipements seront utilisés durant plusieurs années. L'un des critères majeurs pour le choix des équipements de radiologie sera leur capacité à fournir des images de qualité tout en maintenant l'exposition au niveau le plus faible possible.

Il est aussi important que les praticiens suivent les évolutions et renouvèlent si besoin leurs plateaux techniques afin de garantir la sécurité de leurs patients et de maintenir l'irradiation au niveau le plus bas possible (Attal et Kaleka, 2008).

2.3.1.1 Le générateur

Rappelons tout d'abord comment fonctionne un générateur en Odontologie. Il contient un tube à vide appelé tube de Coolidge qui est à l'origine de la production du faisceau de rayons X (figures 8, 9 et 10). Celui-ci se compose d'une cathode (pôle négatif) de tungstène avec une trace de thorium (environ 1%) qui est chauffée à incandescence par un courant électrique ce qui crée, par effet thermo-ionique, un nuage d'électrons autour de la cathode (le nombre d'électrons émis étant fonction de l'intensité du courant et du temps d'exposition). Les électrons sont alors dirigés vers une anode (pôle positif) de tungstène grâce à un dispositif de concentration en forme de coupe parabolique qui oriente les électrons dans la bonne direction puis sont accélérés via la différence de potentiel présente entre les deux pôles (l'énergie cinétique des électrons étant proportionnelle à la tension). Lorsque les électrons percutent la cible que représente l'anode, 99% de l'énergie est produite sous forme de chaleur et est dissipée par le bloc de cuivre qui enchâsse l'anode puis par l'huile minérale qui entoure le tube de Coolidge. Le reste des électrons interagit avec le tungstène de l'anode pour former des rayons X (1%) dirigés vers le corps à radiographier (White et Pharoah, 2014 ; Whaites et Drage, 2013 ; ADF, 2007 ; Foucart, 2007) sous forme d'un faisceau de rayons X composé de plusieurs millions de photons d'énergies différentes (Whaites et Drage, 2013). Le rendement d'émission de photons des tubes à rayons X est donc faible (1%). Ce rendement est

proportionnel à la tension et au numéro atomique (Z) du métal constituant l'anode. C'est l'une des raisons pour lesquelles le tungstène a été choisi car il présente un numéro atomique élevé (Z = 74). La seconde raison est que, comme 99% de l'énergie cinétique des électrons atteignant l'anode se disperse sous forme de chaleur, il y a une forte élévation de température de la cible. Or, le tungstène possède une température de fusion de 3410°C largement suffisante pour résister à la chaleur produite dans le tube et il conduit bien la chaleur ce qui facilite sa dissipation (White et Pharoah, 2014 ; ADF, 2007).

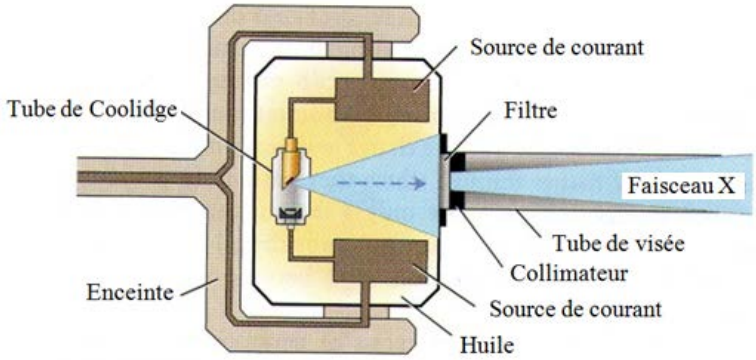
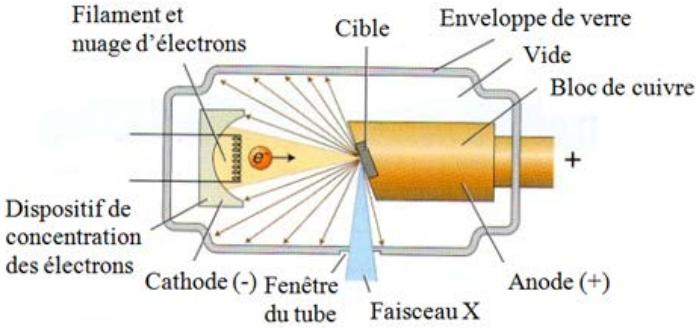


Figure 8 : Schématisation d'un générateur radiogène (traduit d'après White et Pharoah, 2014)



Figures 9 et 10 : Tube de Coolidge (traduit d'après White et Pharoah, 2014)

Par ailleurs, on notera que les dimensions de la cible définissent la taille du foyer et conditionnent la définition de l'image. Plus la taille du foyer est réduite, moins les ombres portées autour de l'image de l'objet, appelées phénomène de pénombre et correspondant à l'effacement des bords de l'image, sont importantes (figure 11) (White et Pharoah, 2014 ; Whaites et Drage, 2013 ; Attal et Kaleka, 2008 ; ADF, 2007). La taille du foyer est donc, théoriquement, un facteur important pour la qualité de l'image (Platin et al., 1996).

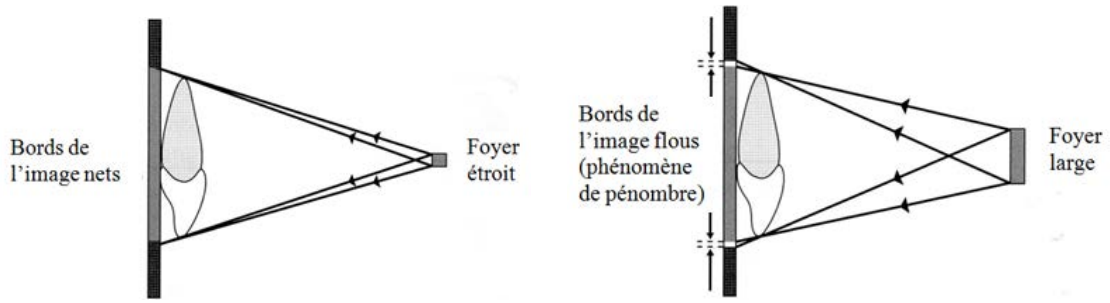


Figure 11 : Phénomène de pénombre (traduit d'après Whaites et Drage, 2013)

Les générateurs de radiographie endobuccale sont de catégorie E1 (Foucart, 2007). D'un point de vu légal, une « déclaration [est] requise […] pour […] la détention ou l'utilisation d'appareils électriques générant des rayons X à des fins […] de diagnostic […] dentaire » (Code de santé publique, art. R1333-19). En Odontologie, tous les appareils électriques générant des rayons X (c'est-à-dire les appareils de radiographie endobuccale, les appareils de radiographie panoramique, les appareils de téléradiographie crânienne, les appareils de tomographie volumique à faisceau conique, les appareils mobiles et portatifs de radiologie dentaire) sont soumis à déclaration, à l'exclusion des scanners qui sont soumis à autorisation (ASN, 2013). La déclaration est à faire auprès de l'Autorité de Sûreté Nucléaire (Code de santé publique, art. R1333-20) à l'aide d'un formulaire complété d'un dossier justificatif. La validité d'une déclaration n'est pas limitée dans le temps mais chaque modification concernant les appareils, les locaux, le déclarant ou le titulaire doit faire l'objet d'une nouvelle déclaration (ASN, 2013 ; ADF, 2012). En cas de changement de PCR, un simple courrier pour informer l'ASN suffit, il n'y a pas besoin de refaire la déclaration (ADF, 2012). Cette déclaration conditionne le remboursement des actes radiologiques aux assurés sociaux par les caisses d'assurance maladie (Code de sécurité sociale, art. R.162-53), et même le fait de réaliser gratuitement les actes de radiologie n'exonère pas de l'obligation de déclarer ses générateurs. La non-déclaration est passible de 15000 € d'amende et d'un an d'emprisonnement (ADF, 2012). En cas de cessation de l'activité, le déclarant devra prévenir l'ASN à l'aide d'un formulaire dédié au moins 6 mois à l'avance afin que celle-ci fournisse une attestation dégageant le déclarant de ses obligations relatives aux appareils émettant des rayonnements X (ADF, 2012).

Le matériel déclaré doit porter le marquage CE (si mis en service après 1998) ou être conforme à la norme NF C74-100, être implanté dans des installations aménagées selon les normes NF C15-160, comporter un dispositif permettant à l'utilisateur d'être renseigné sur la quantité de rayonnement émise (si mise en service après 2004) et faire l'objet de maintenance et de contrôles de qualité selon les modalités de l'ANSM (ASN, 2013 ; ADF, 2012 ; ADF, 2007). On remarque que, depuis juin 2004, les nouveaux générateurs devraient être pourvus d'un dispositif fournissant une estimation de la dose reçue par le patient, mais dans les faits peu de générateurs en sont équipés (ADF, 2012).

Le cahier des charges des fabricants est conséquent et fait partie des obligations d'optimisation en amont de la mise en service du générateur.

Les critères de qualité d'un générateur sont : la capacité de générer, de façon constante, des rayons X de l'énergie souhaitée, une petite taille, une facilité de déplacement et de positionnement, une stabilité et un équilibrage lui permettant de rester dans la position souhaitée, une possibilité d'être replier pour un gain de place lorsqu'il est rangé, une simplicité d'utilisation, une robustesse et une compatibilité avec les films argentiques et les capteurs numériques (Whaites et Drage, 2013). Un des critères essentiels est d'avoir un bras qui permette d'obtenir une parfaite stabilisation du tube radiogène. En effet si le tube venait à se déplacer durant la réalisation du cliché, soit l'image serait flou, soit l'image serait incomplète si le tube se retrouvait partiellement décalé par rapport au capteur au moment du déclenchement du cliché (Praveen et al., 2013). Il est à noter que ni le praticien, ni le patient ne doivent maintenir le générateur durant la prise du cliché (White et Pharoah, 2014), plus généralement aucune main ne doit tenir le générateur durant le déclenchement (NRPB, 2001). De plus, l'enceinte renfermant le générateur radiogène doit limiter le rayonnement de fuite (Praveen et al., 2013). D'autre part, le chirurgien-dentiste doit idéalement être en mesure de régler la tension, l'intensité et le temps d'exposition et d'adapter ces paramètres à chaque cas clinique. Mais, en pratique, les fabricants effectuent des préréglages en usine et limitent essentiellement le réglage au temps d'exposition (ADF, 2007).

2.3.1.1.1 La tension

La tension du courant est exprimée en volt (V) ou plus spécifiquement en kilovolt *peak* (kVp) au niveau du générateur. Elle correspond à la différence de potentiel entre la cathode et l'anode et détermine ainsi successivement l'énergie cinétique des électrons entre ces deux pôles puis l'énergie des photons X produits. Par conséquent, plus la tension est élevée, plus le nombre d'électrons susceptibles d'atteindre la cible est élevé et plus l'énergie et le pouvoir de pénétration des photons X sont importants (White et Pharoah, 2014 ; ADF, 2007). La tension influe donc partiellement sur la quantité de photons X (la quantité de rayons X étant majoritairement conditionnée par l'intensité et le temps d'exposition), mais elle impactera surtout la qualité du rayonnement (ADF, 2007).

Les générateurs dentaires sont dits à haute tension car ils possèdent un transformateur qui convertit le courant du secteur de 220 V en courant de haute tension de 60 à 70 kVp. De plus, pour améliorer le rendement du générateur, le courant alternatif du secteur est redressé en inversant le sens du courant de la partie négative du cycle grâce à un pont de diode. Mais, malgré cela, le rendement reste faible avec une production discontinue de rayons X due à la faible fréquence du courant qui varie fortement pendant l'exposition de 0 à sa valeur maximale (ADF, 2007 ; Whaites et Drage, 2013). Pour pallier à cela, les générateurs récents transforment le courant du secteur de 50 Hz en courant de haute fréquence de 20 à 300 kHz. Ainsi, on considère que le débit du courant de haute fréquence reste quasiment constant ce qui permet de fournir plus rapidement un faisceau homogène de rayons X (ADF, 2007). L'utilisation d'un générateur de haute fréquence, dit à courant continu, permet d'améliorer le rendement (plus de rayons X produits par unité de temps) (Whaites et Drage, 2013 ; ADF, 2007) et la fiabilité (ADF, 2007), de fournir un flux contant de rayons X (Attal et Kaleka, 2008), d'avoir des résultats plus précis et prédictibles (Bonnet, 2008 ; Commission européenne, 2004), ainsi que de réduire les rayons X de faible énergie (Whaites et Drage,

2013 ; Foucart, 2007 ; Horner, 1994 ; Horner et Hirschmann, 1990) tout en augmentant le nombre de photons de haute énergie (Whaites et Drage, 2013 ; Commission européenne, 2004 ; Horner, 1994). Cela permettra de réduire le temps d'exposition (Whaites et Drage, 2013 ; Attal et Kaleka, 2008) de 20 à 30 % (ADF, 2007), la tension de 5 à 8 kVp (Commission européenne, 2004 ; Helmrot et al., 1994 ; Horner et Hirschmann, 1990) et donc de diminuer la dose reçue par le patient d'environ 25% (White et Pharoah, 2014 ; Kaeppler et al., 2007 ; Horner et Hirschmann, 1990). Les générateurs de haute fréquence sont donc recommandés, notamment lorsque l'on utilise des capteurs numériques où ils sont quasiment indispensables du fait de la grande sensibilité des capteurs au rayonnement (Bonnet, 2008 ; Commission européenne, 2004).

La tension détermine l'énergie des rayons X et ainsi leur force de pénétrance (White et Pharoah, 2014 ; ADA et FDA, 2012 ; Attal et Kaleka, 2008 ; Foucart, 2007 ; Commission européenne, 2004). Une faible tension produit des rayons X de faible énergie qui sont en grande partie stoppés par la peau ; par conséquent, la dose d'entrée au niveau cutané est importante (ADA et FDA, 2012 ; Attal et Kaleka, 2008 ; ADF, 2007 ; Foucart, 2007 ; ADA, 2006 ; Commission européenne, 2004 ; Horner, 1994), alors que la dose au niveau des tissus profonds et la quantité de rayonnements secondaires restent faibles (ADA et FDA, 2012 ; ADA, 2006). A l'opposé, une tension élevée conduira à une plus forte irradiation en profondeur (Commission européenne, 2004 ; Danforth et Torabinejad, 1990 ; Horner et Hirschmann, 1990) et à une plus grande dispersion des rayons X dans la salle de soins mais avec une plus faible dose cutanée pour le patient (Commission européenne, 2004 ; Horner et Hirschmann, 1990). Le passage d'une tension de 60 à 70 kVp réduit la dose à l'entrée de 20 à 25% ; à 90 kVp, la dose à l'entrée est diminuée de 30 à 35% mais elle s'accompagne d'une augmentation de la dose en profondeur (Kaeppler et al., 2007).

La tension détermine le contraste de l'image, c'est-à-dire l'échelle de gris plus ou moins étendue de cette dernière (Attal et Kaleka, 2008). Une faible tension fournira une image très contrastée ce qui ne permettra de visualiser que les fortes différences de densité au sein de l'objet radiographié. Alors que le fait d'augmenter la tension permet de réduire le contraste et donc d'améliorer la qualité de l'image obtenue avec des détails d'image de grande valeur diagnostique, en favorisant la visualisation des faibles différences de densité de l'objet radiographié (Praveen et al., 2013 ; ADA et FDA, 2012 ; Attal et Kaleka, 2008 ; ADA, 2006 ; Commission européenne, 2004 ; Horner et Hirschmann, 1990).

Enfin, on notera qu'une faible tension impose des temps d'exposition plus long ce qui augmente le risque de flou cinétique au niveau de l'image (Attal et Kaleka, 2008).

Ainsi, la tension choisie doit résulter d'un compromis entre la qualité de l'image que l'on souhaite obtenir pour permettre une bonne interprétation du cliché et la dose d'irradiation la plus faible possible (Horner, 1994).

D'un point de vue pratique, les générateurs en Odontologie possèdent une tension soit unique et fixée par le fabricant, soit très légèrement modifiable entre 60 et 70 kVp généralement (Anissi et Geibel, 2014 ; Whaites et Drage, 2013 ; ADA et FDA, 2012 ; Bonnet,

2008 ; ADF, 2007 ; Commission européenne, 2004 ; NRPB, 2001 ; Goren et al., 2000). Il est intéressant de pouvoir moduler la tension pour élargir les possibilités diagnostiques de l'image (ADF, 2007), notamment en fonction de la zone à radiographier (Danforth et Torabinejad, 1990) : par exemple, en cas de superposition anatomique, on peut augmenter la tension afin d'améliorer la pénétrance des rayons, ou à l'opposé, pour un secteur édenté, on peut réduire la tension de 5 kVp (Attal et Kaleka, 2008). Quelques modèles offrent un plus large choix allant de 50 à 90 kVp (Whaites et Drage, 2013). Ces limites ont été déterminées sachant qu'une tension inférieure à 50 kVp ne doit pas être utilisée (Cavézian et Pasquet, 2005 ; Commission européenne, 2004 ; ANDEM, 1996 ; NRPB, 2001) et qu'une tension de 90 kVp augmente la dose reçue par le patient et ne doit pas non plus être utilisée (ADA et FDA, 2012 ; Goren et al., 2000) sauf dans quelques situations comme la prise de clichés occlusaux (ADF, 2007). Pour conclure, on peut dire que la qualité est optimale pour une tension de 70 kVp (Commission européenne, 2004), cette tension est d'ailleurs recommandée avec les capteurs CCD/CMOS (HAS et al., 2006) qui n'admettent que des tensions comprises entre 60 et 70 kVp (ADF, 2007).

Une enquête menée auprès des dentistes flamands révèle que 63% utilisent un générateur avec une tension comprise entre 60 et 70 kVp, 5% à 50 kVp et 32% ne savent pas quelle tension ils utilisent (Aps, 2010). Une enquête réalisée dans une ville brésilienne montre qu'environ 34% des praticiens utilisent un générateur de plus de 60 kVp, 12% un de 60 kVp, 3% un de 50 kVp et 51% ne connaissent pas la tension de leur équipement (de Melo et Melo, 2008).

2.3.1.1.2 L'intensité

L'intensité du courant est exprimée en milliampère (mA). Plus elle est importante, plus la température du filament de tungstène constituant la cathode est élevée, plus le nombre d'électrons produits est grand et, proportionnellement, plus le nombre de photons émis est important (White et Pharoah, 2014 ; ADF, 2007). L'intensité détermine donc la quantité de photons délivrés par unité de temps et, par conséquent, le noircissement du film (Attal et Kaleka, 2008).

L'intensité n'est que rarement réglable sur les modèles courants de générateur (Attal et Kaleka, 2008), elle est bien souvent fixée à une valeur donnée par le fabricant (Bonnet, 2008). Toutefois, le fait de pouvoir légèrement moduler l'intensité en fonction du secteur à radiographier permet de s'adapter à la densité du secteur et ainsi de garantir une image de qualité (Praven et al., 2013).

L'intensité est comprise entre 4 et 10 mA selon le type de récepteur utilisé et les possibilités techniques du générateur (HAS et al., 2006). Généralement, l'intensité est idéalement fixée entre 7-8 mA quelque soit le système de détection (film ou capteur) (Anissi et Geibel, 2014) mais, lorsqu'il est possible, le réglage de l'intensité est disponible pour deux valeurs : 7-8 mA en argentique et 4 mA en numérique (ADF, 2007). Quand l'intensité est réglable on privilégiera l'intensité la plus élevée afin de réduire le temps d'exposition et ainsi de réduire le risque de flou cinétique (White et Pharoah, 2014).

On constate que la majorité des praticiens ne connaissent pas l'intensité de leur générateur. En effet, l'enquête menée auprès des dentistes flamands révèle que 75% d'entre eux ne connaissent pas l'intensité de leur générateur (Aps, 2010) et il en est de même pour 57% des praticiens brésiliens (de Melo et Melo, 2008).

2.3.1.1.3 Le temps d'exposition

Le temps d'exposition est exprimé en secondes (s) ou millisecondes (ms). Il est le second facteur, avec l'intensité, à agir sur la quantité de photons délivrés (White et Pharoah, 2014 ; ADF, 2007) dans le sens où la dose de rayons X est directement proportionnelle au temps d'exposition en fonction de l'intensité (figure 12) (White et Pharoah, 2014 ; Giguère et Joly, 2010 ; Attal et Kaleka, 2008 ; Bhaskaran et al., 2005). Le temps d'exposition détermine le noircissement du film, indépendamment du contraste (Attal et Kaleka, 2008).

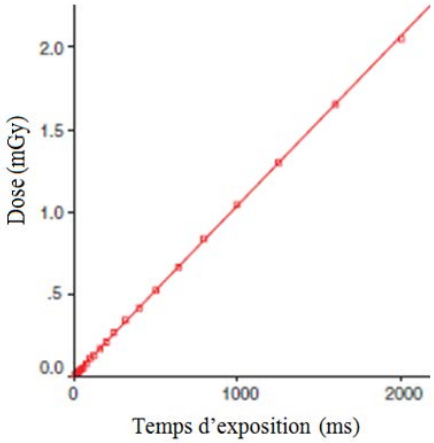


Figure 12 : Relation entre le temps d'exposition et la dose d'irradiation lorsque la tension et l'intensité sont constantes (60 kVp et 6 mA) (traduit d'après Bhaskaran et al., 2005)

En pratique, le temps d'exposition est le paramètre variable le plus important car, le plus souvent, c'est le seul paramètre réglable par l'opérateur (White et Pharoah, 2014 ; Attal et Kaleka, 2008 ; Bonnet, 2008). Ainsi, la dose d'irradiation est parfaitement contrôlable grâce à ce seul facteur car le dentiste peut toujours le modifier alors que la tension et l'intensité sont des facteurs sur lesquels le praticien ne peut pas exercer de modifications majeures (Bonnet et Chauvel, 2014). Par conséquent, c'est surtout la variation du temps d'exposition qui garantit la qualité de l'image malgré la différence de densité des tissus entre les différents secteurs (Praveen et al., 2013). Ainsi, le réglage du temps d'exposition doit prendre en compte les différences anatomiques des différentes zones à radiographier : par exemple, la zone molaire comprend une plus grande épaisseur d'os que la zone incisive (Commission européenne, 1995) et nécessite donc un temps d'exposition plus important (tableau 13). En cas de superposition anatomique masquant les zones d'intérêt diagnostique, par exemple l'arcade zygomatique ou une dent incluse, on peut augmenter le temps d'exposition jusqu'à 50% ; toutefois, cela augmente aussi le risque de flou cinétique. A l'inverse, en cas de radiographie d'un secteur édenté on peut réduire le temps d'exposition d'environ 25% (White et Pharoah, 2014 ; Attal et Kaleka, 2008). Le réglage du temps d'exposition en fonction du secteur à radiographier permet donc d'éviter les sur- ou sous-expositions.

Position sur l'arcade	Facteur
Incisives mandibulaires	0,75
Incisives maxillaires	1
Prémolaires mandibulaires	1
Prémolaires maxillaires	1,25
Molaires mandibulaires	1,25
Molaires maxillaires	1,75

Tableau 13 : Facteurs relatifs du temps d'exposition selon la dent à examiner (d'après Attal et Kaleka, 2008)

De plus, il existe des différences notables de temps d'exposition selon le récepteur que l'on utilise. En effet, le temps d'exposition moyen pour un film argentique rapide (0,28 s) est 2 fois plus élevé que celui d'un capteur ERLM (0,14 s) et 2,8 fois plus élevé que pour un capteur CCD (0,1 s) (figure 13), soit des différences d'exposition de 50% entre un film argentique rapide et un capteur numérique ERLM, et de 40% entre les capteurs ERLM et CCD (Anissi et Geibel, 2014). En imagerie numérique, le temps d'exposition varie entre 0,02 s et 0,14 s (Bonnet, 2008).

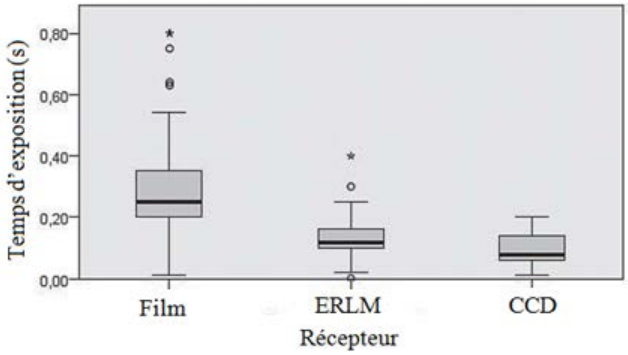


Figure 13 : Graphique illustrant le temps d'exposition d'une molaire maxillaire pour un film argentique et des capteurs ERLM et CCD (traduit d'après Anissi et Geibel, 2014)

En pratique, il faut veiller à choisir des temps d'exposition les plus bas possibles tout en garantissant une qualité d'image suffisante au diagnostic (Jones et al., 2007). La réduction judicieuse de la dose d'exposition sera bénéfique pour le patient mais aussi pour le personnel potentiellement exposé (Le Heron et al., 2010).

Le plus simple est d'avoir une minuterie qui se règle automatiquement selon le site anatomique que l'on sélectionne ; toutefois, il existe encore des dispositifs manuels en service (Attal et Kaleka, 2008). L'enquête menée auprès des dentistes flamands révèle que 54% d'entre eux travaillent avec un temps d'exposition réglé numériquement et 43% avec un réglage manuel (Aps, 2010). L'enquête équivalente menée au Brésil a montré que près de 79% des praticiens utilisaient une minuterie électronique ou numérique (de Melo et Melo, 2008)

2.3.1.1.4 La filtration

La filtration du faisceau de rayons X est faite par un filtre d'aluminium qui est intégré au générateur et placé sur la trajectoire du faisceau de rayons X (figure 8) (White et Pharoah, 2014 ; Giguère et Joly, 2010 ; Foucart, 2007 ; Commission européenne, 2004 ; AERB, 2001). Ce n'est pas un facteur modifiable par le praticien (Foucart, 2007 ; Commission européenne, 2004 ; AERB, 2001). Elle permet de stopper les rayons de faible énergie (figure 14) (White et Pharoah, 2014 ; Foucart, 2007 ; Gambini et Granier, 2007 ; NRC, 2006 ; Commission européenne, 2004 ; AERB, 2001 ; Smith, 1968) qui seraient absorbés par la peau du patient et ne contribueraient pas à la qualité de l'image ; de ce fait, elle permet de réduire la dose cutanée reçue par le patient (IRSN, 2015 ; Giguère et Joly, 2010 ; Cordoliani et Foehrenbach, 2008 ; Foucart, 2007 ; Commission européenne, 2004 ; Syriopoulos et al., 1998 ; Smith, 1968). L'utilisation d'un filtre d'aluminium de 3 mm permet de réduire l'exposition de 20% (White et Pharoah, 2014).

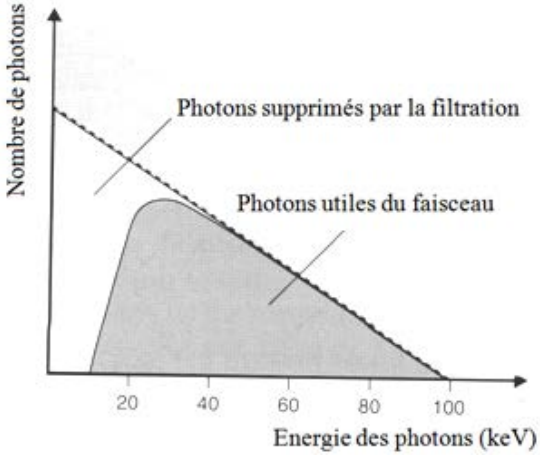


Figure 14 : Action de la filtration sur les photons du faisceau de rayons X
(traduit d'après Whaites et Drage, 2013)

L'épaisseur d'aluminium varie entre 1,5 et 2,5 mm selon la tension et le modèle de générateur (ADF, 2007). En pratique, les fabricants utilisent une filtration de 1,5 mm d'aluminium pour les générateurs de 50 à 70 kVp (White et Pharoah, 2014 ; Whaites et Drage, 2013 ; NRPB, 2001 ; Goren et al., 2000) et de 2,5 mm d'aluminium pour ceux de plus de 70 kVp (White et Pharoah, 2014 ; Whaites et Drage, 2013 ; NRPB, 2001 ; Goren et al., 2000).

On notera qu'il est possible de placer une filtration additionnelle sous forme d'un disque d'aluminium au niveau du cône de visée du générateur (White et Pharoah, 2014 ; AERB, 2001 ; NRPB, 2001) mais elle ne présente pas d'intérêt avec les générateurs modernes puisque la filtration mise en place par le fabriquant est suffisante.

2.3.1.1.5 La collimation

La collimation est assurée par un diaphragme de plomb circulaire ou rectangulaire situé sur le boîtier du tube (figures 8 et 15), elle peut être complétée par un diaphragme additionnel rectangulaire ou circulaire positionné à l'extrémité du cône d'espacement (figures 16 à 19) et/ou par un bouclier métallique associé au porte-récepteur (figure 20).

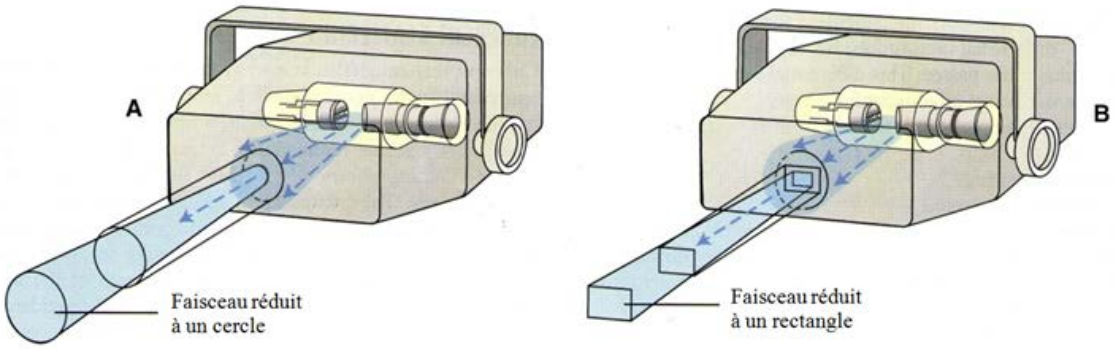


Figure 15 : Collimateurs circulaire (A) et rectangulaire (B)
(traduit d'après White et Pharoah, 2014).

La collimation permet de réduire la surface et, par conséquent, le volume d'irradiation du faisceau de rayons X et donc de réduire la dose reçue par le patient (White et Pharoah, 2014 ; ADA et FDA, 2012 ; Foucart, 2007 ; Commission européenne, 2004). Elle permet aussi de réduire les rayonnements secondaires et ainsi d'améliorer la qualité de l'image en diminuant le bruit causé par ces derniers (Anissi et Geibel, 2014 ; White et Pharoah, 2014 ; ADA et FDA, 2012 ; Goren et al., 2000 ; Horner et Hirschmann, 1990).

C'est pourquoi la surface du faisceau primaire doit être collimatée le plus possible et, idéalement, on veillera à ce que le collimateur n'excède pas la dimension du récepteur de plus de 2% de la distance source-récepteur (ADA et FDA, 2012 ; ADA, 2006). Les dimensions du collimateur doivent toujours être légèrement supérieures à la dimension du récepteur afin de laisser une marge d'erreur lors du positionnement du tube même si celle-ci est source d'un faible surcroît d'exposition sans valeur diagnostique pour le patient (Attal et Kaleka, 2008). Ainsi, le collimateur rectangulaire ne devra en aucun cas excéder 4 × 5 cm (Whaites et Drage, 2013 ; NRPB, 2001) et de préférence il ne dépassera pas 3,5 × 4,5 cm (NRPB, 2001) pour un récepteur de 3 × 4 cm. Le collimateur circulaire ne devra pas excéder 6 cm de diamètre (NRPB, 2001).

On comprend aisément que la surface du faisceau d'une collimation rectangulaire de 3,5 × 4,5 cm est mieux adaptée aux dimensions du récepteur qu'une collimation circulaire de 6 cm de diamètre (White et Pharoah, 2014 ; ADF, 2007). En effet, un collimateur circulaire, fournissant un faisceau de rayons X de section circulaire, donnera lieu à une "zone morte" relativement importante en périphérie du récepteur puisque celui-ci est de forme rectangulaire (Attal et Kaleka, 2008). C'est pourquoi il est recommandé d'utiliser une collimation rectangulaire pour les radiographies rétro-alvéolaires et rétro-coronaires (IRSN, 2015 ; Ludlow et al., 2008 ; HAS et al., 2006 ; NRPB, 2001).

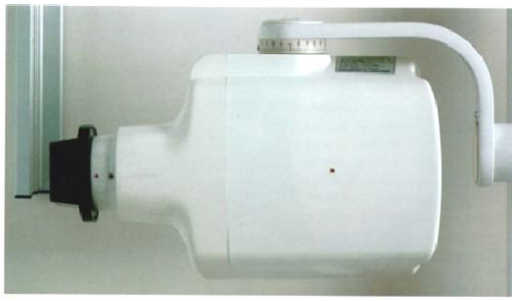
Concrètement, un collimateur circulaire de 6 cm de diamètre engendre une surface d'irradiation supérieur de 135% par rapport à la taille du film de 3 × 4 cm (Foucart, 2007 ; Commission européenne, 2004 ; Horner, 1994 ; Horner et Hirschmann, 1990). Et si l'on fait le calcul, passer d'un collimateur circulaire à un rectangulaire permet de passer d'une surface

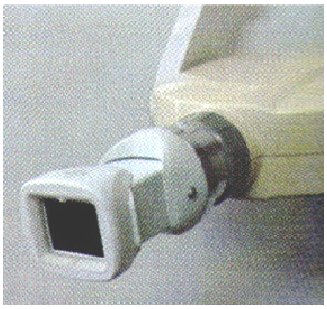
d'environ 28,27 cm² (= π × 3²) à 15,75 cm² (= 3,5 × 4,5), soit une diminution d'environ 44% (Rouas et Hauret, 2014 ; ADF, 2007).

L'inconvénient du collimateur rectangulaire est que le positionnement du récepteur devient beaucoup plus rigoureux et qu'il doit être réalisé à l'aide d'un porte-récepteur (White et Pharoah, 2014 ; Bonnet, 2008 ; Foucart, 2007 ; Horner et Hirschmann, 1990), idéalement un angulateur avec dispositif de visée (ADF, 2007 ; NRPB, 2001). Et c'est à cause de cette plus grande complexité d'utilisation qu'il est impopulaire, notamment en France (Anissi et Geibel, 2014 ; Bonnet, 2008) où le collimateur circulaire reste de loin le plus répandu (Foucart, 2007).

Ainsi, l'utilisation d'une collimation rectangulaire a toujours été minoritaire quelque soit l'époque et le pays. Dans les Etats de Virginie et de Floride en 1985, 3% des dentistes possédaient une collimation rectangulaire (Kaugars et al., 1985), dans l'Etat du Michigan en 1992, 90% des praticiens utilisaient une collimation circulaire (Nakfoor et Brooks, 1992) ; en Suède en 1993, 36% des praticiens avaient une collimation rectangulaire (Svenson et Petersson, 1995), contre 8% en Ontario, au Canda (Bohay et al., 1994) et 15% en 1998 en Suisse (Aroua et al., 2004) ; en Belgique, en 2005, 6% des dentistes employaient un collimateur rectangulaire (Gijbels et al., 2005) alors qu'à la même époque, 34% des praticiens anglais en étaient équipés (Ceri et al., 2005). Plus récemment, en Flandre en 2010, 40% des dentistes utilisaient une collimation circulaire, 13% un collimateur rectangulaire et 47% d'entre eux ne savaient pas quelle collimation ils utilisaient (Aps, 2010) ; enfin, en Allemagne en 2014, 25% des praticiens utilisaient un collimateur rectangulaire (Anissi et Geibel, 2014).

Pour les praticiens qui possèdent un générateur avec un collimateur circulaire et qui souhaiteraient optimiser la radioprotection, il existe des embouts rectangulaires de collimation qu'on peut adapter sur un cône cylindrique (figures 16 à 19). On peut aussi se procurer des portes-récepteurs équipés d'un champ métallique rectangulaire (figure 20) (Commission européenne, 2004 ; Horner, 1994 ; Horner et Hirschmann, 1990).





Figures 16 et 17 : Adjonction d'un dispositif collimateur rectangulaire à l'extrémité d'un cône cylindrique (Attal et Kaleka, 2008 ; White et Pharoah, 2014)

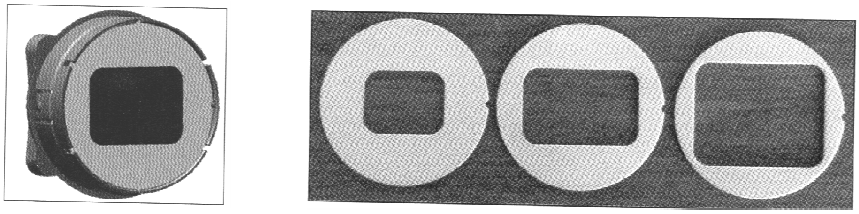


Figure 18 : Adaptateur rectangulaire pour cône cylindrique et ses diaphragmes de lumière différente selon la taille du récepteur (ADF, 2007)

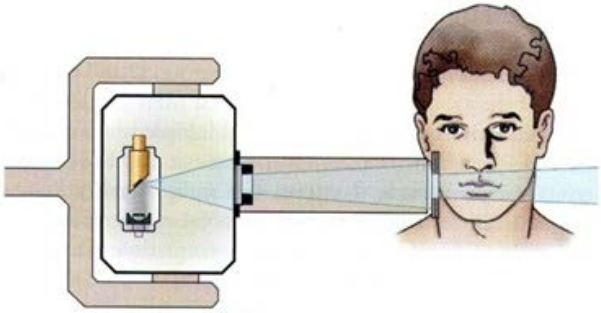


Figure 19 : Réduction de la divergence du faisceau de rayons X par adjonction d'un collimateur rectangulaire à l'extrémité du tube radiogène (White et Pharoah, 2014)

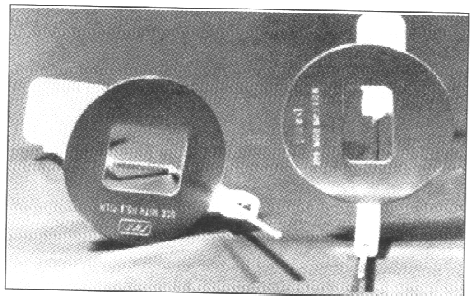


Figure 20 : Angulateurs équipés d'un champ métallique rectangulaire (ADF, 2007)

2.3.1.1.6 Distance foyer-récepteur

Il ne faut pas confondre la distance foyer-récepteur avec la longueur du cône d'espacement servant de dispositif de visée qui se trouve à l'avant du générateur radiogène. En effet, la distance foyer-récepteur correspond à la distance comprise entre le tube de Coolidge et l'extrémité antérieure du cône d'espacement (figure 21) (Whaites et Drage, 2013).

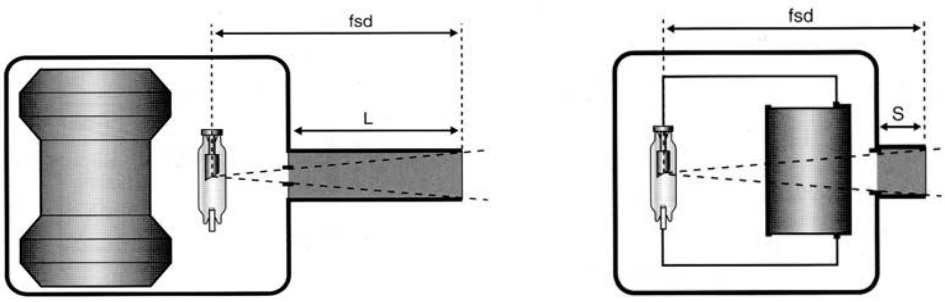


Figure 21 : *Design* ancien (à gauche) et moderne (à droite)
d'un générateur radiogène permettant de conserver une distance foyer-récepteur
identique avec un cône d'espacement plus court grâce au positionnement de l'ampoule de
Coolidge en arrière de la source de courant (Whaites et Drage, 2013)

Le cône d'espacement permet, de par sa longueur, de diminuer la divergence des rayons X (figure 22) (White et Pharoah, 2014 ; Okano et Sur, 2010 ; Commission européenne, 2004 ; Cavézian et Pasquet, 2005) et ainsi de réduire le volume irradié (Okano et Sur, 2010 ; Commission européenne, 2004 ; Horner et Hirschmann, 1990) et la dose d'exposition (Rouas et Hauret, 2014 ; Giguère et Joly, 2010 ; Jones et al., 2007 ; Syriopoulos et al., 1998). Par exemple, le fait de passer d'une longueur de 20 à 40 cm permet de réduire l'exposition de 10 à 25% (ADA et FDA, 2012 ; ADA, 2006) voire de 30% (Cederberg et al., 1997) et d'environ 30% celle de la thyroïde (Foucart, 2007 ; Cederberg et al., 1997). Si on y associe un collimateur rectangulaire, on peut réduire l'exposition d'environ 75% (Cederberg et al., 1997). Il a été démontré que les cônes rectangulaires longs et courts présentent le plus faible risque d'effets stochastiques, suivi par les cônes cylindriques longs puis courts (Cederberg et al., 1997).

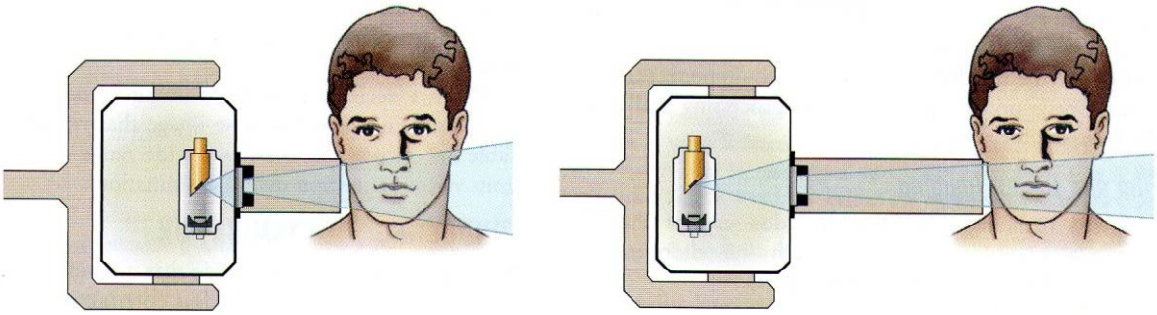


Figure 22 : Réduction de la divergence du faisceau X
par augmentation de la distance foyer-récepteur (White et Pharoah, 2014)

De plus, l'augmentation de la distance permet de réduire l'effet de pénombre (Foucart, 2007 ; Horner et Hirschmann, 1990), de réduire le grandissement, à condition que le récepteur reste proche de l'objet, (Attal et Kaleka, 2008 ; ADF, 2007 ; Foucart, 2007) et donc d'améliorer la précision des mesures sur les images obtenues (Rouas et Hauret, 2014) tout en augmentant leur qualité (Foucart, 2007) et leur résolution (White et Pharoah, 2014).

Il existe deux longueurs standards en radiologie intra-orale : 20 cm et 40 cm (Okano et Sur, 2010). La distance foyer-récepteur ne devra pas être inférieure à 10 cm pour une tension

inférieure à 60 kV ou inférieure à 20 cm si la tension dépasse 60 kV (Whaites et Drage, 2013). On recommande une distance de 20 à 40 cm (ADA et FDA, 2012 ; Attal et Kaleka, 2008 ; Foucart, 2007 ; ADA, 2006). Idéalement, elle doit être de 40 cm (ADA et FDA, 2012 ; Bonnet, 2008 ; ADF, 2007 ; Foucart, 2007 ; ADA, 2006) mais, comme il est difficile de s'en procurer chez les fournisseurs, on prendra à défaut un tube de 30 cm généralement disponible en option (ADF, 2007). Une distance de 20 cm est préférable pour la prise de cliché par la technique de la bissectrice alors qu'une distance de 40 cm est préconisée pour la téléradiographie intra-buccale (TIB) (HAS et al., 2006). La téléradiographie intra-buccale appelée aussi bilan ou *status* long cône est, par définition, la technique de radiographie intra-buccale utilisant la technique des plans parallèles associée à une distance foyer-récepteur d'au moins 40 cm (Foucart, 2007 ; ANDEM, 1996).

Une enquête allemande de 2014 a montré que les deux tiers des praticiens étaient équipés d'un long cône (Anissi et Geibel, 2014).

Les cônes d'espacement sont actuellement tous ouverts car l'utilisation de cônes fermés ou de cônes coniques, d'usage il y a une trentaine d'années, est déconseillée car ils augmentent considérablement la quantité de rayonnements secondaires (Praveen et al., 2013 ; Foucart, 2007 ; Cederberg et al., 1997). Les cônes sont doublés par une couche de métal ou d'un matériau à haut pouvoir d'absorption afin de contenir le faisceau primaire, de réduire le volume d'exposition et d'absorber les rayons X de faible énergie résiduels (ADA, 2006).

2.3.1.1.7 Nouveau type de générateur

Un nouveau type de générateur a récemment fait son apparition sur le marché, son principe constitue une véritable évolution. Cet appareil se compose d'un tube radiogène relié à un capteur CCD (figure 23) qui calcule en temps réel l'énergie nécessaire pour obtenir une image de qualité, une fois la dose suffisante obtenue, le capteur envoie instantanément une information au générateur qui stoppe alors l'émission des rayons X. C'est un système de contrôle automatique de l'exposition (technique *smart beam*) déjà développé sur certains appareils CBCT. Il permet d'adapter parfaitement le temps d'exposition aux caractéristiques du secteur radiographié et d'archiver les doses reçues tout en assurant une meilleure ergonomie (Rouas et Hauret, 2014). Ce système de contrôle automatique de l'exposition peut être particulièrement intéressant dans le domaine pédiatrique (ICRP, 2010).

Figure 23 : Nouveau type de générateur (Rouas et Hauret, 2014)

2.3.1.1.8 Générateurs mobiles et portatifs

Des générateurs portatifs fonctionnant sur batterie existent pour la radiographie intra-orale (figure 25) (ADA et FDA, 2012). Des études dosimétriques ont montrées que ces générateurs portatifs ne génèrent pas un risque plus grand d'irradiation du patient et de l'opérateur comparé aux générateurs classiques. En pratique, les générateurs portatifs doivent être maintenus à mi-torse par l'opérateur avec l'anneau de protection orienté du côté de l'opérateur et avec le cône le plus proche possible du visage du patient. Si le dispositif ne possède pas d'anneau de protection, l'opérateur devra se munir d'un tablier plombé (ADA et FDA, 2012). Ces générateurs possèdent un blindage interne qui réduit le rayonnement de fuite et un bouclier cylindrique placé sur le tube afin de protéger le praticien des rayonnements secondaires issus du patient (White et Pharoah, 2014).

En Odontologie, l'utilisation de générateurs mobiles et portatifs en routine n'est pas indiquée. Leur utilisation est très limitée, notamment en secteur hospitalier où ils sont employés sur des malades alités ou pour une nécessité impérative en per-opératoire. Il est d'ailleurs déconseillé d'en posséder dans un cabinet dentaire (ADF, 2012).

Figure 24 : Générateur mobile
(Service d'Odontologie, CHRU Nancy)

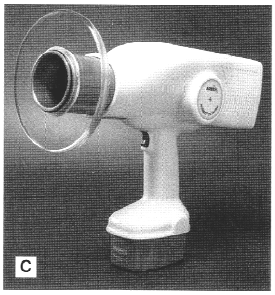


Figure 25 : Générateur portatif
(Whaites et Drage, 2013)

2.3.1.2 Les récepteurs

2.3.1.2.1 Films argentiques et technique analogique

Un film argentique est une plaque enduite d'une couche de gélatine porteuse de sels d'argent, contenue dans une enveloppe étanche à la lumière (Clée et Soueidan, 2014 ; ADF, 2007 ; Cavézian et Pasquet, 2005). La rapidité des films est définit par la taille et le nombre de sels d'argent présent dans l'émulsion, plus gros seront les sels, plus rapide sera le film mais avec une qualité d'image moindre (Whaites et Drage, 2013 ; Goren et al., 1989). Lors d'une radiographie, le film est impressionné par le faisceau X dont les rayons sont modulés par les densités de structures qu'ils traversent. Ainsi, la densité des tissus traversés par les rayons X

déterminent une image radiante qui, par impression de la plaque, donne une image latente (ADF, 2007 ; Gambini et Granier, 2007 ; Cavézian et Pasquet, 2005) qui sera ensuite révélée et fixée lors du développement du film.

Les films dentaires intra-buccaux appartiennent à la catégorie des films sans écran ; par opposition aux films destinés à des cassettes avec écrans renforçateurs utilisés en radiographie panoramique, téléradiographie et tomographie (Whaites et Drage, 2013 ; Cavézian et Pasquet, 2005).

Historiquement, les premiers films argentiques utilisés étaient de catégories A et B, ceux-ci ne sont plus commercialisés de nos jours. Les films de catégorie C leurs ont succédé mais sont désormais interdits dans de nombreux pays (Guyot, 2011). Puis, ont été développés des films de plus en plus rapides permettant de réduire les temps d'exposition, d'abord les films du groupe D (Ultra-speed® de Kodak en 1955), ensuite les films rapides E (Ektaspeed® de Kodak en 1981 et Ektaspeed® Plus de Kodak en 1994), et enfin les films rapides F (Insight® de Kodak en 2000) (Guyot, 2011 ; Commission européenne, 2004 ; Ludlow et al., 2001 ; Goren et al., 1989). La sensibilité des films intra-oraux est fixée selon la norme NF EN ISO 3665 (tableau 14).

Groupe de sensibilité	Plage de sensibilité (Gy × 10^2)
D	14,0 à 27,9
E	28,0 à 55,9
F	56,0 à 111,9

Tableau 14 : Sensibilité des films (d'après la norme NF EN ISO 3665)

Les avantages de la technique analogique sont : une meilleure définition avec des images d'une très grande finesse (supérieure à 20 paires de lignes/mm), une facilité d'utilisation et de manipulation, une latitude d'exposition élevée, la possibilité d'utiliser des angulateurs, la présence de multiples formats (taille 0 enfant de 2 × 3 cm, taille 1 antérieure de 2 × 4 cm, taille 2 standard de 3 × 4 cm, taille 3 rétro-coronaire de 3 × 5 cm et taille 4 occlusale de 5 × 7 cm) (tableau 15), un usage unique des films évitant le risque de contamination croisée et enfin l'absence de nécessité d'un ordinateur (Clée et Soueidan, 2014 ; Attal et Kaleka, 2008 ; ADF, 2007 ; Cavézian et Pasquet, 2005).

Numéro de format	Dimensions du film (tolérance ± 0,5 mm)
0	22,0 × 35,0
1	24,0 × 40,0
1A	24,0 × 30,0
2	30,5 × 40,5
3	27,0 × 54,0
4	57,0 × 76,0
4A	54,0 × 70,0
5	40,0 × 50,0

Tableau 15 : Dimensions des films (d'après la norme NF EN ISO 3665)

Leurs inconvénients sont : la nécessité de doses d'exposition supérieures aux techniques numériques (leur sensibilité étant inférieure), la nécessité de développer les films en chambre noire avec un temps de développement long (plusieurs minutes), une procédure de développement rigoureuse très opérateur-dépendante, la manipulation de produits chimiques avec le problème de l'élimination de ces déchets, la nécessité de séchage et de marquage des films, une image statique et définitive ne pouvant être modifiée ultérieurement, ainsi que la gestion des stocks nécessitant organisation et espace avec un coût important des films et des produits de développement (Clée et Soueidan, 2014 ; Attal et Kaleka, 2008 ; ADF, 2007 ; Cavézian et Pasquet, 2005).

Evoquons rapidement la problématique du développement des films argentiques. Celui-ci est préférentiellement automatisé ou, à défaut, réalisé manuellement mais avec une perte de sensibilité supérieure à 30% (Baechler et al., 2006). Dans tout les cas, le développement doit être standardisé et rigoureux afin de donner de manière reproductible des images de bonne qualité, apportant toutes les informations contenues par l'image latente du film. Pour cela, il faut suivre scrupuleusement les instructions fournies par les industriels : respecter les valeurs de dilution des produits, contrôler la température des bains à l'aide d'un thermomètre (généralement 20°C), renouveler périodiquement l'eau des bains de rinçage et les solutions chimiques, respecter les temps de trempage en les contrôlant par chronométrage (White et Pharoah, 2014 ; Alcaraz et al., 2009 ; Attal et Kaleka, 2008 ; Commission européenne, 2004 ; Commission européenne, 1995). En réalité, une étude brésilienne de 2008 a montré que seulement 28% des praticiens utilisaient un chronomètre et un thermomètre pour le développement argentique (de Melo et Melo, 2008) et une étude espagnole révèle qu'en 2007, 99,6% des praticiens ne contrôlaient pas la température des bains et que 27,5% ne contrôlaient pas les temps de trempage (Alcaraz et al., 2010). De plus, il faut un éclairage adéquat de la chambre noire avec des filtres de lumière et une ampoule ne dépassant pas 15 W de puissance (White et Pharoah, 2014 ; Commission européenne, 2004 ; Goren et al., 2000 ; Commission européenne, 1995). Après séchage, les films seront manipulés par la tranche (pas de contact digital avec la surface du film) puis marqués (nom du patient, date, numéro de la dent) et enfin stockés à l'abri de la chaleur, de la poussière et de l'humidité (Attal et Kaleka, 2008). On comprend donc que même si la prise de clichés en technique analogique est relativement

simple et bien tolérée par le patient, la phase du développement représente une étape essentielle qui doit être réalisée avec soin.

Si l'on compare les différents types de films, on constate que les films les plus rapides permettent de réduire l'exposition du patient d'environ 50% (IRSN, 2015 ; ADA, 2006). Plus précisément, le film E permet de réduire l'irradiation de 40 à 50% comparé au film D (ADF, 2007 ; Foucart, 2007 ; Baechler et al., 2006 ; Commission européenne, 2004 ; Wong et al., 2002 ; Ludlow et al., 2001 ; Kaffe et al., 1984) et le film F permet de diminuer de 20 à 25% l'irradiation par rapport au film E (ADF, 2007 ; Foucart, 2007 ; Baechler et al., 2006 ; Commission européenne, 2004 ; Syriopoulos et al., 2001 ; Ludlow et al., 2001). Ainsi, au niveau de la thyroïde, on obtient une réduction de la dose de 58 à 63% en utilisant un film E plutôt qu'un film D (Jones et al., 2007). Cependant, avec les films E et F on constate une légère augmentation du bruit de l'image (Baechler et al., 2006) mais la qualité et la valeur diagnostique de l'image ne sont pas pour autant compromises et restent quasiment équivalentes à celles des films D (ADA et FDA, 2012 ; Attal et Kaleka, 2008 ; ADA, 2006 ; Wong et al., 2002 ; Kaffe et al., 1984). C'est pourquoi, afin de réduire l'exposition des patients, seuls les films rapides E et F sont recommandés (Clée et Soueidan, 2014 ; Foucart, 2007 ; ADA, 2006 ; Wong et al., 2002 ; NRPB, 2001 ; White et al., 2001), sachant que l'on privilégiera l'utilisation des films F en imagerie argentique (Clée et Soueidan, 2014 ; White et Mallya, 2012 ; ADA, 2006 ; Ludlow et al., 2001).

Bien qu'appréciés pour leur qualité d'image, les films argentiques se voient remplacés, au fur et à mesure, par les techniques numériques qui présentent bien des avantages (Clée et Soueidan, 2014). Ainsi, la radiographie argentique est devenue minoritaire dans la pratique odontologique mais reste tout de même le "gold standard" en Radiologie (Bonnet, 2008).

2.3.1.2.2 Capteurs numériques et techniques digitales

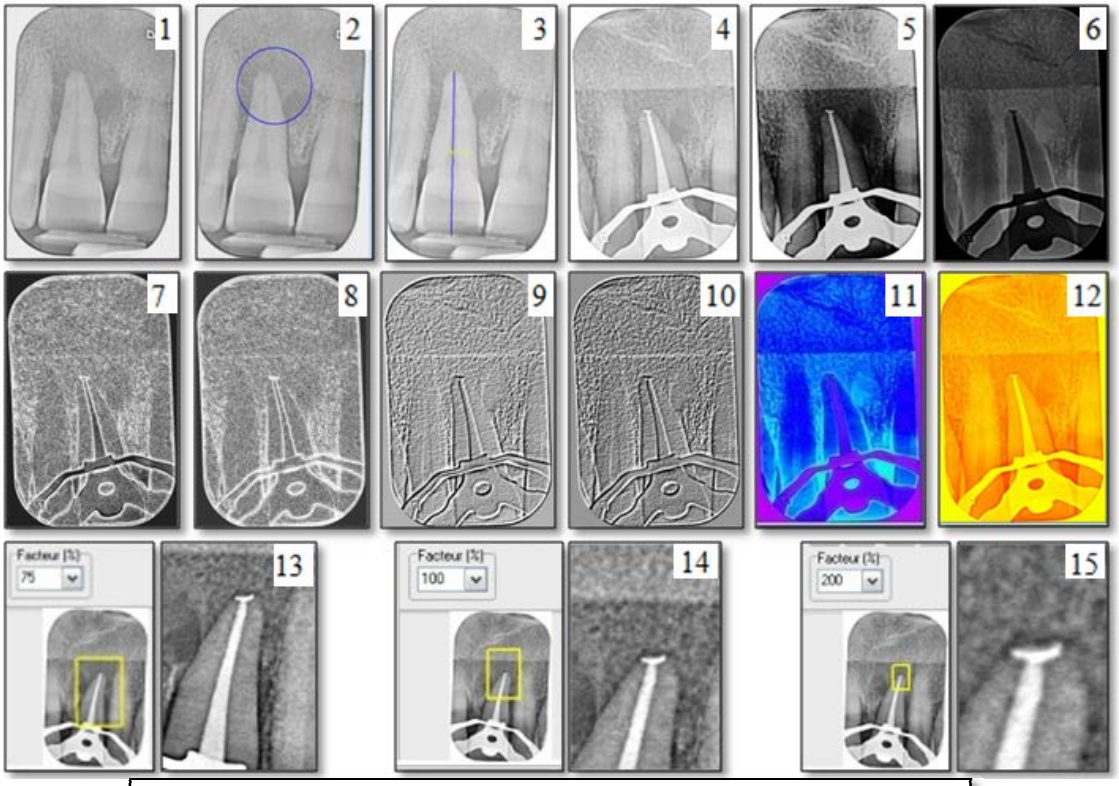
L'introduction de l'imagerie numérique en Odontologie revient à un français, Francis Mouyen, qui inventa en 1982 la radiovisiographie (RVG® de Trophy) avec un capteur CCD (*charge coupled device*) ou DTC (dispositif à transfert de charge) (ADF, 2007 ; Cavézian et Pasquet, 2005).

De nos jours, les techniques digitales se développent et sont devenues majoritaires en Radiologie intra-orale (Bonnet et Chauvel, 2014 ; Lasfargues et al., 2008). En France, en 2008, 60 à 80 % des dentistes disposaient déjà d'imagerie numérique (Bonnet, 2008).

Il existe deux technologies de capteurs numériques. La plus répandue est celle des capteurs solides à numérisation directe avec les capteurs à transfert de charge CCD (*charge coupled device*), les capteurs CMOS (*complementary metal oxide semicondutor*), CMOS/APS (*active pixel sensor*) et techniques hybrides CCD/CMOS. L'autre technologie est celle des capteurs à numérisation indirecte ou "à mémoire" avec les capteurs ERLM (écran radioluminescent à mémoire) appelés "plaques au phosphore" ou PSP (*photo-stimulable phosphor*) en anglais.

L'imagerie numérique consiste en un traitement informatique des données présentes dans le récepteur à la suite de la prise du cliché. La technique varie selon le type de capteur utilisé et aboutit à l'obtention d'une image d'autant plus définie que le nombre de pixels (*picture element cells*), éléments contigus distincts, est élevé pour une surface donnée (ADF, 2007 ; Cavézian et Pasquet, 2005).

Les systèmes numériques présentent de nombreux avantages qui pallient les faiblesses de l'argentique. Ces avantages sont : la réduction du temps d'exposition et, par conséquent, de la dose d'irradiation, un gain de temps (rapidité de l'obtention de l'image) et d'ergonomie, l'absence de chambre noire, de produits chimiques et d'approvisionnement en films ce qui est, entre autres, une avancée écologique et économique. Au niveau de l'image on obtient, outre une qualité et une résolution très satisfaisantes, la possibilité de traitements informatiques rapides voire instantanés (luminosité, contraste, saturation, pseudo-relief, inversion des couleurs, pseudo-colorisation, zoom, règle) (figure 26) rendant l'image dynamique, la possibilité de faire des copies, une facilité de stockage et d'archivage dans le dossier informatique du patient, une facilité de transmission à des confrères, une conservation parfaite sans altération dans le temps et une meilleure information et communication avec le patient à travers l'écran (Anissi et Geibel, 2014 ; Bonnet et Chauvel, 2014 ; Clée et Soueidan, 2014 ; White et Pharoah, 2014 ; Whaites et Drage, 2013 ; Bonnet, 2008 ; Lasfargues et al., 2008 ; ADF, 2007 ; Jones et al., 2007 ; ADA, 2006 ; Bhaskaran et al., 2005 ; Cavézian et Pasquet, 2005).



1 : image pré-opératoire brute,
2 : délimitation de la lésion péri-apicale pour montrer au patient,
3 : mesure de la longueur de la dent (21,2 mm),
4 : image post-opératoire brute,
5 : amélioration du contraste et réduction du bruit,
6 : inversion des couleurs,
7 et 8 : mise en évidence des bords,
9 et 10 : pseudo-relief,
11 et 12 : pseudo-colorisation,
13, 14 et 15 : zoom (respectivement 75, 100 et 200%).

Figure 26 : Traitements informatiques de l'image numérique par le logiciel DBSWIN® de Dürr Dental présent au service d'Odontologie du CHRU de Nancy (traitement endodontique réalisé par le Dr Balthazard)

Il existe cependant quelques inconvénients à la technique digitale : le coût d'équipement et de maintenance élevé, des précautions rigoureuses d'hygiène car le capteur est réutilisable avec des pochettes de protection à usage unique, la nécessité de systèmes de stockage et de sauvegarde (serveur, disque dur,…) et une qualité qui se perd lors de l'impression sur papier (Clée et Soueidan, 2014 ; Whaites et Drage, 2013 ; ADF, 2007 ; Cavézian et Pasquet, 2005). En termes de contrôle des infections, les capteurs sont des dispositifs semi-critiques qui doivent être désinfectés entre chaque patient et être recouverts d'une protection lors de leur utilisation ; toutefois, les protections plastiques sont loin d'être infaillibles (CDC, 2003) et une étude a montré qu'une protection plastique ne restait pas étanche dans 44% des cas lors d'une radiographie mais que le fait de recouvrir la protection plastique par un doigtier en latex réduisait le taux de fuite à 6% (Hokett et al., 2000).

En ce qui concerne les gammes d'exposition, celle du système CCD est étroite (Jones et al., 2007 ; Bhaskaran et al., 2005) : ainsi, une sur-exposition aboutie à une image avec des zones noires saturées qui alertent le praticien mais nuisent grandement à la qualité de l'image. Le système CMOS produit lui aussi une image plus foncée comparable à un film argentique lorsqu'il est sur-exposé (Jones et al., 2007). A l'opposé, les conditions d'exposition influent peu sur la qualité de l'image pour le système ERLM car il tolère des gammes d'exposition très larges (Bonnet, 2008 ; ADF, 2007 ; Jones et al., 2007 ; Bhaskaran et al., 2005) et, même si le capteur est sur-exposé, l'image reste lisible ; le patient est toutefois irradié plus que nécessaire sans que le praticien n'en soit alerté par la qualité de l'image (Jones et al., 2007). Les capteurs ERLM étant donc plus indulgents vis-à-vis des surexpositions, il en résulte souvent des expositions plus importantes que nécessaire ; l'opérateur se doit donc de vérifier, si possible, que la dose délivrée correspond à l'indice d'exposition préconisée par le fabricant (ADA et FDA, 2012 ; White et Mallya, 2012 ; ICRP, 2010). Pour contrôler le niveau d'exposition du capteur, certains logiciels affichent une jauge renseignant le praticien sur l'importance de l'irradiation du récepteur ce qui lui permet de corriger le réglage du générateur, principalement par la variation du temps d'exposition (figure 27).

Figure 27 : Jauge d'exposition du récepteur affichée lors du développement du capteur ERLM avec le logiciel DBSWIN® de Dürr Dental au service d'Odontologie du CHRU de Nancy (sous-exposition à gauche (barre rouge courte), bonne exposition au centre (barre verte) et sur-exposition à droite (barre rouge longue))

Une image brute de qualité, sans réglage de la luminosité ni du contraste, reste indispensable pour permettre un traitement efficace de l'image. En d'autres termes, le traitement informatique de l'image ne doit pas être utilisé pour compenser une faiblesse d'acquisition (ADF, 2007 ; Cavézian et Pasquet, 2005). Si l'on compare la qualité des images brutes obtenues par 3 types de récepteurs (film argentique F, capteurs CCD et ERLM), on voit que la meilleure qualité de clichés est obtenue par les films F, puis suivent les capteurs ERLM et en dernier le système CCD (Bhaskaran et al., 2005). Mais au final il n'y a pas de différence significative entre système argentique et numérique (Alkurt et al., 2007 ; ADA, 2006 ; Bhaskaran et al., 2005). Et après traitement de l'image, la résolution et la lisibilité des clichés numériques est au moins équivalente sinon meilleure que celles de l'argentique (Lasfargues et al., 2008). Il est à noter que le système informatique devra être de qualité avec une carte graphique de bonne qualité pour ne pas nuire à la qualité de l'image (Bonnet, 2008). De même, l'écran de l'ordinateur devra avoir une résolution suffisante.

La technique digitale permet de réduire significativement la dose d'exposition aux rayonnements ionisants (ADA et FDA, 2012 ; Zdesar et al., 2008). Le système CCD permet la plus grande réduction (Alcaraz et al., 2010) avec une diminution de la dose d'environ 50% entre capteur ERLM et films E ou F et d'environ 75% entre capteur CCD et film E ou F (Kaeppler et al., 2007). En moyenne, les capteurs numériques permettent de réduire le temps d'exposition et donc la dose d'irradiation d'environ 40 à 50% par rapport aux films E et F (Anissi et Geibel, 2014 ; Alcaraz et al., 2009 ; ADF, 2007 ; Commission européenne, 2004 ; Kiefer et al., 2004). En ce qui concerne la dose à l'entrée au niveau de la peau, elle est réduite de 31 à 39% en utilisant un capteur CCD plutôt qu'un film E (Scarfe et al., 1997).

Toutefois, on constate que l'utilisation de capteurs numériques, et particulièrement les capteurs solides, est source d'une augmentation du nombre de clichés pris (Anissi et Geibel, 2014 ; Rouas et Hauret, 2014 ; Alcaraz et al., 2009 ; Jones et al., 2007 ; ADF, 2007 ; Cavézian et Pasquet, 2005 ; Berkhout et al., 2003). Le fait de prendre de plus nombreux clichés avec un système CCD peut être expliqué par différentes raisons : 1) les capteurs CCD étant épais et rigides, ils sont plus difficiles à placer en bouche ce qui engendre des erreurs de positionnement (Anissi et Geibel, 2014 ; Rouas et Hauret, 2014 ; Berkhout et al., 2003 ; Berkhout et al., 2002) ; 2) les praticiens équipés du système CCD n'achètent majoritairement qu'un seul capteur de petite taille en raison du coût matériel (59 à 85% selon les auteurs) (Anissi et Geibel, 2014 ; Berkhout et al., 2002) alors que la taille du capteur CCD standard ne permet de radiographier qu'une seule dent à la fois ; 3) les capteurs CCD sont moins tolérants aux erreurs de réglage du générateur ce qui peut nécessiter de reprendre une radiographie sur-exposée (Rouas et Hauret, 2014 ; Jones et al., 2007 ; Bhaskaran et al., 2005) ; enfin, 4) l'obtention et la suppression simple et rapide de l'image favorisent le fait de reprendre plusieurs clichés (Anissi et Geibel, 2014 ; ICRP, 2010 ; Berkhout et al., 2003). De plus, certains praticiens pensent à tort que, comme les récepteurs numériques nécessitent moins de rayonnements qu'en argentique, alors on peut se permettre de prendre plus de clichés (Berkhout et al., 2003). Ainsi, si l'on compare le nombre de clichés pris entre les films argentiques et les capteurs numériques, on constate une augmentation très significative de ce nombre avec les capteurs CCD (+ 42 à 49% selon les auteurs) et une augmentation significative avec les capteurs ERLM (+ 7 à 32% selon les auteurs) (Anissi et Geibel, 2004 ; Berkhout et al., 2003). On peut donc dire que « le premier piège de l'imagerie numérique est la tentation de multiplier les clichés » ce qui entraine une augmentation de l'exposition du patient et amoindrit d'autant l'intérêt de la réduction de dose d'irradiation (ADF, 2007 ; Cavézian et Pasquet, 2005). Le praticien devra donc être particulièrement vigilant à ne pas prendre un nombre excessif de radiographies numériques afin de conserver l'avantage intrinsèque en terme de plus faible exposition du patient offert par la radiologie numérique (Berkhout et al., 2003). Bien que la radiographie digitale délivre environ 50% de rayonnement en moins, la réduction effective n'est plus que de 20 à 25% en raison de l'augmentation du nombre de clichés pris (Jones et al., 2007 ; Berkhout et al., 2003). Toutefois, cette augmentation en nombre est compensée partiellement par la diminution importante du temps d'exposition (Anissi et Geibel, 2014).

Il faut donc rester vigilant car le développement des technologies, telles que la radiographie numérique, peut permettre la réduction de la dose d'irradiation des patients, mais elle peut aussi conduire à son augmentation si elle n'est pas correctement utilisée par les professionnels de santé (ICRP, 2010).

2.3.1.2.2.1 Capteurs à numérisation directe

Les capteurs solides à numérisation directe fournissent directement et en temps réel une image sur écran informatique en étant relié à l'unité central par un câble souple, on notera qu'il existe aussi quelques systèmes sans câble (Bonnet et Chauvel, 2014 ; Clée et Soueidan, 2014 ; Rouas et Hauret, 2014 ; White et Pharoah, 2014 ; ADA et FDA, 2012 ; ADF, 2007 ; Arbab-Chirani et Diemer, 2010 ; Bonnet, 2008 ; Cavézian et Pasquet, 2005). Des exemples de ce système sont les capteurs : Optéo® et One® de Owandy, GXS-700® de Gendex, XIOS XG® de Sirona, DIGORA® Toto de Soredex et VistaRay® de Dürr Dental.

Avec les capteurs à numérisation directe, le faisceau de rayons X est transformé en signal lumineux par un scintillateur puis les photons lumineux gagnent, directement ou par le biais de fibres optiques, des transducteurs (capteurs CCD ou CMOS) qui les transforment en signal électrique, le tout dans le capteur. Les charges électriques sont alors transportées vers un convertisseur analogique-numérique (CAN) qui élabore le signal numérique qui sera traité par le système informatique grâce à un logiciel spécifique (figure 28). Les capteurs n'ont pas de capacité de stockage et sont donc reliés le plus souvent par un câble à un ordinateur (ADF, 2007 ; Cavézian et Pasquet, 2005). Les capteurs CMOS sont plus récents, bien qu'ils ressemblent aux capteurs CCD, ils font appel à une technologie à pixels actifs qui permet de réduire significativement la puissance de traitement de l'image. De plus, le système APS élimine la nécessité du transfert de charge, améliore la fiabilité et la durée de vie du capteur pour un faible coût. Toutefois, les capteurs CMOS sont plus sensibles au bruit et leur zone d'acquisition d'images est plus restreinte (ADF, 2007).

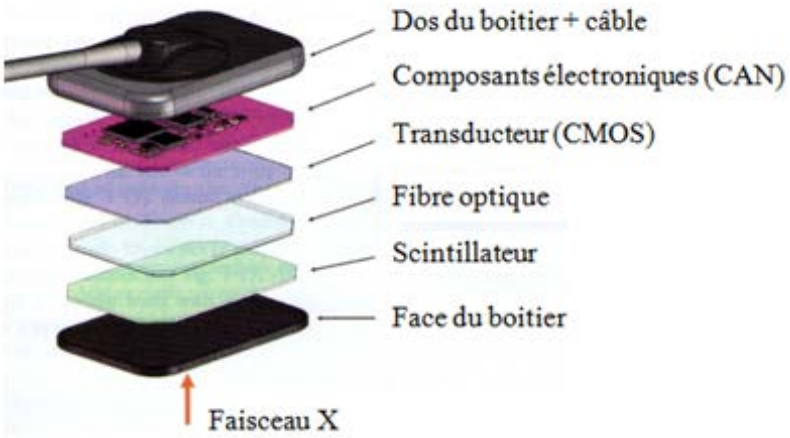


Figure 28 : Composition d'un capteur CMOS (traduit d'après White et Pharoah, 2014)

Les avantages des capteurs solides sont que c'est un système fiable, plus solide et résistant que les capteurs souples, avec un affichage instantané de l'image sur l'écran d'ordinateur et la possibilité de prendre une nouvelle radiographie immédiatement. Il permet

de réduire le temps d'exposition, son coût d'entretien est raisonnable (coût des protections à usage unique) et il est compatible avec des angulateurs dédiés (Bonnet et Chauvel, 2014 ; Clée et Soueidan, 2014 ; Rouas et Hauret, 2014 ; Whaites et Drage, 2013 ; Arbab-Chirani et Diemer, 2010 ; Alcaraz et al., 2009 ; ADF, 2007 ; Foucart, 2007 ; Cavézian et Pasquet, 2005). De plus, un capteur CCD est réutilisable de 5000 à 10000 fois (Cavézian et Pasquet, 2005).

Leurs inconvénients sont une petite surface de détection avec seulement trois tailles disponibles (la taille 0 pédiatrique, la taille 1 standard proche de la taille pédiatrique d'un film et ne permettant la visualisation que d'une seule dent et la taille 2) rendant l'obtention d'un cliché pleinement satisfaisant difficile et la réalisation de clichés occlusaux de format satisfaisant impossible. De plus, leur manipulation est rendue difficile par un câble gênant, une rigidité et une épaisseur plus importante du capteur (5 à 7 mm) générant un encombrement et une faible ergonomie en bouche. Leur définition reste inférieure à celle des films argentiques et leur latitude d'exposition est étroite nécessitant un réglage précis du temps d'exposition. Des précautions d'hygiène sont indispensables puisque le capteur, non autoclavable, est réutilisé pour chaque patient ce qui implique un risque de contamination croisée. Pour les modèles sans fil, il y aura un surcoût dû aux piles contenues dans le capteur (Bonnet et Chauvel, 2014 ; Clée et Soueidan, 2014 ; Rouas et Hauret, 2014 ; Whaites et Drage, 2013 ; Arbab-Chirani et Diemer, 2010 ; Alcaraz et al., 2009 ; ADF, 2007 ; Foucart, 2007 ; Cavézian et Pasquet, 2005). De plus, la tension du générateur doit être comprise entre 60 et 70 kVp car au-delà de 70 kVp se produit le phénomène de « *blooming* », ou fluorescence, qui correspond au phénomène d'éblouissement des capteurs avec un débordement de charges d'un pixel aux pixels voisins (ADF, 2007 ; HAS et al., 2006).

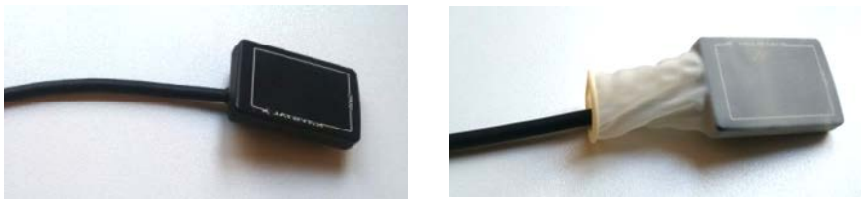


Figure 29 : Capteur solide avec et sans doigtier en latex (Courtoisie Dr Barone)

2.3.1.2.2.2 Capteurs à numérisation indirecte

Les capteurs à numérisation indirecte contiennent une plaque de phosphore à mémoire et donnent une image sur écran informatique après quelques secondes, par le biais d'un terminal de lecture équipé d'un laser qui active l'énergie (sous forme de signal lumineux) accumulée du phosphore excité par le rayonnement. Après être passée dans une fibre optique puis être amplifiée par un photomultiplicateur, la lumière est transformée en signal électrique qui est ensuite numérisé. D'autre part, le terminal de lecture efface l'image latente présente sur le capteur afin que celui-ci soit réutilisable. Cette opération dure environ 25 secondes mais ce temps tend à se réduire avec les évolutions et il dépend de la résolution choisie, du format du capteur et du nombre de capteurs que l'on désir visualiser (Bonnet et Chauvel, 2014 ; Clée et Soueidan, 2014 ; Rouas et Hauret, 2014 ; White et Pharoah, 2014 ; ADA et FDA, 2012 ; Bonnet, 2008 ; ADF, 2007 ; Foucart, 2007 ; Cavézian et Pasquet, 2005). Des exemples de ce

système sont VitaScan® de Dürr Dental, XIOS Scan® de Sirona, GXPS® de Gendex, Denoptix® de Kavo et Digora® Optime de Soredex.

Ce système présente de nombreux avantages, les capteurs sont ici disponibles dans les mêmes tailles que les films argentiques (taille 0 pédiatrique (2 × 3 cm), taille 1 (2 × 4 cm), taille 2 standard adulte ou occlusale enfant (3 × 4 cm), taille 3 rétro-coronaire adulte (3×5 cm) et taille 4 occlusale adulte (5,5 × 7,5 cm)) (figure 30), le praticien pouvant disposer de différentes tailles pour un coût raisonnable. Ils sont fins, flexibles et souples ce qui permet une utilisation simple et une facilité pour les placer sur un angulateur. De plus, n'étant pas relié par un câble, ils peuvent donc se trouver à distance de l'ordinateur et sont mieux tolérés que les capteurs CCD/CMOS par les patients. Généralement, ils bénéficient d'un contraste auto-corrigé, optimisé et d'une grande latitude d'exposition et sont ainsi moins sensibles aux manipulations de l'opérateur. Sur le plan de l'hygiène, ils semblent plus intéressants que les capteurs filaires et sont aussi à protéger par une enveloppe à usage unique (Bonnet et Chauvel, 2014 ; Clée et Soueidan, 2014 ; Rouas et Hauret, 2014 ; ADA et FDA, 2012 ; Bonnet, 2008 ; ADF, 2007 ; Foucart, 2007 ; Cavézian et Pasquet, 2005). De plus, un capteur ERLM est réutilisable de 8000 à 10000 fois (Cavézian et Pasquet, 2005).

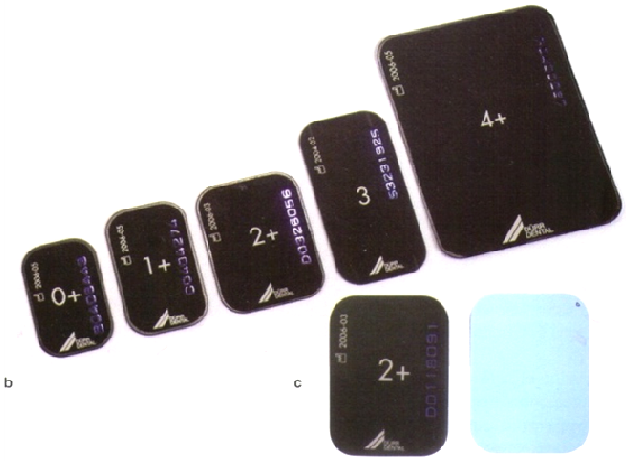


Figure 30 : Les différentes tailles de capteurs ERLM (Lasfargues et al., 2008)

Ils possèdent, toutefois, quelques inconvénients : 1) l'image apparaît à l'écran avec un délai, certes moins long qu'en technique argentique mais pas instantanée comme pour les capteurs solides ; 2) une réduction du temps d'exposition plus modeste que les systèmes à numérisation directe ; 3) une fragilité des capteurs potentiellement rayables et avec un risque potentiel de détérioration qualitative en cas d'exposition prolongée à la lumière ; 4) la nécessité d'effacer l'image latente avant de reprendre un cliché ; enfin, 5) une résolution inférieure à celle des films argentiques bien qu'elle soit supérieure à celle des capteurs CCD (Bonnet et Chauvel, 2014 ; Clée et Soueidan, 2014 ; Rouas et Hauret, 2014 ; Arbab-Chirani et Diemer, 2010 ; ADF, 2007 ; Foucart, 2007 ; Cavézian et Pasquet, 2005).

2.3.1.3 Les portes-récepteurs

Le porte-récepteur est aussi connu sous le nom de porte-film, porte-capteur, porte-écran ou plus généralement angulateur (Rouas et Hauret, 2014). C'est un dispositif médical semi-critique qui doit être stérilisable ou alors à usage unique pour des raisons d'hygiène (ADA et FDA, 2012 ; ADA, 2006 ; CDC, 2003).

Un bon porte-film doit comporter au moins 3 éléments : un bloc de morsure, un support rigide pour soutenir le film et un dispositif extra-oral de pointage du faisceau appelé aussi système de visée. A ces éléments peut venir s'ajouter un anneau de localisation et/ou un collimateur (figure 31).

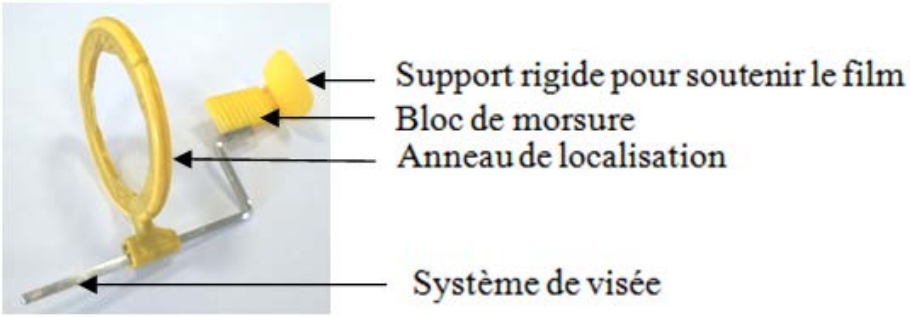


Figure 31 : Eléments constituant un angulateur (schéma personnel)

Le bloc de morsure est placé entre les arcades dentaires du patient et est maintenu en place mécaniquement par serrement des dents. Il permet de maintenir l'angulateur en bouche à l'endroit voulu et dans la position souhaitée. Un coton salivaire peut être interposé entre le bloc de morsure et les dents antagonistes afin de stabiliser le dispositif et réduire l'inconfort du patient (White et Pharoah, 2014).

Le système de visée est une tige en plastique ou métallique qui part du bloc de morsure et se poursuit en exo-buccal. Il sert à placer correctement le cône de visée du générateur par rapport au récepteur afin que le détecteur soit totalement exposé au rayonnement et ainsi éviter une exposition partielle qui conduirait à une image incomplète (ADA et FDA, 2012). De plus, il permet une bonne angulation du tube radiogène par rapport au récepteur : le faisceau de rayons X doit être parfaitement perpendiculaire au film pour la technique des plans parallèles (Whaites et Drage, 2013) car une mauvaise angulation verticale engendrerait un allongement ou un rétrécissement des dents et une mauvaise angulation horizontale causerait des superpositions des parties proximales des dents qui ne pourraient alors pas être examinées convenablement (Carmichael, 2005). Une enquête allemande de 2014 montre que les deux tiers des praticiens utilisent des dispositifs de visée (Anissi et Geibel, 2014).

Sur le dispositif de visée peut venir s'ajouter un anneau de localisation et/ou un collimateur, notamment rectangulaire (figure 32) (White et Pharoah, 2014 ; Whaites et Drage, 2013), qui doit être coulissé jusqu'au contact de la peau du patient afin d'assurer la bonne distance foyer-récepteur (Whaites et Drage, 2013). L'anneau de localisation facilite le positionnement centré du tube radiogène face au récepteur (figure 33).

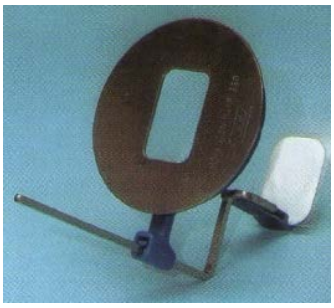


Figure 32 : Porte-récepteur avec collimateur rectangulaire associé (Whaites et Drage, 2013)

L'utilisation d'un angulateur est recommandée pour les clichés rétro-alvéolaires, autant pour la technique des plans parallèles que pour la technique de la bissectrice, et que pour les clichés rétro-coronaires (ADA et FDA, 2012 ; ADA, 2006 ; HAS et al., 2006 ; NRPB, 2001). L'angulateur permet un meilleur centrage du faisceau primaire, une absence de flexion du film, une stabilisation du récepteur en bouche, une standardisation et une reproductibilité des clichés, ainsi qu'une image sur laquelle les dimensions sont proches de la réalité clinique (Rouas et Hauret, 2014). En outre, l'utilisation d'un porte-écran permet de réduire le nombre de clichés à reprendre et ainsi réduit la dose d'exposition du patient (White et Pharoah, 2014 ; Monsour et al., 1988a).

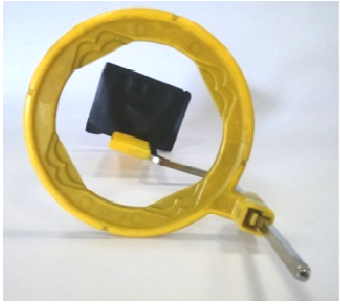


Figure 33 : Angulateur XCP® de Dentsply RINN pour secteur postérieur
avec capteur ERLM (Service d'Odontologie, CHRU Nancy)

Par ailleurs, le porte-récepteur permet de maintenir à lui seul le récepteur en bouche sans qu'il y ait besoin d'exposer les doigts du patient (Praveen et al., 2013) ni ceux du praticien. De la même manière que le personnel médical ne doit jamais maintenir le récepteur en bouche avec ses doigts durant l'exposition (White et Pharoah, 2014 ; Whaites et Drage, 2013 ; ADA et FDA, 2012 ; Commission européenne, 1995), le porte-récepteur ne doit pas être maintenu par le personnel durant l'exposition (ADA, 2006). Ainsi, le détecteur doit être maintenu en bouche par un angulateur ou à défaut par le doigt du patient (ADA et FDA, 2012 ; Foucart, 2007 ; NRPB, 2001 ; Commission européenne, 1995). Si le patient s'avère incapable de maintenir convenablement le film en bouche à l'aide d'un angulateur ou de son doigt alors on peut utiliser une pince à long manche ou un autre dispositif permettant de ne pas placer les doigts du praticien dans le faisceau primaire. Dans certaines situations exceptionnelles, les recommandations dictent qu'un membre de la famille du patient ou un accompagnateur maintienne le porte-récepteur en place durant l'exposition, cette personne doit alors être équipée d'une protection du type tablier plombé (White et Pharoah, 2014 ; ADA et FDA, 2012 ; ADA, 2006 ; NRPB, 2001 ; Commission européenne, 1995).

Il existe une très grande variété de portes-écrans dans le commerce (Whaites et Drage, 2013 ; Bonnet, 2008 ; Carmichael, 2005) aux formes spécifiques adaptées à certaines situations cliniques (secteur antérieur ou postérieur, côté droit ou gauche, pour technique des plans parallèles ou de la bissectrice, dédiés à l'Endodontie, …) (figures 34 et 35) (Whaites et Drage, 2013 ; Carmichael, 2005). Mais aucun système n'est parfait et ne peut répondre à l'ensemble des situations cliniques rencontrées (Bonnet, 2008).

Figure 34 : Portes-capteurs CCD/CMOS pour clichés rétro-alvéolaires postérieurs (verts), antérieurs (oranges), clichés rétro-coronaires (bleu) et dédié à l'Endodontie (rouges). (Courtoisie Dr Barone)

Figure 35 : Portes-capteurs numériques universels XCP-DS FIT® de Dentsply RINN (Courtoisie Dr Barone)

Les angulateurs tels que décrit précédemment sont très répandus ; leur utilisation est simple. Il en existe différents types :

- les angulateurs de RINN (figure 36) sont les plus répandus, il en existe pour les rétro-alvéolaires des dents antérieures, pour celles du secteur postérieur et pour les rétro-coronaires (Guyot, 2011 ; Lasfargues et al., 2008).

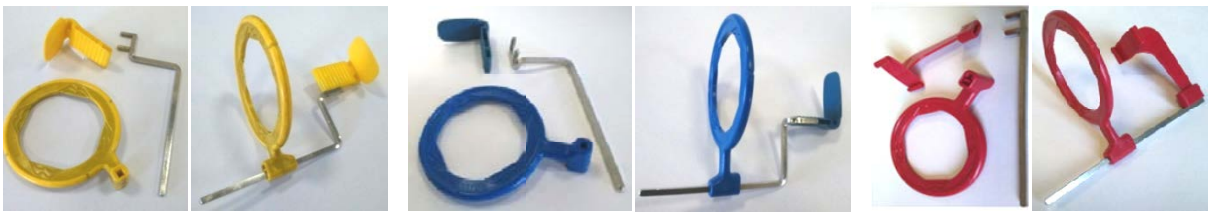


Figure 36 : Angulateurs XCP® de Dentsply RINN (Service d'Odontologie, CHRU Nancy)

- les ailettes jetables sont des blocs de morsure en mousse ou en papier que l'on colle sur le récepteur et que le patient doit mordre. Leur légèreté en fait un système très bien toléré par le patient, par contre il ne comporte aucun système de visée (Guyot, 2011). Ce système est particulièrement adapté chez les jeunes enfants où l'utilisation d'un angulateur classique est

souvent difficile (Rouas et Hauret, 2014). Ce système permet de réaliser des clichés rétro-alvéolaires ou rétro-coronaires. On peut par exemple citer les ailettes de morsure de type Emmenix® Flap de Gager et Werken (figure 37) et le système Uni-Grip® 360 de Dentsply RINN (figure 38).

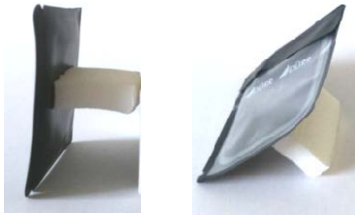


Figure 37 : Emmenix® Flap collé sur capteur ERLM pour réaliser un cliché rétro-coronaire (Service d'Odontologie, CHRU Nancy)

Figure 38 : Porte-récepteur universel à usage unique Uni-Grip® 360 de Dentsply RINN (Courtoisie Dr Barone)

- les "pinces-croco" sont composées de deux mors en matière plastique qui maintiennent le film ; une fois bloqués ceux-ci servent de bloc de morsure au patient (Guyot, 2011). Citons par exemple le Snap-a-ray® de Dentsply et le Emmenix® Film Holder de Gager et Werken (figure 39).

Figure 39 : Emmenix® Film Holder de Gager et Werken (Service d'Odontologie, CHRU Nancy)

Pour l'Endodontie, il existe des systèmes compatibles avec la présence du champ opératoire et du crampon. C'est par exemple le cas de l'Endoray® de Dentsply (figures 40, 41 et 42) (Arbab-Chirani et Diemer, 2010 ; Lasfargues et al., 2008 ; Carmichael, 2005). Toutefois, bien qu'un tel système soit indispensable pour prendre une radiographie instrumentée, il n'est pas obligatoire pour les radiographies non instrumentées même en présence d'un champ opératoire serti par le crampon de la digue. En l'absence d'un porte-récepteur dédié à l'Endodontie, un simple angulateur XCP® de Dentsply RINN peut être utilisé pour les radiographies maîtres cônes et post-opératoires sous digue (figures 43 et 44). D'autre part, il existe des cadres à digue articulés pour ne pas interférer avec le faisceau de rayons X (Arbab-Chirani et Diemer, 2010).

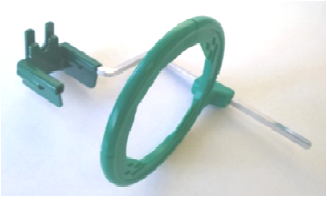


Figure 40 : Endoray® de Dentsply RINN pour film ou capteur ERLM en secteur postérieur (Courtoisie Dr Balthazard)

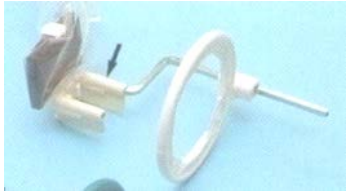


Figure 41 : Endoray® de Dentsply RINN, capteur solide en secteur postérieur (Whaites et Drage, 2013)

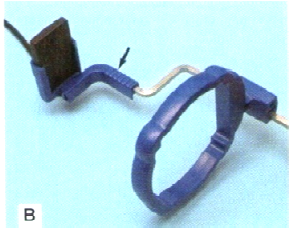


Figure 42 : Endoray® de Dentsply RINN, capteur solide en secteur antérieur (Whaites et Drage, 2013)

Figure 43 : Radiographie maîtres cônes, sous digue, prise par mes soins avec un angulateur XCP® de Dentsply RINN (visibilité du bloc de morsure légèrement radio-opaque) (Service d'Odontologie, CHRU Nancy)

Figure 44 : Radiographie finale, sous digue, prise par mes soins avec un angulateur XCP® de Dentsply RINN (visibilité du bloc de morsure légèrement radio-opaque) (Service d'Odontologie, CHRU Nancy)

2.3.1.4 Maintenance et contrôles de qualité du matériel

La démarche d'optimisation n'a de sens que si les examens sont réalisés avec du matériel performant et dont la stabilité au cours du temps est vérifiée régulièrement par des contrôles de qualité appropriés (Le Denmat, 2011 ; HAS et al., 2006). Ainsi, la mise en place d'un programme de qualité est quelque chose d'indispensable pour maintenir les niveaux de protection souhaités (ICRP, 2007b) et pour garantir la constance de la qualité des images radiologiques (Le Denmat, 2011).

« L'exploitant est tenu de s'assurer du maintien […] [des] performances et de la maintenance du dispositif médical » (Code de santé publique, art. L.5212-1). « L'exploitant veille à la mise en œuvre de la maintenance et des contrôles de qualité prévus pour les dispositifs médicaux qu'il exploite » (Code de santé publique, art. R5212-25).

2.3.1.4.1 Maintenance

On entend par « maintenance d'un dispositif médical, l'ensemble des activités destinées à maintenir ou à rétablir un dispositif médical dans un état ou dans des conditions données de sûreté de fonctionnement pour accomplir une fonction requise » (Code de santé publique, art. R.5211-5). Cette maintenance est assurée par des opérations d'entretien qui visent à assurer la sécurité des personnes et le maintien des performances des équipements (ADF, 2012 ; ADF, 2007).

La maintenance est réalisée en routine par le contrôle de l'aspect et de l'efficacité du matériel lors de chaque utilisation. Au niveau du générateur, on vérifiera, par exemple, l'état de propreté, l'état apparent, ainsi que le fonctionnement des éléments mécaniques tels que le bras, le support, les articulations et fixations, le câble d'alimentation, ... (ADF, 2007).

« Les conditions de réalisation de la maintenance sont fixées contractuellement, s'il y a lieu, entre le fabricant ou le fournisseur de tierce maintenance et l'exploitant » (Code de santé publique, art. R.5211-5). Ainsi, « la maintenance est réalisée soit par le fabricant ou sous sa responsabilité, soit par un fournisseur de tierce maintenance, soit par l'exploitant lui-même » (Code de santé publique, art. R5212-25).

Les opérations de maintenance sont consignées dans un registre avec le nom et la qualité des intervenants (ADF, 2012).

2.3.1.4.2 Contrôle de qualité

On entend par « contrôle de qualité d'un dispositif médical, l'ensemble des opérations destinées à évaluer le maintien des performances revendiquées par le fabricant ou, le cas échéant, fixées par le directeur général de l'Agence nationale de sécurité du médicament et des produits de santé [ANSM] ; le contrôle de qualité est dit interne, s'il est réalisé par l'exploitant ou sous sa responsabilité par un prestataire ; il est dit externe, s'il est réalisé par un organisme indépendant de l'exploitant, du fabricant et de celui qui assure la maintenance du dispositif » (Code de santé publique, art. R.5211-5).

2.3.1.4.2.1 Contrôle interne

Les contrôles internes doivent être menés selon les dispositions législatives et les recommandations du fabriquant ou du fournisseur (Foucart, 2007). Ils comprennent des contrôles trimestriels des ambiances des lieux de travail et des contrôles annuels techniques des appareils émetteurs de rayonnements ionisants et des dispositifs de protection détenus et utilisés (ASN, 2013 ; ADF, 2012 ; Circulaire DGT/ASN n°04, 2010).

En cabinet dentaire, la dosimétrie d'ambiance est évaluée trimestriellement à l'aide d'un dosimètre passif par générateur. Le relevé des dosimètres d'ambiance peut être fait par un membre du cabinet autre que la PCR (ADF, 2012).

Les contrôles techniques de radioprotection sont à mettre en œuvre à la réception des équipements, avant leur première utilisation, puis périodiquement ou en cas de modification des conditions d'utilisation (Circulaire DGT/ASN n°04, 2010 ; ADF, 2012). Ils sont réalisés par analyses de clichés d'un objet test (Le Denmat, 2011) et au moyen d'appareils de mesure permettant d'accéder directement à l'exposition, en débit de dose (exprimée en mSv/h) ou à la dose intégrée (exprimée en mSv) (Circulaire DGT/ASN n°04, 2010).

Les contrôles internes doivent être effectués par la personne compétente en radioprotection ou, à défaut, par un organisme agréé ou par l'IRSN (ASN, 2013 ; ADF, 2012 ; Circulaire DGT/ASN n°04, 2010) au moins une fois par an (ADF, 2012).

Si le contrôle met en évidence une dégradation des performances ou des caractéristiques du dispositif, il faut procéder dans les plus brefs délais à la remise en conformité du dispositif. Sinon le dispositif sera mis hors-service provisoirement ou définitivement (Foucart, 2007).

Le contrôle interne donne lieu à la rédaction d'un compte rendu à conserver dans le dossier justificatif de la déclaration et les résultats des contrôles de radioprotection sont consignés dans le document unique d'évaluation des risques (ADF, 2012).

2.3.1.4.2.2 Contrôle externe

Les contrôles externes complètent les contrôles internes réalisés par la PCR et ne s'y substituent pas. Ils comprennent aussi des contrôles d'ambiance des lieux de travail et des contrôles techniques de radioprotection (Circulaire DGT/ASN n°04, 2010 ; ASN, 2013 ; ADF, 2012) qui portent sur l'équipement radiologique (état apparent du générateur, minuterie, équipements de protection individuelle, …), son identification (générateur, tube, gaine, accessoires, …), le local (parois, classification des zones, signalisation, …), le faisceau primaire (collimation, filtration, distance foyer-récepteur, …), la recherche de rayonnements de fuite, … (Foucart, 2007).

Ils sont réalisés par un organisme agréé, autre que celui réalisant les contrôles internes, ou par l'IRSN (Code du travail, art. R.4451-32 ; ASN, 2013 ; ADF, 2012 ; Circulaire DGT/ASN n°04, 2010). Lors du contrôle externe, la PCR devra obligatoirement être présente (ASN, 2013 ; ADF, 2012) et la présence du praticien responsable de l'installation est fortement recommandée (ADF, 2012).

Pour les activités d'imagerie dentaire soumises à un régime de déclaration, la périodicité des contrôles externes est de 5 ans (ASN, 2013 ; ADF, 2012) sauf pour les générateurs mobiles et portatifs dont la périodicité de contrôle est réduite à 3 ans (ADF, 2012). C'est le praticien qui est responsable du respect de la périodicité des contrôles et qui doit prendre contact avec un organisme agréé afin de déterminer une date de visite. Outre le contrôle périodique, un contrôle externe est indiqué avant la mise en service de l'appareil, après modification majeure de l'installation et lors de dépassement accidentel des doses maximales admissibles (Foucart, 2007).

A la suite du contrôle, l'organisme établit un rapport mentionnant la date et la nature des vérifications, les noms et qualités de la ou des personnes l'ayant réalisé, ainsi que les éventuelles non-conformités relevées avec généralement les observations permettant d'y remédier en précisant le degré d'urgence. Ce rapport est transmis à l'employeur, qui les conserve pendant au moins dix ans et les tient à la disposition de l'inspecteur du travail (Code du travail, art. R.4451-35 ; Foucart, 2007).

Les points contrôlés qui seraient non conformes devront obligatoirement faire l'objet de mesures correctives afin de remettre en conformité l'ensemble de l'installation dans les plus brefs délais (ADF, 2012).

2.3.1.4.3 Le document unique d'évaluation des risques

« Les résultats des contrôles […] sont consignés dans le document unique d'évaluation des risques avec : un relevé actualisé des sources et des appareils émettant des rayonnements ionisants utilisés ou stockés dans l'établissement ; les informations concernant les modifications apportées à chaque source ou appareil émetteur ou dispositif de protection ; les observations faites par les organismes […] à l'issue d'un contrôle » (Code du travail, art. R.4451-37). « L'exploitant est tenu […] de tenir à jour, pour chaque dispositif médical, un registre dans lequel sont consignées toutes les opérations de maintenance et de contrôle de qualité interne ou externe, avec pour chacune d'elles l'identité de la personne qui les a réalisées […], la date de réalisation des opérations effectuées […], la date d'arrêt et de reprise d'exploitation en cas de non-conformité, la nature de ces opérations, le niveau de performances obtenu, et le résultat concernant la conformité du dispositif médical ; ce registre doit être conservé cinq ans après la fin d'exploitation du dispositif» (Code de santé publique, art. R5212-28). Ces éléments doivent être tenus à la disposition de l'ASN (ASN, 2013 ; Circulaire DGT/ASN n°04, 2010).

2.3.2 Optimisation par les bonnes pratiques

Le praticien doit établir des protocoles, pour chaque type d'examen radiologique, à partir du « guide des indications et procédures des examens radiologiques en odontostomatologie » et ceux-ci doivent être accessibles et à proximité des équipements (Foucart, 2007).

Les bonnes pratiques ont pour but de réduire au maximum l'exposition des patients et des travailleurs. Mais, il est aussi essentiel de mettre en œuvre une bonne procédure de prise de clichés afin d'obtenir une image la plus parfaite possible, permettant de visualiser un maximum d'éléments. Si le cliché pris n'est pas satisfaisant, une nouvelle radiographie double la dose de rayonnements reçus par le patient alors qu'en théorie un seul cliché est suffisant pour obtenir les informations recherchées. Malheureusement, selon les études, on peut avoir jusqu'à 33% de répétition de clichés (Foucart, 2007).

Par ailleurs, il est important de rappeler que le remboursement par les organismes sociaux de tout examen ionisant est conditionné par la réalisation d'un compte-rendu écrit contenant au moins l'identification du patient et du médecin réalisateur, la date de réalisation de l'acte, les éléments de justification de l'acte, la procédure réalisée, ainsi que les informations utiles à l'estimation de la dose reçue par le patient au cours de la procédure (Arrêté du 22 septembre 2006, art. 1). Les honoraires demandés pour la réalisation d'une radiographie ne sont pas dus à l'acte technique mais à l'analyse et à la rédaction du compte-rendu qui fait de la radiologie un acte médical (ADF, 2012 ; Cavézian et Pasquet, 2005). Toutefois, il est couramment admis que les clichés endobuccaux ne comportent pas de commentaire attaché mais qu'en cas de demande d'un organisme social le praticien devra être en mesure de fournir un commentaire adapté avec la justification et le diagnostic correspondant à la radiographie (ADF, 2012). L'estimation de la dose reçue par le patient pour

les actes de radiologie diagnostique exposant la tête se fait à l'aide du produit dose × surface (PDS) pour les appareils qui disposent de l'information (Arrêté du 22 septembre 2006, art. 3).

2.3.2.1 Techniques de prise des clichés

Rappelons tout d'abord que lors de la prise d'un cliché radiographique, le praticien devra porter des gants et un masque dans un souci d'hygiène (CDC, 2003).

2.3.2.1.1 Préparation du patient

Le patient doit être confortablement installé sur le fauteuil dentaire avec la tête calée sur l'appuie-tête afin de limiter tout mouvement involontaire (White et Pharoah, 2014 ; Whaites et Drage, 2013 ; Carmichael, 2005). Le plan d'occlusion devra préférentiellement être horizontal, il est toutefois possible de prendre une radiographie avec un patient en décubitus mais cela peut s'avérer plus complexe (Whaites et Drage, 2013).

Les dispositifs amovibles intra-buccaux contenant des parties métalliques (appareil orthodontique, prothèse amovible à infrastructure métallique, prothèse amovible en résine avec des crochets métalliques,…), les lunettes, les bijoux (boucles d'oreilles, piercings labiaux, …) ou encore un éventuel cadre à digue métallique doivent être retirés s'ils se trouvent dans le secteur à radiographier.

Le déroulement de la prise du cliché doit être expliqué au patient (White et Pharoah, 2014 ; Whaites et Drage, 2013), en insistant sur le fait qu'il ne doit pas bouger lors du déclenchement. Puis le cliché est pris le plus rapidement possible afin de limiter l'inconfort du patient (Whaites et Drage, 2013). Il faut faire abstraction du désagrément subi par le patient durant la prise du cliché, quitte à s'excuser pour la gêne occasionnée après l'examen (White et Pharoah, 2014).

2.3.2.1.2 Techniques d'angulation

2.3.2.1.2.1 Clichés rétro-alvéolaires

Idéalement, un cliché rétro-alvéolaire doit montrer, non seulement, la totalité de chaque dent radiographiée jusqu'à l'apex mais aussi les tissus osseux avoisinants afin de pouvoir éliminer toute manifestation pathologique de voisinage (HAS et al., 2006). De plus, le centrage du récepteur en arrière de la zone à explorer doit être rigoureux, il ne doit pas déborder du plan occlusal de plus de 3 mm et pour un film de 31 x 41 mm, utilisé avec son grand axe horizontal, trois dents contigües doivent être visibles dans leur intégralité (HAS et al., 2006).

Il existe deux techniques possibles pour prendre un cliché rétro-alvéolaire : la technique de la bissectrice et la technique des plans parallèles (figure 45).

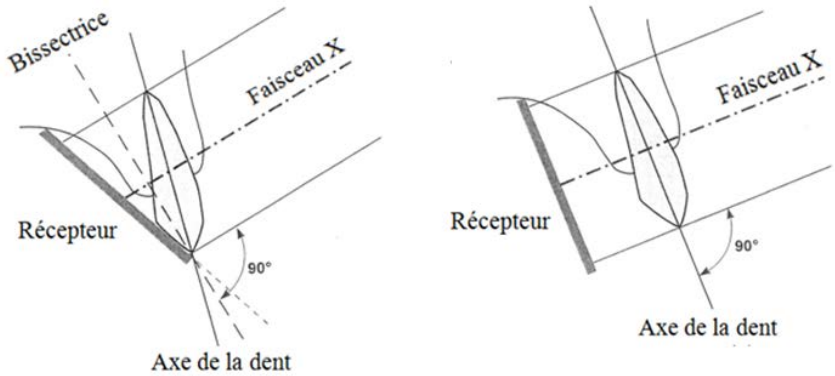


Figure 45 : Schématisation des techniques de la bissectrice (à gauche) et des plans parallèles (à droite) (traduit d'après Jones et al., 2007)

Une enquête menée auprès des dentistes flamands révèle que 81% prétendent utiliser la technique des plans parallèles, 14% la technique de la bissectrice et 5% ne savent pas (Aps, 2010). Une enquête réalisée dans une ville brésilienne montre que 62% des praticiens utilisent la technique des plans parallèles (de Melo et Melo, 2008).

2.3.2.1.2.1.1 Technique de la bissectrice

La technique de la bissectrice est aussi appelée technique isométrique de Cieszynski (White et Pharoah, 2014 ; Cavézian et Pasquet, 2005).

Le principe de cette technique est de placer le récepteur au contact de la couronne de la dent et de la muqueuse, puis de visualiser la bissectrice de l'angle formé par le grand axe de la dent et l'axe du récepteur pour placer le tube radiogène de manière à ce que le faisceau de rayons X passe perpendiculairement à cette bissectrice (figure 46). Ce principe géométrique permet d'obtenir une image où la longueur des dents correspond à leur taille réelle (White et Pharoah, 2014 ; Whaites et Drage, 2013).

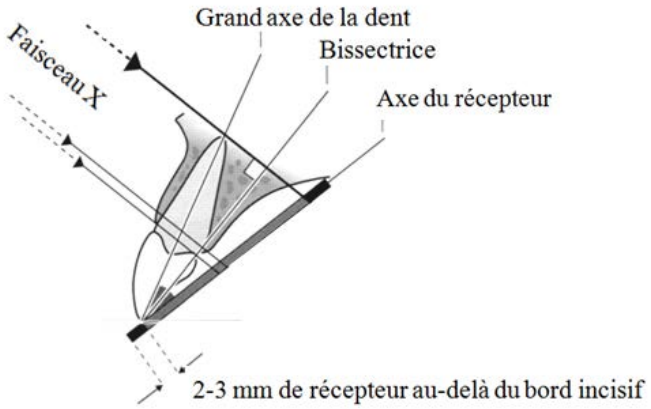


Figure 46 : Schématisation de la technique de la bissectrice (modifié et traduit d'après Whaites et Drage, 2013)

Avec cette technique, le récepteur peut être maintenu en position soit par un porte récepteur (figures 47 et 48), soit par le doigt du patient (généralement l'index, parfois le

pouce) (figure 49) (Whaites et Drage, 2013). Toutefois, il est préférable d'utiliser un angulateur car les patients ont tendance à exercer une force excessive avec leurs doigts ce qui engendre une flexion du récepteur et donc une distorsion de l'image (White et Pharoah, 2014). De plus, l'utilisation d'un porte-récepteur évite d'exposer le doigt du patient au faisceau primaire de rayons X.

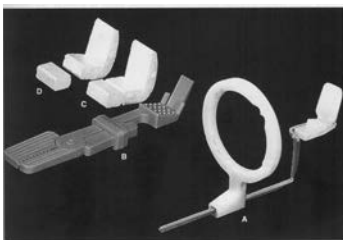


Figure 47 : Portes-récepteurs pour technique de la bissectrice (Whaites et Drage, 2013)

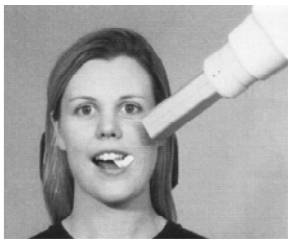


Figure 48 : Technique de la bissectrice avec un bloc de morsure Rinn Greene Stabe® (Whaites et Drage, 2013)

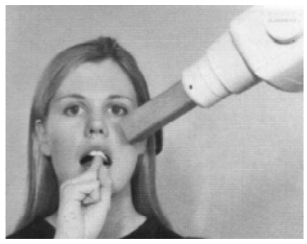


Figure 49 : Technique de la bissectrice avec film maintenu par l'index de la patiente (Whaites et Drage, 2013)

Les avantages de cette technique sont un positionnement relativement simple, rapide et raisonnablement confortable pour le patient dans tous les secteurs. Si les angulations sont bien respectées, l'image correspond à la réalité (Whaites et Drage, 2013).

L'inconvénient majeur de cette technique est la difficulté de positionnement du tube radiogène qui conduira fréquemment à une distorsion de l'image de la dent qui apparaît allongée ou réduite (figure 50). On aura souvent une distorsion des couronnes nuisant à la détection des caries proximales, un raccourcissement des racines palatines des prémolaires et molaires maxillaires et une projection fréquente de la crête alvéolaire dans une position plus coronaire qu'en réalité. Les autres inconvénients sont l'absence de reproductibilité des clichés, le risque d'une image tronquée à cause d'un mauvais centrage du tube radiogène, un niveau d'os crestal peu visible et une superposition de l'arcade zygomatique sur les apex des molaires supérieures (Salmon et Martinez, 2014 ; White et Pharoah, 2014 ; Whaites et Drage, 2013 ; Brocklebank, 1998). De plus, la technique de la bissectrice nécessite une angulation plus verticale du tube radiogène dirigeant le faisceau primaire vers la glande thyroïdienne ou les yeux (Praveen et al., 2013).

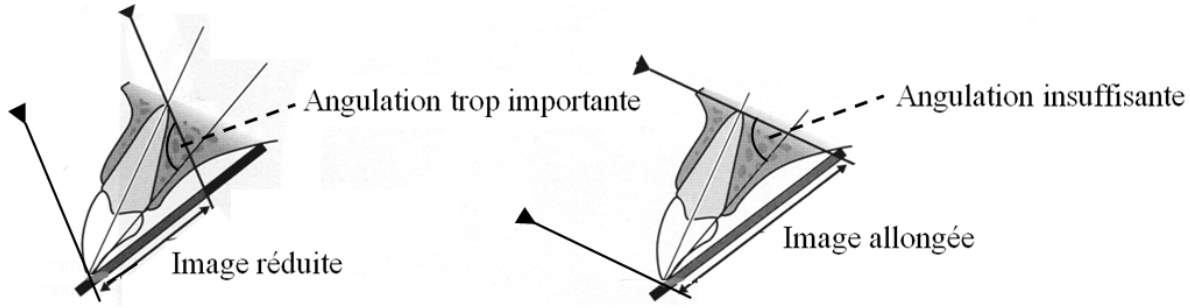


Figure 50 : Erreurs d'angulation du tube conduisant à la distorsion de l'image (modifié et traduit d'après Whaites et Drage, 2013)

De part ses nombreux inconvénients, la technique de la bissectrice est en voie de disparition au profit de la technique des plans parallèles (Clée et Soueidan, 2014 ; White et Pharoah, 2014 ; Cavézian et Pasquet, 2005).

2.3.2.1.2.1.2 Technique des plans parallèles

Cette technique consiste à placer le récepteur le plus près possible de la dent et parallèlement au grand axe de celle-ci à l'aide d'un porte-récepteur et faire passer le faisceau de rayons X perpendiculairement à la dent et au capteur (figure 51) (Bonnet et Chauvel, 2014 ; White et Pharoah, 2014 ; Whaites et Drage, 2013).

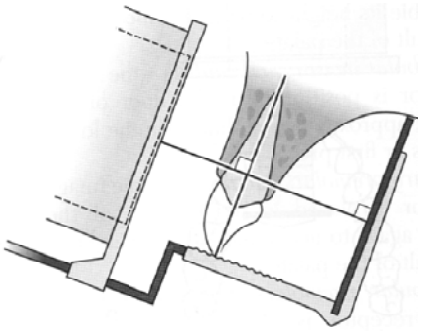


Figure 51 : Schématisation de la technique des plans parallèles
(Whaites et Drage, 2013)

En pratique, au maxillaire on positionne le récepteur sur la partie la plus profonde du palais ; bien que cela décale légèrement la position du capteur par rapport à la dent, on s'assure ainsi d'avoir la totalité de la dent sur l'image (figure 52). A la mandibule, les nombreuses structures musculaires gênent la mise en place du récepteur, celui-ci doit être inséré entre la crête mandibulaire et la langue, puis le patient ferme délicatement la bouche afin de réduire les tensions des muscles du plancher buccal (figure 53) (Bonnet et Chauvel, 2014 ; White et Pharoah, 2014 ; Bonnet, 2008 ; ADF, 2007).

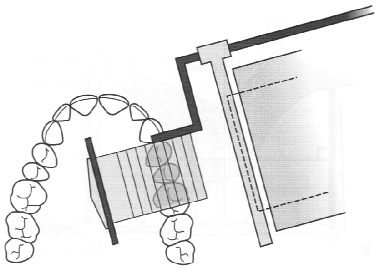


Figure 52 : Technique des plans parallèles au maxillaire (Whaites et Drage, 2013)

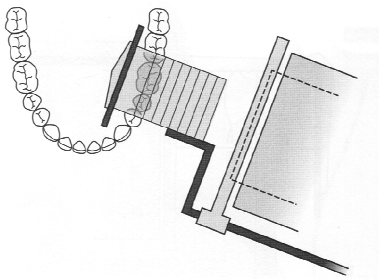


Figure 53 : Technique des plans parallèles à la mandibule (Whaites et Drage, 2013)

L'utilisation d'un porte-récepteur avec système de visée est primordiale, notamment avec les collimateurs rectangulaires, et permet de bien positionner le tube radiogène afin de ne pas avoir de distorsion de l'image (Salmon et Martinez, 2014 ; Bonnet, 2008 ; ADF, 2007 ; Carmichael, 2005 ; Cavézian et Pasquet, 2005). Toutefois, leur utilisation ne garantit pas à

elle seule un bon cliché, il faut aussi prendre garde au bon positionnement du récepteur sur l'angulateur puis du porte-capteur en bouche.

La technique des plans parallèles présente de nombreux avantages : 1) une image respectant la géométrie de la longueur des dents, des couronnes et des tissus parodontaux avec un minimum d'allongement, de rétrécissement ou de distorsion de l'image ; 2) une amélioration de la qualité de l'image en réduisant le phénomène de pénombre ; 3) une image reproductible et standardisée qui permet le suivi d'une pathologie ; 4) une angulation et un centrage du tube radiogène facilement déterminés par le dispositif de visée de l'angulateur ; et, 5) une bonne visualisation du niveau de l'os crestal et la projection de l'arcade zygomatique au-dessus des apex des molaires maxillaires (Clée et Soueidan, 2014 ; Rouas et Hauret, 2014 ; White et Pharoah, 2014 ; Whaites et Drage, 2013 ; Commission européenne, 2004 ; Abbott, 2000 ; Foucart, 2007 ; Brocklebank, 1998 ; Commission européenne, 1995). De plus, comparée à la technique de la bissectrice, elle engendre une plus faible dose d'exposition de la thyroïde, des yeux (Praveen et al., 2013) et de la peau (Foucart, 2007).

L'inconvénient majeur de cette technique est un positionnement du récepteur inconfortable pour le patient, notamment en secteur postérieur où il peut déclencher un réflexe nauséeux. De plus, la mise en œuvre de cette technique peut être impossible dans certains cas, tout particulièrement au niveau maxillaire lorsque le palais est plat (Whaites et Drage, 2013).

La technique des plans parallèles est celle qui fournit l'image la plus fidèle et qui possède plus d'avantages que d'inconvénients (Carmichael, 2005). C'est la procédure la plus précise pour obtenir un diagnostic exact (Bonnet et Chauvel, 2014 ; Bonnet, 2008) ce qui en fait la technique de choix pour la prise des clichés rétro-alvéolaires (White et Pharoah, 2014 ; Whaites et Drage, 2013 ; White et al., 2001).

2.3.2.1.2.1.3 Incidences excentrées

En plus d'une incidence orthocentrée, il peut être nécessaire de réaliser des incidences excentrées, lors de superpositions radiculaires ou de recherche de fracture radiculaire par exemples (HAS et al., 2006).

En effet, il est possible de s'approcher d'une analyse tridimensionnelle en employant différentes incidences de l'imagerie bidimensionnelle (Bonnet et Chauvel, 2014 ; Attal et Kaleka, 2008). L'excentrage du faisceau peut et doit parfois être réalisée afin d'apporter des informations complémentaires pas toujours visibles pour des incidences orthocentrées (Fava et Dummer, 1997).

Si on augmente l'angulation dans le sens vertical, pour une dent pluriradiculée les racines vestibulaires apparaissent alors plus courtes que les racines palatines ou linguales sur l'image (figure 54). Cette angulation verticale est utile pour éviter la superposition d'éléments physiologiques tels que l'arcade zygomatique au maxillaire ou le canal mandibulaire à la mandibule ou d'éléments pathologiques comme une lésion d'origine endodontique (Fava et Dummer, 1997).

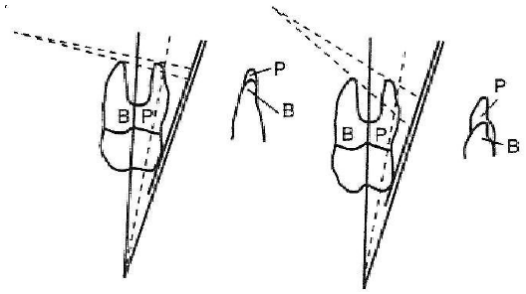


Figure 54 : Angulation verticale au maxillaire (Fava et Dummer, 1997)

On peut également modifier l'angulation dans le sens horizontal mésial ou distal : dans ce cas on observe sur l'image un décalage des éléments palatins ou linguaux du même côté que l'angulation du tube et un décalage du côté opposé des éléments vestibulaires (figures 55 et 56) (White et Pharoah, 2014 ; Arbab-Chirani et Diemer, 2010 ; Fava et Dummer, 1997), en d'autres termes l'élément qui se déplace le plus et qui est le plus flou est l'élément le plus éloigné du récepteur, et inversement. Cette angulation horizontale permet d'éviter la superposition d'éléments comme les canaux d'une même dent en endodontie (figure 57) (Fava et Dummer, 1997). La technique d'angulation horizontale est aussi connue sous le nom de règle de Clark.

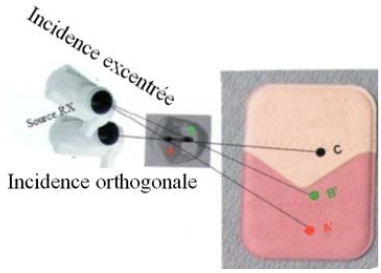


Figure 55 : Schématisation d'un cliché orthogonal puis excentré à 20° (modifié d'après Arbab-Chirani et Diemer, 2010)

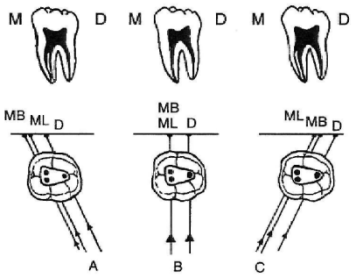


Figure 56 : Projections des canaux endodontiques sur le récepteur avec diverses angulations horizontales (Fava et Dummer, 1997)

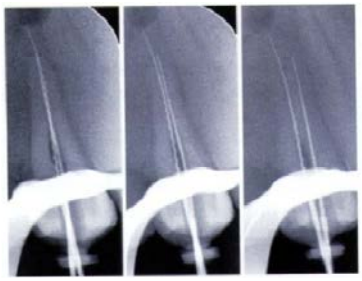


Figure 57 : Images d'incidence orthogonale puis excentrées à 10 et 20° (Arbab-Chirani et Diemer, 2010)

On notera que même dans le cas de clichés excentrés l'utilisation de l'angulateur est recommandée afin de ne pas réaliser d'angulations excessives (Arbab-Chirani et Diemer, 2010).

2.3.2.1.2.2 Clichés rétro-coronaires (*bitewing*)

Le cliché rétro-coronaire permet d'observer simultanément les couronnes dentaires maxillaires et mandibulaires ainsi que l'os crestal adjacent. Son principal intérêt est la détection des caries initiales proximales mais il permet aussi de détecter les reprises carieuses sous obturation, de visualiser le tartre proximal et d'évaluer le niveau de l'os crestal (White et Pharoah, 2014).

Pour la réalisation de ce cliché, le récepteur est placé derrière les couronnes dentaires selon un grand axe généralement horizontal mais parfois vertical. Le tube radiogène vise le centre du récepteur avec une angulation vertical de +5 à +10° afin d'éviter les superpositions des cuspides (White et Pharoah, 2014).

Pour une bonne analyse, il est recommandé de réaliser deux clichés rétro-coronaires par côté, un centré sur les prémolaires, l'autre sur les molaires. Toutefois, pour les enfants de 12 ans et moins, seul un cliché suffit (White et Pharoah, 2014).

D'un cliché *bitewing* on attendra au minimum que les prémolaires et molaires soient intégralement visibles, tant au niveau maxillaire qu'au niveau mandibulaire, qu'il n'y ait pas de superposition de dents en proximal sauf si les dents sont en malposition et que le contraste soit suffisant pour permettre la distinction entre l'émail et le cément. Idéalement les points de contact distaux des canines sont visibles mais ceci peut s'avérer impossible dans certains cas où l'on n'effectue qu'un cliché par côté (Brocklebank, 1998).

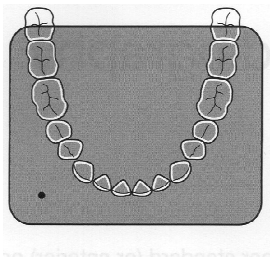
2.3.2.1.2.3 Clichés occlusaux (mordus)

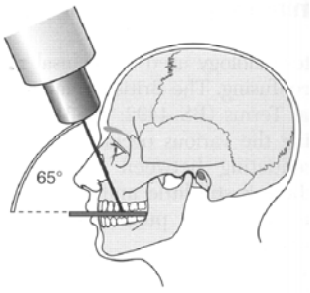
Les clichés occlusaux, souvent oubliés, peuvent se révéler une aide simple mais précieuse pour visualiser au maxillaire la position dans le plan vestibulo-palatin d'un élément inclus ou encore à la mandibule une lithiase salivaire dans la portion terminale du canal excréteur des glandes sub-mandibulaires (Salmon et Martinez, 2014).

Les mordus sont généralement réalisés avec un récepteur de 57 × 76 mm et maintenus dans le plan occlusal par morsure (Whaites et Drage, 2013 ; Cavézian et Pasquet, 2005). Chez l'enfant en denture temporaire, on utilise plutôt un récepteur de 3 × 4 cm (figure 62) (Rouas et Hauret, 2014). Il existe deux incidences occlusales : l'incidence ortho-occlusale avec le faisceau primaire perpendiculaire au plan d'occlusion maxillaire (dite de Simpson) ou mandibulaire, et l'incidence dysocclusale avec le faisceau primaire oblique au plan d'occlusion maxillaire ou mandibulaire (Cavézian et Pasquet, 2005).

2.3.2.1.2.3.1 Mordus ortho-occlusaux (orthocentrés)

Pour un mordu maxillaire ortho-occlusal, le récepteur est positionné dans un plan horizontal selon un grand axe droite-gauche et le tube radiogène médian est placé au dessus du nez avec un angle de 65° (Whaites et Drage, 2013 ; White et Pharoah, 2014) ou seulement de 45° par rapport au récepteur (White et Pharoah, 2014) (figures 58 à 62).





Figures 58 et 59 : Schématisation d'un mordu maxillaire orthocentré (Whaites et Drage, 2013)

Figure 60 : Mordu maxillaire orthocentré chez l'adulte avec film occlusal 57 × 76 mm et angulation verticale de 45° (White et Pharoah, 2014)

Figure 61 : Mordu maxillaire orthocentré chez l'adulte avec film occlusal 57 × 76 mm et angulation verticale de 65° (White et Pharoah, 2014)

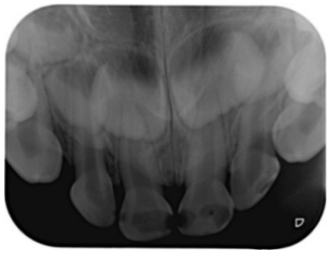
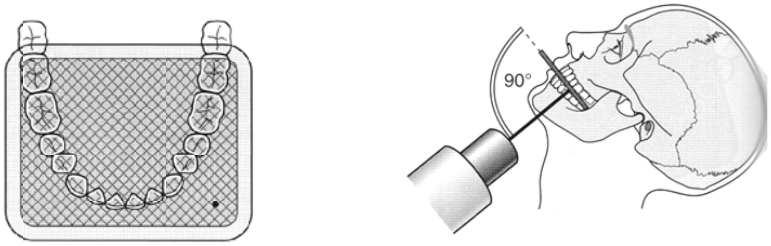


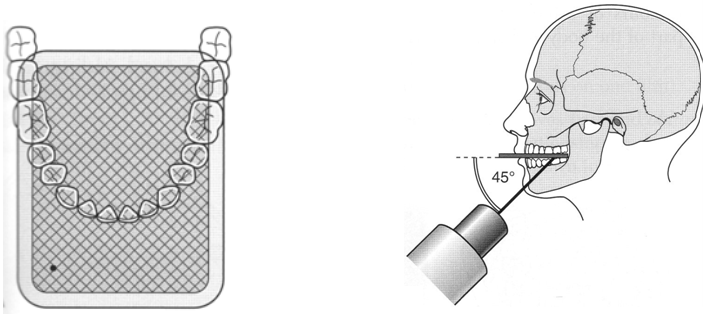
Figure 62 : Mordu maxillaire orthocentré chez l'enfant avec récepteur standard 3 × 4 cm (Service d'Odontologie, CHRU Nancy)

A la mandibule, deux types de mordus ortho-occlusaux existent. Pour l'un, le récepteur est centré avec un grand axe droite-gauche, la tête du patient en hyperextention et le tube radiogène médian avec un axe de 90° par rapport au récepteur (figures 63, 64 et 65). Pour l'autre, le récepteur est centré avec un grand axe antéropostérieur et le tube radiogène médian avec un axe de 45° par rapport au récepteur (figures 66, 67 et 68) (White et Pharoah, 2014 ; Whaites et Drage, 2013).



Figures 63 et 64 : Schématisation d'un mordu mandibulaire orthocentré (Whaites et Drage, 2013)

Figure 65 : Mordu mandibulaire orthocentré avec angulation verticale de 90° (White et Pharoah, 2014)

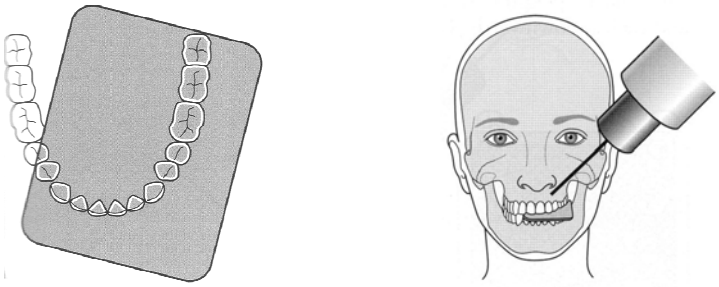


Figures 66 et 67 : Schématisation d'un mordu mandibulaire centré (Whaites et Drage, 2013)

Figure 68 : Mordu mandibulaire centré avec angulation verticale de 45°
(White et Pharoah, 2014)

2.3.2.1.2.3.2 Mordus dysocclusaux

Pour un mordu maxillaire dysocclusal, le récepteur est placé selon le grand axe antéropostérieur du côté à examiner et le tube radiogène est placé au dessus de la joue avec un angle de 65 à 70° par rapport au récepteur (figures 69, 70 et 71) (Whaites et Drage, 2013).



Figures 69 et 70 : Schématisation d'un mordu maxillaire dysocclusal
(Whaites et Drage, 2013)

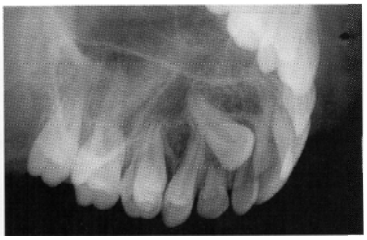
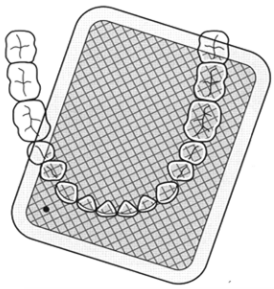
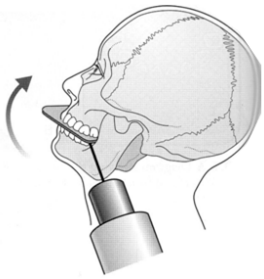


Figure 71 : Mordu maxillaire dysocclusal (Cavézian et Pasquet, 2005)

Pour le mordu mandibulaire oblique, le récepteur est placé selon le grand axe antéropostérieur du côté à examiner, la tête du patient est en extension et en rotation du côté opposé à la radiographie et le tube radiogène est placé sous l'angle mandibulaire (figures 72, 73 et 74) (Whaites et Drage, 2013).





Figures 72 et 73 : Schématisation d'un mordu mandibulaire dysocclusal (Whaites et Drage, 2013)

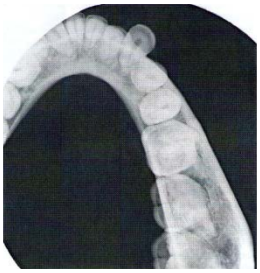


Figure 74 : Mordu mandibulaire dysocclusal (White et Pharoah, 2014)

2.3.2.2 Distances de sécurité et positionnement des travailleurs

Lors de la prise d'un cliché radiographique, les deux sources d'exposition principales sont le faisceau primaire et le rayonnement diffusé. Le faisceau primaire qui sort du tube radiogène concentre un maximum de rayonnements ionisants et constitue la "vraie" source d'irradiation. Il est unidirectionnel et rectiligne et va percuter le patient (sa peau, ses os, ses dents,…). A chaque fois qu'un rayon X rencontre un obstacle il se crée un rayon réfléchi qui repart dans une autre direction, on parle alors de rayonnements secondaires ou rayonnements diffusés. La majeure partie des rayonnements secondaires sont issus de l'interaction du faisceau primaire avec le corps du patient. Ceux-ci sont émis dans toutes les directions et sont la cause de l'exposition du personnel se trouvant à proximité (Praveen et al., 2013 ; Le Heron et al., 2010 ; Commission européenne, 2004). Le personnel médical doit donc se protéger principalement du rayonnement primaire mais aussi penser à se protéger des rayonnements secondaires présents tout autour du patient (Commission européenne, 2004). Il existe une troisième source d'irradiation dont il faut se méfier, le rayonnement de fuite présente au niveau du générateur radiogène (figure 75). Pour cette raison le tube radiogène ne doit, en aucun cas, être stabilisé par une tierce personne durant l'exposition (Whaites et Drage, 2013 ; Giguère et Joly, 2010 ; Foucart, 2007 ; AERB, 2001) même si ce rayonnement de fuite est devenu négligeable avec les équipements modernes (UNSCEAR, 2008).

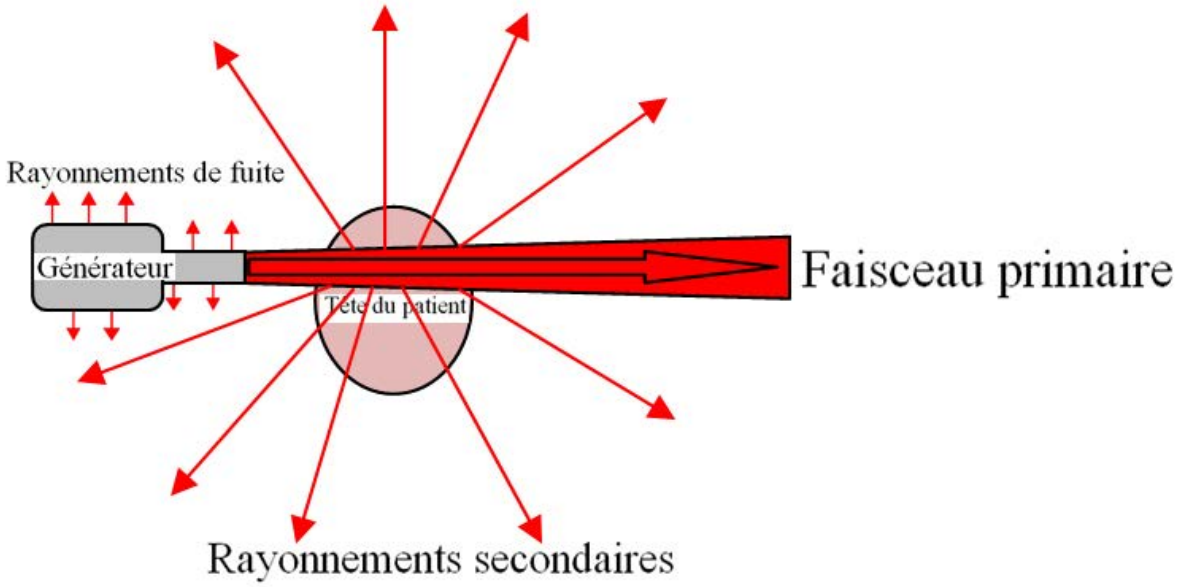


Figure 75 : Schématisation des sources d'irradiation (schéma personnel)

Pour les travailleurs, le meilleur moyen de se protéger des expositions est de se placer hors de la salle où est prise la radiographie lors du déclenchement du rayonnement (ADA et FDA, 2012 ; INRS, 2009 ; Commission européenne, 2004). Toute personne non indispensable à la prise du cliché doit sortir de la salle (Giguère et Joly, 2010 ; NRPB, 2001). L'idéal est d'avoir le bouton de déclenchement du générateur à l'extérieur de la pièce, ce qui oblige le praticien à sortir. Si le bouton déclencheur est fixé à un câble relié au générateur il faut prévoir une longueur de câble suffisante pour permettre à l'opérateur de sortir de la pièce (ADA et FDA, 2012 ; INRS, 2009 ; Commission européenne, 2004 ; NRPB, 2001). Toutefois, il est recommandé de pouvoir surveiller le patient lors de la prise du cliché, afin de contrôler qu'il ne bouge pas, que l'angulateur reste stable et que le tube radiogène ne se déplace pas (Whaites et Drage, 2013 ; ADA et FDA, 2012 ; Commission européenne, 2004). Pour cela, il est intéressant de placer une vitre avec du verre plombé ou simplement d'installer un miroir permettant d'observer le patient depuis l'extérieur de la salle (White et Pharoah, 2014 ; ADA et FDA, 2012 ; ADA, 2006 ; Commission européenne, 2004).

Si le praticien ne peut sortir de la salle, il devra se placer hors de la trajectoire du faisceau primaire et devra se positionner le plus loin possible de la source d'émission X car l'intensité du rayonnement décroit proportionnellement à l'inverse du carré de la distance : augmenter sa distance d'un facteur 2 par rapport au tube réduit le rayonnement d'un facteur 4. Par conséquent, pour se protéger des rayonnements secondaires, le simple fait de prendre de la distance suffit à se protéger puisque l'intensité du rayonnement décroît rapidement avec la distance (White et Pharoah, 2014 ; Praven et al., 2013 ; Whaites et Drage, 2013 ; Giguère et Joly, 2010 ; Le Heron et al., 2010 ; Foucart, 2007 ; Commission européenne, 1995). En d'autres termes, ce qui conditionne le plus l'exposition du personnel est la proximité avec le patient lors du déclenchement du rayonnement (Le Heron et al., 2010). Par exemple, pour un cliché intra-oral, la dose du rayonnement primaire à la sortie du tube est de quelques milligrays et à 1 mètre de distance la dose due aux rayonnements secondaires est 1000 fois

moins importante (Commission européenne, 2004). D'un point de vu pratique, il faut se placer à au moins 2 mètres du patient et du tube radiogène (White et Pharoah, 2014 ; ADA et FDA, 2012 ; INRS, 2009 ; de Melo et Melo, 2008 ; Foucart, 2007 ; ADA, 2006 ; Stavrianou et al., 2005 ; NRPB, 2001 ; Commission européenne, 1995).

Outre la distance il faut aussi réfléchir à sa position spatiale par rapport au patient. On sait que les rayonnements diffusés, produits par effet Compton, sont émis dans toutes les directions mais aussi que leur angle de diffusion dépend de l'énergie des photons diffusés. Un photon diffusé de haute énergie va généralement dans le sens du rayon principal alors qu'un photon diffusé de faible énergie peut partir dans toutes les directions (Whaite et Drage, 2013 ; Giguère et Joly, 2010). Par conséquent, la répartition des rayonnements secondaires n'est pas homogène autour du patient (figure 76). On en déduit donc que si le praticien ne peut sortir de la salle, il doit se placer à plus de 2 mètres du patient et du tube radiogène mais aussi se positionner dans un champ situé à 90° par rapport à celui du tube d'émission (Giguère et Joly, 2010 ; Commission européenne, 1995) ou dans un angle compris entre 90 à 135° (figure 77) (White et Pharoah, 2014 ; Foucart, 2007) même si cette dernière position n'est pas démontrée par toutes les études (figure 78 et tableau 16).

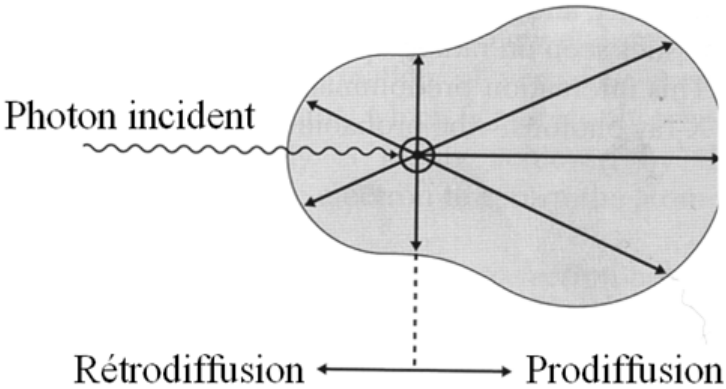


Figure 76 : Schématisation des rayonnements présents autour du patient
(traduit d'après Whaites et Drage, 2013)

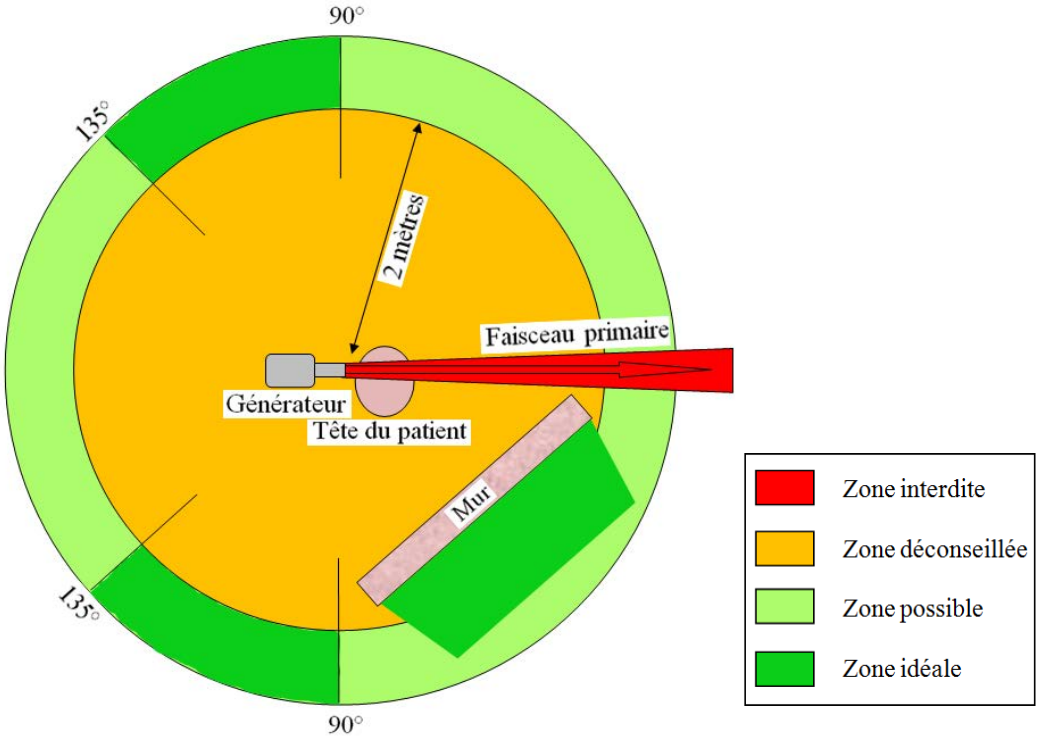


Figure 77 : Règles de distance et de positionnement du praticien
(inspiré de Foucart, 2007)

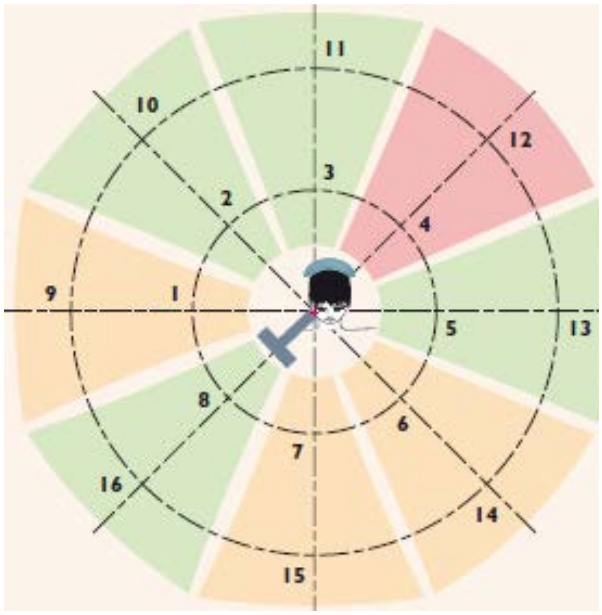


Figure 78 : Position à 50 cm (1 à 8) et à 1 m (9 à 16) autour du patient. Les zones vertes indiquent les positions favorables, les zones oranges les positions à éviter et la zone rouge les positions fortement déconseillées (INRS, 2009)

Conditions d'utilisation des appareils					
Installation		A		B	
Dent radiographiée		Molaire maxillaire			
Type de détecteur		Film E/F	Capteur numérique	Film E/F	Capteur numérique
Haute tension (kV)		70	70	70	70
Courant (mA)		7	4	8	8
Temps d'exposition (s)		0,184	0,096	0,14	0,08
Charge (mAs)		1,288	0,384	1,12	0,64
Dose efficace (µSv) annuelle* sans protection					
Position autour du patient	1	1 000	300	370	150
	4	4 500	1 400	780	260
	5	460	140	124	45
	6	820	250	250	80
	7	940	280	350	135
Dose efficace (µSv) annuelle* avec protection					
Position autour du patient	1	30	9	11	4,5
	4	140	40	24	8
	5	15	4	4	1,3
	6	25	7	7	2,3
	7	28	9	11	4

Tableau 16 : Niveaux d'exposition annuelle (à raison de 2 radiographies par heure pour 2000 heures travaillées par an) d'un praticien avec et sans port du tablier de protection pour 2 générateurs endobuccaux selon sa position (cf figure 78) (INRS, 2009)

En résumé, pour permettre le bon positionnement de l'opérateur, il est important d'avoir une salle de taille suffisante avec une bonne organisation spatiale, un bon agencement du mobilier (Abbott, 2000) et un déclencheur relié à un câble qui permet un déplacement aisé à plus de 2 mètres (AERB, 2001).

2.3.2.3 Equipements de protection collective (EPC)

« L'employeur définit les mesures de protection collective adaptées à la nature de l'exposition susceptible d'être subie par les travailleurs exposés. […] Elle est faite après consultation de la personne compétente en radioprotection […] [et] du médecin du travail » (Code du travail, art. R4451-40). Ces « mesures protectrices […] [sont] destinées à éviter ou à réduire les doses qui, en leur absence, pourraient être reçues dans une situation d'exposition » (Directive 2013/59/EURATOM, art. 4). « Sous la responsabilité de l'employeur […] la personne compétente en radioprotection […] définit […] les mesures de protection adaptées à mettre en œuvre. Elle vérifie leur pertinence au vu des résultats des contrôles techniques et de la dosimétrie opérationnelle ainsi que des doses efficaces reçues » (Code du travail, art. R4451-112).

Les équipements de protection collective, tels que les paravents plombés ou les parois en verre plombé, sont toujours installés prioritairement par rapport aux équipements de protection individuelle (ADF, 2012).

En pratique, si l'agencement de la salle ne permet pas au praticien de sortir ou de s'écarter d'au moins 2 mètres, il faut qu'il se place derrière un écran de protection (Foucart, 2007 ; NRPB, 2001 ; Abbott, 2000). Et s'il existe un écran de protection placé à plus de 2 mètres, on ira préférentiellement se placer derrière durant l'exposition (NRPB, 2001). En effet, le fait de placer une protection telle qu'un mur ou une fenêtre renforcée de plomb permet de favoriser une exposition zéro des professionnels notamment lorsque ceux-ci ne peuvent se tenir à distance du patient lors du déclenchement (Le Heron et al., 2010).

La nature et l'épaisseur de l'écran protecteur sont choisies en fonction des caractéristiques du rayonnement (ADF, 2007) et de la distance séparant la protection du générateur radiogène. La protection est donnée en équivalence d'épaisseur de plomb (tableau 17), habituellement entre 0,1 et 1 mm (Commission européenne, 2004) car un millimètre de plomb permet d'arrêter 99% d'un rayonnement d'une énergie de 75 kVp (Praveen et al., 2013).

Matériau	Epaisseur (mm)
Plomb	1
Acier	6
Béton baryté	20
Verre plombé	26-50
Plâtre barité	30
Verre	72
Calcaire	76
Béton	80
Brique pleine	100
Plâtre	120
Parpaing	200
Brique creuse	300

Tableau 17 : Epaisseurs relatives de matériaux requises pour la radioprotection (d'après Foucart, 2007 et Commission européenne, 1995)

En pratique, il n'y a que peu d'équipements de protection collective en cabinet dentaire, on peut toutefois les assimiler aux parois ou murs des locaux derrière lesquelles le personnel s'abrite (ADF, 2012). Un mur de constitution standard (parpaings ou briques) est généralement suffisant en termes de radioprotection mais si ce n'est pas le cas on pourra le renforcer avec du contreplaqué plombé ou des plaques de plâtres (Commission européenne, 2004). On rappel qu'idéalement le mur derrière lequel le dentiste s'abrite durant le déclenchement du générateur doit contenir une fenêtre avec du verre plombé ou alors il faudra placer un miroir afin de pouvoir surveiller le patient durant la prise du cliché (White et Pharoah, 2014 ; ADA et FDA, 2012 ; ADA, 2006 ; Commission européenne, 2004).

Au Brésil, une enquête a montré que seulement 8% des praticiens utilisent un écran de protection pour se protéger des rayonnements (de Melo et Melo, 2008).

2.3.2.4 Equipements de protection individuelle (EPI)

« Lorsque l'exposition ne peut être évitée et que l'application de mesures individuelles de protection permet de ramener les doses individuelles reçues à un niveau aussi bas que raisonnablement possible, l'employeur […] définit ces mesures et les met en œuvre » (Code du travail, art. R4451-41). « Le médecin du travail peut formuler toute proposition à l'employeur quant aux choix des équipements de protection individuelles en prenant en compte leurs modalités d'utilisation » (Code du travail, art. R4451-118).

Les équipements de protection individuelle utilisés pour la radioprotection contre les risques d'exposition externe sont par exemple les tabliers, visières, gants ou autres protections réalisées à base de matériaux de haute densité (plomb, tungstène,…) (Circulaire DGT/ASN n°04, 2010). Ces matériaux effectuant l'atténuation doivent être répartis de façon homogène et doivent inclure des éléments de numéro atomique élevé (Norme NF EN 61331-3).

En Odontologie, les deux principaux EPI sont le tablier plombé et le collier thyroïdien (Anissi et Geibel, 2014). Ils doivent pouvoir être portés par les travailleurs sans constituer une gêne excessive ni sur le plan ergonomique, ni sur le plan du travail à réaliser (Circulaire DGT/ASN n°04, 2010). De plus, lorsqu'ils sont utilisés pour la protection des opérateurs, ils doivent pouvoir être enfilés et retirés sans assistance ; lorsqu'ils sont destinés à la protection des patients, ils doivent être conçus de manière à pouvoir être facilement utilisés et positionnés (Norme NF EN 61331-3).

Il faut bien comprendre que les EPI ne doivent être utilisés qu'en dernier recours, lorsque les autres moyens de protection sont insuffisants ou impossibles à mettre en œuvre (ADF, 2012). Pour le praticien, le port du tablier plombé est fortement recommandé si celui-ci ne peut ni sortir de la pièce ni s'écarter de plus de 2 mètres du patient et du générateur. Pour le patient, ces équipements ne sont que le dernier rempart de radioprotection après l'optimisation par collimation rectangulaire, le choix du système de détection, le réglage du générateur, et les bonnes pratiques de prise du cliché.

On notera que ces équipements sont relativement fragiles, ils ne doivent donc pas être pliés au risque de les détériorer et, lorsqu'ils ne sont pas utilisés, ils doivent être suspendus sur un cintre, par exemple, ou posés à plat (ADA et FDA, 2012 ; ADF, 2012 ; Circulaire DGT/ASN n°04, 2010 ; Foucart, 2007 ; ADA, 2006). De plus, les EPI doivent être contrôlés visuellement et tactilement au moins tous les mois, bien qu'aucune périodicité ne soit règlementairement fixée, afin de vérifier leur intégrité : absence de plis ou de fissure. Le résultat des vérifications sera consigné sur le registre de sécurité et si l'on constate que l'équipement est endommagé il faudra procéder à son remplacement (ADA et FDA, 2012 ; ADF, 2012 ; Circulaire DGT/ASN n°04, 2010). Enfin, par mesure d'hygiène, toutes les surfaces accessibles extérieures et intérieures de ces dispositifs doivent être adaptées au nettoyage et à la désinfection (Norme NF EN 61331-3).

2.3.2.4.1 Tablier de protection radiologique plombé

Le tablier de plomb est l'équipement de protection individuelle adéquat en Odontologie, il peut aussi bien servir au patient qu'au praticien selon les circonstances (ADF, 2012) afin de protéger le tronc et les gonades des rayonnements ionisants.

Le tablier de protection radiologique comporte une ou plusieurs couches de matériau protecteur et est conçu pour recouvrir la partie avant du corps de la gorge jusqu'aux genoux au minimum, ainsi que l'ensemble du sternum et les épaules (Norme NF EN 61331-3).

L'équivalent d'atténuation des tabliers de protection radiologique ne doit pas être inférieur à 0,25 mm de plomb sur la totalité de leur surface pour les équipements dits "légers". Et pour les équipements dits "lourds" l'équivalent d'atténuation en plomb ne doit pas être inférieur à 0,35 mm pour la partie frontale et à 0,25 mm pour les autres parties (Norme NF EN 61331-3). En Odontologie, le tablier de plomb doit avoir une épaisseur minimale équivalente en plomb de 0,25 mm (Rouas et Hauret, 2014 ; Giguère et Joly, 2010 ; Commission européenne, 2004 ; NRPB, 2001). Il faut noter que bien que l'on parle couramment de tabliers plombés ceux-ci peuvent être allégés en plomb voire sans plomb car

constitués d'autres matériaux au numéro atomique élevé (White et Pharoah, 2014 ; ADF, 2012). Les tabliers sans plomb ont l'avantage de réduire le poids du dispositif de près de 60% (White et Pharoah, 2014).

Lorsque le praticien ne peut s'écarter du patient lors de la prise d'un cliché il peut réduire considérablement son exposition en portant un tablier de protection d'une épaisseur équivalente à 0,35 mm de plomb (tableau 16) (INRS, 2009).

En ce qui concerne les patients, les rayonnements secondaires dus à une radiographie dentaire et parvenant au niveau de leur abdomen sont négligeables (ADA et FDA, 2012) et la dose reçue par leurs gonades est extrêmement faible (Foucart, 2007 ; Horner, 1994 ; Wood et al., 1991 ; Gibbs, 1982). En effet, lors de radiographies dentaires le faisceau primaire n'est jamais dirigé dans la direction des gonades et l'irradiation des organes reproducteurs est uniquement due aux rayonnements secondaires dont la dose est très faible à ce niveau (Commission européenne, 1995). Des études ont montré que la dose reçue au niveau du bassin du patient était négligeable et similaire que l'on prenne un cliché dentaire avec ou sans tablier de plomb (ADA et FDA, 2012 ; Commission européenne, 2004 ; Wood et al., 1991). On notera que les recommandations en Radiologie médicale limite l'usage d'une protection uniquement pour les expositions des gonades au rayonnement primaire ou lorsque celui-ci passe à proximité (environ 5 cm) (Wood et al., 1991) ce qui est loin d'être le cas en Odontologie. Par conséquent, de part sa faible valeur, le port du tablier plombé par le patient peut être considéré comme optionnelle (ADA et FDA, 2012 ; White et al., 2001) et il n'est pas justifié de l'utiliser en routine (IRSN, 2015 ; NRPB, 2001) d'autant plus lorsque toutes les autres règles de radioprotection sont respectées (ADA, 2006). Le tablier plombé conserve cependant un fort pouvoir protecteur dans l'esprit collectif et reste donc une aide psychologique utile pour les patients craintifs, ainsi il peut être utilisé dans le seul but de rassurer le patient (IRSN, 2015 ; ADF, 2007 ; HAS et al., 2006 ; Cavézian et Pasquet, 2005 ; Cordoliani, 2005).

Lorsqu'on utilise un tablier de plomb sur un patient, il faut veiller à l'appliquer correctement notamment au niveau du cou car sinon il peut avoir l'effet inverse de ce que l'on souhaite. En effet, il pourrait potentialiser l'effet des rayonnements secondaires qui seraient alors piégés sous le tablier et se réfléchiraient vers les organes qu'il est censé protéger (Abbott, 2000).

2.3.2.4.2 Collier thyroïdien (collier cervical)

La glande thyroïde est un des organes les plus radiosensibles de la région tête et cou (Okano et Sur, 2010 ; Horner, 1994), notamment avant l'âge de 15 ans (Rouas et Hauret, 2014 ; Sinnott et al., 2010). De plus, lors des examens d'imagerie dentaire elle est fréquemment exposée aux rayonnements secondaires et peut même se retrouver sur la trajectoire du faisceau primaire (ADA et FDA, 2012 ; Okano et Sur, 2010 ; Horner, 1994 ; Sikorski et Taylor, 1984).

L'utilisation d'un collier thyroïdien de 0,5 mm équivalent plomb permet de protéger le sternum et la glande thyroïde (Rouas et Hauret, 2014 ; Whaites et Drage, 2013). Certains tabliers plombés incluent un collier thyroïdien (White et al., 2014).

L'utilisation du collier thyroïdien permet une réduction moyenne de dose de 8% lors d'un examen rétro-coronaire long cône, de 24% lors d'un bilan rétro-alvéolaire par la technique des plans parallèles avec un long cône et de 42% lors d'un bilan rétro-alvéolaire par la technique de la bissectrice avec un cône court (Sikorski et Taylor, 1984). Cependant, la dose est, au contraire, plus importante pour les clichés occlusaux, une telle augmentation pouvant être due à une production de rayonnements secondaires générée par le collier et qui seraient orientés vers la thyroïde (Wood et al., 1991). En ce qui concerne l'exposition cutanée au niveau de la thyroïde, l'utilisation d'un collier thyroïdien permet une réduction moyenne de 37% lors d'un examen rétro-coronaire long cône, de 47% lors d'un bilan rétro-alvéolaire par la technique des plans parallèles avec un long cône et de 70% lors d'un bilan rétro-alvéolaire par la technique de la bissectrice avec un cône court (Sikorski et Taylor, 1984). Ainsi, le collier thyroïdien, d'autant plus qu'il est associé à une collimation rectangulaire, réduit fortement l'irradiation de la thyroïde lors des radiographies dentaires (ADA et FDA, 2012).

Au vu de ces résultats, il semble intéressant d'employer le collier cervical quand le faisceau primaire passe par la glande thyroïde ou à proximité de celle-ci (Foucart, 2007 ; HAS et al., 2006 ; NRPB, 2001) ce qui est souvent le cas en Odontologie de part la proximité anatomique de la thyroïde, notamment pour les clichés antérieurs où la thyroïde peut se retrouver dans le faisceau primaire (Commission européenne, 1995). Pour cette raison, l'utilisation d'un collier thyroïdien est recommandée (Commission européenne, 1995) et doit être utilisé autant que possible par principe de précaution (ADA et FDA, 2012). Son utilisation est préconisée chez tous les adultes tant que le collier cervical n'interfère pas avec le faisceau de rayons X ; elle est fortement recommandée chez les enfants et les femmes enceintes du fait de la grande radiosensibilité des tissus jeunes (ADA, 2006). Certains auteurs recommandent, pour la même raison, l'utilisation systématique du collier thyroïdien chez tous les patients de moins de 30 ans (Commission européenne, 2004 ; White et al., 2001).

2.3.2.4.3 Plateau ou écran cervical plombé (plateau sous-mentonnier)

Les plateaux cervicaux plombés sont en forme de haricot avec une épaisseur de 0,5 mm équivalent plomb. Ils sont positionnés sous le menton, contre le cou et maintenus par le patient grâce à une poignée de préhension (figure 79) (Rouas et Hauret, 2014).

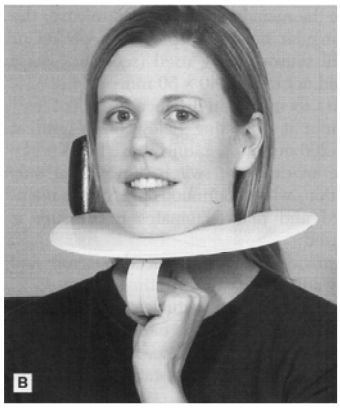


Figure 79 : Plateau sous-mentonnier plombé
(Whaites et Drage, 2013)

Tout comme le collier thyroïdien, ils permettent de protéger la thyroïde des rayonnements ionisants (Rouas et Hauret, 2014 ; Jones et al., 2007 ; Kaffer et al, 1986). Lorsque le faisceau est orienté de telle manière qu'il puisse atteindre la glande thyroïde, une protection cervicale peut être utilisée, que ce soit par collier thyroïdien ou par plateau cervical plombé (HAS et al., 2006).

2.3.2.4.4 Gants de protection radiologique plombés

Les gants de protection radiologiques assurent une protection des mains de l'opérateur contre les rayonnements ionisants. Ce dispositif doit recouvrir les mains et les poignets jusqu'à la moitié de l'avant-bras avec un minimum de 0,25 mm d'équivalence plomb tout en n'entravant pas les mouvements des mains et des doigts (Norme NF EN 61331-3 ; AERB, 2001).

Dans les quelques situations où les doigts du praticien sont placés dans le faisceau primaire (cela s'applique principalement à l'imagerie interventionnelle en médecine), le port de gants plombés parait indiqué. Toutefois, leur utilisation peut s'avérée contre-productive en augmentant les rayonnements secondaires et en donnant une fausse impression de sécurité. Il semble donc plus aviser d'apprendre à ne pas placer les doigts dans le rayonnement primaire plutôt que d'utiliser cet équipement (Le Heron et al., 2010). Ces gants ne sont pas utilisés dans la pratique dentaire.

2.3.2.4.5 Lunettes de protection radiologique plombées

Le cristallin est très radiosensible. Pour le personnel travaillant proche de la source d'irradiation à des doses plutôt élevées, le port des lunettes plombées avec protections latérales permet de réduire de 90% la dose au niveau des yeux (Le Heron et al., 2010).

Etend donné les faibles doses utilisées en Odontologie et surtout le fait que le personnel dentaire ne doit théoriquement jamais se trouver près de la source d'exposition lors du déclenchement, leur utilisation n'est pas nécessaire.

2.3.2.5 Contrôle qualité de l'image

2.3.2.5.1 Conditions d'analyse de l'image

L'observation d'un cliché radiographique doit consister en une lecture systématisée, méthodique et reproductible de l'image afin de toujours en extraire le maximum d'informations même si celles-ci n'ont pas de rapport avec l'indication initiale justifiant l'examen d'imagerie (Rouas et Hauret, 2014 ; Attal et Kaleka, 2008). Préalablement, il faut orienter le cliché dans l'espace afin de faciliter l'intégration mentale de l'image avec la réalité clinique (Attal et Kaleka, 2008).

Il est important d'être dans des conditions optimales lors de l'analyse d'une image afin d'exploiter l'intégralité des données décelables. Pour cela, le praticien doit se trouver dans une pièce calme et silencieuse évitant ainsi toute distraction (Goren et al., 2000 ; Brocklebank, 1998), et dotée d'une bonne lumière ambiante (Brocklebank, 1998). Il faut aussi savoir prendre le temps de bien observer l'image afin qu'aucune information visible sur le cliché ne soit omise (Brocklebank, 1998).

Dans le cas de l'analyse d'une radiographie argentique, un négatoscope avec un écran propre et un rétro-éclairage modulable, un éclairage ambiant faible sans projection de lumière sur le négatoscope et des aides optiques de type loupes sont nécessaires (White et Pharoah, 2014 ; Attal et Kaleka, 2008 ; Goren et al., 2000 ; Brocklebank, 1998).

2.3.2.5.2 Objectifs

Il est important que, pour chaque radiographie prise, le chirurgien-dentiste en fasse une analyse critique de la qualité. Si l'image obtenue n'est pas pleinement satisfaisante, le praticien doit rechercher et comprendre l'erreur commise et voir comment il est possible de l'améliorer pour les prochaines radiographies. Il peut aussi demander l'avis d'un de ses confrères s'il n'arrive pas à élucider seul la cause du problème (White et al., 2001 ; Brocklebank, 1998). L'analyse des erreurs peut aider significativement à identifier les principaux facteurs contributifs et la compréhension de ces facteurs est essentielle pour s'adapter et prévenir les erreurs futures, ainsi il faut savoir apprendre de ses erreurs (Yamalik et Van Dijk, 2013). Une étude a montré qu'un chirurgien-dentiste qui réalise un contrôle de qualité de ses clichés et qui identifie ses erreurs double le nombre de ses images satisfaisantes (White et Pharoah, 2014) et donc réduit de moitié ses clichés inacceptables (Commission européenne, 2004). En Radiologie dentaire, l'analyse subjective systématique de la qualité des clichés constitue, par conséquent, une des règles de bonne pratique puisque la qualité de l'image influence la valeur du diagnostic (Brocklebank, 1998).

Par convention, on classe les images en trois catégories selon leur qualité : excellente, acceptable ou inacceptable (tableau 18). Outre la qualité de l'image, on prend aussi en compte le but recherché et les difficultés rencontrées lors de l'acquisition de l'image (Brocklebank, 1998). Une pratique est dite de qualité si au moins 70% des images sont excellentes, pas plus de 20% sont acceptables et pas plus de 10% sont inacceptables (ADF, 2007 ; Foucart, 2007 ; Carmichael, 2005 ; NRPB, 2001 ; Brocklebank, 1998 ; ANDEM, 1996). Pour évaluer la

qualité moyenne des clichés pris, deux approches sont possibles : 1) une analyse immédiate de la qualité de chaque cliché réalisé suivi d'un calcul de la proportion des 3 catégories de qualité à intervalle régulier (moins de 6 mois) ; ou, 2) une analyse rétrospective sur un certain nombre de clichés choisis de façon aléatoire mais représentatifs d'un intervalle de temps déterminé (moins de 6 mois) et un calcul des pourcentages de qualité de l'échantillon sélectionné (NRPB, 2001).

Qualité d'image	Critères	Objectif	Objectif intermédiaire
Excellente	Aucune erreur (ni d'exposition, ni de position, ni de développement)	Pas moins de 70 %	Pas moins de 50 %
Acceptable	Une ou plusieurs erreurs d'exposition, de position ou de développement mais qui n'affectent pas le diagnostique radiographique	Pas plus de 20 %	Pas plus de 40 %
Inacceptable	Erreur d'exposition, de position ou de développement qui rend le diagnostic radiographique impossible	Pas plus de 10 %	Pas plus de 10 %

Tableau 18 : Critères et objectifs de qualité des images
(d'après Carmichael, 2005 et NRPB, 2001)

2.3.2.5.3 Erreurs à éviter

2.3.2.5.3.1 Image trop sombre

Une image trop sombre ou noire (figure 80) peut être due à une surexposition c'est-à-dire à temps d'exposition trop long (Whaites et Drage, 2013 ; Carmichael, 2005 ; Commission européenne, 2004 ; Brocklebank, 1998).

En radiographie argentique, la noirceur de l'image est aussi influencée par le procédé de développement (Brocklebank, 1998) : un temps de développement trop long, un bain de développement trop chaud ou trop concentré conduisent à une image trop sombre (Whaites et Drage, 2013 ; Commission européenne, 2004). De même, un film ayant dépassé sa date de péremption ou ayant été conservé dans un endroit trop chaud ou exposé à des rayonnements ou à la lumière peut donner une image trop sombre (Whaites et Drage, 2013). L'utilisation d'un système numérique a l'avantage d'éliminer tous les problèmes inhérents à la procédure du développement chimique obligatoire en technique argentique (Carmichael, 2005).

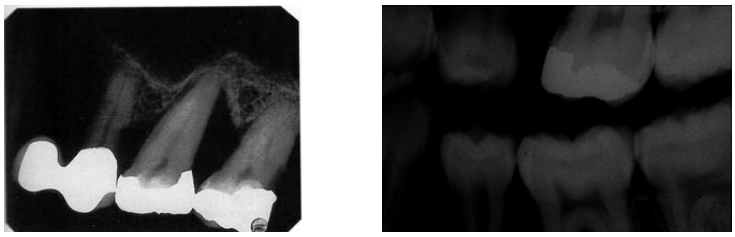


Figure 80 : Rétro-alvéolaire et rétro-coronaire trop sombres
(Whaites et Drage, 2013 ; Commission européenne, 2004)

2.3.2.5.3.2 Image trop claire

Une image trop claire (figure 81) peut être due à une sous-exposition, c'est-à-dire à un temps d'exposition insuffisant (Whaites et Drage, 2013 ; Carmichael, 2005 ; Commission européenne, 2004 ; Brocklebank, 1998).

En imagerie argentique, un temps de développement trop court, un bain de développement trop froid, trop dilué, trop ancien ou contaminé par le fixateur conduisent à une image trop claire (Whaites et Drage, 2013 ; Commission européenne, 2004). Un film placé en bouche dans le mauvais sens conduit également à une image trop claire (Whaites et Drage, 2013).

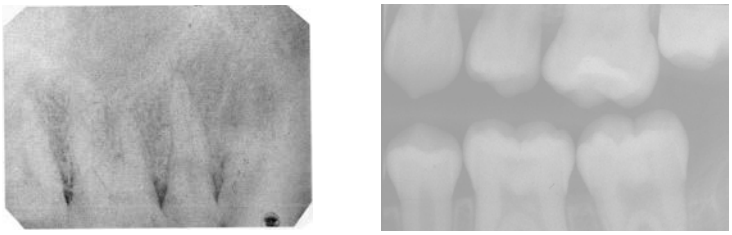


Figure 81 : Rétro-alvéolaire et rétro-coronaire trop claires
(Whaites et Drage, 2013 ; Commission européenne, 2004)

2.3.2.5.3.3 Distorsion de l'image

Une distorsion de l'image correspond à une inadéquation entre les dimensions mesurables sur le cliché et la réalité (figure 82) (White et Pharoah, 2014). En imagerie bidimensionnelle, la source radiogène, le patient et le récepteur forment une triade générant une projection et chacun de ces éléments peut être source de distorsion ; leur bon positionnement étant indispensable pour obtenir une image de qualité (Bonnet et Chauvel, 2014).

En pratique, une distorsion se produit lorsque le récepteur n'est pas placé parallèlement à l'objet, lorsque le faisceau de rayons X n'est pas dirigé perpendiculairement par rapport au grand axe de l'objet et du récepteur (White et Pharoah, 2014) ou encore lorsque le récepteur est en flexion lors de la prise du cliché (Whaites et Drage, 2013). On notera que ce sont les erreurs de positionnement qui sont principalement responsables des clichés de mauvaise qualité (Bonnet et Chauvel, 2014).

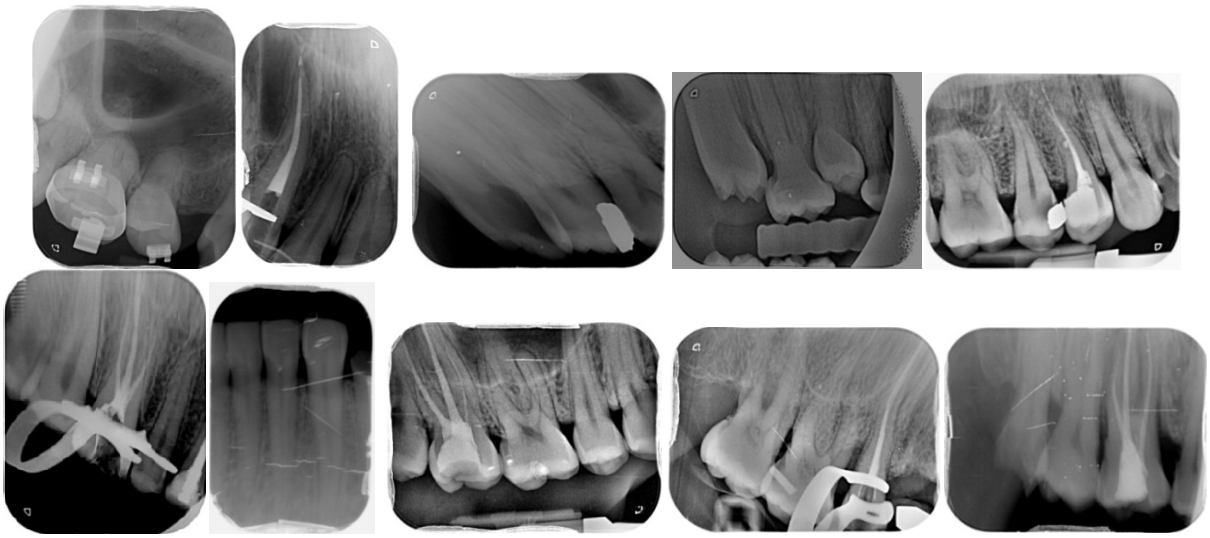


Figure 82 : Images présentant diverses distorsions (Service d'Odontologie, CHRU Nancy)

2.3.2.5.3.4 Mauvais positionnement du récepteur

Un mauvais placement du récepteur par l'opérateur ou un déplacement du capteur avant la prise du cliché conduisent à une image ne permettant d'examiner qu'une partie de la dent que l'on souhaite étudier (figure 83) (Commission européenne, 2004).

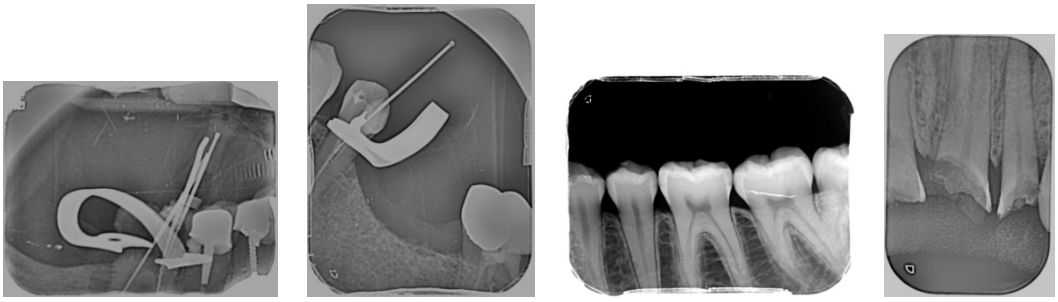


Figure 83 : Images présentant des dents non visibles en intégralité à cause d'un mauvais positionnement du capteur ERLM (Service d'Odontologie, CHRU Nancy)

2.3.2.5.3.5 Angulation horizontale incorrecte du tube radiogène : superpositions

Une mauvaise angulation dans le sens horizontal du tube radiogène qui ne fait pas passer le faisceau de rayons X perpendiculairement au grand axe des dents et du récepteur conduit à une superposition des parties proximales des dents adjacentes (figure 84).

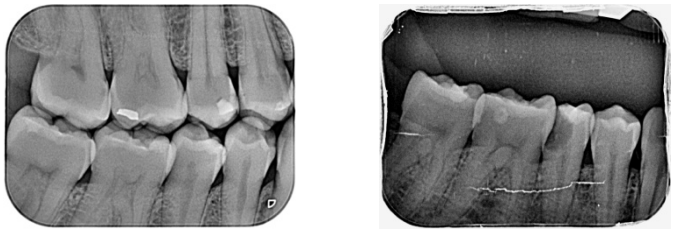


Figure 84 : Images présentant des superpositions des dents adjacentes en proximale due à une mauvaise angulation horizontale du tube radiogène (Service d'Odontologie, CHRU Nancy)

2.3.2.5.3.6 Erreur d'alignement du tube radiogène avec le récepteur : "*cone-cutting*"

On constate parfois qu'une partie de l'image est totalement blanche avec une limite en arc de cercle lorsque l'on utilise une collimation circulaire alors que le reste de l'image est satisfaisant en termes de noirceur et contraste (figure 85). Cela est du à un mauvais alignement du tube radiogène avec le récepteur qui, part conséquent, n'est que partiellement exposé au faisceau de rayons X (Commission européenne, 2004) ; les anglo-saxons désignent cette situation par le terme "*cone-cutting*".

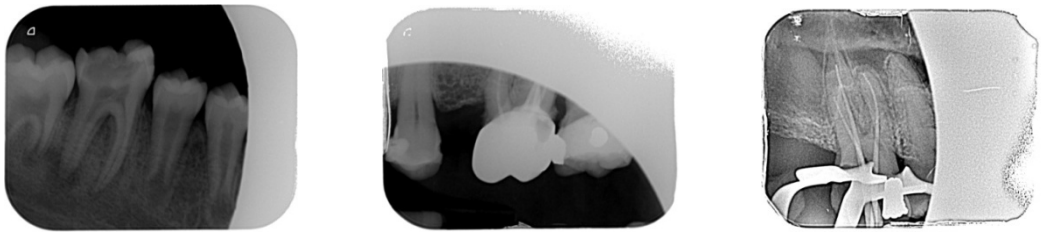


Figure 85 : Rétro-alvéolaires présentant un "*cone-cutting*"
(Service d'Odontologie, CHRU Nancy)

2.3.2.5.3.7 Récepteur placé à l'envers

Placer un film ou un capteur solide à l'envers, c'est-à-dire en exposant la mauvaise face du récepteur, conduit à donner une image souvent inexploitable (figure 86). Pour les capteurs ERLM, le fait de les placer à l'envers est moins dommageable au niveau de la qualité de l'image, il faut, toutefois, penser à retourner horizontalement l'image après l'avoir développée.

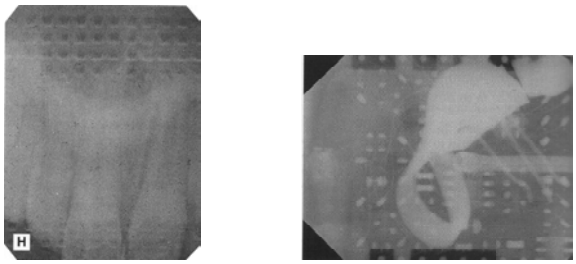


Figure 86 : Film (à gauche) et capteur solide (à droite) placés à l'envers
(Whaites et Drage, 2013)

2.3.2.5.3.8 Flou

Une image floue (figure 87) est la conséquence d'un mouvement lors de la prise du cliché. Ce mouvement peut provenir de trois éléments : le tube radiogène, la tête du patient ou le système de détection (Brocklebank, 1998). Pour éviter cela, il faut que l'opérateur garde un contact visuel avec le patient lors de la prise du cliché afin d'éviter de déclencher le générateur en cas de mouvement de l'un de ces éléments. Pour garder ce contact visuel l'opérateur peut rester dans la pièce, mais à distance d'au moins 2 mètres ou il peut observer le patient derrière une vitre plombée ou par le biais d'un miroir s'il se protège derrière un mur (Whaites et Drage, 2013 ; ADA et FDA, 2012 ; Commission européenne, 2004 ; Brocklebank, 1998).

Le mouvement du film est plus difficile à repérer, il peut être signalé par le patient lorsque celui-ci sent que le film ou l'angulateur bouge ou a bougé. Dans le cas de la technique de la bissectrice prise avec le doigt du patient, il est plus difficile d'obtenir l'immobilité du film, il faudra dans ce cas bien en aviser le patient pour qu'il maintienne le film de manière stable avec son doigt (Brocklebank, 1998).

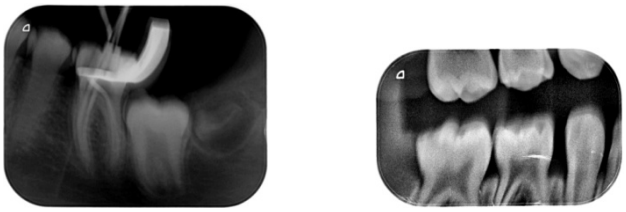


Figure 87 : Images floues dues aux mouvements du patient lors d'une radiographie maître-cône avec capteur ERLM taille 2 sur un enfant de 12 ans et lors d'un cliché rétro-coronaire avec capteur ERLM taille 1 chez un enfant de 4 ans (Service d'Odontologie, CHRU Nancy)

2.3.2.5.3.9 Superposition d'images

Une superposition d'images (figure 88) se produit lorsqu'un film est exposé deux fois à un rayonnement X. Cet incident peut survenir avec un film argentique ou un capteur ERLM, mais pas sur un capteur CCD. Il est donc important de bien organiser son plan de travail afin de ne pas mélanger les films déjà exposés aux films non utilisés (Brocklebank, 1998).

Figure 88 : Superpositions d'images avec capteur ERLM
(Service d'Odontologie, CHRU Nancy)

2.3.2.5.3.10 Objet métallique non retiré

Comme nous l'avons vu précédemment, les dispositifs amovibles intra-buccaux contenant des parties métalliques (appareil orthodontique, prothèse amovible à infrastructure métallique (figure 89), prothèse amovible en résine avec des crochets métalliques,…), les lunettes, les bijoux (tels que les boucles d'oreilles, les piercings labiaux, …) ou encore un éventuel cadre à digue métallique se trouvant dans le secteur à radiographier doivent être retirer avant la prise du cliché sinon ils interféreront avec le faisceau de rayons X et apparaitront totalement radio-opaque sur l'image en masquant une partie des dents.

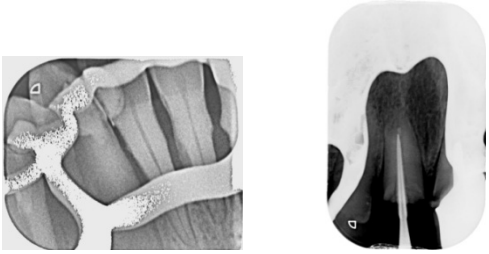


Figure 89 : Radiographies avec prothèse amovible à infrastructure métallique laissée en bouche (Service d'Odontologie, CHRU Nancy)

2.3.2.5.3.11 Détérioration du récepteur

Une détérioration du récepteur conduit à un artefact au niveau de l'image et peut s'avérer préjudiciable pour la qualité et l'interprétation de celle-ci.

La cause des artefacts n'est pas toujours identifiable mais généralement ils proviennent de la détérioration du système de détection (figure 90) telles que des rayures, pliures (figure 92) ou salissures radio-opaques à la surface du récepteur (figure 91), ou résultent de mauvaises conditions de développement pour les films argentiques laissant des empreintes de doigts ou d'ongles (figure 92) (Whaites et Drage, 2013 ; Brocklebank, 1998).

Figure 90 : Détériorations de capteurs ERLM visibles visuellement, radiologiquement puis lors de clichés endobuccaux (Service d'Odontologie, CHRU Nancy)

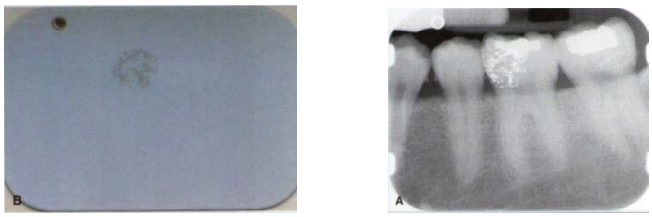


Figure 91 : Artefact dû à une souillure radio-opaque sur le capteur ERLM (White et Pharoah, 2014)

Figure 92 : Artefacts dus à une pliure (à gauche), une empreinte de doigt (au centre) et des empreintes d'ongles (à droite) sur un film radiographique (Whaites et Drage, 2013)

2.3.2.5.3.12 Problème technique lors du développement

Lorsque l'on utilise des capteurs ERLM, il peut se produire des problèmes techniques au moment du scannage du récepteur (figure 93). Ces problèmes peuvent être dus au praticien, par exemple lorsqu'il oublie d'enlever l'enveloppe de protection plastique recouvrant le capteur lors du scannage, ou lorsque l'opérateur retient ou retire le récepteur alors que ce dernier est déjà en cours de lecture. Mais ces incidents peuvent aussi se produire

sans causes évidentes, peut-être dus à des problèmes informatiques au niveau du scanner ou du logiciel de l'ordinateur.

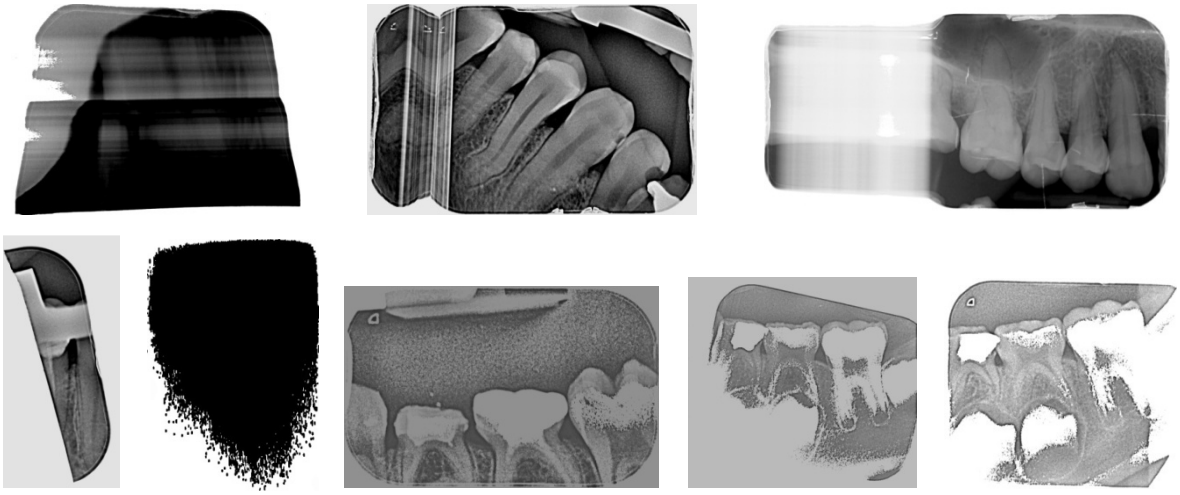


Figure 93 : Divers problèmes de développement de capteurs ERLM
(Service d'Odontologie, CHRU Nancy)

2.3.2.5.3.13 Doigt(s) du praticien

Rappelons qu'un praticien ou tout autre membre du cabinet dentaire ne doit théoriquement jamais maintenir le récepteur en bouche avec ses doigts lors de la prise d'une radiographie. Si l'on voit une partie des doigts du praticien sur une image (figure 94) cela prouve une mauvaise application des règles de radioprotection et cela signifie aussi que les doigts étaient positionnés entre le récepteur et l'élément à radiographier alors qu'ils auraient dus être placés derrière le capteur afin de ne pas nuire à la qualité du cliché.

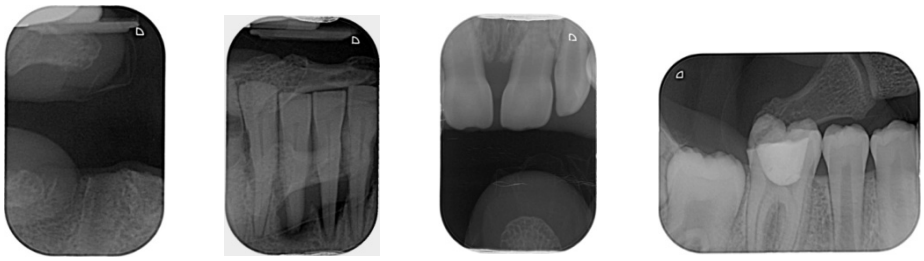


Figure 94 : Doigts d'étudiants en Odontologie visibles sur des images
(Service d'Odontologie, CHRU Nancy)

2.4 Cas particuliers

2.4.1 Femme enceinte

« Lorsque l'exposition aux rayonnements ionisants concerne une femme en âge de procréer, le médecin demandeur et le médecin réalisateur de l'acte doivent rechercher s'il existe un éventuel état de grossesse. Si la femme est en état de grossesse ou allaitante ou si l'éventualité d'une grossesse ne peut être exclue, une attention particulière doit être accordée par chacun d'entre eux à la justification de l'acte. Celle-ci doit être assurée en tenant compte

de l'urgence, de l'exposition de la femme et de celle de l'enfant à naître » (Code de santé publique, art. R1333-61).

L'induction de malformations et d'anomalies de développement par l'exposition *in utero* à des rayonnements ionisants est un fait bien établi expérimentalement. Toutefois 3 notions sont à retenir en ce qui concerne les effets tératogènes : 1) ce sont des effets déterministes qui n'apparaissent donc qu'au-dessus d'un seuil ; 2) la sensibilité de l'enfant en formation n'est pas constante au cours de la grossesse ; et, 3) il existe une incidence élevée de malformations spontanées correspondant à 3% des grossesses et l'incidence spontanée d'un retard mental (QI<70), associé ou non à un syndrome malformatif, est également de 3% (IRSN, 2011a ; Cordoliani et Foehrenbach, 2008 ; ADF, 2007 ; Cordoliani, 2005 ; ICRP, 2000). Le risque de cancer et de leucémie augmente avec la dose et correspond à un effet stochastique. On estime que le risque de cancer létal maximum est de 0,6% pour une irradiation de 100 mGy *in utero* (IRSN, 2011a), alors que l'incidence spontanée des cancers et leucémies est de 0,2 à 0,3% des enfants de 0 à 15 ans (IRSN, 2011a ; ADF, 2007 ; ICRP, 2000).

Le risque inhérent à l'irradiation de l'embryon dépend en grande partie du moment de l'exposition (figure 95). Durant la période pré-implantataire de l'œuf (1ère semaine), l'effet répond à la loi du tout ou rien : soit les lésions ne portent que sur une partie des cellules et la grossesse se poursuit normalement sans causer de malformation à l'embryon, soit toutes les cellules ont été lésées, l'embryon meurt et la grossesse passe généralement inaperçue (IRSN, 2011a ; Cordoliani et Foehrenbach, 2008 ; ADF, 2007 ; Gambini et Granier, 2007 ; Cordoliani, 2005 ; Wambersie, 1991). La phase d'organogénèse (de la 2ème et la 9ème semaine) est une phase de grande radiosensibilité et des malformations dues aux rayonnements ionisants sont à craindre. Toutefois, il n'a pas été observé chez l'homme de malformations pour des doses inférieures à 200 mGy et il est admis que le risque est non significatif pour des doses inférieures à 100 mGy (IRSN, 2011a ; Cordoliani et Foehrenbach, 2008 ; ICRP, 2007b ; Cordoliani, 2005 ; ICRP, 2000 ; Wambersie, 1991). De la 9ème à la 15ème semaine, le fœtus est moins radiosensible mais des anomalies de développement du système nerveux central, un retard de croissance et un risque de cancérogenèse sont à redouter. Cependant, ce risque n'existe qu'au-delà d'un seuil de 500 mGy, sauf pour la diminution du QI dont le risque court à partir de 100-200 mGy (IRSN, 2011a ; ADF, 2007 ; Cordoliani, 2005 ; Wambersie, 1991). Après la 15ème semaine, la plupart des organes sont formés et donc les malformations majeurs ne sont plus à redouter (IRSN, 2011a ; Wambersie, 1991).

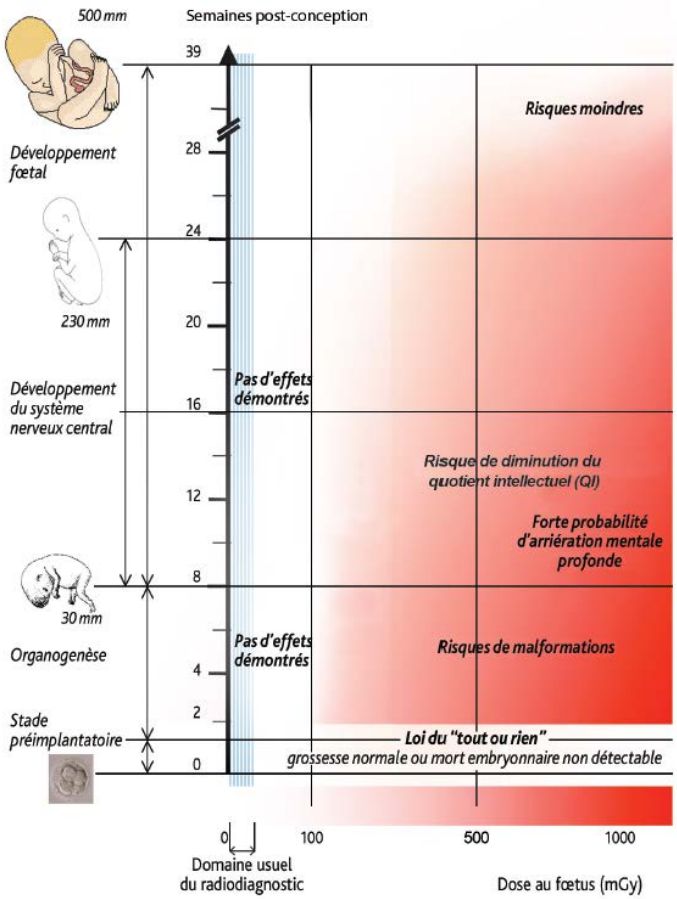


Figure 95 : Risque de malformation et de retard mental (IRSN, 2011a)

A ce jour, il n'a pas été démontré d'effets quantifiables chez l'enfant à naître pour des doses délivrées à l'utérus inférieures à 100 mGy, cette valeur étant largement supérieure aux doses délivrées en imagerie dentaire (White et Pharoah, 2014 ; HAS et al., 2006 ; Gibbs, 1982) puisque la dose reçue lors d'un examen de radiodiagnostic dont le champ d'exploration ne comprend pas l'utérus donne une dose, à l'embryon ou au fœtus, très largement inférieure à 1 mGy (IRSN, 2011a ; Cordoliani et Foehrenbach, 2008). De plus, il est admis que les radiodiagnostics réalisés chez la femme enceinte n'augmentent pas le risque naturel d'anomalies congénitales (de Santis et al., 2005). Il peut donc être pratiqué sans risque puisqu'il est peu énergétique, très focalisé et ne délivre à l'ovaire ou à l'utérus que des doses infimes (Cordoliani, 2005). Un bilan long cône, par exemple, ne délivre au fœtus que 0,25 mGy en dose absorbée (White et Pharoah, 2014) ou moins de 10 µSv en dose efficace (ANDEM, 1996) et un seul cliché donnera une dose fœtale comprise entre 0,3 et 1 µSv, une dose bien inférieure à l'irradiation naturelle quotidienne (IRSN, 2015). On notera qu'à ce jour, il n'a pas été rapporté de dommages sur le fœtus dus à la radiographie dentaire (White et Pharoah, 2014).

Il n'est donc pas contre-indiqué de pratiquer une radiographie dentaire à une femme enceinte ou susceptible de l'être si celle-ci est justifiée par les avantages qu'elle procure (HAS et al., 2006 ; ICRP, 2000 ; White et al., 2001 ; ANDEM, 1996). Quelque soit le stade de la grossesse tous les examens d'imagerie intra-buccale sont autorisés (Dalstein et al., 2015). De

plus, il n'est pas nécessaire de réduire la liste des justifications radiographiques établit pour les adultes (Whaites et Drage, 2013 ; Commission européenne, 1995). Mais outre la justification, le praticien doit s'assurer du respect scrupuleux des mesures d'optimisation (Directive 2013/59/EURATOM, art. 62 ; Foucart, 2007 ; HAS et al., 2006 ; ICRP, 2000).

Bien évidemment le praticien se doit d'être attentif aux interrogations de la patiente et il a le devoir de la rassurer en soulignant l'intérêt de l'examen, la modestie de la dose délivrée ainsi que l'éloignement du champ des rayons X par apport à l'utérus (Whaites et Drage, 2013 ; ADF, 2007 ; HAS et al., 2006 ; Cavézian et Pasquet, 2005 ; NRPB, 2001).

La protection par collier thyroïdien et tablier plombé est indiquée chez la femme enceinte (Arbab-Chirani et Diemer, 2010 ; Abbott, 2000) et recommandée chez la femme en âge de procréer (AAPD, 2014). Toutefois, le tablier plombé n'est indiqué que pour des raisons psychologiques et a pour seul but de rassurer la patiente afin qu'elle poursuive sereinement sa grossesse (IRSN, 2015 ; ADF, 2007 ; HAS et al., 2006 ; Cavézian et Pasquet, 2005 ; Cordoliani, 2005).

Malheureusement, les lacunes dans les connaissances d'un certain nombre de praticiens les conduisent à ne pas dispenser aux femmes enceintes les soins et les examens d'imagerie nécessaires à cause de peurs non fondées sur les risques pour le fœtus. Des praticiens ont parfois peur d'engendrer des malformations fœtales en prenant des radiodiagnostics alors que se sont des effets déterministes qui ne peuvent se produire puisque les doses délivrées sont faibles (ICRP, 2010). Ainsi, seul 23 à 35% des femmes aux Etats-Unis consultent un dentiste durant leur grossesse et même lorsqu'elles ressentent un problème bucco-dentaire seul la moitié va consulter (Gaffield et al., 2001) et 63% des dentistes des Etats de Virginie et de Floride refuseraient de réaliser un examen d'imagerie avant de traiter une dent douloureuse chez une patiente durant son premier semestre de grossesse (Kaugars et al., 1985). De plus, moins de 2% des femmes iraniennes subissent un examen radiographique dentaire durant leur grossesse (Mortazavi et al., 2013) et une enquête menée en Lorraine a montré que parmi 81 sages-femmes, 24 gynécologues médicaux, 12 gynécologues obstétriciens, 7 puéricultrices et 15 autres professions seuls 56,8% pensent qu'une radiographie avec protection est réalisable durant la grossesse (Cochet, 2013).

Les règles sont différentes si c'est le chirurgien-dentiste ou son assistante dentaire qui est enceinte car le risque d'irradiation est potentiellement plus important du fait de la fréquence des radiographies effectuées au sein du cabinet. L'employée enceinte doit le déclarer le plus tôt possible à son employeur afin que des mesures soient prises pour la protection embryo-fœtale, ainsi elle ne devra pas être exposée plus que la population générale puisque que l'enfant à naître appartient à cette population, soit une dose annuelle maximale de 1 mSv (Directive 2013/59/EURATOM, art. 10 ; ADF, 2012 ; IRSN, 2012b ; ICRP, 2010 ; Foucart, 2007 ; ICRP, 2007a ; ICRP, 2000). Généralement, cela ne rajoute pas de contrainte au niveau de l'organisation du cabinet puisqu'une pratique dentaire standard qui respecte les principes de radioprotection conduit à une exposition du personnel médical inférieure à 1 mSv par an (Commission européenne, 2004) ; d'ailleurs moins de 1% des travailleurs en cabinet dentaire reçoit une dose supérieure à 1 mSv par an (ADF, 2012 ; UNSCEAR, 2008). Dès que

l'état de grossesse est déclaré, la future mère sera tout de même écartée systématiquement de la salle de soin lors de la prise de radiographies (ADF, 2012 ; ICRP, 2007a ; Commission européenne, 2004). Lorsque c'est le chirurgien-dentiste qui est enceinte, une formation spécifique au sein du cabinet pour rappeler les consignes de radioprotection peut s'avérer utile. Celles-ci comprennent le fait de sortir de la salle, ou de s'éloigner au maximum du générateur en se plaçant dans un angle favorable lorsque l'on réalise une radiographie. L'utilisation du tablier plombé est systématique même s'il ne se justifie que pour des raisons psychologiques et qu'il est une mesure de protection individuelle à mettre en œuvre que lorsque les autres mesures de radioprotection ne sont pas applicables (ADF, 2012). On notera que l'utilisation d'un dosimètre opérationnel peut éventuellement être envisagée pour mesurer en continu les doses reçues durant la grossesse (ADF, 2012 ; Cordoliani et Foehrenbach, 2008).

2.4.2 Enfant

Le terme enfant s'oppose au terme adulte, il comprend les nourrissons, les enfants et les adolescents (UNSCEAR, 2013). La convention internationale des droits de l'enfant signée par les nations Unies en 1989 et ratifiée par la France en 1990 définit qu' « un enfant s'entend de tout être humain âgé de moins de dix-huit ans » (ONU, 1989). Cette limite de 18 ans est reprise par la HAS et par l'ordre national des médecins comme limite d'âge habituelle des services de pédiatrie, bien que cette limite ne soit pas stricte (HAS, 2011 ; Ordre national des médecins, 1998). D'ailleurs l'OMS et la société canadienne de pédiatrie considèrent que l'adolescence s'étend de 10 à 19 ans (OMS, 2015 ; Société canadienne de pédiatrie, 2003) et plus largement que les jeunes sont des individus âgés de 10 à 24 ans (OMS, 1986). Par conséquent, les mesures particulières à appliquer en Radiologie pour les enfants concernent indéniablement tout patient de moins de 10 ans, mais il faudrait qu'elles soient appliquées idéalement jusqu'à l'âge de 18 voire 19 ans.

Anatomiquement, un enfant présente un corps dont la taille et le volume est plus petit et moins protégé par l'épaisseur de tissus retrouvée chez l'adulte. Ainsi, une exposition externe donnée engendre une dose plus importante au niveau de ses organes internes. Avec l'âge, plusieurs facteurs évoluent, notamment le poids, la taille et la masse des organes qui en augmentant de volume permettent d'atténuer l'irradiation (UNSCEAR, 2013). Or, on emploie le même générateur radiogène pour l'enfant et l'adulte constitué d'un cylindre de 6 cm de diamètre ou d'un rectangle de 3,5 × 4,5 cm suivant la collimation utilisée, entrainant ainsi une irradiation d'un volume plus important chez l'enfant si on le rapporte au volume total de l'organisme (Rouas et Hauret, 2014 ; White et al., 2014 ; Commission européenne, 1995).

Physiologiquement, l'enfant présente un organisme en plein développement avec de nombreuses mitoses et de nombreuses cellules indifférenciées. Or, d'après la loi de Bergonié et Tribondeau (1906), plus une cellule est indifférenciée plus elle se multiplie et moins elle est radiorésistante. De plus, on constate une plus grande proportion de moelle osseuse au niveau du crâne de l'enfant (Rouas et Hauret, 2014 ; Espelid, 2003). Ainsi, la radiosensibilité accrue des organes des enfants fait qu'ils sont plus susceptibles de développer des cancers que les adultes, suite à une exposition aux rayonnements ionisants (UNSCEAR, 2013 ; Sinnott et al.,

2010 ; Sadetzki et Mandelzweig, 2009 ; ADF, 2007 ; Foucart, 2007 ; Preston et al., 2003). Ce risque diminue avec l'âge à raison de 20% par décennie (Preston et al., 2003).

Nous savons que l'espérance de vie ne cesse d'augmenter et l'enfant d'aujourd'hui a plus de chance de vivre longtemps. Il présente, par conséquent, plus de risques de développer un jour un cancer puisqu'il aura plus de temps pour développer cette pathologie et que les effets des rayonnements ionisants sont cumulatifs au cours de la vie (Farman, 2014 ; Law et al., 2014 ; Rouas et Hauret, 2014 ; White et al., 2014 ; Sinnott et al., 2010 ; Sadetzki et Mandelzweig, 2009).

En pédiatrie, une attention plus particulière est porté au respect scrupuleux du principe de justification (tableau 12) (Rouas et Hauret, 2014 ; ICRP, 2010 ; ADF, 2007 ; HAS et al., 2006). L'anamnèse médicale et dentaire suivi d'un examen clinique détermine le besoin de recourir ou non à un examen d'imagerie (AAPD, 2014 ; Farman, 2014 ; The Alliance for Radiation Safety in Pediatric Imaging, 2014 ; White et al., 2014). Une évaluation du rapport bénéfice/risque est indispensable avant chaque cliché et l'examen n'est réalisé que si l'imagerie est susceptible d'améliorer ou de modifier la prise en charge de l'enfant (Rouas et Hauret, 2014). Par conséquent, aucun examen radiologique de routine ne doit être réalisé (AAPD, 2014 ; Farman, 2014 ; The Alliance for Radiation Safety in Pediatric Imaging, 2014 ; White et al., 2014 ; ADF, 2007). Même si certains clichés radiographiques sont parfois indiqués, lorsque l'enfant ne présente pas une coopération suffisante pour obtenir une image de qualité, la radiographie peut ne pas être réalisée (AAPD, 2014).

Chez l'enfant, les principales raisons de réaliser un examen radiologique sont la détection de lésions carieuses par cliché rétro-coronaire pour les zones proximales, par cliché rétro-alvéolaire en présence de lésions sévères, par radiographie panoramique lors de maladie carieuse sévère atteignant un nombre élevé de dents (Rouas et Hauret, 2014). Cependant, pour les lésions amélaires occlusales, le DIAGNOdent® associé à l'examen visuel est plus efficace que la radiographie (Boirie, 2014). En cas de traumatologie dento-maxillo-faciale, l'examen radiographique s'impose pour des raisons diagnostiques, de planification thérapeutique, de suivi mais aussi d'un point de vue médico-légal (Rouas et Hauret, 2014). L'imagerie est aussi indiquée lors de perturbations du développement de la dentition et lors d'anomalies dentaires d'éruption, de nombre, de morphologie ou de position (Rouas et Hauret, 2014)

En Pédiatrie, outre la justification il faut aussi redoubler d'efforts en ce qui concerne l'optimisation (Rouas et Hauret, 2014 ; ICRP, 2010 ; ADF, 2007 ; HAS et al., 2006). Il faut « qu'un équipement radiologique […], des accessoires et des pratiques appropriés soient utilisés dans chaque cas d'exposition à des fins médicales concernant des enfants » (Directive 2013/59/EURATOM, article 61). Cela passe par plusieurs points essentiels :

Il faut réduire le temps d'exposition et l'adapter à la taille de l'enfant via la commande du générateur (Rouas et Hauret, 2014 ; White et Pharoah, 2014 ; The Alliance for Radiation Safety in Pediatric Imaging, 2014 ; White et al., 2014 ; Arbab-Chirani et Diemer, 2010 ; ICRP, 2010) car si les paramètres techniques ne sont pas adaptés de manière à diminuer la dose d'irradiation alors l'enfant recevra une dose plus importante comparativement à l'adulte

lors d'un examen d'imagerie (UNSCEAR, 2013). En pratique, pour les enfants de moins de 15 ans on peut réduire le temps d'exposition d'environ 25% ou la tension de 5 kVp, et pour les enfants les plus jeunes on peut aller jusqu'à une réduction de 50% du temps d'exposition (Attal et Kaleka, 2008). On notera aussi que le fait de réduire le temps d'exposition permet de minimiser le risque de flou engendré par les mouvements éventuels de l'enfant lors de la prise du cliché.

Comme pour les adultes, il faut utiliser des récepteurs rapides (AAPD, 2014 ; Farman, 2014) tels que les films E et F ou des capteurs numériques (The Alliance for Radiation Safety in Pediatric Imaging, 2014). Ces récepteurs doivent être adaptés à la Pédiatrie (Rouas et Hauret, 2014 ; White et al., 2014), notamment pour leur taille.

Comme pour la population générale, il faut mettre en place une collimation (AAPD, 2014 ; Farman, 2014). Celle-ci se fait préférentiellement par un collimateur rectangulaire (Rouas et Hauret, 2014 ; The Alliance for Radiation Safety in Pediatric Imaging, 2014 ; White et al., 2014)

L'utilisation d'un tablier de plomb est indiquée et celle d'un collier thyroïdien est nécessaire (AAPD, 2014 ; Farman, 2014 ; Commission européenne, 1995). Cette protection cervicale est toujours utilisée (The Alliance for Radiation Safety in Pediatric Imaging, 2014 ; Arbab-Chirani et Diemer, 2010 ; OMS, 1987) à condition qu'elle ne perturbe pas la prise du cliché (ADF, 2007).

Rappelons que le consentement éclairé des parents du patient mineur doit être obtenu avant de réaliser un cliché (Rouas et Hauret, 2014 ; Espelid et al., 2003).

Il faut noter que la réalisation d'un cliché radiographique s'avère souvent plus difficile chez l'enfant en raison de la dimension plus réduite de sa cavité buccale engendrant une difficulté de positionnement du récepteur, et généralement de leur plus faible coopération (environ 75% des enfants de 3 à 5 ans sont coopérants lors d'un *bitewing* mais seulement 45% le sont à 3 ans), de leur plus grande anxiété et de leur plus faible compréhension (da Silva Pierro et al., 2008). Une bonne coopération de l'enfant réduit le nombre de clichés à reprendre (Espelid, 2003).

2.4.3 Ostéoporose

Chez la patiente âgée souffrant d'ostéoporose, on pourra réduire le temps d'exposition de 25% ou la tension de 5 kVp (Attal et Kaleka, 2008).

2.4.4 Radiothérapie de la sphère ORL

Il n'y a pas de précaution particulière à prendre chez un patient ayant subi une radiothérapie de la sphère ORL lors de la prise d'une radiographie dentaire puisque que son niveau d'exposition est négligeable comparé aux irradiations précédemment subies par le patient (ADA, 2006 ; White et al., 2001).

2.4.5 Trismus

En cas de trismus la réalisation d'un cliché intra-oral classique est douloureuse pour le patient et compliquée pour le praticien, c'est pourquoi on privilégiera alors un cliché extra-oral ou un mordu (White et Pharoah, 2014).

2.4.6 Tuméfaction

En cas de tuméfaction de la zone à radiographier, on pourra légèrement augmenter le temps d'exposition afin de compenser l'épaisseur plus conséquente des tissus mous (White et Pharoah, 2014).

2.4.7 Secteur édenté

La prise d'un cliché intra-oral au niveau d'un secteur édenté peut être indiquée lorsque l'on recherche une dent incluse, une racine résiduelle ou un kyste par exemple. La stabilisation du porte-récepteur est alors délicate, pour faciliter cela on pourra placer un coton salivaire entre le bloc de morsure et la crête à radiographier et le coton pourra être fixé au bloc de morsure à l'aide d'un élastique orthodontique. Si la stabilité du porte-récepteur n'est malgré tout pas suffisante, le patient peut stabiliser l'angulateur avec sa main (White et Pharoah, 2014).

Pour la radiographie d'un secteur édenté, le temps d'exposition est réduit de 25% (White et Pharoah, 2014 ; Attal et Kaleka, 2008) ou la tension de 5 kVp (Attal et Kaleka, 2008).

2.4.8 Tissus mous

Suite à un trauma dento-alvéolaire, une radiographie des tissus mous peut être réalisée afin de mettre en évidence la présence de corps étrangers ou de fragments dentaires en positionnant le récepteur entre la lèvre et les dents, on réduit alors le temps d'exposition de 50% (Rouas et Hauret, 2014).

2.4.9 Handicap physique

Un handicap physique (patient en fauteuil roulant, patient sourd, aveugle, muet, …) peut nécessiter une adaptation de la part du praticien mais ne causera en général pas de difficulté à la prise de la radiographie, d'autant plus que le patient sera accompagné par un membre de sa famille qui peut aider (White et Pharoah, 2014).

2.4.10 Handicap mental et problèmes neurologiques

Un handicap mental ou des problèmes neurologiques tels que des difficultés de compréhension, de communication, de coordination ou des tremblements génèrent des difficultés lors des soins (White et Pharoah, 2014 ; Whaites et Drage, 2013). Le praticien doit alors prendre le plus rapidement possible son cliché pour minimiser le risque de mouvement

du patient. Il peut parfois être intéressant de pratiquer l'examen sous sédation (White et Pharoah, 2014).

2.4.11 Réflexe nauséeux

Le réflexe nauséeux peut être causé par le stress, l'inquiétude, la peur d'envahissement et d'étouffement, le film étant volumineux. La première chose à faire est donc de rassurer le patient, le relaxer, prendre le temps de bien lui expliquer le déroulement de l'examen et de savoir trouver le juste milieu entre autorité et compassion. Le patient est invité à respirer profondément par le nez, on peut aussi essayer de le distraire en lui demandant de retenir sa respiration ou de maintenir une jambe ou un bras en l'air durant l'acte. Si ces mesures échouent, on utilise un anesthésique de surface que l'on applique sur le palais et la langue. En dernier recours, on opte alors pour un cliché extra-oral voire la réalisation des radiographies sous anesthésie générale (White et Pharoah, 2014).

2.4.12 Anesthésie générale

Les radiographies sont normalement prises avant l'anesthésie générale, mais dans le cas de patients non coopérants il est parfois impossible de prendre une radiographie au fauteuil et la prise d'un cliché, une fois le patient endormi, peut être réalisée bien que l'acte ne soit pas simple (Whaites et Drage, 2013). En effet, le patient sous anesthésie générale ne peut ni serrer les dents sur un porte récepteur, ni maintenir le détecteur avec ses doigts ; on s'aidera de procédés d'immobilisation (figure 96) (Commission européenne, 2004).

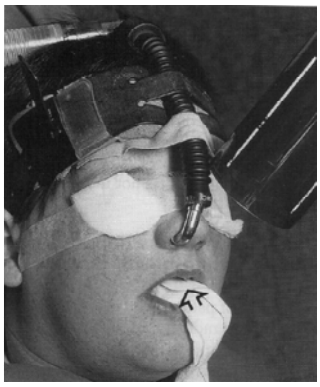


Figure 96 : Cliché intra-buccal chez un patient sous anesthésie générale
(Whaites et Drage, 2013)

2.4.13 Autres particularités du patient

Certaines caractéristiques anatomiques ou physiologiques d'un patient peuvent représenter une difficulté lors du positionnement du détecteur. Ces éléments qui viennent perturber la réalisation d'une image sont par exemple une macroglossie, une petite bouche, une faible ouverture buccale, une arcade dentaire étroite, un palais plat, une limitation de mouvement du cou, une obésité ou encore une hypertonicité des sangles musculaires (Bonnet et Chauvel, 2014 ; Whaites et Drage, 2013).

2.4.14 Accompagnateur

Les « personnes participant au soutien et au réconfort de patients [sont] des personnes subissant, en connaissance de cause et de leur plein gré, une exposition à un rayonnement ionisant en contribuant, en dehors de leur activité professionnelle, au soutien et au réconfort de personnes subissant […] une exposition à des fins médicales » (Directive 2013/59/EURATOM, art. 4). La nécessité d'une telle personne peut se justifier uniquement pour certains patients handicapés, agités ou pour des enfants (INRS, 2009) dont l'accompagnant par sa simple présence peut faciliter la prise du cliché. Toutefois, « des recommandations appropriées [doivent être] établies en ce qui concerne l'exposition des personnes participant au soutien et au réconfort de patients » (Directive 2013/59/EURATOM, art. 56). Ainsi, un tablier plombé doit être porté par l'accompagnateur restant à proximité du patient pendant l'examen d'imagerie (ADF, 2007 ; Foucart, 2007 ; Commission européenne, 2004 ; NRPB, 2001). Il doit être positionné en dehors du faisceau primaire (Foucart, 2007 ; Commission européenne, 2004 ; NRPB, 2001). Les recommandations précisent que la personne qui assiste le praticien lors de la prise d'un cliché est de préférence un accompagnateur du patient plutôt qu'un membre du cabinet (IRSN, 2015 ; AERB, 2001) et qu'un tel acte ne peut pas se produire plus de 25 fois par an pour un membre donné du cabinet (NRPB, 2001). De plus, il est évident que l'accompagnateur ne doit pas être une femme enceinte (AERB, 2001 ; NRPB, 2001) ni un enfant.

3 Enquête sur les pratiques radiologiques au service d'Odontologie du CHRU de Nancy

3.1 Contexte

L'implantation de la radiographie numérique a été plus lente dans les structures hospitalo-universitaires publiques du fait de leur moindre réactivité aux progrès technologiques expliqué par les contraintes, les craintes et le lourd investissement collectif que cela représente (Lasfargues et al., 2008). En France, le passage au tout numérique a commencé par le Centre de soins de la Faculté dentaire de Paris Descartes en 2006 (Lasfargues et al., 2008). Pour celui de Nancy, il a fallu attendre 2013 pour voir disparaître l'imagerie argentique au profit de l'imagerie digitale par numérisation indirecte. Le fait d'investir dans du matériel moderne et performant devrait toujours être une priorité pour les structures hospitalo-universitaires pour le bien des patients mais aussi pour la formation des futurs professionnels de santé. En effet, les cliniques hospitalo-universitaires peuvent influencer grandement les étudiants pour le choix des équipements dans leurs futurs cabinets dentaires (Geist et Katz, 2002 ; Syriopoulos et al., 1998).

Des dizaines de clichés endobuccaux sont pris chaque jour au Centre de soins dentaires du CHRU de Nancy principalement par les étudiants de 4ème et 5ème année. C'est au cours de cette formation initiale des futurs chirurgiens-dentistes que les bonnes pratiques en Radiologie doivent être enseignées et mises en œuvre. Force est de constater que les techniques radiologiques d'un praticien sont influencées par la formation universitaire qu'il a reçu (Syriopoulos et al., 1998). Ainsi, il est de la responsabilité des praticiens-seniors de servir de modèle aux externes en matière de radioprotection (Geist et Katz, 2002) car toute bonne pratique non respectée en début de formation aura tendance à ne pas être appliquée au cours d'une activité professionnelle future (Thivet, 2014).

3.2 Objectifs

L'objectif principal de l'étude est d'évaluer les pratiques en Radiologie des professionnels de santé du service d'Odontologie du CHRU de Nancy sur l'année universitaire 2014-2015. De plus, nous avons souhaité corréler ces pratiques avec le niveau d'étude de l'opérateur afin d'évaluer l'évolution de celles-ci au cours du cursus universitaire et post-universitaire. Les résultats de cette enquête permettront de faire prendre conscience des règles essentielles de radioprotection, de révéler aux professionnels de santé les mauvaises pratiques trop souvent observées et de mettre en lumière les insuffisances matérielles du service d'Odontologie pouvant être responsables d'un certain nombre de mauvaises pratiques.

3.3 Matériel et méthode

L'évaluation des pratiques en Radiologie conventionnelle intra-orale a été effectuée à l'aide de grilles d'observations complétées dans le Service d'Odontologie du CHRU de Nancy, plus précisément dans le Centre de soins situé rue du Docteur Heydenreich.

3.3.1 Etudes préliminaires

La grille d'évaluation utilisée durant cette étude a été réalisée par mes soins sur le logiciel Microsoft Excel®. Sa création et sa mise en forme sont le résultat d'une réflexion basée sur l'analyse bibliographique menée sur le sujet. Elles ont nécessité plusieurs essais en situation. Dans un premier temps, des tests ont été pratiqués lors d'observations effectuées sur des demi-journées, chacune suivie de réajustements afin d'améliorer la grille d'évaluation. Ce n'est qu'à la 8ème version de ma grille que celle-ci m'a semblée satisfaisante, je l'ai alors présentée au Pr. Strazielle, ma directrice de thèse. Dès lors, il a été décidé de pratiquer des observations durant une semaine avec cette grille afin de vérifier sa pertinence. A l'aboutissement de cette semaine d'observations, nous avons rentré les données sur le logiciel d'analyse statistique StatView® afin de vérifier leur valeur statistique. Il a alors été pratiqué quelques dernières modifications sur la grille d'observation pour en obtenir une version définitive.

A partir de cette version, j'ai observé la prise d'une centaine de clichés radiographiques puis nous avons entré les données dans un nouveau tableau sur le logiciel StatView®. Les résultats obtenus étant pertinents et statistiquement intéressants, cette grille d'observation a été validée et la centaine d'observations pratiquées ont été intégrées comme premières données de mon étude.

3.3.2 Déroulement de l'enquête

L'étude menée sur les pratiques en Radiologie intra-orale s'est déroulée du mois d'octobre 2014 jusqu'à celui de février 2015 au service d'Odontologie du CHRU de Nancy après accord du Pr. Martrette, chef du Service d'Odontologie et doyen de la Faculté d'Odontologie de l'Université de Lorraine (*cf* courriel en annexe 1). Il est à noter que l'enquête n'a été interrompue qu'une seule fois, sur une période très courte, allant du vendredi 30 janvier 2015 (11h15) jusqu'au lundi 2 février 2015 (14h00), en raison d'une panne informatique suite à une saturation du serveur, aucune radiographie n'ayant pu être développée sur cette période.

L'ensemble des observations a été réalisé par mes soins, ce choix d'être l'unique observateur a été fait dans le but de limiter les biais qu'auraient pu engendrer de multiples observateurs.

D'autre part, toujours dans l'optique de limiter les biais, les étudiants n'ont pas été avertis du déroulement de mon étude et bien qu'ils pouvaient me voir les noter, ils ignoraient le but de mes observations. Lorsqu'ils m'interrogeaient sur ce que contenaient les feuilles que je remplissais, je répondais simplement que c'était pour ma thèse et restais le plus vague possible. Seuls les seniors avaient été informés du déroulement de mon enquête afin qu'ils me laissent faire mes observations sans encombre et ils savaient qu'elles concernaient les bonnes pratiques en Radiologie intra-orale mais sans plus de précision.

3.3.3 Description du lieu d'étude

3.3.3.1 Population étudiée

Au Centre de soins dentaires Heydenreich, les travailleurs susceptibles de prendre des clichés radiographiques sont : 1) les externes : étudiants en Odontologie, avec respectivement 81 étudiants en 4ème année (DFASO1), 97 en 5ème année (DFASO2) et 7 en 6ème année (TCEO1) ; 2) les internes en Spécialités odontologiques, comprenant 2 internes en Médecine bucco-dentaire et 6 internes en Orthopédie dento-faciales ; 3) 4 praticiens préparant le certificat d'Etudes cliniques spéciales mention Orthodontie (CECSMO) ; 4) 7 praticiens préparant le Diplôme universitaire de Parodontologie et d'Implantologie clinique (DUPIC) ; et, 5) les enseignants-seniors : praticiens hospitaliers, soit 3 professeurs des universités (PU-PH), 16 maîtres de conférences universitaires (MCU-PH), 21 assistants hospitalo-universitaires (AHU) et 17 attachés hospitaliers.

3.3.3.2 Locaux et équipements de radiologie

Le centre de soins dentaires du CHRU de Nancy se compose de 7 services : le Secteur Accueil-Santé (SAS), l'Odontologie chirurgicale, l'Odontologie conservatrice couplée à l'Endodontie, la Parodontologie, l'Odontologie prothétique, l'Odontologie pédiatrique et l'Orthopédie dento-faciale (ODF). Les services d'Odontologie chirurgicale et conservatrice sont regroupés, ils se partagent deux générateurs radiogènes ; toutefois, l'un étant en panne depuis la rentrée, seul un générateur était fonctionnel durant la période d'étude. Deux scanners VitaScan® de Dürr dental pour capteurs ERLM sont installés dans ces services. Le SAS possède deux box tous d'eux équipés d'un générateur radiogène mais aucun scanner pour capteurs ERLM. A proximité du service de Parodontologie, il existe une salle de Radiologie comprenant deux générateurs, soit un générateur standard et un générateur mobile (figure 24) remplaçant un générateur standard en panne lui aussi depuis la rentrée et deux scanners VitaScan®. C'est dans cette salle que tous les services non équipés viennent prendre leurs clichés radiographiques et développer leurs récepteurs. Dans le service de Parodontologie, un bloc de chirurgie et deux salles de soins réservés aux seniors et aux praticiens inscrits au DUPIC sont équipés d'un générateur chacun. Enfin, dans le service de Prothèse, il existe aussi deux box équipés chacun d'un générateur à l'usage des praticiens-seniors et des internes ; ce service dispose également d'un scanner VitaScan®. Chaque scanner VitaScan® est relié à un ordinateur équipé du logiciel DBSWIN® de Dürr dental. De plus, tous les ordinateurs du Centre de soins dentaires sont équipés de ce logiciel ce qui permet une visualisation facile des images radiographiques par les enseignants des différents services, facilite les explications et le dialogue avec les patients. Tous les générateurs possèdent une collimation circulaire.

Chacun des secteurs hospitaliers, Secteur Accueil-Santé, Odontologie chirurgicale et conservatrice, Parodontologie, Prothèse et Odontologie pédiatrique-ODF, possède quatre capteurs ERLM : deux de taille 1 et deux de taille 2.

Concernant les portes-récepteurs, on trouve un grand nombre d'angulateurs XCP® de Dentsply RINN (figure 36) pour secteur postérieur (jaune) et antérieur (bleu) mais trop peu pour les clichés rétro-coronaires (rouges) car seulement trois de ces angulateurs ont été répertoriés sur l'ensemble du Centre de soins durant la période d'étude. En plus de ces angulateurs préférentiellement et majoritairement utilisés, on trouve aussi des ailettes jetables en mousse Emmenix® Flap de Gager et Werken (figure 37) et des "pinces croco" Emmenix® Film Holder de Gager et Werken (figure 39). Malheureusement, aucun angulateur dédié à l'Endodontie n'a été acheté par le CHRU de Nancy.

Concernant les équipements de protection radiologique, deux tabliers plombés et un collier thyroïdien sont à disposition, sur un cintre, au niveau de chaque générateur radiogène.

3.3.4 Description de la grille/fiche d'observation

La grille d'observation utilisée lors de cette enquête est présente en annexe 2. Elle se compose de plusieurs paramètres qui devaient être renseignés pour chaque cliché endobuccal observé. Ces paramètres permettent de caractériser le patient et la radiographie prise ainsi que les opérateurs et d'évaluer les bonnes pratiques lors de la prise de chaque cliché radiologique. Nous allons les passer successivement en revue.

3.3.4.1 Le service

Le service indiqué sur la fiche d'observation correspond au service dans lequel le cliché radiographique a été pris. C'est-à-dire soit en Odontologie chirurgicale et conservatrice, soit au SAS, soit dans la salle de Radiologie, soit en Odontologie prothétique.

3.3.4.2 Le binôme de travailleurs

Le binôme comprend l'opérateur et l'aide-opérateur réalisant la prise du cliché radiographique. Pour chacun d'eux, il a été relevé le sexe et le grade : DFASO1, DFASO2, TCEO1, interne ou senior. Dans la catégorie senior figurent les praticiens hospitaliers – enseignants (PU-PH, MCU-PH et AHU), les attachés hospitaliers, mais aussi les chirurgiens-dentistes inscrits au DUPIC et au CECSMO.

Le deuxième membre du binôme a été considéré comme aide-opérateur lorsqu'il assistait l'opérateur durant l'installation du patient ou lors de la prise du cliché, en appuyant sur le déclencheur par exemple. Mais, si le deuxième membre du binôme restait à côté du scanner et l'ordinateur pour seulement développer le cliché sans assister l'opérateur au fauteuil alors il était noté que la radiographie était prise sans assistance d'un aide-opérateur.

3.3.4.3 Le patient

Les informations relevées concernant le patient étaient le sexe, l'âge et la qualité, c'est-à-dire patient « standard », « handicapé » ou « femme enceinte ». Pour les jeunes patients, il était précisé s'ils entraient dans la catégorie enfant (de 0 à 9 ans) ou adolescent (de 10 à 19 ans). En effet, l'âge est en facteur important dans l'évaluation des risques encourus en cas

d'irradiation, d'autant plus que les enfants peuvent se révéler parfois difficile, plus agités et déclencher plus facilement un réflexe nauséeux que les adultes.

Il a donc aussi été noté si le patient était coopérant (score = 1) ou non (score = 0), s'il présentait (score = 1) ou non (score = 0) un réflexe nauséeux durant la prise du cliché et s'il était équipé ou non d'un tablier plombé et/ou d'un collier thyroïdien (note de 1 pour la présence et de 0 pour l'absence).

3.3.4.4 La tierce personne

Lorsqu'une tierce personne, autre que le patient et les opérateurs, se trouvait dans la salle radiologique lors du déclenchement du rayonnement, cela était précisé sur la fiche d'observation. La tierce personne pouvait être : 1) l'accompagnateur du patient, une personne étant qualifiée d'accompagnateur lorsqu'elle était extérieure au service d'Odontologie et lorsque sa présence dans la salle radiologique se justifiait par la plus-value qu'elle apportait à la prise du cliché, que se soit physiquement pour maintenir un patient non-coopérant et agité ou plus généralement psychologiquement pour rassurer le patient comme cela peut être le cas avec un enfant ; 2) un externe en Odontologie qui venait assister le binôme ou qui était de passage dans la salle radiologique ; ou, 3) un praticien-senior qui venait conseiller ou assister le binôme lorsque ce dernier rencontrait des difficultés. Si la tierce personne ne répondait à aucune des personnes présentées précédemment elle entrait dans la catégorie « autre » prévue dans la grille d'observation et il était précisé sur la fiche qui était cette tierce personne. Enfin, l'absence d'une tierce personne dans la salle était renseignée par la case « sans ».

3.3.4.5 Le type de radiographie intra-orale

Les clichés endobuccaux ont été répartis en cinq catégories dans cette étude. Elles représentent les trois types de clichés endobuccaux présentés précédemment, c'est-à-dire les clichés rétro-alvéolaires classés en trois catégories, les clichés rétro-coronaires et enfin les clichés occlusaux. La première classe des clichés rétro-alvéolaires regroupe les « radiographies instrumentées » telles que les radiographies lime en place lors d'un traitement endodontique, les radiographies foret en place lors du forage d'une dent en vue de la réalisation d'un inlay-core, les radiographies avec transfert d'implant avant une empreinte implantaire ou les radiographies tige-guide en place parfois prises au cours d'une chirurgie implantaire. Il est intéressant de préciser si une radiographie est instrumentée car le maintien d'un angulateur classique par morsure du patient est alors impossible et impose une adaptation de la méthode de travail pour ce type de cliché. La seconde classe des clichés rétro-alvéolaires regroupe ceux pris en présence d'un champ opératoire (digue), notamment lors des traitements endodontiques que ce soit un cliché maître-cône en place ou un cliché post-opératoire avant obturation coronaire de la dent. Cette catégorie a été créée car la prise d'un cliché en présence d'un champ opératoire et d'un crampon s'avère plus difficile que la prise d'un cliché rétro-alvéolaire standard, surtout lorsque l'on ne dispose pas d'angulateur dédié à l'Endodontie comme c'est le cas au service d'Odontologie du CHRU de Nancy. Les radiographies lime en place réalisées sous digue au cours d'un traitement endodontique ont été classées dans la catégorie des radiographies instrumentées et non dans celle des clichés

avec champ opératoire car c'est la présence d'un instrument qui a été considérée comme la plus perturbante pour la prise du cliché puisqu'elle empêche totalement l'utilisation d'un angulateur classique. Enfin, toutes les radiographies rétro-alvéolaires standards (non instrumentées et sans digue) ont été répertoriées dans la classe « rétro-alvéolaires classiques ».

3.3.4.6 Le nombre de radiographies

Afin de limiter la quantité de fiches d'observations et pour ergonomiser l'enquête, il a été décidé que lorsque les informations développées précédentes étaient identiques pendant une vacation de 2h30 d'observation, la même grille serait réutilisée pour l'observation de plusieurs radiographies. Ainsi, lorsque dans un service donné, un même binôme prenait un type donné de radiographies sur un même patient sans variation des conditions exposées précédemment alors, la même grille était utilisée pour renseigner plusieurs clichés. Cela peut, par exemple, être le cas lors des multiples clichés rétro-alvéolaires intégrant un bilan long cône ou, plus simplement, lors de la reprise d'un cliché insatisfaisant.

3.3.4.7 Le secteur radiographié

Dans cette étude, la cavité buccale a été divisée en quatre secteurs : maxillaires postérieur et antérieur ainsi que mandibulaires postérieur et antérieur, les secteurs postérieurs comprenant les dents pluri-cuspidées (prémolaires-molaires) et la région antérieure correspondant aux dents du bloc incisivo-canin. Comme la réalisation des clichés endobuccaux requiert une technique, des incidences et du matériel spécifiques au secteur radiographié, nous testerons si le secteur radiographié est un paramètre qui peut jouer dans les bonnes pratiques et la qualité du cliché.

3.3.4.8 Le port du dosimètre

Le dosimètre est un outil de mesure qui permet de contrôler que l'exposition d'un travailleur dans le cadre de son activité professionnelle reste en deçà des valeurs seuils fixées réglementairement. Le port ou le non port du dosimètre personnel à la poitrine a donc été renseigné pour l'opérateur et l'aide-opérateur qui prenaient une radiographie.

Un score de 1 a été attribué aux travailleurs le portant et un score de 0 dans le cas contraire.

3.3.4.9 La justification

Un des trois grands principes de radioprotection est la justification de la radiographie ; il a donc été noté pour chaque cliché si celui-ci était cliniquement justifié. Pour cela, la simple observation n'a pas toujours été suffisante, il a parfois fallu questionner l'opérateur sur l'indication du cliché et vérifier qu'une radiographie du secteur n'avait pas déjà été prise récemment au CHRU.

Lorsqu'un cliché était jugé non justifié, il en a été précisé la raison sur la fiche.

Un score a été établi avec une note de 1 pour une radiographie justifiée et une note de 0 dans le cas contraire.

3.3.4.10 Le réglage du générateur

Le réglage de la dose d'exposition fait partie des bonnes pratiques, il est assuré par le choix de la dent à radiographier au niveau du panneau de contrôle du générateur. Sur la grille d'observation il a été précisé, pour chaque cliché, si le réglage du générateur était ou non adapté à la dent radiographiée. Si le réglage n'était pas modifié avant la radiographie parce qu'il correspondait déjà au secteur radiographié, il était alors considéré comme fait.

Un score a été établi avec une note de 1 lorsque le réglage était approprié à la dent et une note de 0 dans le cas contraire.

3.3.4.11 La position des travailleurs

Les positions de l'opérateur et de l'aide-opérateur, par rapport au tube radiogène et à la tête du patient, au moment du déclenchement du rayonnement ont été notées. Quatre possibilités ont été retenues : 1) le travailleur s'est abrité en sortant de la salle ou en se plaçant derrière un mur ou un paravent (EPC) ; 2) il s'est éloigné de plus de deux mètres du tube radiogène et de la tête du patient ; 3) il est resté à moins de deux mètres mais à revêtit un tablier plombé (EPI) ; ou, 4) il est resté à moins de deux mètres sans tablier de plomb.

Un score a été établi avec une note de 2 pour les deux premières positions car considérées comme des bonnes pratiques, une note de 1 pour la troisième position révélant une pratique moyenne et une note de 0 pour la dernière position car considérée comme une mauvaise pratique.

Afin d'objectiver la distance de deux mètres, avant de débuter mes observations, j'avais pris des repères sur le sol après avoir mesuré cette distance à l'aide d'un mètre. Toutefois, le tube radiogène étant déplacé en fonction du secteur à radiographier, lorsque j'avais un doute pendant une observation je mémorisais la position du travailleur et du tube puis mesurais la distance les séparant à l'aide d'un mètre après le départ des travailleurs afin qu'ils ignorent les paramètres de l'enquête et qu'ils ne modifient pas leurs pratiques en conséquence lors des possibles observations ultérieures.

Pour le service d'Odontologie chirurgicale et conservatrice, le seul fait de sortir de la salle de radiologie ne garantissait pas d'être intégré à la catégorie hors de la salle, en effet si le travailleur restait devant la porte ouverte et se trouvait à moins de deux mètres du tube radiogène alors il intégrait la catégorie de position inférieure à deux mètres.

3.3.4.12 La position par rapport au faisceau primaire

En théorie, hormis le patient, aucune personne ne doit se trouver sur le chemin du faisceau primaire incident, générateur de la dose de rayonnement la plus importante. Pour

chaque cliché, il a été noté si chaque membre du binôme était placé dans ou hors du faisceau primaire de rayons X.

Un score a été établi avec une note de 1 lorsque le travailleur se plaçait hors du faisceau primaire et une note de 0 dans le cas contraire.

3.3.4.13 La main sur le générateur

Le fait de maintenir le générateur durant l'exposition en le tenant avec sa main est une mauvaise pratique puisqu'il existe un rayonnement de fuite au niveau du générateur et parce que cela signifie que le travailleur est resté très proche du tube radiogène lors de la prise du cliché s'exposant donc a une forte dose de rayonnements secondaires. Ainsi, pour chaque cliché, il a été noté si l'opérateur et l'aide-opérateur tenaient ou non le générateur avec une de leurs mains.

Un score a été établi avec une note de 1 lorsque le travailleur ne laissait pas sa main sur le générateur lors du déclenchement et une note de 0 dans le cas contraire.

3.3.4.14 La tenue du récepteur

Le maintien du récepteur en bouche se fait idéalement avec un porte-récepteur qui dispose préférentiellement d'un dispositif de visée ; à défaut, lorsqu'un angulateur ne peut être utilisé, le récepteur doit être maintenu par les doigts du patient, le détecteur ne devant, en théorie, jamais être maintenu par le praticien. Ces trois possibilités ont donc été renseignées dans la grille d'observation, un maintien du récepteur soit par un porte-récepteur, sans précision sur le type de porte-capteur utilisé, soit par les doigts du patient, soit par les doigts de l'opérateur.

Un score a été établi pour ces trois possibilités avec respectivement des notes de 2, 1 et 0.

3.3.4.15 La qualité de l'image

Comme je l'ai expliqué en première partie de l'ouvrage, la qualité des images radiologiques peut être qualifiée d'excellente, d'acceptable ou d'inacceptable selon les critères donnés dans le tableau 18. Chaque observation de la prise de cliché a donc été suivie d'une analyse de l'image obtenue afin d'évaluer la qualité de cette dernière et de la classer dans l'une des trois catégories.

Un score a été établi selon ces trois critères de qualité avec respectivement des notes de 2, 1 et 0.

3.3.4.16 Le numéro de la fiche

Toutes les données recueillies au cours de l'étude ont été rentrées sous la forme de fichiers statistiques grâce au logiciel StatView®. Un numéro a été attribué à chaque fiche afin de pouvoir relier chacune d'entres elles à une ligne du tableau informatique.

Toute grille incomplète a été écartée avant l'incorporation des données, à exception des fiches où l'âge précis d'un patient adulte n'avait pas été renseigné car il ne constituait pas une donnée essentielle aux mesures de radioprotection.

3.3.5 Scores de radioprotection

3.3.5.1 Score de radioprotection des travailleurs

Nous avons établi, de façon arbitraire, un score de radioprotection des travailleurs regroupant les paramètres de radioprotection observés chez les opérateurs et aides-opérateurs (tableau 19) : 1) la position de son corps par rapport au faisceau primaire ; 2) la tenue du récepteur en bouche ; 3) sa distance par rapport au tube radiogène et à la tête du patient ; 4) la position de ses mains par rapport au générateur ; et, 5) le port du dosimètre personnel à la poitrine.

Ce score a été construit après classification des risques encourus en fonction du taux d'irradiation. Il a été calculé à l'aide du logiciel Statview®, chaque paramètre se voyant attribué un coefficient d'autant plus grand que le risque est élevé. 1) Pour la position du travailleur par rapport au faisceau primaire, la note sur 1 s'est vue attribuer un coefficient de 4 de façon à obtenir une note comprise entre 0 et 4 points ; 2) pour la tenue du récepteur en bouche, la note sur 2 a été multipliée par 2 de façon à obtenir également une note comprise entre 0 et 4 points (comme il s'agit d'un score calculé pour le travailleur, nous avons décidé de modifier la codification initiale en attribuant la même note de 2 pour l'utilisation d'un angulateur ou le doigt du patient) ; 3) pour la distance du travailleur par rapport au tube radiogène et à la tête du patient, la note de 2 s'est vue attribuer un coefficient de 1,5 de façon à obtenir une note comprise entre 0 et 3 points ; 4) pour la position de la main du travailleur sur le générateur, la note de 1 a été multipliée par 2, et enfin, 5) le port du dosimètre s'est vu attribuer un coefficient de 1, la note étant comprise entre 0 et 1.

Ainsi, ont été notés : sur 4 points, les risques d'exposition des travailleurs au faisceau incident primaire de rayons X ; sur 3 points, ceux les exposant aux rayonnements secondaires ; sur 2 points, ceux les soumettant au rayonnement de fuite ; et, sur 1 point, le suivi dosimétrique permettant de contrôler que l'exposition du travailleur ne dépasse pas les limites de dose fixées réglementairement. De plus, il a été décidé que la tenue du récepteur avec le doigt du praticien, correspondant à une exposition, bien que partielle, dans le faisceau incident, revenait à une note de 0 (sur 8 points) lors du cumul des deux premiers paramètres.

			Notes	
Risques	Paramètres	Attitude	Opérateur	Aide-opérateur
Rayonnement primaire	Position par rapport au faisceau primaire	en dehors du faisceau	4	4
		sur la trajectoire du faisceau	0	0
	Méthode pour maintenir le capteur en bouche	angulateur/doigt du patient	4	X
		doigt du praticien	0	X
Rayonnements secondaires	Distance par rapport au tube radiogène et à la tête du patient	hors de la salle/derrière un mur	3	3
		à plus de 2 mètres	3	3
		à moins de 2 mètres	0	0
Rayonnement de fuite	Position des mains par rapport au générateur	à l'écart du générateur	2	2
		sur le générateur	0	0
Dépassement de la limite de dose	Suivi dosimétrique	port du dosimètre	1	1
		non port du dosimètre	0	0
			0 à 14	0 à 10

Tableau 19 : Score de radioprotection des travailleurs

Concernant l'aide-opérateur, la même notation a été appliquée mais sans prendre en compte la tenue du récepteur en bouche puisque c'est une tâche dédiée à l'opérateur. Ainsi, le score de radioprotection de l'aide-opérateur s'étend de 0 à 10 points.

3.3.5.2 Score de radioprotection des patients

Nous avons également établi, de façon arbitraire, un score de radioprotection des patients correspondant aux notes attribuées aux différents paramètres utilisés pour la radioprotection des patients soumis à un examen d'imagerie intra-orale (tableau 20) majorées par un coefficient d'autant plus élevé que le paramètre joue sur les principes de radioprotection, notamment le principe ALARA, de façon importante. La collimation, la filtration et le type de récepteur utilisés étant des paramètres techniques non-modifiables par les travailleurs du CHRU, ils n'ont pas été pris en compte dans l'établissement de ce score.

		Notes	
Paramètres		Enfant	Adulte
Justification	oui	3	3
	non	0	0
Qualité de l'image	satisfaisante	2	2
	insatisfaisante	0	0
Réglage du générateur	oui	1	1
	non	0	0
Collier thyroïdien	oui	1	X
	non	0	X
Tablier plombé	oui	1	X
	non	0	X
		0 à 8	0 à 6

Tableau 20 : Score de radioprotection des patients

Concernant les patients adultes, le score de radioprotection établi s'étend de 0 à 6 points. Les paramètres retenus par ordre d'importance sont : 1) la justification de l'examen d'imagerie (0 ou 3 points) car sans indication clinique préalable une radiographie n'a pas lieu d'être et l'exposition du patient aux rayonnements ionisants est inutile ; 2) la qualité de l'image (0 ou 2 points) car une image de qualité inacceptable engendre la reprise du cliché ce qui double l'exposition du patient ; et, 3) le réglage du générateur (0 ou 1 point) qui permet le dosage optimal du rayonnement et respecte ainsi le principe d'optimisation. Rappelons que comme expliqué précédemment dans cet ouvrage, l'utilisation d'équipements de protection plombée chez les patients adultes ne fait pas partie des recommandations actuelles et n'a d'intérêt que d'un point de vue psychologique chez les patients radiophobes ou les femmes enceintes par exemple.

Les enfants, par contre, nécessitent un renforcement des mesures de radioprotection en raison de leur plus grande radiosensibilité. Ainsi, les mêmes paramètres que ceux appliqués aux adultes ont été utilisés, auxquels on ajoute l'utilisation des équipements de protection plombée que sont le tablier plombé et le collier cervical (0 ou 1 point chacun). Le score de radioprotection des patients enfants s'étend donc de 0 à 8 points.

Ce score est également produit par calcul à l'aide du logiciel Statview® : un coefficient de 3 a été attribué à la note de justification et des coefficients de 1 aux autres paramètres.

3.3.6 Analyse statistique des données

L'analyse des données a été réalisée à l'aide du logiciel StatView®. Les données qualitatives et par conséquent descriptives ont été traitées sous la forme de fréquences de distribution. Des moyennes ont été calculées pour les paramètres quantitatifs. Un test de Student a été utilisé pour la comparaison de moyennes entre deux groupes. Lorsque la comparaison se faisait entre plusieurs groupes (> 2), la différence intergroupe était testée dans un premier temps par un test ANOVA. En cas de significativité de ce test, des comparaisons des moyennes deux à deux étaient alors effectuées à l'aide du test de Fisher. Le seuil de significativité pour tous les tests a été fixé à $p < 0,05$.

La mise en forme des résultats a été réalisée à l'aide du logiciel Microsoft Excel®.

3.4 Résultats

L'étude menée au service d'Odontologie a permis d'observer la prise de 1139 radiographies intra-orales mais seul 1133 clichés ont été retenus pour l'étude globale. Les six clichés écartés concernent deux radiographies sur des femmes enceintes, deux radiographies sur des handicapés mentaux et deux clichés occlusaux. Ils seront présentés à part, sous forme de cas cliniques, car trop peu nombreux dans leur domaine pour être intéressant d'un point de vue statistique.

3.4.1 Les services

Les services dans lesquels a été observée la prise de clichés radiographiques sont : la salle de Radiologie (621 clichés pour 176 fiches), l'Odontologie chirurgicale et conservatrice (426 clichés pour 245 fiches) et le Secteur Accueil-Santé qui assure la première consultation des nouveaux patients et les soins d'urgence (86 clichés pour 74 fiches) (tableau 21 et figure 97). Aucun cliché n'a été observé dans le service de Prothèse.

	Nombre de fiches	Nombre moyen de radiographies par fiche	Ecart-type
Odontologie chirurgicale et conservatrice	245	1,7	0,1
Salle de Radiologie	176	3,5	0,3
Secteur Accueil-Santé	74	1,2	0,1
Global	495	2,3	0,2

Tableau 21 : Répartition des fiches d'observation complétées par service

Nous constatons que le nombre de radiographies prises pour un même patient est beaucoup plus important dans la salle de Radiologie pour la bonne raison que les bilans long-cône sont réalisés à cet endroit.

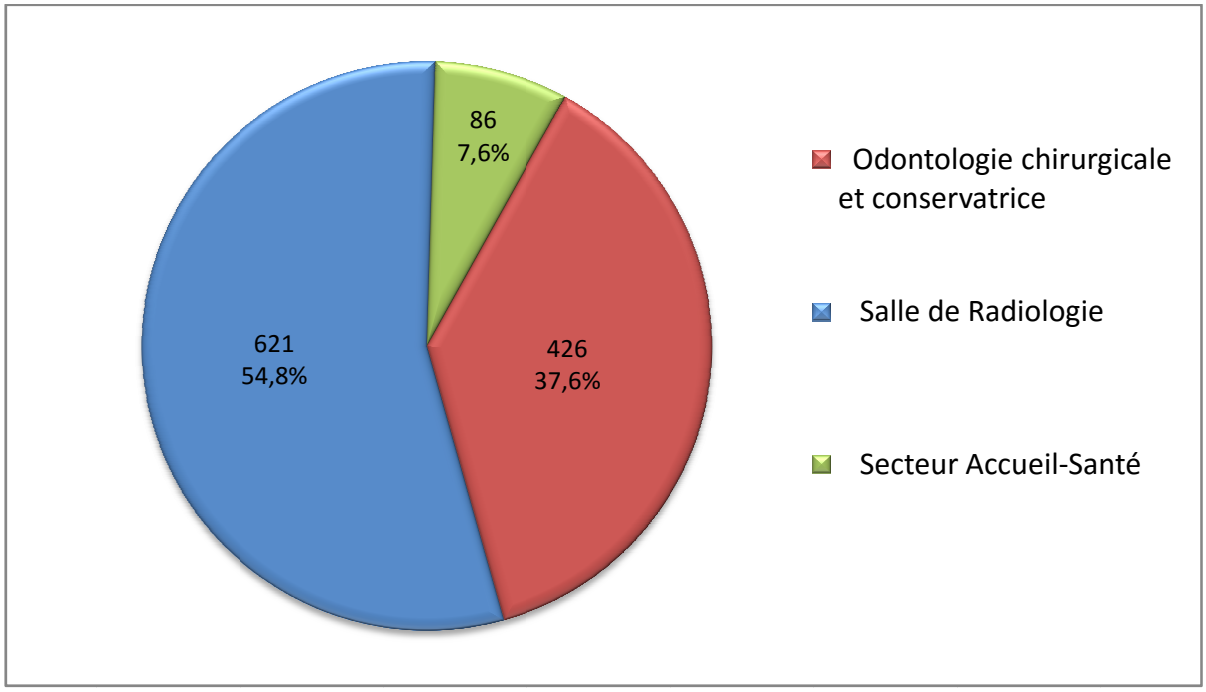


Figure 97 : Répartition des clichés radiographiques effectués par service

3.4.2 Les travailleurs

Au vu du nombre de clichés observés sur des jours et des services différents, on peut affirmer que la quasi-totalité des étudiants en 4ème et 5ème année d'études en Odontologie ont été observés dans leurs pratiques au cours de cette étude. Pour les étudiants en 6ème année, 5 des 7 externes en stage au Centre de soins Heydenreich, ont été évalués. On notera qu'étant moi-même l'un de ces 7 étudiants, les radiographies où je suis opérateur n'ont pas été intégrées à l'étude afin de ne pas générer de biais ; par contre j'ai été l'aide-opérateur de 66 des radiographies comptabilisées dans mon enquête. De la même façon, les observations découlant de ces 66 clichés ont été écartées de l'évaluation des pratiques des aides-opérateurs.

Sur les 1133 radiographies observées, la grande majorité a été prise par des étudiants en formation initiale, principalement des étudiants en 5ème ou 4ème année (90%) (figure 98) assistés d'étudiants de même rang (90% des clichés avec assistance). Les clichés pris sans assistance représentent 17% du nombre total de clichés. On rappellera que, pour les étudiants en 6ème année, je suis l'aide-opérateur pour 66 des 80 clichés recensés (figure 99).

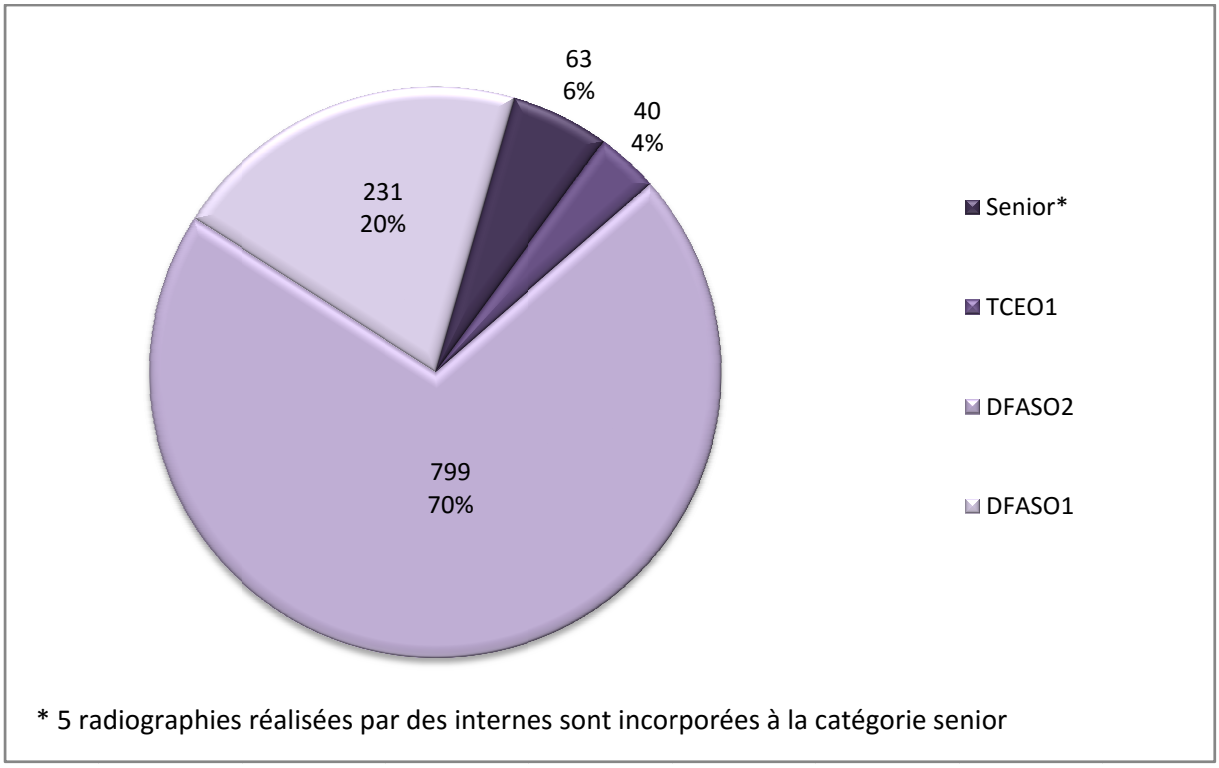


Figure 98 : Répartition des radiographies par classe d'opérateurs

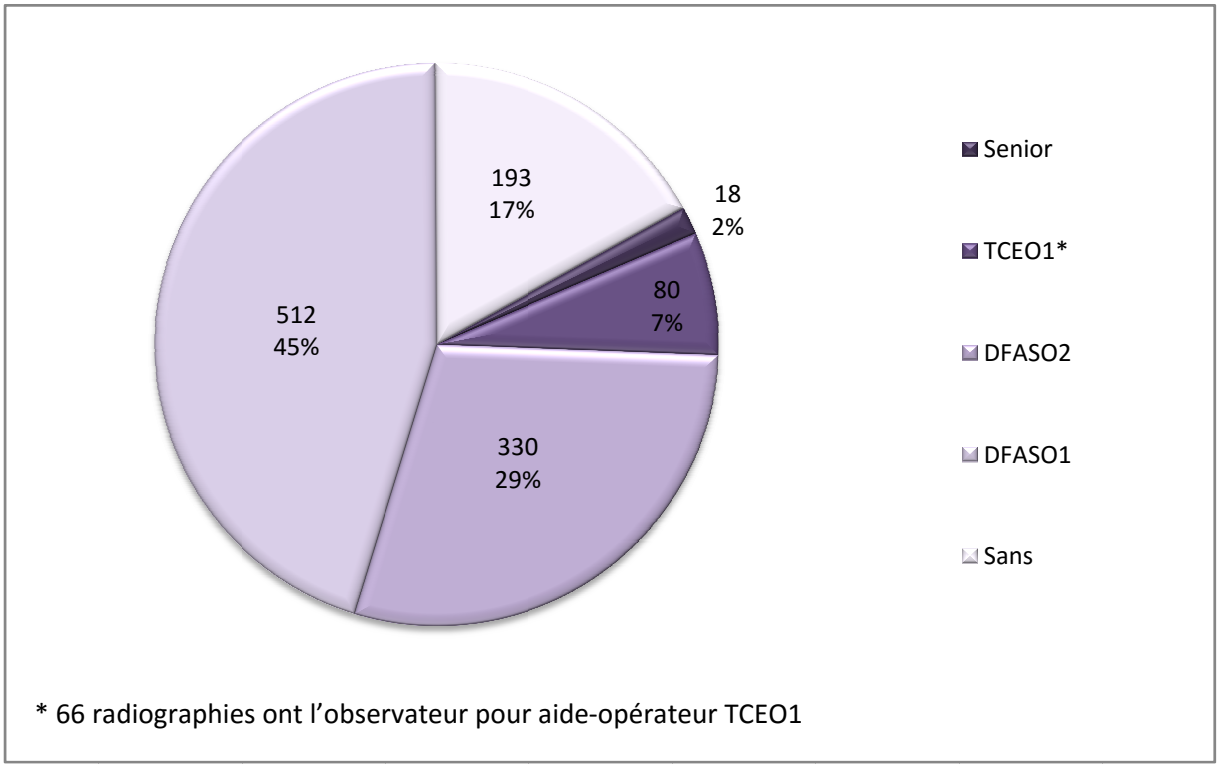


Figure 99 : Répartition des radiographies par classe d'aides-opérateurs

3.4.3 Les patients

Parmi les 1133 radiographies observées, la grande majorité a été pratiquée sur des adultes de plus de 20 ans (86%) (figure 100). Nous observons une prédominance de radiographies prises chez les hommes dans les classes des adultes jeunes et d'âge mâture. Inversement, la répartition s'inverse après 60 ans avec une proportion beaucoup plus importante de femmes que d'hommes radiographiés (figure 101).

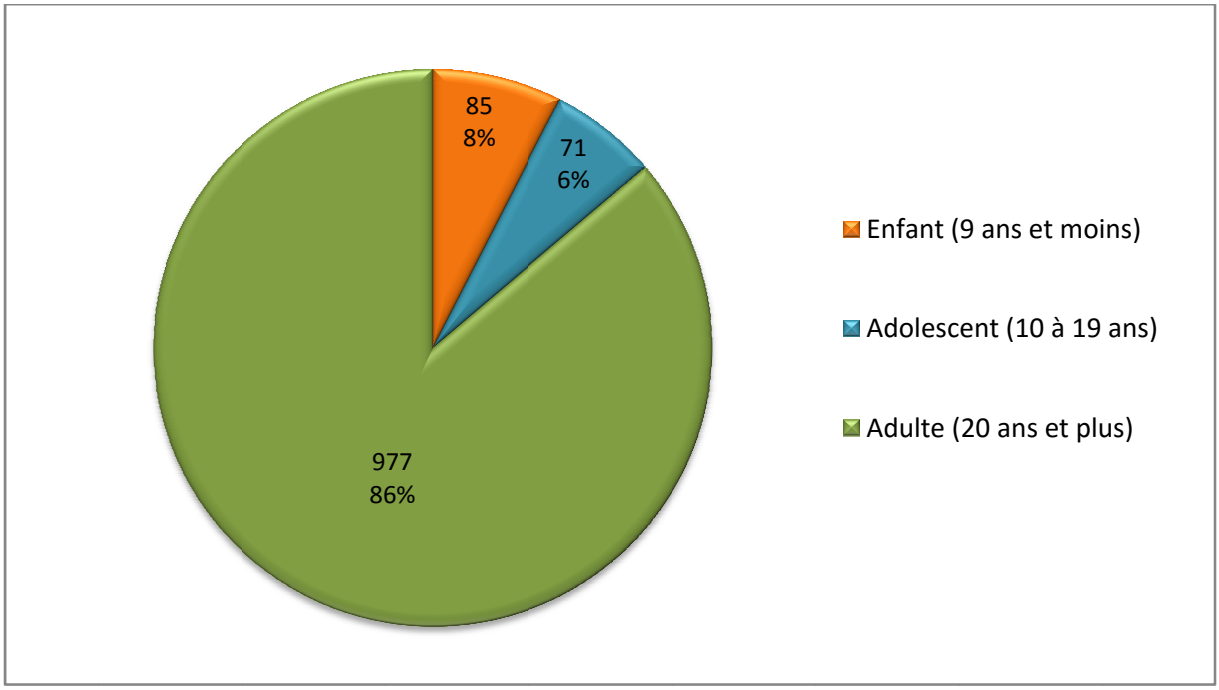


Figure 100 : Répartition des clichés observés par catégorie d'âge

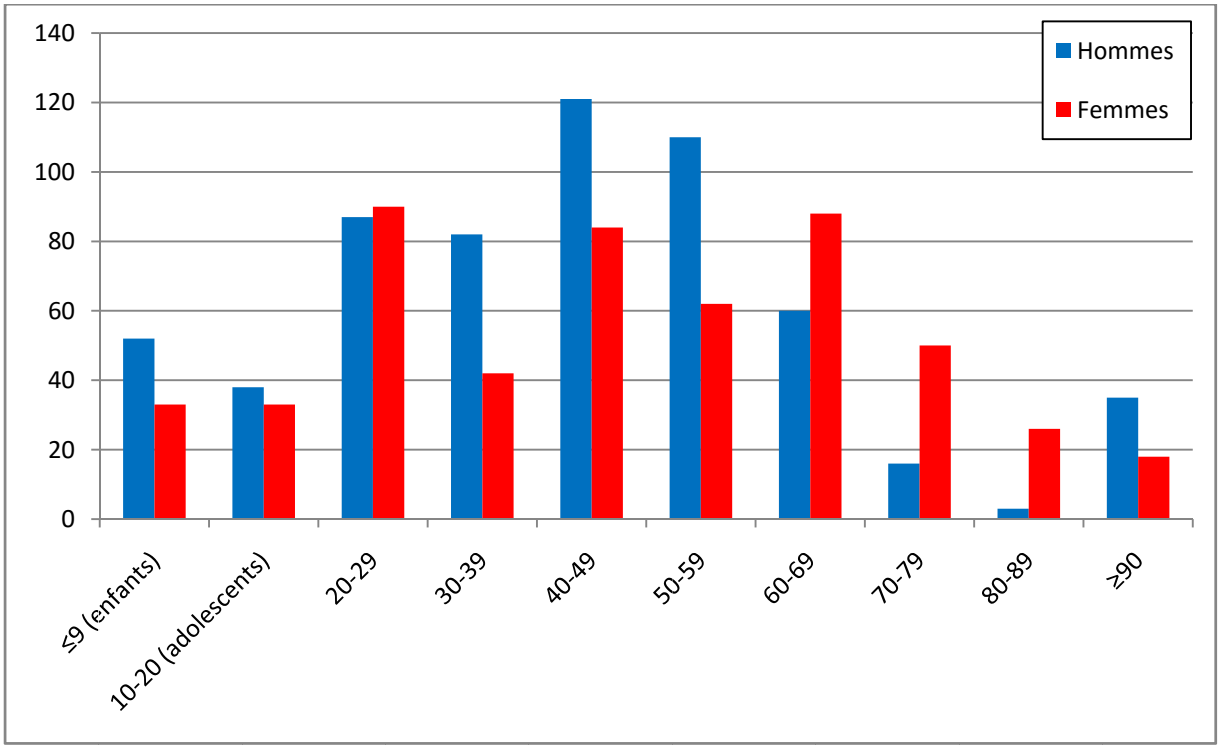


Figure 101 : Nombre des radiographies prises en fonction du sexe et de l'âge des patients

Un manque de coopération du patient ou la présence d'un réflexe nauséeux survenant subitement lors de la prise d'un cliché radiographique peuvent être responsables d'échecs ou de clichés de mauvaise qualité.

Nous observons dans la population une excellente coopération des patients couvrant 92% des enfants et 99% des adultes (tableau 22). La comparaison des scores obtenus entre les trois classes d'âge est significative (test ANOVA, $F(2,492) = 6,48$; $p = 0,0017$), les adultes montrant un degré de coopération plus important que les enfants ou les adolescents (tests de Fisher, avec respectivement $p = 0,0066$ et $p = 0,0096$).

Concernant le risque de réflexe nauséeux, il diminue avec l'âge : présent chez 14% des enfants, il ne persiste que dans 4% de la population des adultes (tableau 22). La comparaison des scores obtenus entre les classes d'âge est également significative (test ANOVA, $F(2,492) = 6,13$; $p = 0,0024$), la différence s'exprimant entre les adultes d'une part et les enfants et les adolescents d'autre part (tests de Fisher, avec respectivement $p = 0,0032$ et $p = 0,0327$).

	Coopération (%)	Réflexe nauséeux (%)
Enfant (9 ans et moins)	92,9	14,3
Adolescent (10 à 19 ans)	93,3	11,1
Adulte (20 ans et plus)	99,0	3,7
Global	98,0	5,3

Tableau 22 : Coopération et présence d'un réflexe nauséeux selon la catégorie d'âge du patient

Un dernier paramètre concerne les patients, le port d'une protection plombée lors de la prise des clichés radiographiques. Bien qu'il constitue un des paramètres évaluant les bonnes pratiques en matière de radioprotection envers les patients, nous choisissons de présenter les résultats dans cette section. Les deux types de protection plombée, tablier de plomb et collier thyroïdien, ont été étudiées (tableau 23). Les résultats montrent que les adultes sont très rarement équipés de protections plombées (moins de 1%). Par contre, les opérateurs sont plus vigilants chez le jeune patient puisqu'un tiers des adolescents et plus de la moitié des enfants en étaient équipés.

	Equipement par tablier de plomb (%)	Equipement par collier thyroïdien (%)
Enfant (9 ans et moins)	59,5	54,8
Adolescent (10 à 19 ans)	37,8	31,1
Adulte (20 ans et plus)	1,0	0,2
Global	9,3	7,6

Tableau 23 : Protections plombées selon la catégorie d'âge du patient

3.4.4 Les tierces personnes

Près de 90% des clichés pris ont été réalisés sans qu'aucune tierce personne ne se trouve dans la salle de radiologie (figure 102). Pour les 10% restant, plusieurs situations ont été observées : 1) 20 clichés seulement ont été réalisés en présence d'un accompagnant. Il s'agissait dans tous les cas d'un parent ou grand-parent d'un enfant qui avait besoin d'être réconforté lors de la radiographie) ; 2) 2 clichés se sont déroulés en présence d'un senior venu conseiller le binôme d'externes en difficulté pour l'obtention d'une image satisfaisante ; 3) pour 67 clichés, un externe était présent, en supplément du binôme opérant : sa présence pouvait parfois être nécessaire pour maintenir un enfant non coopérant mais dans la grande majorité des cas cet externe, d'aucune utilité pour la prise du cliché, n'était présent que pour discuter avec un membre du binôme notamment au cours des bilans long cône, ou alors passait inopinément dans la salle de Radiologie pour accéder à la salle de développement attenante au moment du déclenchement de la radiographie ; enfin, 4) 34 clichés ont été réalisés en présence d'une autre personne comme une aide-soignante, la conjointe d'un patient, les frères et sœurs d'un jeune patient, voire d'autres patients attendant leur tour pour l'examen d'imagerie.

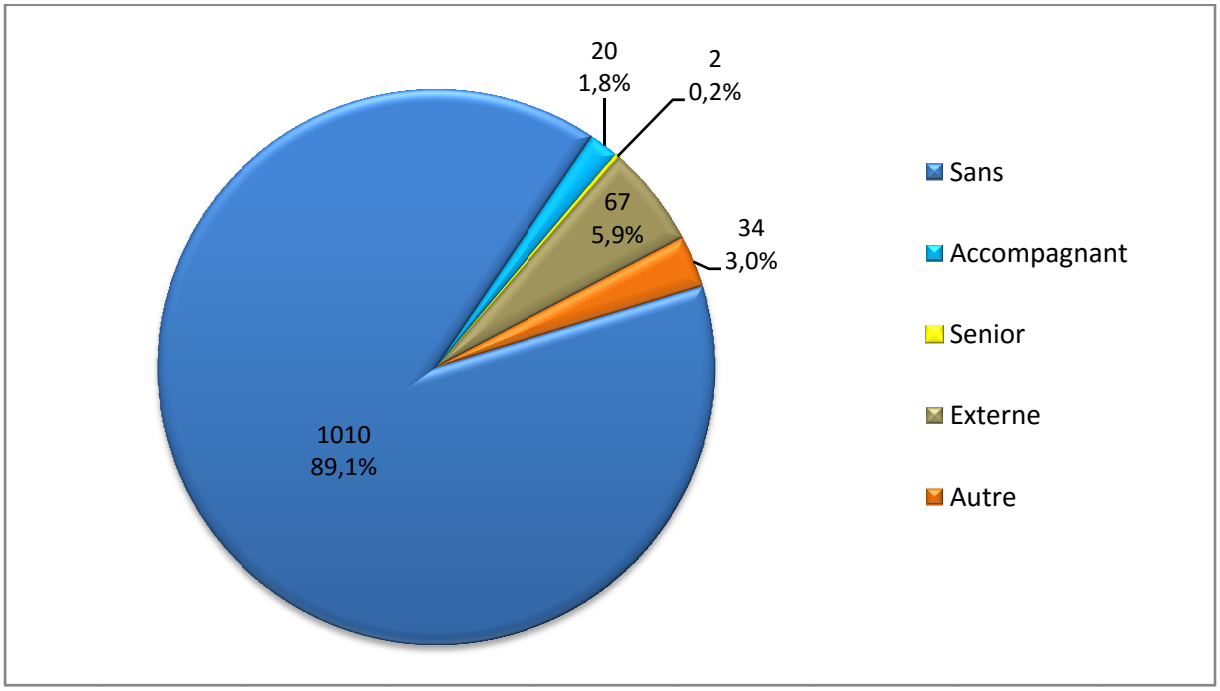


Figure 102: Tierce personne présente lors de la prise des clichés radiographiques

3.4.5 Les types de radiographie

Le type de radiographie le plus courant est la radiographie rétro-alvéolaire (98,5% des clichés) : elle peut être prise de manière classique (73,2%), en présence d'une digue (13,3%) ou avec un instrument en bouche (12,0%) (figure 103).

Nous avons également observé 17 clichés rétro-coronaires (1,5%), et 2 clichés occlusaux qui ont été écartés de l'étude globale mais seront traités séparément.

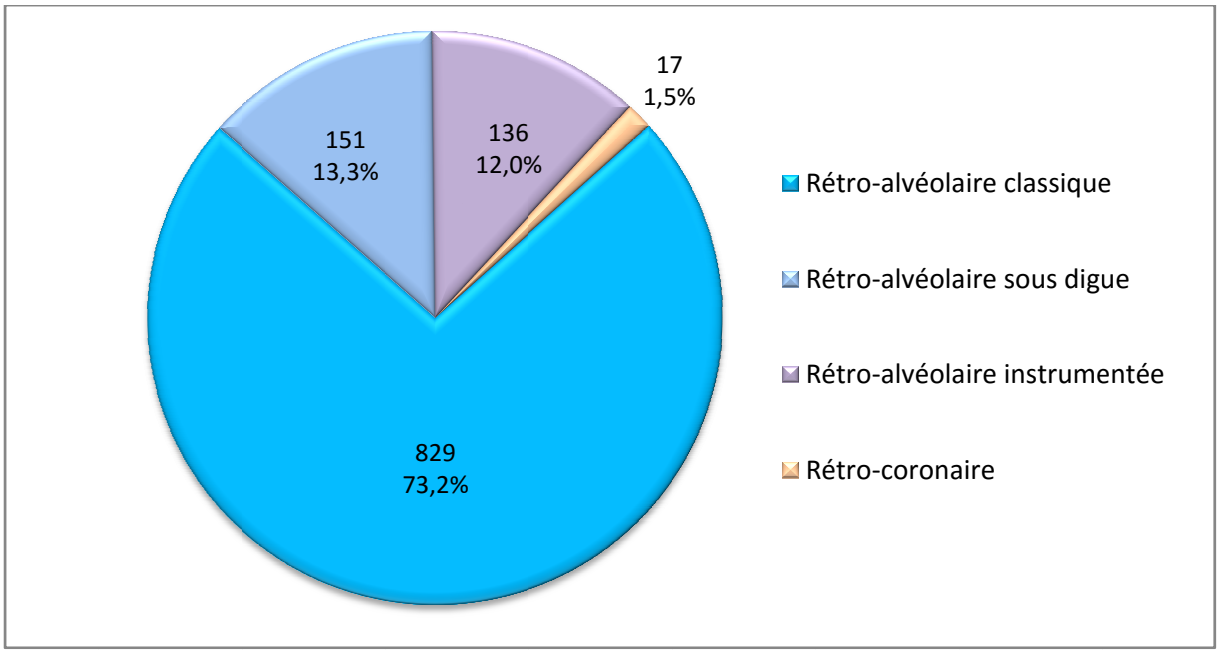


Figure 103 : Type de clichés

3.4.6 Les secteurs radiographiés

Au niveau de la répartition en bouche des radiographies prises au cours de l'étude, on remarque que les investigations sont plus importantes dans les secteurs postérieurs (65%), intéressant plus préférentiellement l'arcade maxillaire (56%) que les dents mandibulaires (figure 104), cette répartition étant en adéquation avec la fragilité des dents et des restaurations maxillaires, ainsi que la répartition des lésions carieuses qui touchent plus facilement les secteurs postérieurs (Suni et al., 2013).

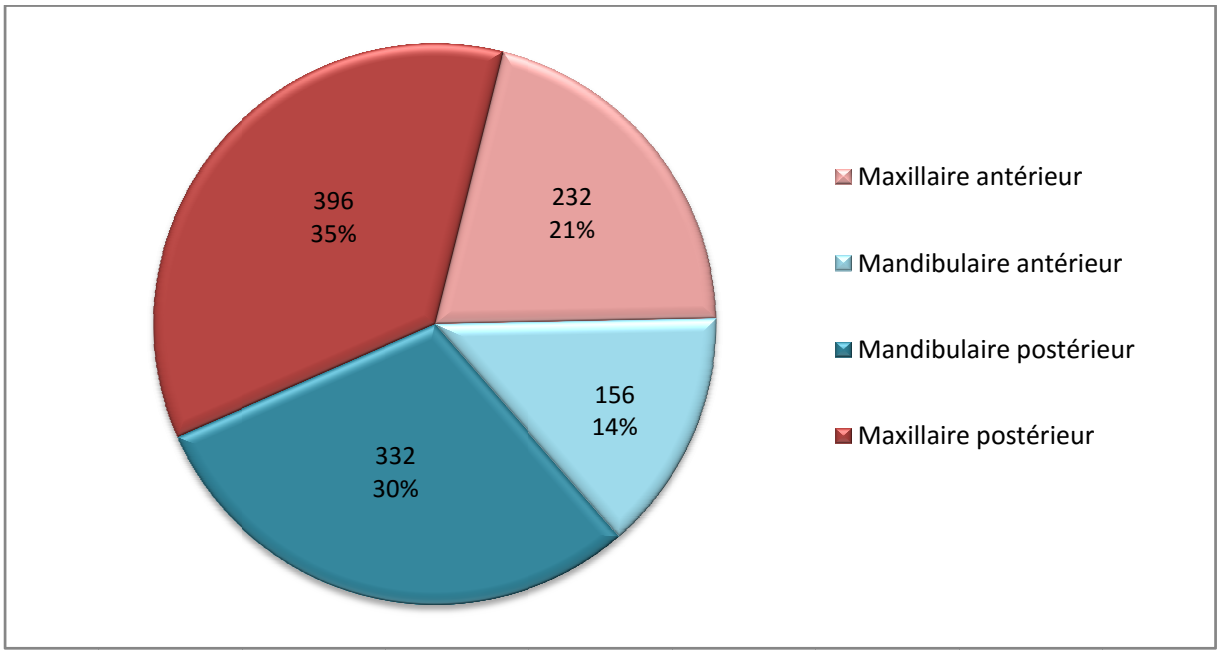


Figure 104 : Secteurs dentaires radiographiés

3.4.7 Le port du dosimètre

La dosimétrie, et plus spécifiquement le port d'un dosimètre personnel à la poitrine, est une règle de la radioprotection qui s'adresse aux professionnels de santé exposés aux rayonnements ionisants dans le cadre de leur activité professionnelle. Le port du dosimètre constitue une bonne pratique dans le sens qu'elle permet de contrôler que l'exposition des travailleurs ne dépasse pas un certain seuil et donc que les mesures de radioprotection sont efficacement appliquées.

Tous grades confondus, les opérateurs et aides-opérateurs du service d'Odontologie du CHRU de Nancy sont plus de 80% à porter leur dosimètre. Toutefois, il existe un effet « grade » dans la comparaison des scores obtenus par les différents types de travailleurs (test ANOVA, $F(3,829) = 28,71$; $p < 0,0001$) puisqu'on constate que les étudiants en 4ème et 5ème année sont bien plus assidus que les étudiants en 3ème cycle et que les praticiens-seniors (tests de Fisher, avec $p < 0,0001$ pour les deux grades) (figure105).

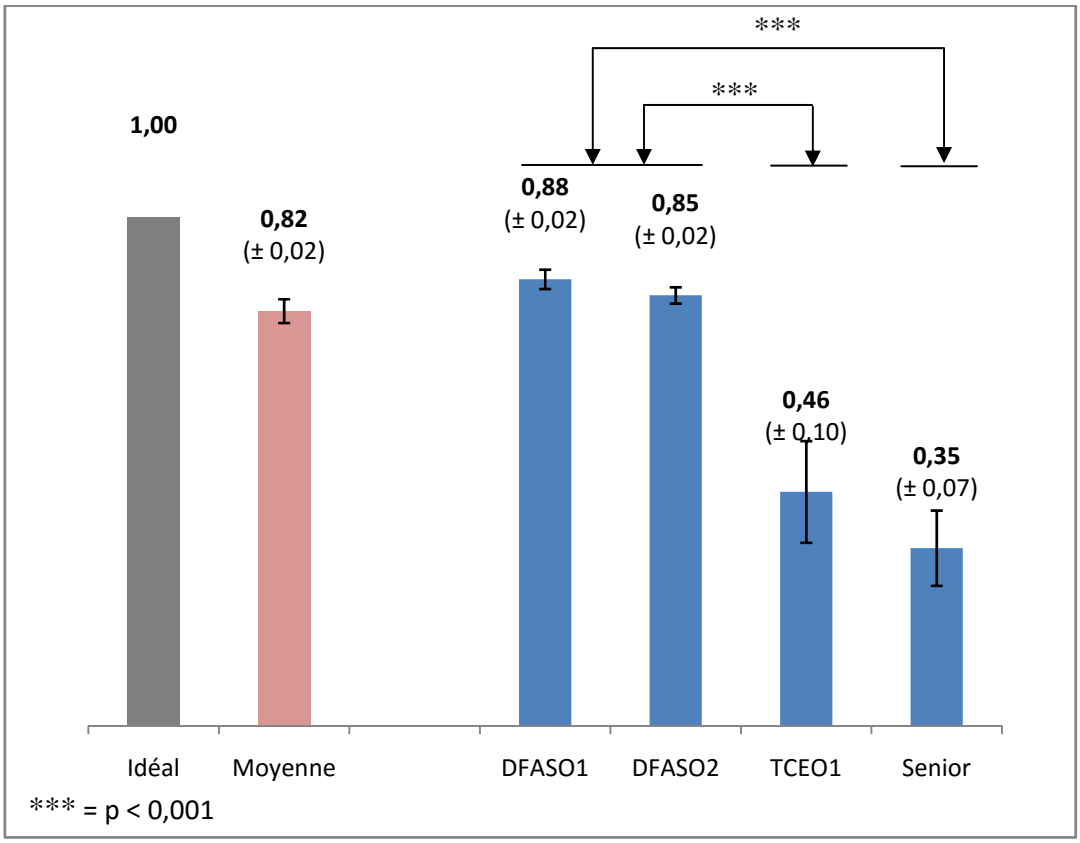


Figure 105 : Port du dosimètre pour les travailleurs

3.4.8 La justification

Le taux de justification dépasse les 99,7% puisque trois radiographies seulement ont été jugées inutiles. Il s'agissait : 1) d'une radiographie prise sans pathologie aigüe ou évolutive alors qu'un cliché identique avait été pris moins d'un mois auparavant ; et, 2) de deux radiographies reprises avant le développement des premiers clichés car l'externe pensait à tord avoir raté les premières prises.

3.4.9 Le réglage du générateur

Sur les 1133 radiographies prises durant l'étude, seul 122 d'entre elles ont été réalisées sans réglage préalable du générateur. Le taux de réglage du générateur est donc proche des 90% (figure 106).

La comparaison des scores n'a montré aucune différence significative entre les différentes classes d'opérateurs pour ce résultat (test ANOVA, $p > 0,6$).

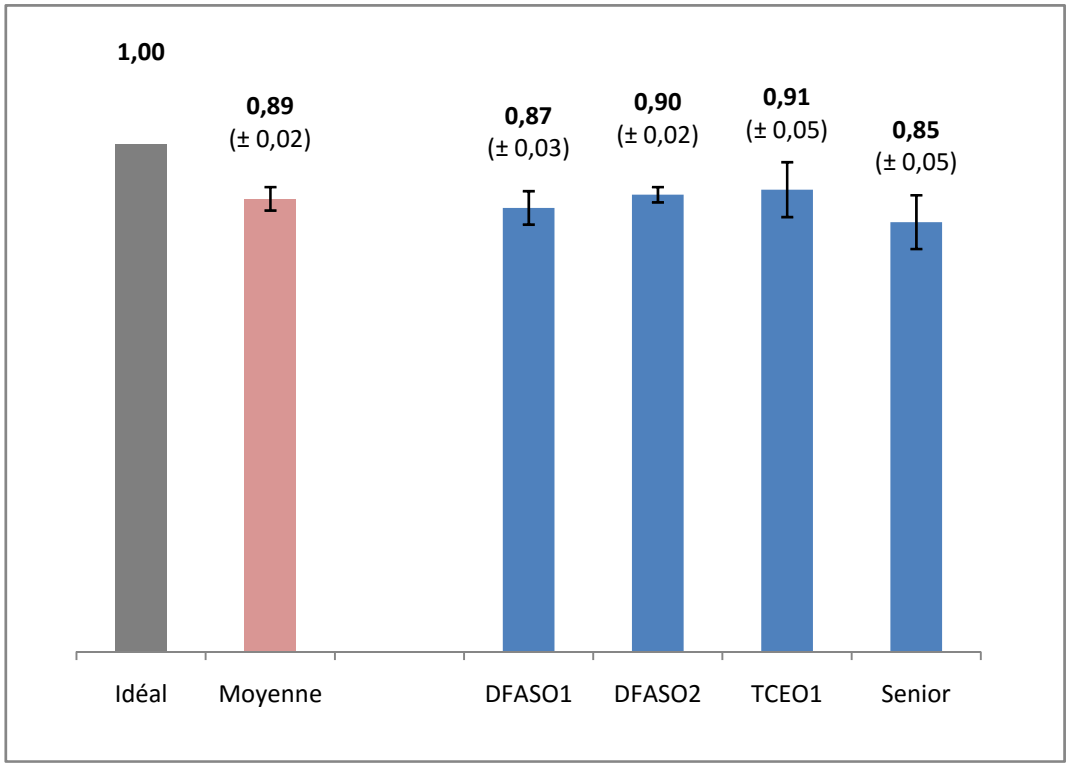


Figure 106 : Réglage du générateur en fonction du grade de l'opérateur

3.4.10 La position des travailleurs

La position des travailleurs en situation a été évaluée en fonction de leur distance plus ou moins grande par rapport au tube radiogène et à la tête du patient. Les résultats ont montré des scores très bas (figure 107) attestant d'un manque de respect général pour les distances de sécurité garantissant la suppression de l'irradiation des opérateurs. Il existe, toutefois, une différence intergroupe (test ANOVA, $F(2,492) = 8,30$; $p = 0,0003$), les praticiens-seniors d'une part et les étudiants de 3ème cycle d'autre part se positionnant mieux que les étudiants en formation initiale (tests de Fisher, avec respectivement $p = 0,0360$ et $p = 0,0003$).

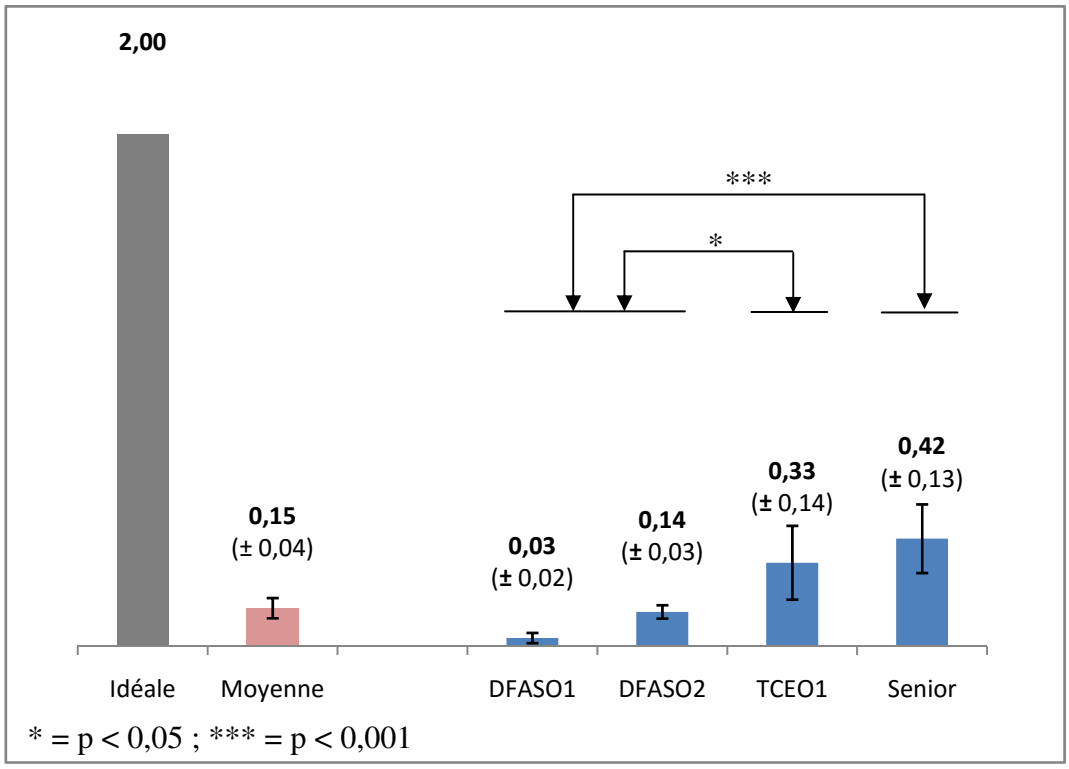


Figure 107 : Position des opérateurs

La position des aides-opérateurs a été évaluée de la même manière (figure 108). Elle n'a été prise en compte que pour les étudiants en 4ème et 5ème année car les observations des étudiants en 6ème année et des praticiens-seniors étaient en nombre insuffisant pour une analyse statistique. On constate que le positionnement des aides-opérateurs est également mauvais bien que leur score soit relativement plus haut que celui des opérateurs (note moyenne de 0,54 pour les aides-opérateurs contre 0,15 pour les opérateurs). La position des aides-opérateurs n'évolue pas avec leur grade (test de Student, $p > 0,6$)

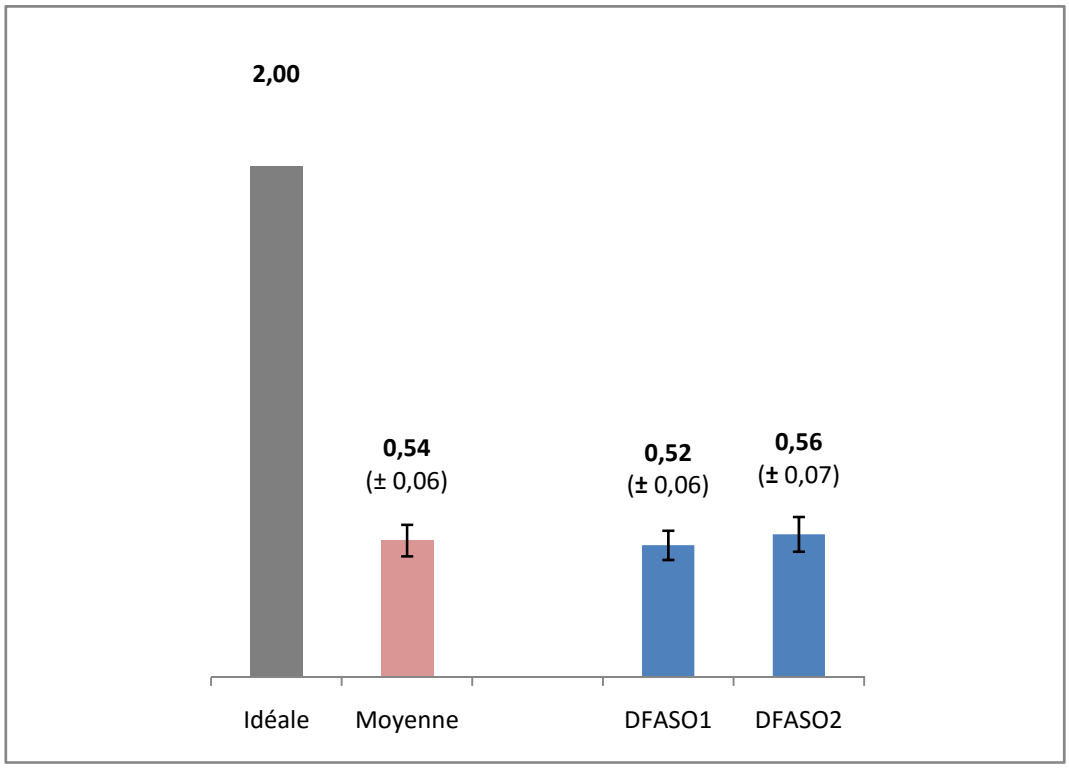


Figure 108 : Position des aides-opérateurs

3.4.11 La position par rapport au faisceau primaire

La position des travailleurs par rapport au faisceau primaire a également été évaluée dans l'étude. Les scores obtenus sont bons puisque les notes moyennes sont de 0,93 pour les opérateurs (figure 109) et de 0,97 pour les aides-opérateurs (figure 110) sans différence significative entre les classes de travailleurs (pour les opérateurs : test ANOVA, $p > 0,8$ et pour les aides-opérateurs : test de Student, $p > 0,3$).

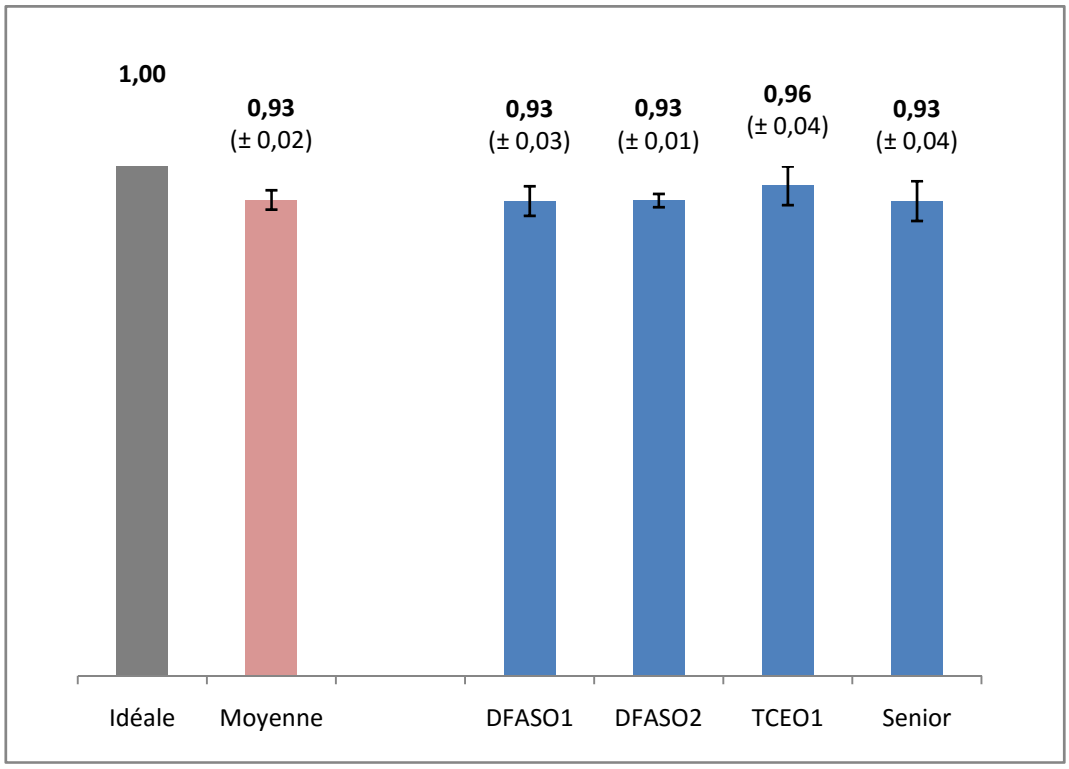


Figure 109 : Position des opérateurs par rapport au faisceau primaire

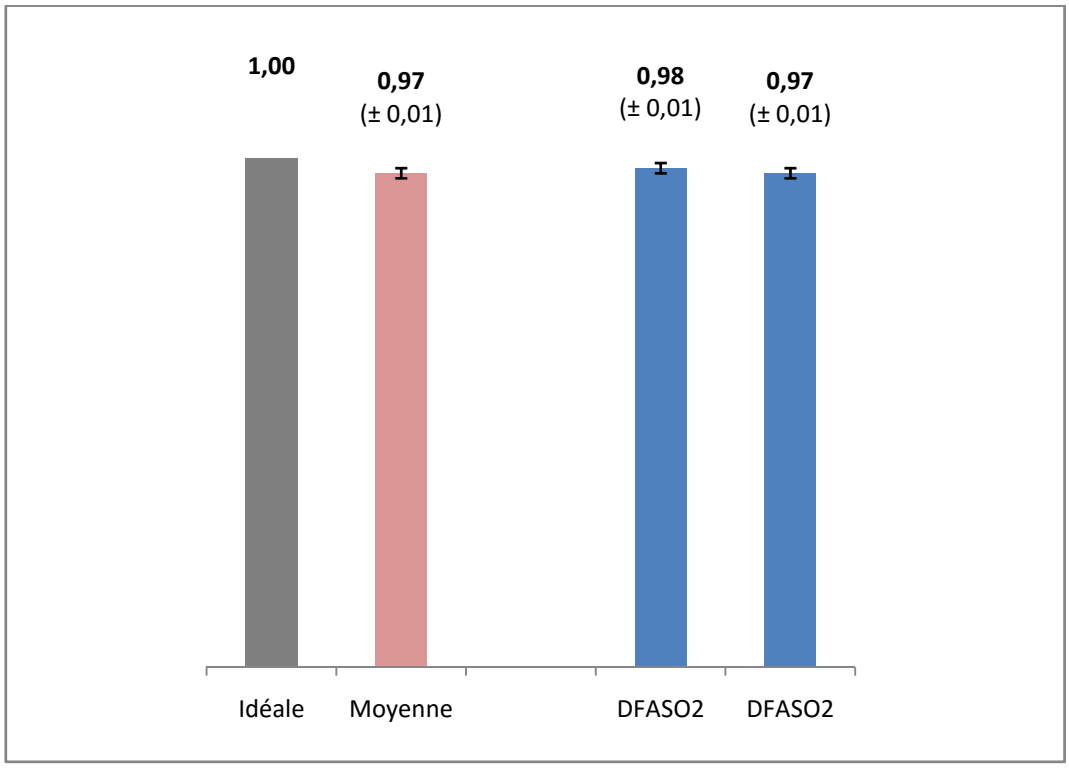


Figure 110 : Position des aides-opérateurs par rapport au faisceau primaire

3.4.12 La main sur le générateur

Le maintien du générateur est parfois fait spontanément par l'opérateur pour assurer sa stabilité lors de la prise d'un cliché radiographique. Il s'agit d'une mauvaise pratique et les résultats montrent un mauvais score global, en dessous de la moyenne, pour les opérateurs (figure 111).

Toutefois, les scores diffèrent en fonction des groupes et, par conséquent, du niveau d'expérience des travailleurs (test ANOVA, $F(2,492) = 6,75$; $p = 0,0013$), les opérateurs en 4ème et 5ème année étant plus mauvais que les étudiants en 6ème année (test de Fisher, $p = 0,0017$) et que les praticiens-seniors (test de Fisher, $p = 0,0374$).

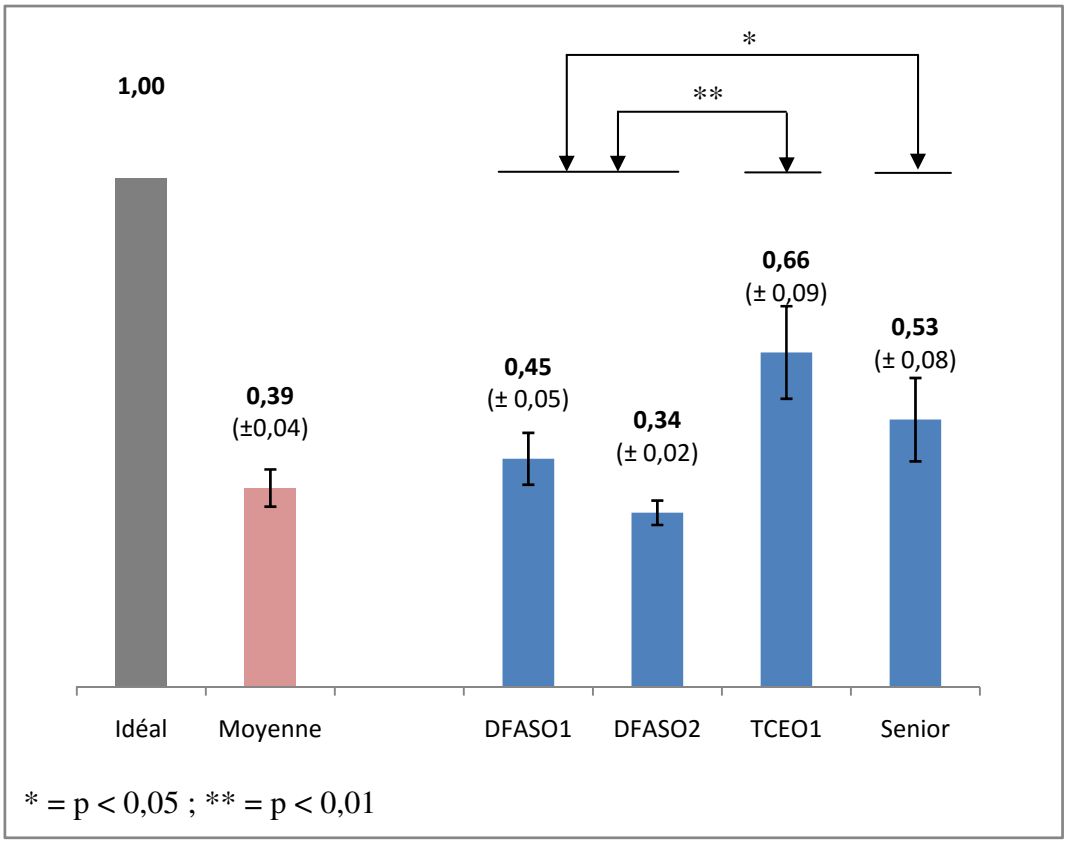


Figure 111 : Positionnement de la main des opérateurs sur le générateur

A l'inverse, le score des aides-opérateurs est élevé, en moyenne de 0,93 (± 0,01). Aucune différence n'est observée entre les deux groupes d'étudiants en formation initiale dont les scores respectifs sont de 0,96 (± 0,01) et 0,89 (± 0,02). Ce score satisfaisant s'explique par le fait que le rôle de l'aide-opérateur n'est pas celui de mettre le cliché en bouche ou de positionner le tube radiogène ; il a donc rarement le générateur en main.

3.4.13 La tenue du récepteur

La tenue du capteur se fait normalement avec un angulateur. Toutefois, la crainte d'un capteur qui risque de bouger car trop grand ou instable à cause du volume et de la morphologie de la cavité orale ou à cause du patient, lui-même agité ou inconfortable, conduit à des pratiques très critiquables en matière de radioprotection. Sur les 1133 radiographies étudiées, 701 ont été réalisées avec un porte-récepteur (61,9%), 426 ont été prises avec le doigt du praticien qui tenait le capteur en place dans la cavité orale (37,6%) et seules 6 d'entre-elles ont été prises avec le doigt du patient pour maintenir le récepteur (0,5%).

Le score moyen obtenu est mauvais puisqu'il est proche de la moyenne pour tous les étudiants quelque soit leur niveau d'études (figure 112). Bien que le score des praticiens-seniors augmente de 25% par rapport à celui des étudiants, il reste relativement bas et il n'est pas significativement différent des autres scores (test ANOVA, $p > 0,4$).

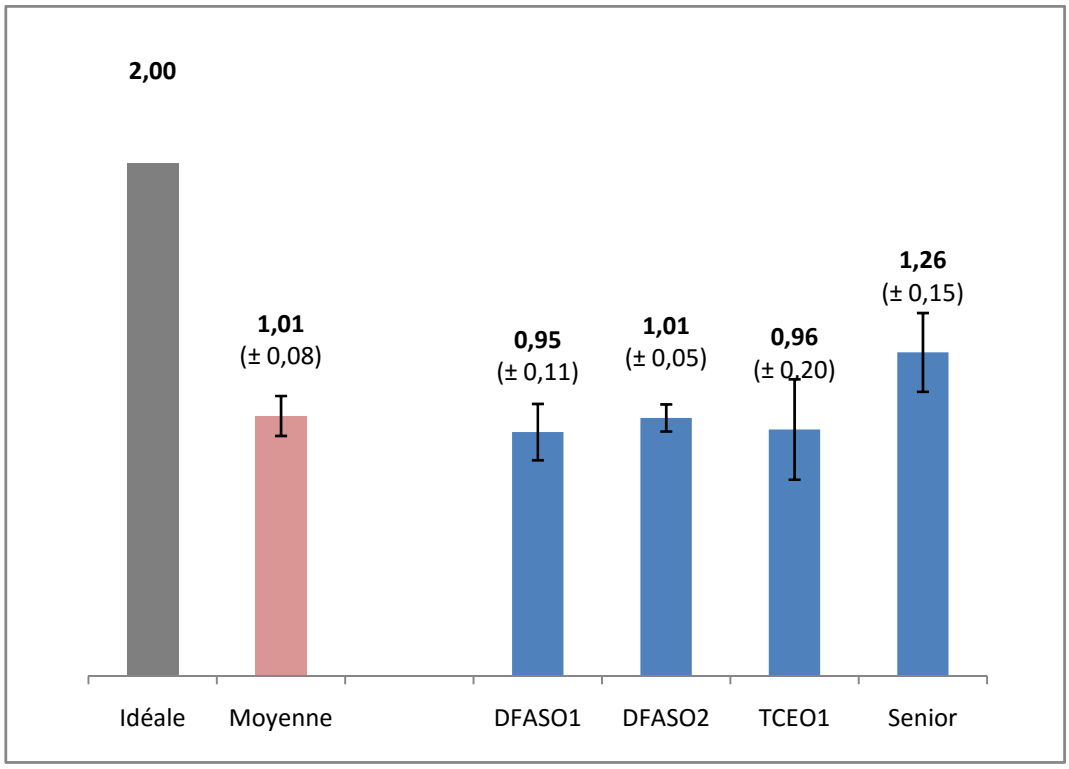


Figure 112 : Tenue du récepteur en fonction du grade de l'opérateur

Plusieurs facteurs peuvent compromettre la bonne tenue du récepteur et sa stabilité en bouche. Nous avons étudié ce paramètre en fonction de deux facteurs, l'âge du patient et le type de radiographie.

Les scores, en fonction de la catégorie d'âge des patients, sont compris entre 0,5 et 0,6 pour les enfants et adolescents alors que celui des adultes atteint la moyenne (figure 113). Ces différences sont significatives (test ANOVA, $F(2,492) = 11,67$; $p < 0,0001$), les opérateurs utilisant plus un porte-récepteur pour un patient adulte que pour un adolescent d'une part et un enfant d'autre part (tests de Fisher, avec respectivement $p = 0,0002$ et $p = 0,0009$).

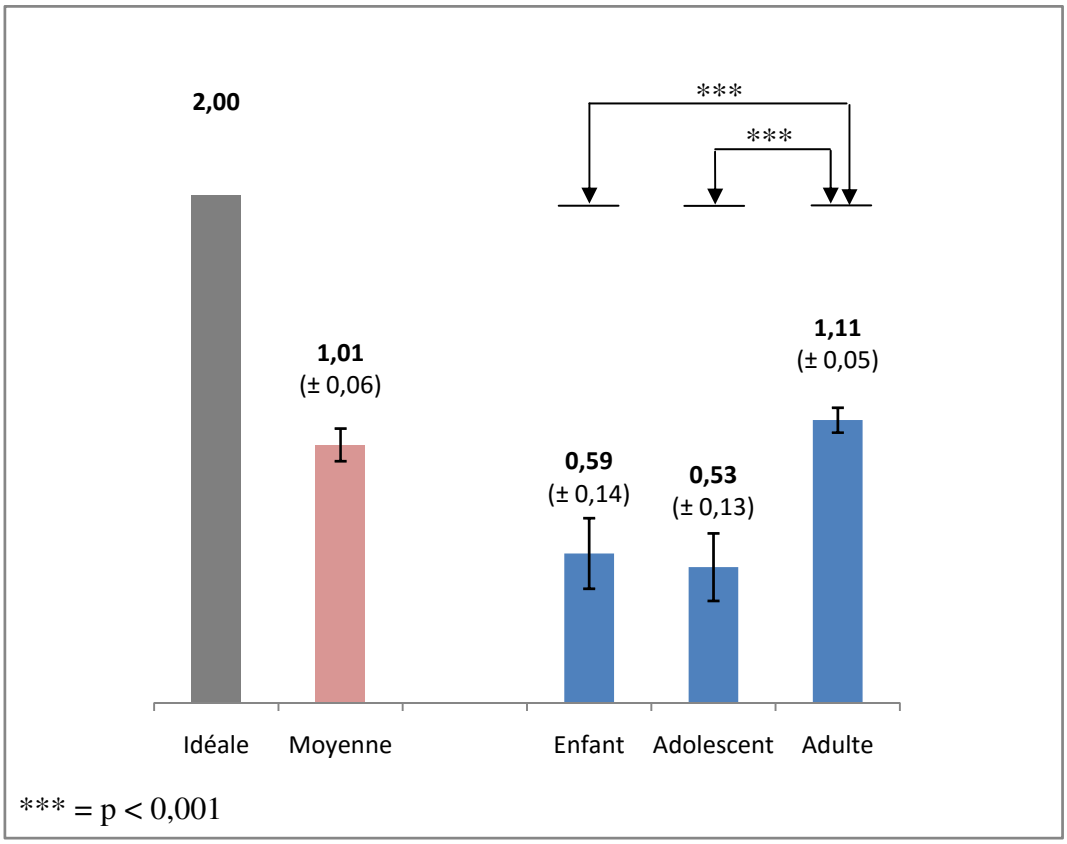


Figure 113 : Tenue du récepteur en fonction de la catégorie d'âge du patient

On constate également que les scores sont très différents en fonction du type de radiographies prises (test ANOVA, $F(3,491) = 72,20$; $p < 0,0001$). Les clichés rétro-coronaires ont un score maximal car la stabilité du récepteur est toujours assurée par un porte-capteur. Pour les clichés rétro-alvéolaires classiques, le score est de 1,36 et cette note chute à 0,31 et 0,11 pour, respectivement, les rétro-alvéolaires avec digue en place et avec instrument en bouche (tests de Fisher, avec $p < 0,05$ à $p < 0,0001$ pour les comparaisons des moyennes 2 à 2) (figure 114). Ce résultat est important car il met en évidence les actes qui nécessitent une amélioration en termes de radioprotection des praticiens.

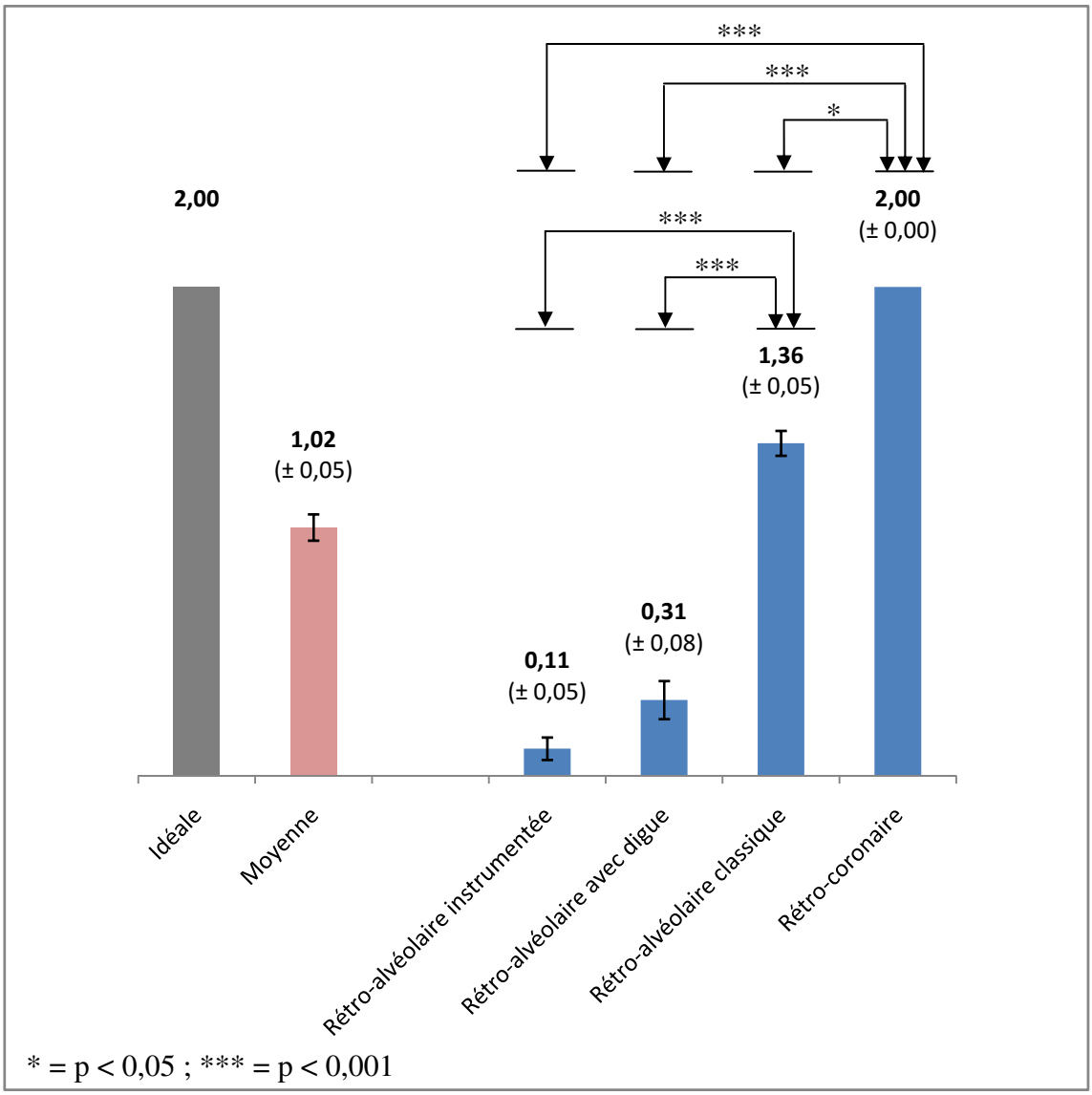


Figure 114 : Tenue du récepteur en fonction du type de radiographie

3.4.14 Score de radioprotection des travailleurs

3.4.14.1 Score de radioprotection des opérateurs

Le score de radioprotection des opérateurs varie de 0 à 14 points. La sensibilité de cet indice semble satisfaisante car les notes obtenues se répartissaient sur l'ensemble de l'échelle, de la note minimale de 0 à la note maximale de 14. Nous avons, toutefois, classé ces scores en 5 niveaux pour une meilleure analyse des résultats : 1) une absence totale de respect des règles de radioprotection (score nul) ; 2) une très mauvaise pratique (note comprise entre 1 et 7) pour laquelle l'opérateur s'expose, au moins, au rayonnement primaire de rayons X ; 3) une protection insuffisamment (note comprise entre 8 et 10) où l'opérateur s'expose aux rayonnements secondaires et de fuite ; 4) une pratique acceptable (notes de 11 et 12) pour laquelle l'opérateur ne s'expose, au pire, qu'aux rayonnements secondaires ; et, 5) un bon respect des mesures de radioprotection (notes de 13 et 14) où l'opérateur ne s'expose pas aux rayonnements ionisants.

Les résultats sont présentés dans le tableau 24. Ils montrent que seulement 17,5% des opérateurs du CHRU de Nancy sont dans des pratiques correctes ou acceptables quant à leur protection personnelle contre les radiations ionisantes générées en radiologie conventionnelle intra-orale.

Niveau de radioprotection (score)	Opérateurs (%)
Nul (0)	5,1
Très mauvais (1 à 7)	46,1
Insuffisant (8 à 10)	31,3
Acceptable (11 et 12)	10,7
Bon (13 et 14)	6,8

Tableau 24 : Niveaux de radioprotection des opérateurs

Le score de radioprotection des opérateurs est très mauvais pour les étudiants en 4ème, 5ème et 6ème année (notes inférieures à 6 sur 14). Quand aux praticiens-seniors, ils obtiennent tout juste la moyenne (figure 115) et malgré un score supérieur d'environ 25% à ceux des étudiants, il n'est pas significativement différent des autres scores (test ANOVA, $p > 0,2$).

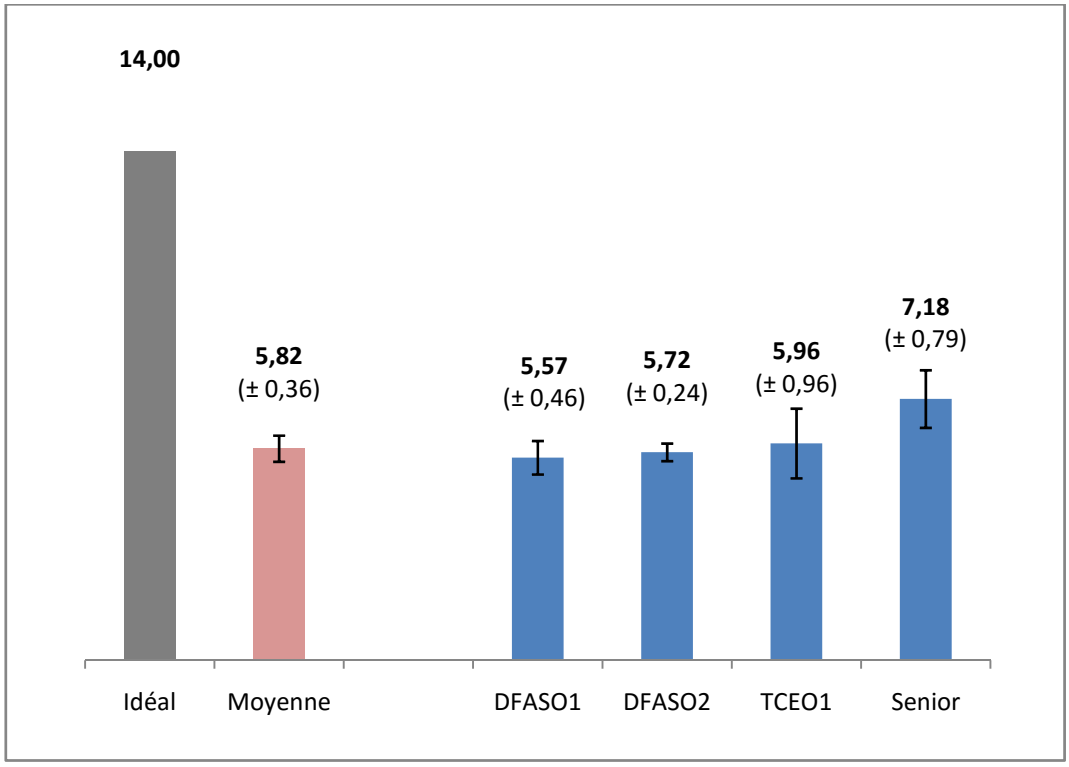


Figure 115 : Score de radioprotection de l'opérateur en fonction de son grade

Par contre, ce score varie selon le type de clichés réalisés (test ANOVA, $F(3,491) = 54,84$; $p < 0,0001$). La radiographie rétro-coronaire ayant un score significativement plus élevé, suivie de la rétro-alvéolaire classique puis des clichés rétro-alvéolaires sous digue et instrumentées qui ont les scores les plus bas (tests de Fisher, pour la comparaison des moyennes 2 à 2, $p = 0,0120$ à $p < 0,0001$) (figure 116).

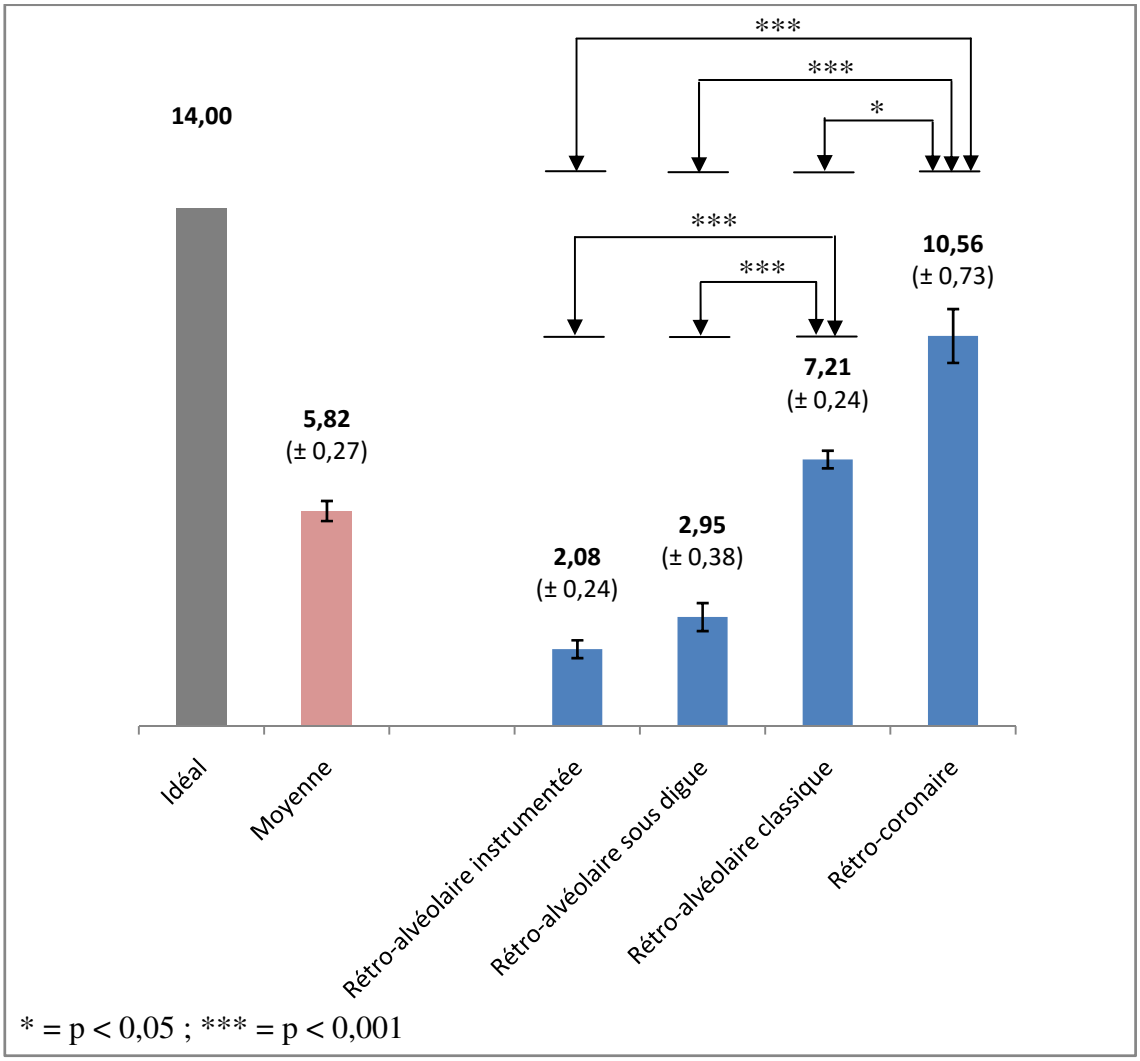


Figure 116 : Score de radioprotection de l'opérateur en fonction du type de radiographie

Les pratiques en termes de radioprotection des opérateurs sont différentes selon l'âge du patient (test ANOVA, $F(2,492) = 13,11$; $p < 0,0001$). En effet, ils se protègent davantage lorsque la radiographie est prise chez un adulte plutôt que chez un enfant ou un adolescent (tests de Fisher, avec respectivement $p = 0,0003$ et $p = 0,0001$) (figure 117).

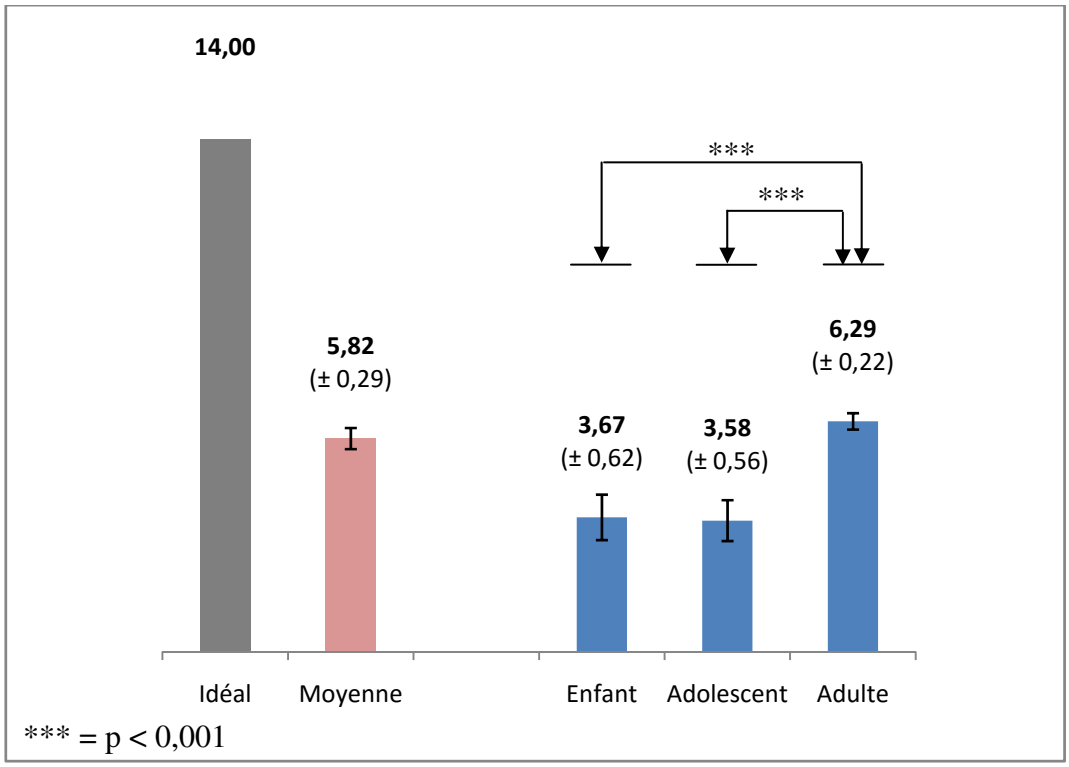


Figure 117 : Score de radioprotection de l'opérateur
en fonction de la catégorie d'âge du patient

3.4.14.2 Score de radioprotection des aides-opérateurs

Le score de radioprotection des aides-opérateurs varie de 0 point à 10 points. De la même façon que pour celui des opérateurs, nous avons choisi de classer les notes en 4 classes : 1) une absence totale de respect des règles de radioprotection (score nul) ; 2) une très mauvaise pratique (note comprise entre 1 et 6) pour laquelle l'aide-opérateur s'expose au faisceau primaire de rayons X ou ne respect aucune des autres mesures de radioprotection ; 3) une protection insuffisante (notes de 7 et 8) pour laquelle l'aide-opérateur s'expose aux rayonnements secondaires ; et, 4) un bon respect des règles de radioprotection (notes de 9 et 10) où l'aide-opérateur ne s'expose pas aux rayonnements. Le niveau de radioprotection acceptable qui est utilisé pour les opérateurs, n'est pas présent chez les aides-opérateurs car il n'est pas acceptable qu'un aide-opérateur s'expose, ne serait-ce qu'*a minima*, aux rayonnements ionisants. En effet, toutes les personne non indispensable à la prise d'un cliché doivent sortir de la salle de radiologie (Giguère et Joly, 2010 ; NRPB, 2001) et, hormis quelques situations exceptionnelles, la présence de l'aide-opérateur n'est pas indispensable.

Concernant la répartition des notes obtenues par les aides-opérateurs pour leur radioprotection, on constate qu'il n'y a aucune note inférieure à 3 sur 10, mais que seulement 22% adoptent de bonnes pratiques de radioprotection (notes de 9 et 10) (tableau 25).

Niveau de radioprotection (score)	Aide-opérateurs (%)
Nul (0)	0,0
Très mauvais (1 à 7)	18,9
Insuffisant (8 à 10)	59,0
Bon (13 et 14)	22,1

Tableau 25 : Niveaux de radioprotection des aides-opérateurs

Les scores obtenus par les aides-opérateurs sont similaires pour les étudiants en 4ème et 5ème année (figure 118).

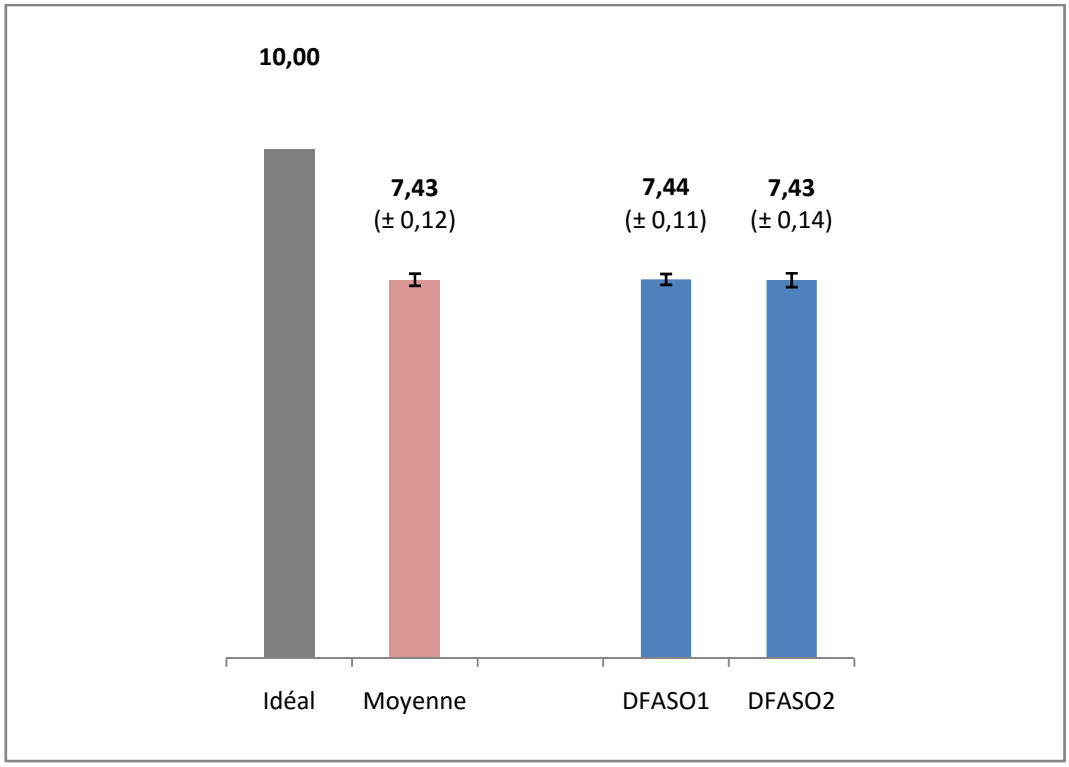


Figure 118 : Score de radioprotection de l'aide-opérateur en fonction de son grade

Il n'existe pas de différence significative en termes de radioprotection des aides-opérateurs en fonction du type de cliché réalisé (test ANOVA, $p > 0,1$) (figure 119).

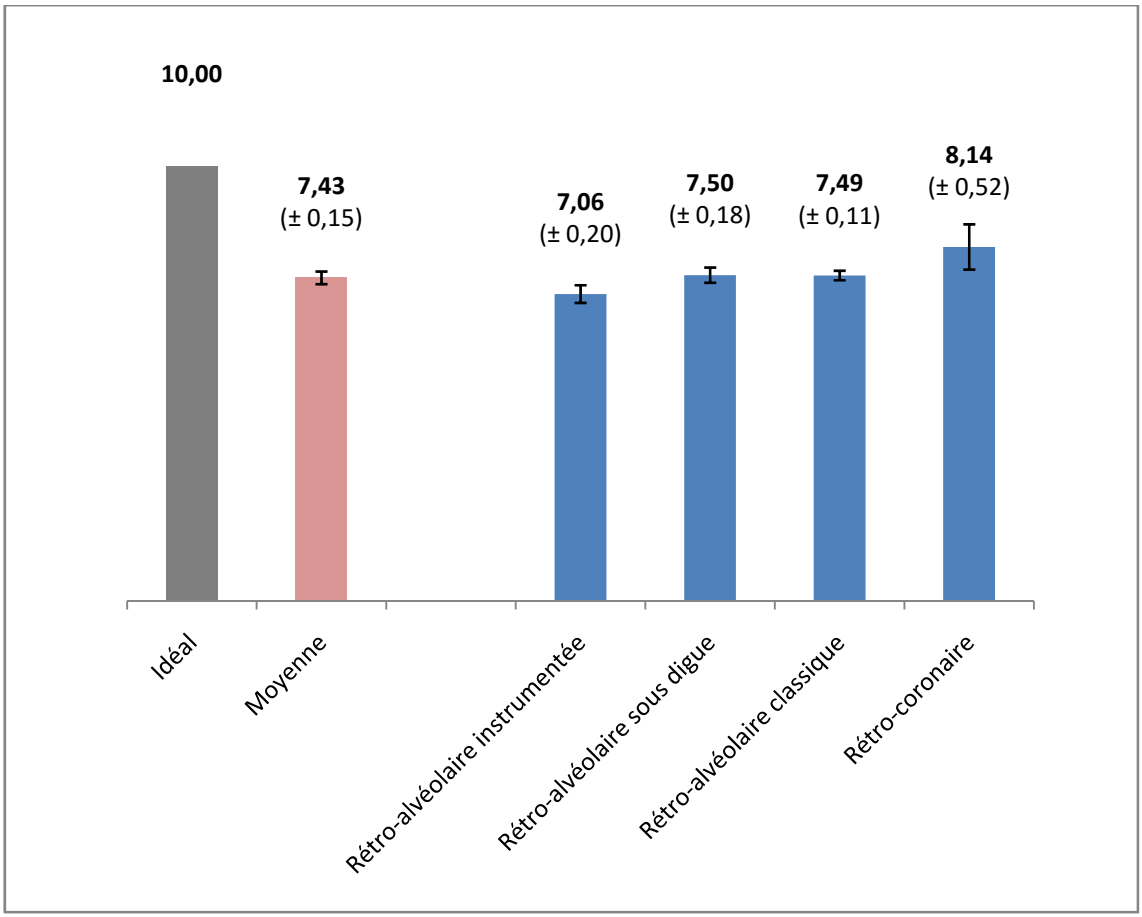


Figure 119 : Score de radioprotection de l'aide-opérateur en fonction du type de radiographie

Il n'existe pas non plus de différence significative en termes de radioprotection des aides-opérateurs en fonction du type de patient subissant l'examen d'imagerie (test ANOVA, $p > 0,6$) (figure 120).

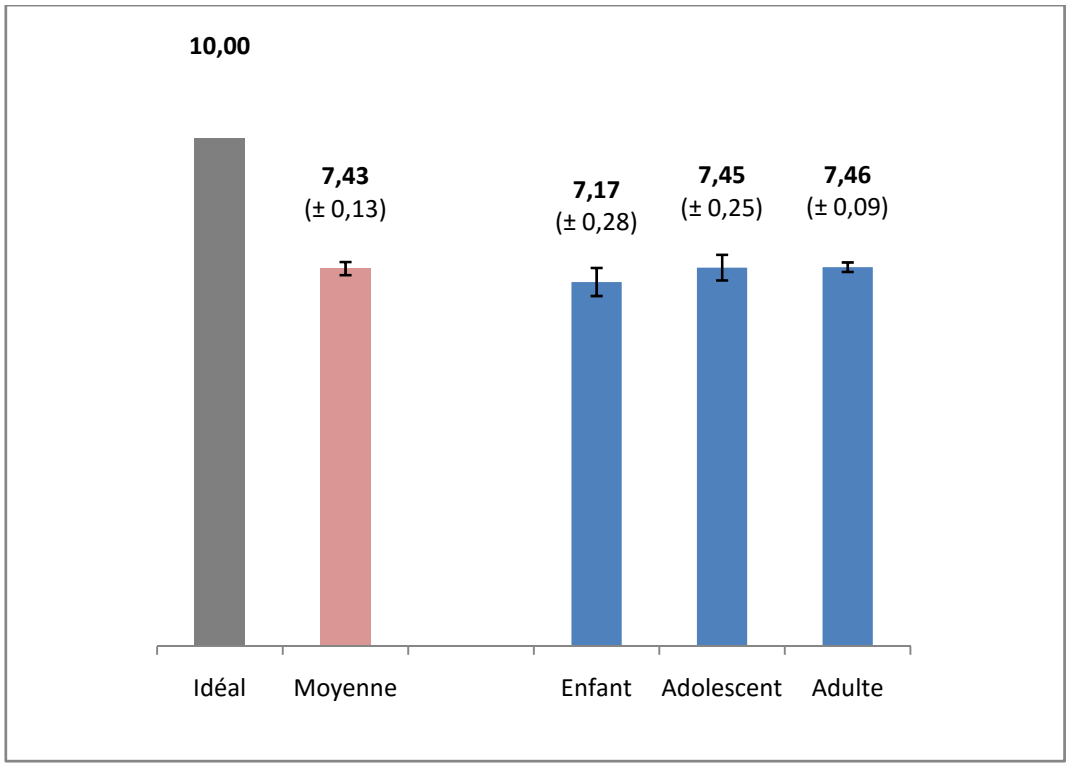


Figure 120 : Score de radioprotection de l'aide-opérateur
en fonction de la catégorie d'âge du patient

3.4.15 Score de radioprotection des patients

Le score de radioprotection des patients varie de 0 à 8 points pour les enfants et les adolescents et seulement de 0 à 6 points pour les adultes car ceux-ci ne nécessitent pas d'être protégés par des protections plombées lors d'un examen d'imagerie.

Les mesures de radioprotection des patients sont plutôt bien appliquées par les travailleurs du Centre de soins Heydenreich, notamment chez les patients adultes (figure 121). Il n'existe pas de différence significative en termes de radioprotection du patient en fonction du grade de l'opérateur (test ANOVA, $p > 0,2$).

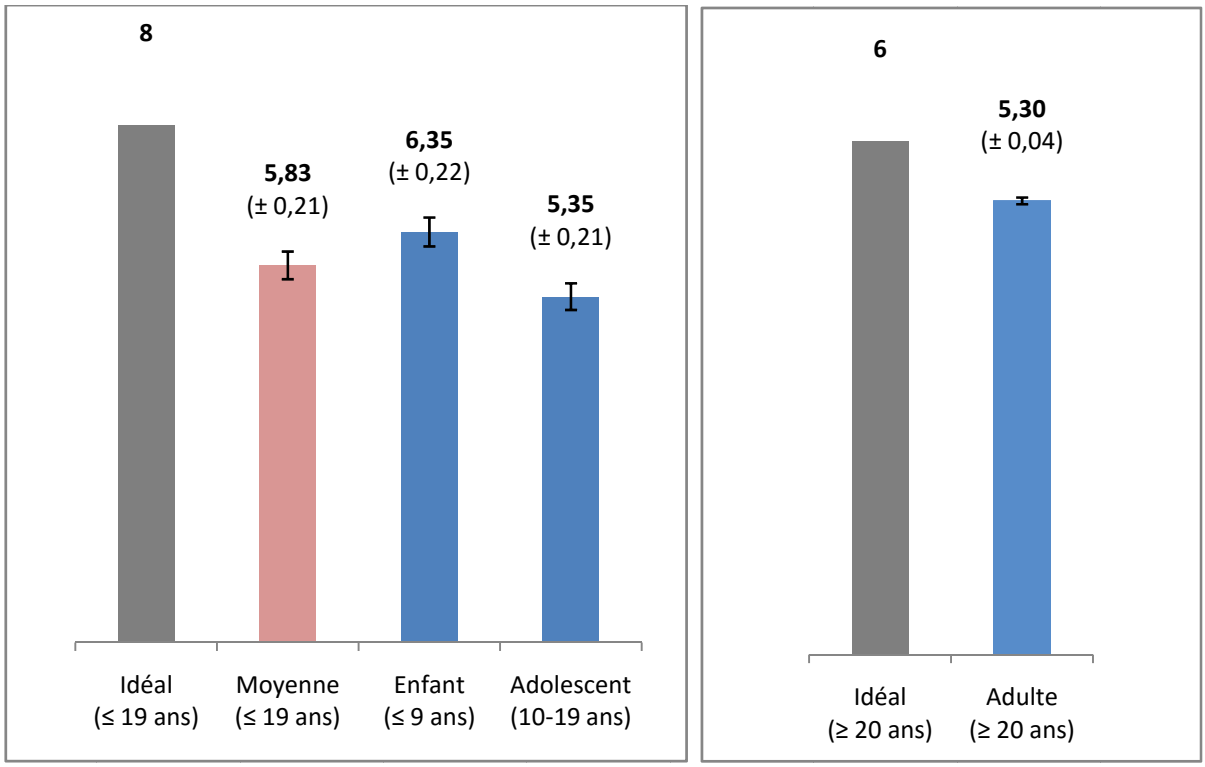


Figure 121 : Scores de radioprotection du patient en fonction de sa catégorie d'âge

3.4.16 La qualité de l'image

La qualité des images observées durant l'étude au service d'Odontologie du CHRU de Nancy est excellente pour 62,8% des clichés et elle est inacceptable pour 22,5% d'entre eux (tableau 26).

	Nombre d'images	Pourcentage
Excellente	712	62,8
Acceptable	166	14,7
Inacceptable	255	22,5
Total	1133	100,00

Tableau 26 : Qualité des images

Plusieurs facteurs susceptibles de modifier la qualité des images ont été étudiés : l'expérience de l'opérateur, l'âge du patient, le type de radiographie, la tenue du capteur et le secteur dentaire radiographié.

L'expérience de l'opérateur pourrait être un paramètre pertinent. Les résultats statistiques ont montré une différence très proche de la significativité (test ANOVA, $F(2,492) = 2,80$; $p = 0,0619$). Nous nous sommes donc permis de faire une comparaison des moyennes 2 à 2. Si l'on compare la qualité des images obtenues par rapport au grade de l'opérateur on remarque que le taux de clichés d'excellente qualité est similaire entre les étudiants en 4ème, 5ème et 6ème année (entre 62 et 63%) mais avec une légère diminution du taux de clichés de qualité inacceptable (de 24 à 20%) au cours de ces 3 années d'apprentissage (figure 122). En

réalité, il n'existe pas de différence significative en terme de qualité moyenne de l'image que l'opérateur soit externe en 4ème, 5ème ou 6ème année. Par contre, la qualité des clichés augmente lorsqu'ils sont réalisés par les praticiens-seniors (73% d'images excellentes et seulement 11% d'images inacceptables) attestant du gain de l'expérience dans la pratique radiographique (test de Fisher, p = 0,0233).

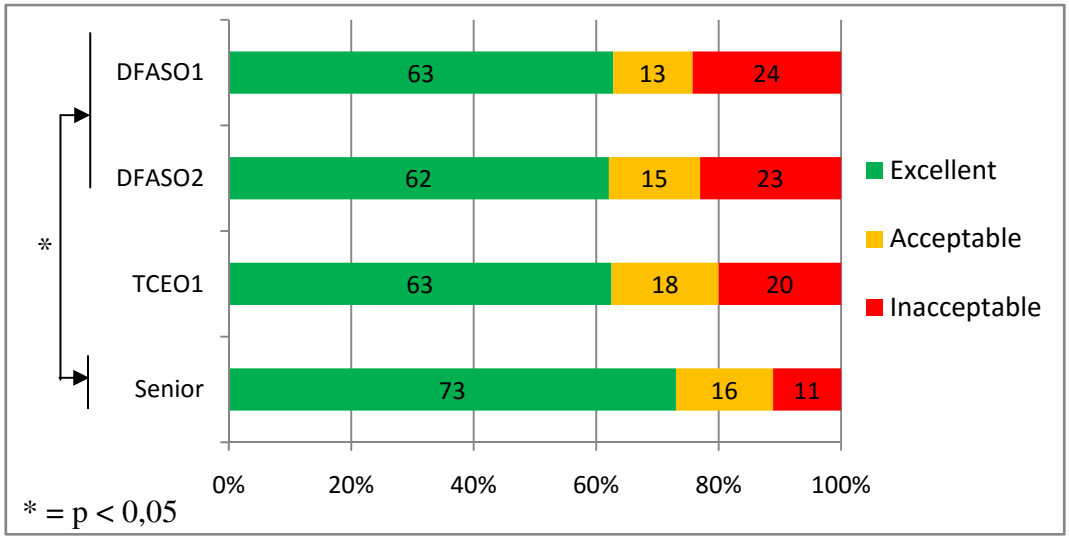


Figure 122 : Qualité des images en fonction du grade de l'opérateur

La qualité des images semble meilleure chez les adultes (64%) que chez les enfants (56%) ou les adolescents (49%) (figure 123) mais sans différence significative (test ANOVA, p > 0,1). L'âge du patient n'est donc pas un facteur pertinent dans la qualité de l'image radiographique.

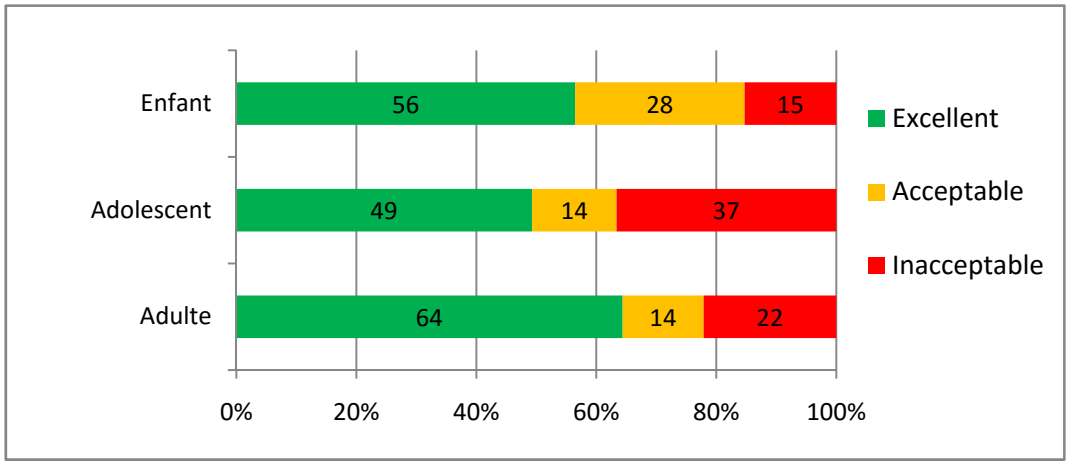


Figure 123 : Qualité des images en fonction de la catégorie d'âge du patient

Si l'on s'intéresse aux différents types de radiographies intra-orales, on remarque que les radiographies rétro-alvéolaires classiques semblent de meilleure qualité que celles avec digue, elles-mêmes supérieures aux rétro-alvéolaires instrumentées (test ANOVA, $F(3,491) = 2,72$; p = 0,0443) (figure 124). Toutefois, en termes de différences significatives, on constate que seules les radiographies rétro-alvéolaires instrumentées sont de moindre qualité lorsqu'on

les compare aux deux autres types de rétro-alvéolaires (tests de Fisher, avec respectivement p = 0,0450 et p = 0,0048).

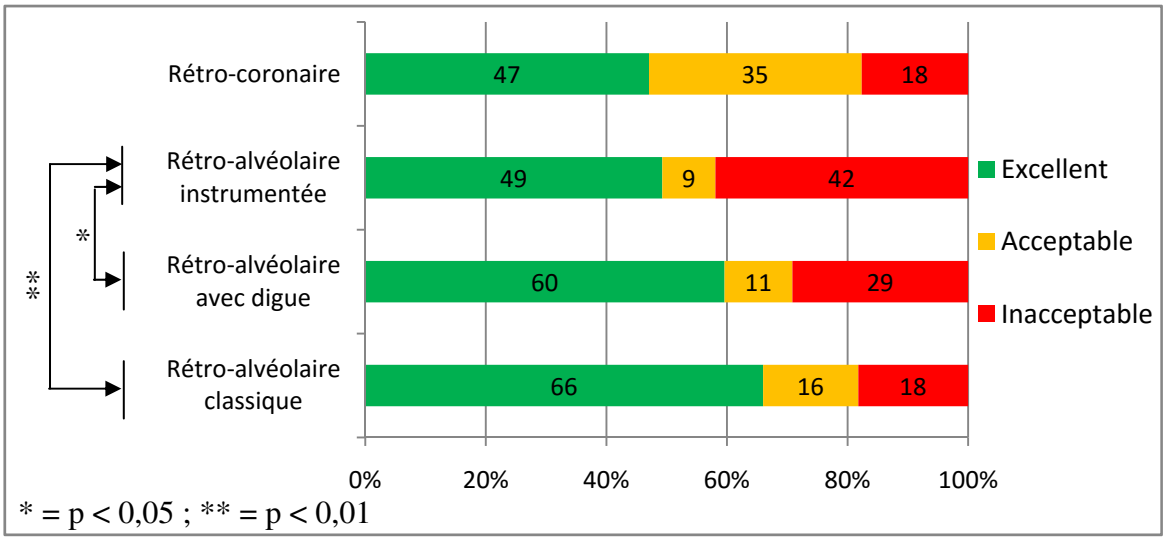


Figure 124 : Qualité des images en fonction du type de radiographie

Pour une qualité d'image optimale, il faut que le capteur soit bien stable dans la cavité orale et positionné correctement en face du cône de visée du générateur. Les résultats montrent que la qualité des radiographies est dépendante de la façon de stabiliser le capteur en bouche, l'utilisation d'un porte-récepteur étant la meilleure solution (test de Student $t(484) = 6,47$; $p < 0,0001$).

En effet, on constate que les clichés pris avec un porte-récepteur aboutissent à plus de 70% d'images d'excellente qualité alors que ceux pris avec le doigt du praticien donnent moins de 50% d'images excellentes. Le taux d'images de qualité inacceptable évolue parallèlement en sens inverse, à un taux de moins de 15% pour les images obtenues avec un porte-récepteur contre plus de 35% pour celles obtenues lorsque c'était le doigt du praticien qui maintenait le capteur en place dans la cavité orale (figure 125). Ainsi, le risque de devoir reprendre la radiographie est doublé lorsque le praticien utilise son doigt plutôt qu'un angulateur pour tenir le capteur.

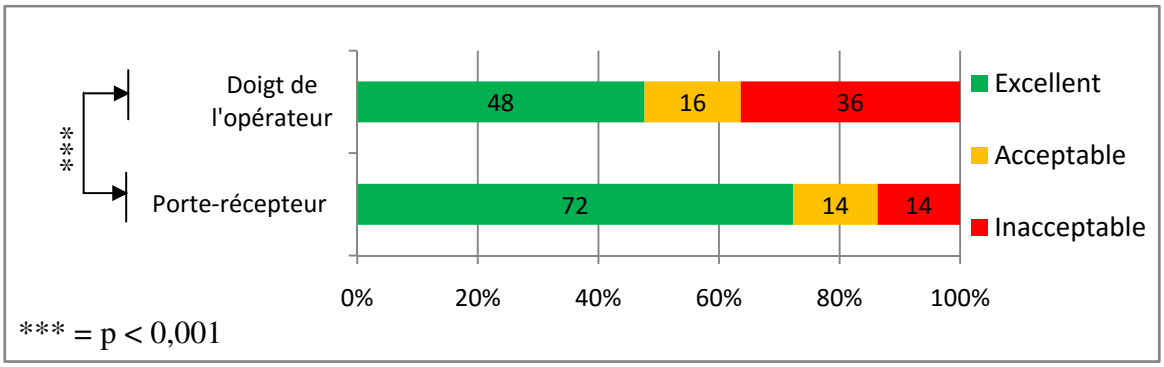


Figure 125 : Qualité des images en fonction de la technique de tenue du récepteur

Concernant la qualité des images en fonction du secteur dentaire radiographié, on observe que les secteurs dentaires antérieurs, incisivo-canins sont plus simples à radiographier (entre 71 et 74% d'images d'excellente qualité, respectivement au maxillaire et à la mandibule) que les secteurs dentaires postérieurs (entre 56 et 61% d'images excellentes, respectivement au maxillaire et à la mandibule) (figure 126).

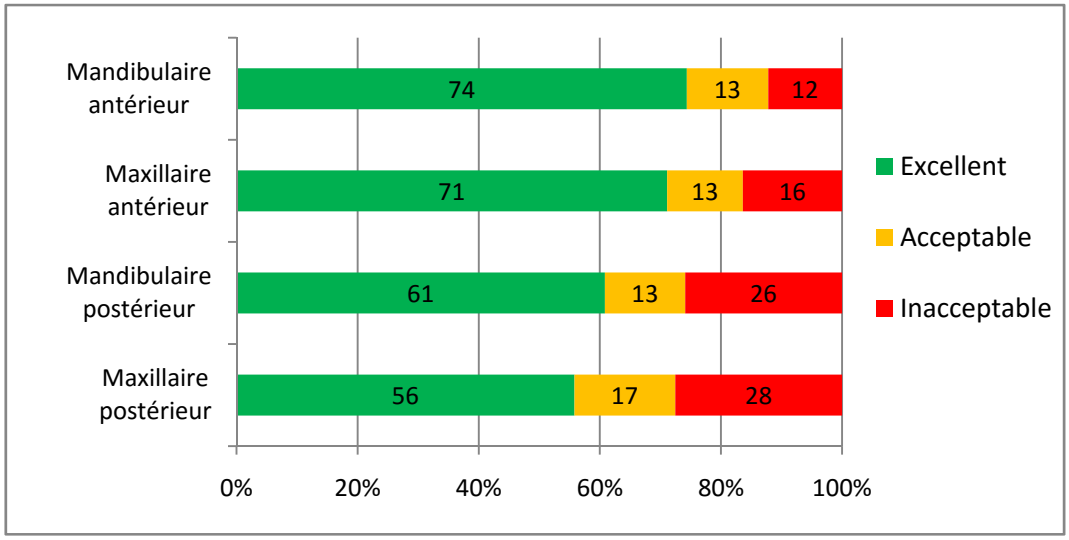


Figure 126 : Qualité des images en fonction du secteur dentaire radiographié

La qualité des images dépend également de la fiabilité des appareillages. Il est donc important de noter que, durant la période d'étude 9 problèmes techniques ont été dénombrés lors de la numérisation de l'image via le scanner VitaScan® de Dürr dental, soit moins de 0,8% d'images inacceptables dues à un problème technique.

3.4.17 Femmes enceintes

Durant l'étude deux femmes enceintes ont subi des examens radiologiques intra-oraux survenant pendant leur deuxième trimestre de grossesse. Toutes deux ont été protégées par un tablier de plomb mais sans collier thyroïdien. Elles étaient coopérantes et ne présentaient pas de réflexe nauséeux. La première a subi deux radiographies rétro-coronaires (une à droite, l'autre à gauche) dont la qualité était moyenne mais exploitable afin de rechercher d'éventuelles caries proximales. La seconde patiente consultait pour le traitement endodontique d'une dent postérieure mandibulaire et a subi une radiographie post-opératoire avec digue en place dont la qualité était excellente. Les étudiants opérateurs, en charge des soins, étaient rassurants et aucune anxiété particulière émanant des patientes n'a été détectée.

3.4.18 Handicapés mentaux

Deux patients adultes présentant un handicap mental léger ont subi des radiographies intra-orales. Ces patients étaient coopérants et ne présentaient pas de réflexe nauséeux. Ils n'ont pas été équipés de protection plombée. Trois radiographies rétro-alvéolaires classiques avec angulateur ont été pratiquées. Pour le premier patient, les opérateurs se sont éloignés de plus de 2 mètres du patient lors du déclenchement et ont obtenu une image de qualité

inacceptable d'un secteur mandibulaire postérieur ; pour le second patient, les opérateurs sont restés à proximité du patient et ont obtenu une image d'excellente qualité au niveau d'un secteur maxillaire antérieur et une image de qualité inacceptable au niveau d'un secteur maxillaire postérieur.

3.4.19 Radiographies occlusales

Durant l'étude, seules deux radiographies occlusales orthocentrées du maxillaire antérieur ont été réalisées.

La première radiographie a été pratiquée par une praticien-senior du service d'Odontologie pédiatrique, ne portant pas son dosimètre, assistée d'une étudiante en 5ème année, sur une enfant de 2 ans accompagnée par l'un de ses parents durant l'examen d'imagerie. L'enfant était coopérante et ne présentait pas de réflexe nauséeux. Elle a été équipée d'un collier thyroïdien mais pas d'un tablier de plomb. Le récepteur de taille 2 était maintenu par l'intermédiaire d'un angulateur tenu par la main de la senior, l'image obtenue était d'excellente qualité.

La seconde radiographie a été réalisée par une praticien-senior du service d'Odontologie chirurgicale, ne portant pas son dosimètre, assistée d'un étudiant en 6ème année, sur une patiente de 23 ans, coopérante, sans réflexe nauséeux, et non équipée de protection plombée. Le récepteur de taille 2 a lui aussi été maintenu par l'intermédiaire d'un angulateur, l'image obtenue était d'excellente qualité.

3.5 Discussion

3.5.1 Coopération des patients

Le taux de coopération des patients du Centre de soins dentaires du CHRU de Nancy est excellent pour les adultes de plus de 20 ans (99,0%), il est plutôt bon pour les adolescents de 10 à 19 ans (93,3%) et les enfants de 9 ans et moins (92,9%) (tableau 22). Concernant les enfants, da Silva Pierro et ses collaborateurs (2008) ont montré, dans leur étude, que la coopération durant une radiographie intra-orale s'améliore significativement avec l'âge (test de Mann-Whitney ; $p < 0,001$) passant de 46% à 3 ans à 95% à 5 ans pour un cliché rétro-coronaire.

3.5.2 Patients et équipements de protection plombée

Pour les patients adultes, 1,0% de la population seulement s'est vu équipé d'un tablier plombé et 0,2% d'un collier thyroïdien durant mon étude (tableau 23). En réalité, ces deux pourcentages sont des biais car ces équipements ont été mis en place par une praticien-senior du service d'Odontologie chirurgicale et un externe en 5ème année sur quelques patients car ces deux travailleurs étaient au courant de mon étude. Lorsqu'ils m'ont vu les observer, ils ont voulu bien faire en ajoutant des protections plombées à leur patient. Après leur avoir parlé, ils m'ont avoué ne pas le faire habituellement. On peut donc dire que le taux réel d'équipement

de protection plombée des patients adultes au Centre de soins dentaires Heydenreich est plus proche des 0%.

D'autres études réalisées à l'étranger ont donné des résultats totalement différents. Pour le tablier de plomb, 100% des praticiens l'utilisaient dans un Centre de soins américain (Goren et al., 1989), 98% l'utilisaient au Brésil (de Melo et Melo, 2008) et 87% l'employaient dans le Michigan (Nakfoor et Brooks, 1992). Pour le collier thyroïdien, 70% des praticiens l'utilisaient au Brésil (de Melo et Melo, 2008), 60% des dentistes l'employaient dans un Centre de soins américain (Goren et al., 1989) et, dans le Michigan, 49% des praticiens utilisaient un collier cervical en plus du tablier plombé (Nakfoor et Brooks, 1992). A l'inverse, près de 50% des praticiens Grecs ne possédaient pas de protections plombées en 2003 (Stavrianou et al., 2005).

Le fait de ne pas équiper un adulte d'une protection plombée en radiologie dentaire conventionnelle n'est pas une mauvaise pratique (ADA et FDA, 2012 ; White et al., 2001). Dans notre étude, nous avons précédemment vu que l'utilisation d'un équipement de protection individuelle ne peut se justifier que pour des raisons psychologiques chez les patients craintifs et dans le cas des femmes enceintes (IRSN, 2015 ; ADF, 2007 ; HAS et al., 2006 ; Cavézian et Pasquet, 2005 ; Cordoliani, 2005). Son utilisation en routine n'est pas indiquée (IRSN, 2015 ; NRPB, 2001).

On constate que le port du tablier plombé par les femmes enceintes est de 100% au service d'Odontologie du CHRU de Nancy, même si cela ne s'appuie que sur l'observation de deux patientes enceintes au cours de l'étude. Les autres femmes enceintes qu'il m'a été permis de voir au CHRU en dehors de la période d'étude étaient elles aussi systématiquement équipées d'un tablier plombé durant les examens d'imagerie dentaire. Le taux d'utilisation du tablier plombé était aussi de 100% pour les femmes enceintes d'un Centre de soins américain (Nakfoor et Brooks, 1992).

Concernant les enfants, ils sont équipés d'un tablier de plomb et d'un collier thyroïdien pour près de 60 et 55% des actes radiologiques intra-buccaux effectués (tableau 23). Pour les adolescents, ces taux sont respectivement d'environ 38 et 31%. Des précautions s'imposant en raison d'une sensibilité tissulaire plus importante chez l'enfant en cours de croissance, le taux d'équipement en protections plombés est donc insuffisant pour cette jeune population. L'utilisation du collier thyroïdien devrait être systématique pour les enfants et les adolescents (The Alliance for Radiation Safety in Pediatric Imaging, 2014 ; Arbab-Chirani et Diemer, 2010 ; OMS, 1987) et le tablier de plomb également pour les enfants et les jeunes adolescents (AAPD, 2014 ; Farman, 2014 ; Commission européenne, 1995). Il faudrait donc que les praticiens-seniors du service d'Odontologie pédiatrique rappellent davantage ces règles de bonne pratique aux externes.

3.5.3 Les tierces personnes

Près de 90% des clichés radiographiques ont été pris sans la présence de tierce personne dans la salle de radiologie (figure 102), ce taux est plutôt satisfaisant.

Les quelques cas où un accompagnant ou un praticien-senior était présent (2% des clichés) sont tout à fait justifiés et ne constituent pas une mauvaise pratique puisque l'accompagnant apporte une aide généralement psychologique au patient, tandis que l'enseignant-senior apporte un savoir-faire technique permettant de faciliter la prise de la radiographie.

Par contre, près de 6% des clichés ont été pris en présence d'un externe supplémentaire alors que sa présence ne se justifiait pas, à l'exception de quelques situations où celui-ci était venu maintenir un patient d'Odontologie pédiatrique agité afin de minimiser le risque de flou cinétique lors de la prise du cliché radiographique. Dans les cas injustifiés, les externes, inactifs à cette période, manquaient de vigilance et ne prenaient pas les précautions nécessaires pour rester éloignés de la source de rayonnement lors de son déclenchement. Souvent en discussion avec les opérateurs, ils en oubliaient les règles élémentaires de radioprotection. Un travail de sensibilisation et un rappel des règles en matière de radioprotection semblent nécessaires pour éviter les expositions inutiles.

Enfin, 3% des radiographies ont été réalisées en présence d'un tiers dont la présence n'était pas souhaitable. Nous pouvons, par exemple, prendre le cas du petit frère d'environ 5 ans d'un jeune patient d'Odontologie pédiatrique qui est resté avec sa mère à moins d'un mètre du tube radiogène lors de la radiographie. Un autre exemple aberrant est celui de l'épouse d'un patient qui s'est installée sur une chaise à côté de la tête de son mari durant un bilan long cône, se retrouvant ainsi à moins de 75 cm du tube radiogène pour la série de 17 radiographies rétro-alvéolaires et dans le faisceau primaire pour 4 de ces radiographies. Ces deux situations sont des fautes graves en radioprotection. Elles peuvent se produire par manque de pratique des externes, plus investis dans le positionnement du capteur et du tube radiogène ou encore par manque d'assurance de leur part, n'osant pas s'opposer à une situation pour ne pas rompre le climat de confiance instauré. Toutefois, il est important de corriger ces fautes, et une simple explication sur les risques encourus devrait être suffisante pour obtenir la compréhension de ces personnes.

3.5.4 Port du dosimètre

Le port du dosimètre par les externes en 4ème et 5ème année est plutôt satisfaisant (respectivement 88 et 85%) alors que les étudiants en 6ème année et les praticiens-seniors sont bien moins consciencieux et délaissent trop souvent cet outil de mesure (figure 105). Néanmoins, certaines réserves sont à souligner quant à la validité de ces derniers résultats. En effet, le taux de 46% observé chez les étudiants en 6ème année n'est pas forcément représentatif de l'ensemble de la promotion puisque seuls 4 étudiants de troisième cycle ont été notés sur ce point. A l'inverse, le taux déjà très bas (35%) des praticiens confirmés (internes inclus), pourrait être plus faible encore car certains des praticiens, au courant de mon étude, allaient chercher leur dosimètre lorsqu'ils me voyaient en observation dans le service d'Odontologie.

Plusieurs raisons peuvent expliquer l'oubli du port du dosimètre : 1) cette obligation est récente au sein de l'établissement, encore mal ancrée dans les habitudes des travailleurs ; 2)

les praticiens-seniors, souvent à la disposition des étudiants qu'ils forment en clinique, n'exercent pas toujours une activité de soins sur une patientèle qui leur est propre ; par ailleurs, étant attachés également à des tâches administratives, d'enseignement et de recherche, ils se sentent donc, peut-être, moins investis et moins soucieux d'une telle obligation qu'ils le seraient s'ils exerçaient à temps plein en cabinet libéral ; 3) les dosimètres sont normalement accrochés à un tableau mural et les opérateurs ne pensent pas systématiquement à aller le récupérer avant de prendre leur service ; 4) il en est de même lorsque le dosimètre n'est pas rangé à sa place mais « abandonné » dans le casier de l'opérateur ; enfin, 5) on notera que certains travailleurs ne prennent pas leur dosimètre délibérément car ils le considèrent comme une contrainte inutile au vu du peu d'expositions auxquels ils sont soumis au cours d'une semaine.

On notera que la période de validité des dosimètres de trois mois n'a pas été évaluée lors des observations, seul le port par le travailleur était pris en compte dans la notation. Or, nous avons constaté que, sans s'en apercevoir, de nombreux étudiants portaient durant des semaines, voire pendant plus d'un mois, un dosimètre dont la date de validité était dépassée ; et même quand cela leur était signalé, ils oubliaient de le changer. La période de port trimestriel n'est donc pas toujours respectée par les externes et ce dysfonctionnement se produit lorsqu'ils entreposent leurs dosimètres personnels dans leurs casiers plutôt que sur le rangement mural prévu à cet effet. Ainsi, la société qui dépose les nouveaux dosimètres ne peut récupérer les anciens le jour même et les étudiants, qui ne vérifient pas la période de validité notée sur les dosimètres, ne voient pas qu'ils doivent en changer et rendre l'ancien pour les analyses dosimétriques.

Pour améliorer le taux de port des dosimètres il faudrait que les praticiens-seniors en charge des étudiants sensibilisent plus les externes à l'importance d'un suivi régulier de la dosimétrie et leur demandent, en début de vacation, d'aller chercher leurs dosimètres lorsqu'ils ne le portent pas. Toutefois, pour exiger le port du dosimètre par l'ensemble des externes, il semble nécessaire que les praticiens-seniors donnent le bon exemple en portant eux-mêmes leurs dosimètres.

Bien que l'exposition aux rayonnements ionisants soit très faible pour les externes qui ne travaillent jamais plus de 20 heures par semaine, le fait de prendre l'habitude de porter systématiquement son dosimètre sur son lieu de travail est un bon réflexe à acquérir durant la formation hospitalo-universitaire afin d'automatiser cette pratique tout au long de la carrière à venir.

3.5.5 La justification

Le taux de justification est excellent car supérieur à 99,7%. Il s'explique par le fait que les étudiants sont plutôt bien sensibilisés aux indications des examens d'imagerie. De plus, la quasi-totalité des actes effectués par les externes sont d'abord validés par un praticien-senior qui confirme ou non l'indication de la ou des radiographies à prendre.

3.5.6 Le réglage du générateur

Le taux de réglage du générateur est plutôt satisfaisant car proche des 90%. Pour la quasi-totalité des travailleurs l'absence de réglage est ponctuelle et généralement due à un oubli. Cela est notamment mis en évidence au cours des bilans long cône où l'opérateur oublie de régler le générateur pour seulement une ou deux radiographies de la série. La seule exception dans mon étude a été un binôme d'externes qui n'a jamais réglé le générateur au cours des deux observations que j'ai faites sur leurs pratiques, la première pour un bilan long cône et la seconde lors de radiographies prises au cours d'un traitement endodontique. Ce genre de comportement inhabituel n'a pas été décelé chez les autres travailleurs.

Le service d'Odontologie du CHRU, étant équipé d'écrans radioluminescents à mémoire, le réglage du générateur impacte peu, voire pas, la qualité de l'image obtenue. Les travailleurs ne sont donc pas alertés en cas de sur- ou sous-exposition du capteur. En pratique, ils devraient l'être par la jauge d'exposition du récepteur qui s'affiche sur l'écran de l'ordinateur lors du développement (figure 27). Cependant, pour avoir discuté avec des externes après ma période d'étude, je me suis rendu compte qu'ils n'avaient pas connaissance de cette fonction et n'adaptaient donc pas le temps d'exposition en fonction de cette jauge lorsqu'ils reprenaient un cliché du même secteur, après une image de qualité inacceptable par exemple.

3.5.7 Position des travailleurs et facteurs associés

Dans notre étude, le positionnement des travailleurs lors de la prise d'un cliché radiographique s'est avéré très mauvais (note moyenne de 0,15 sur 2) et son amélioration dépendante de l'expérience du travailleur, bien que significative, est loin d'être satisfaisante (figure 107). Les travailleurs restent très souvent à moins de deux mètres du tube radiogène et de la tête du patient lors du déclenchement du rayonnement, et ce, sans revêtir un équipement de protection individuel adapté. D'ailleurs, aucun des opérateurs et aides-opérateurs observés n'a utilisé de tablier de plomb pour se protéger lors de l'étude. Les raisons données par les externes lors de brefs entretiens que j'ai menés après mon étude sont multiples et manquent de pertinence : 1) la perte de temps occasionnée par l'équipement d'un tablier, même si cet argument n'est pas vraiment recevable puisque son port et son retrait ne prennent pas plus de quelques secondes ; 2) la peur du ridicule et la volonté de faire comme les autres externes, de ne pas vouloir se distinguer pour ne pas s'exposer à la condescendance ou aux moqueries des camarades ; 3) pour les travailleurs de sexe féminin, le port du tablier de plomb est associé dans l'esprit collectif au fait que la personne est enceinte.

L'enseignement magistral dispensé en radioprotection traite des moyens de protection contre le rayonnement mais si le tablier de plomb est conseillé, il n'est pas imposé pour le praticien lorsque celui-ci ne peut s'éloigner du fauteuil. Une clarification dans le sens d'une obligation pourrait améliorer les bonnes pratiques en matière de radioprotection des travailleurs. Toutefois, c'est l'éloignement de la source de rayonnement en s'abritant derrière un mur ou en reculant d'au moins deux mètres qui reste la principale mesure à mettre en œuvre ; le tablier de plomb n'étant qu'un équipement de protection individuel à n'utiliser que

lorsque l'opérateur n'a d'autre choix que de rester à proximité du patient lors de la radiographie.

Au Brésil, une enquête a produit des résultats plus satisfaisant, montrant qu'environ 27% des praticiens s'abritaient derrière un mur, que 33% se protégeaient des rayonnements par simple éloignement de plus de deux mètres et que 32% s'équipaient d'un tablier de plomb lorsqu'ils ne pouvaient s'éloigner de plus de deux mètres (de Melo et Melo, 2008). Deux études grecques ont montré que près de 90% des praticiens se plaçaient à plus de deux mètres de la source d'irradiation et que moins de 10% d'entre eux restaient à proximité du fauteuil (Stavrianou et al., 2005). De même, une enquête belge a donné de meilleurs résultats que les nôtres avec 25% de praticiens s'abritant derrière un mur, 14% portant un tablier plombé et 8% restant à côté du patient en maintenant le récepteur en bouche ; parmi ces derniers, 12% étaient équipés d'un tablier de plomb (Gijbels et al., 2005). Le meilleur positionnement revient aux praticiens des Etats de Virginie et de Floride aux Etats-Unis, où 83% d'entre eux sortaient de la salle lors de la prise de la radiographie et seulement 0,7% d'entre eux restaient dans la salle à moins de deux mètres (Kaugars et al., 1985).

Plusieurs facteurs peuvent en partie expliquer les très mauvais résultats de notre étude auprès des travailleurs du service d'Odontologie du CHRU de Nancy.

Bien que l'installation des postes de radiologie soit conforme aux normes de radioprotection, la taille exiguë et l'agencement des box de radiologie ne facilitent pas l'application du principe élémentaire de radioprotection pour les travailleurs. Au SAS, chaque box est très étroit et la commande de déclenchement, reliée au générateur fixé au mur, est située à l'opposé de la porte ; ainsi la distance est importante et la longueur du cordon limite quelque peu le positionnement des travailleurs hors du box lors du déclenchement. Le travailleur peut s'affranchir des risques du faisceau primaire de rayonnements mais il ne peut que difficilement éviter la rétrodiffusion générée par le mobilier et le matériel. Dans le service d'Odontologie chirurgicale et conservatrice, le box dédié à la radiologie est lui aussi exiguë ; il est impossible de se placer à plus de deux mètres du tube radiogène et de la tête du patient en restant dans le box ; la seule solution possible et de sortir de la pièce et de s'abriter derrière le mur mais l'opérateur perd alors le contact visuel avec le patient. Seule la salle de Radiologie permet un éloignement plus aisé des travailleurs.

Un autre facteur expliquant ce mauvais positionnement est le fait que les travailleurs laissent près d'une fois sur deux leur main sur le générateur pour le tenir lors du déclenchement. Le travailleur reste ainsi très proche de la source de rayonnement ce qui aboutit à une accumulation de deux mauvaises pratiques. Les générateurs utilisés par les externes du service d'Odontologie sont pour la plupart anciens et le bras articulé maintenant le tube radiogène peut se révéler instable dans certaines positions, générant des déplacements du tube radiogène lorsqu'on le lâche. Ainsi, certains opérateurs ont pris l'habitude de maintenir systématiquement le générateur afin de garantir la stabilité du cône au moment du déclenchement du rayonnement. En pratique, il n'y aurait pas besoin de maintenir autant les générateurs manuellement mais les travailleurs ont pris cette habitude car comme les tubes sont instables dans certaines positions, ils ne se posent plus la question et maintiennent parfois

systématiquement le tube s'en vérifier si celui-ci bouge vraiment. Il serait donc important que le CHRU de Nancy investisse dans des générateurs neufs et performants avec des bras articulés assurant un maintien parfait de la position souhaitée du tube radiogène.

De plus, certains générateurs sont actuellement en panne ce qui ralentit la prise en charge des patients lorsque des examens d'imagerie sont nécessaires. Il est, par exemple, courant que les patients fassent la queue dans le service d'Odontologie conservatrice lors des étapes de contrôle radiologique indispensable lors des traitements endodontiques puisqu'un seul générateur est opérationnel. De même, dans la salle de Radiologie, majoritairement utilisée par le service de Parodontologie, on effectue des bilans long cône qui prennent du temps et qui engendrent parfois de l'attente pour les patients suivants. Cette attente est d'autant plus longue que, depuis la fin de mon étude, un seul des deux générateurs fonctionne. Le besoin d'investissement dans de nouveaux générateurs radiogènes est aussi souhaitable pour cette raison.

Un autre facteur pouvant expliquer le mauvais positionnement du praticien est le fait que 37,6% des clichés sont pris avec un maintien du récepteur par les doigts du praticien. Dans ce cas encore, on a une accumulation de deux mauvaises pratiques puisque l'opérateur se trouve à côté de la tête du patient, voire trois, lorsqu'il tient en plus le cône du générateur avec son autre main. Le maintien du capteur par le doigt du travailleur est théoriquement prohibé et constitue une erreur grave en termes de radioprotection. Il est très élevé dans notre étude si on le compare avec les taux de 8% et 10% retrouvés respectivement au Brésil (de Melo et Melo, 2008) et en Belgique (Gijbels et al., 2005). Pour le reste des clichés radiographiques, 61,9% ont été réalisés à l'aide d'un angulateur, un résultat proche de celui retrouvé dans un Centre de soins américain où 65% des praticiens utilisaient un porte-récepteur (Goren et al., 1989) mais moins bon que ceux d'une ville brésilienne où le taux atteignaient 78%. Par contre, la contribution du patient est généralement faible car elle représente 0,5% des clichés dans notre étude et n'est pas requise par plus de 2% des praticiens canadiens exerçant en Ontario (Bohay et al, 1994). Si le taux de maintien du récepteur en bouche est autant pratiqué à l'aide des doigts de l'opérateur au service d'Odontologie de Nancy, cela s'explique en partie par l'absence de portes-récepteurs dédiés à l'Endodontie. En effet, les résultats ont montré que pour les radiographies avec digue en place, d'une part, et les radiographies instrumentées, d'autre part, la tenue du capteur se faisait plus avec les doigts du praticien que pour les radiographies rétro-alvéolaires classique, d'une part, et les radiographies rétro-coronaires, d'autre part (figure 114) puisque l'utilisation d'un angulateur classique est plus difficile en présence du crampon et du champ opératoire et elle est impossible lors de radiographies instrumentées. De plus, on constate que la qualité des images est inférieure lorsque l'on prend une radiographie en tenant le récepteur avec les doigts plutôt qu'en utilisant un porte-récepteur (figure 125). L'achat de portes-récepteurs dédiés à l'Endodontie, type Endoray® (figure 40), par le CHRU de Nancy semble donc nécessaire tant pour une meilleure radioprotection des travailleurs (moins de maintien des capteurs avec leurs doigts) que pour celle des patients (moins de radiographies à reprendre) conduisant par la même occasion à un gain de temps dans la prise en charge des patients lors des traitements endodontiques.

Les trois facteurs que nous venons de voir ne justifient pas à eux seuls le mauvais placement des travailleurs. Principalement étudiants en apprentissage, ils se concentrent souvent plus sur la finalité du soin, soit présentement l'image radiologique, que le respect des règles pour y parvenir, surtout lorsque celles-ci n'engagent que leur propre personne. Enfin, il faut remettre en cause le comportement des travailleurs qui ne font pas beaucoup d'efforts pour s'éloigner de la source de rayonnement, par gain de temps et plus vraisemblablement par insouciance des conséquences que pourraient engendrer à long terme les rayonnements ionisants dont la dangerosité est invisible et impalpable. Cela se démontre notamment par le positionnement des aides-opérateurs dont la présence n'est d'aucune utilité à proximité de la source de rayonnement mais qui y restent tout de même dans la plupart des cas (figure 108).

Dans l'étude, seul l'éloignement à plus de deux mètres était pris en considération. Il aurait été intéressant d'être plus précis dans la notation en prenant en compte l'éloignement compris entre un et deux mètres du tube radiogène et de la tête du patient. En effet, certains travailleurs pensaient à s'éloigner du fauteuil mais de façon insuffisante. Ce comportement signe une volonté de bonnes pratiques mais qui restent toutefois inadaptées et qu'il est nécessaire de corriger. Un marquage au sol de la distance à respecter pourrait peut-être solutionner ce dysfonctionnement.

Le placement des travailleurs en dehors du faisceau primaire de rayons X est plutôt satisfaisant (note moyenne de 0,93 sur 1 pour les opérateurs) (figure 109), même si, à part le patient, aucune personne ne doit théoriquement se positionner sur le chemin du faisceau primaire puisque c'est la zone la plus chargée en rayonnements ionisants.

Toutefois, n'oublions pas que la présence des seuls doigts de l'opérateur dans la cavité orale du patient correspond à une exposition directe dans le faisceau primaire de rayons X, même si nous avons choisi de dissocier les deux paramètres dans nos observations. La présence des doigts est importante dans notre étude puisque 37,6% des clichés ont été pris de cette façon. Cette exposition des doigts correspond au risque majeur encouru par le praticien. La radiodermite du chirurgien-dentiste était fréquente il y a une trentaine d'années en France et évoluait parfois négativement. Encore considérée comme maladie professionnelle, elle a pratiquement disparu grâce aux progrès technologiques qui ont fortement diminué les doses délivrées. Toutefois, les bonnes pratiques sont primordiales pour conforter la diminution de ce risque.

3.5.8 La radioprotection des travailleurs

Aucune proposition de score de radioprotection des travailleurs n'ayant été trouvée dans la littérature, il nous a semblé intéressant d'en mettre un au point dans mon étude.

Le score de radioprotection obtenu par les opérateurs du service d'Odontologie de Nancy est mauvais (note moyenne de 5,82 sur 14) (figure 115). Cela peut s'expliquer par le fait que les étudiants qui sont en cours d'apprentissage privilégient le positionnement du récepteur et du tube radiogène dans le but d'obtenir une image de qualité, et laissent au second plan les mesures de radioprotection qui les concernent.

On constate que les opérateurs ont tendance à moins se protéger lorsqu'ils s'occupent d'enfants et d'adolescents (figure 117). Ceci peut s'expliquer par le fait que la prise d'une radiographie est plus complexe chez les jeunes et que les opérateurs préféreront tenter d'obtenir une image de bonne qualité au détriment de leur propre protection vis-à-vis des rayonnements ionisants.

Enfin, ce sont les radiographies instrumentées ou avec digue pour lesquels les mesures de radioprotection sont significativement le moins respectées par les opérateurs (figure 116). Cela s'explique notamment par la difficulté, voire l'impossibilité d'utiliser un des angulateurs présent dans le Centre de soins Heydenreich pour ce type de cliché.

En ce qui concerne les aides-opérateurs, les mesures de radioprotection mise en place restent quasiment équivalentes quelque soit le grade de l'aide-opérateur (figure 118), le type de radiographie (figure 119) et le type de patient (figure 120). Mais elles mériteraient d'être améliorées car un aide-opérateur ne devrait qu'exceptionnellement être exposé aux rayonnements ionisants, lorsque le patient est non coopérant par exemple.

3.5.9 La radioprotection des patients

Au service d'Odontologie du CHRU de Nancy, la radioprotection des patients adultes est satisfaisante (note de 5,3 sur 6) (figure 121). Elle est légèrement inférieure pour les enfants et les adolescents (note moyenne de 5,83 sur 8) en raison de l'oubli fréquent d'utilisation du collier thyroïdien et du tablier de plomb sur cette jeune patientèle (tableau 23).

L'utilisation de récepteurs numériques dans le Centre de soins Heydenreich est un paramètre favorisant la radioprotection des patients puisque la dose d'exposition nécessaire pour la technique digitale est significativement inférieure à celle de la technique analogique (ADA et FDA, 2012 ; Zdesar et al., 2008).

Par contre, il pourrait être intéressant que le CHRU de Nancy investisse dans des adaptateurs rectangulaires de collimation (figures 16 et 17) qui pourraient être placés sur les collimateurs cylindriques des générateurs. En effet, l'achat de générateur à collimation rectangulaire ne me semble pas approprié pour un Centre de soins hospitalo-universitaire car les étudiants qui apprennent à prendre des radiographies ont déjà des difficultés pour centrer le faisceau circulaire de rayons X face au récepteur ; un faisceau rectangulaire de rayons X de taille plus réduite et adaptée au récepteur engendrerait encore plus de difficultés et conduirait certainement à davantage de clichés inacceptables. Toutefois, la présence d'adaptateur de collimation rectangulaire pourrait permettre aux étudiants de choisir le type de collimation employé et ainsi d'apprendre, dans un premier temps, à prendre des radiographies avec collimateur circulaire puis, dans un second temps, à utiliser une collimation rectangulaire pour les radiographies faciles pour ensuite privilégier ce type de collimation, meilleure en terme de réduction d'exposition du patient, lorsqu'ils auront acquis plus d'expérience.

3.5.10 La qualité de l'image

Au niveau de la qualité globale des radiographies intra-orales prises au Centre de soins dentaires Heydenreich, 62,8% des images ont été jugées d'excellente qualité et 22,5% de qualité inacceptable (tableau 26). La qualité est donc inférieure aux objectifs que doit se fixer un praticien puisqu'il faudrait que plus de 70% des images soient d'excellente qualité et moins de 10% de qualité inacceptable (tableau 18). Toutefois, ces objectifs ont été fixés pour des praticiens expérimentés. Dans notre étude, la grande majorité des radiographies (90%) sont prises par des étudiants en 4ème et 5ème année avec une expérience professionnelle très limitée. La qualité globale des clichés n'est donc pas mauvaise. De plus, l'utilisation de la radiologie numérique a pour intérêt une réduction significative des doses d'irradiation qui est d'autant plus importante dans les centres de soins hospitalo-universitaires où les étudiants reprennent forcément plus de clichés que des praticiens expérimentés (Lasfargues et al., 2008).

Par ailleurs, si on regarde la qualité des radiographies prises par les praticiens-seniors de notre établissement, on se rend compte qu'ils remplissent quasiment les objectifs fixés pour les praticiens expérimentés puisqu'ils obtiennent 73% d'images excellentes pour 11% d'inacceptables (figure 122) alors qu'ils prennent plus souvent en charge les patients difficiles comme les enfants non coopérants, ou ceux résultant d'échecs répétés des externes.

Plusieurs études sur la qualité des clichés pris par des étudiants en Odontologie ont montré que : 1) 36% des clichés rétro-alvéolaires pris avec la technique de la bissectrice sans porte-récepteur étaient inacceptables (Peker et Alkut, 2009) ; 2) 47% des clichés rétro-alvéolaires pris avec la technique de la bissectrice avec un porte-film Snap-a-ray® et 48% des clichés rétro-coronaires présentaient des erreurs (Mourshed, 1971) ; 3) 50% des clichés rétro-alvéolaires pris avec la technique de la bissectrice et 41% des clichés rétro-alvéolaires pris avec la technique des plans parallèles avec angulateur XCP® présentaient une ou plusieurs erreurs (Mourshed et McKinney, 1972) ; 4) 9% des clichés pris lors de bilans long cône avec la technique des plans parallèles étaient inacceptables (Patel et Greer, 1986). Ainsi, en comparaison, les radiographies prises par les externes en chirurgie dentaire du CHRU de Nancy sont plutôt satisfaisantes.

3.5.11 L'hygiène

L'hygiène au niveau des postes de radiologie n'a pas été évaluée lors de l'étude puisque celle-ci portait sur la radioprotection. Toutefois, un audit sur l'hygiène des mains, mené en 2013 au service d'Odontologie du CHRU de Nancy, avait alors montré que l'hygiène des mains n'avait été réalisée que pour seulement 17,6% des actes de radiologie avec : 13,3% des gestes d'hygiène des mains lors de l'installation du patient au fauteuil de radiologie, 33,3% de gestes au développement de la radiographie et 37,5% des gestes à la sortie du box de radiologie (Thivet, 2014).

Au vu des observations effectuées au cours de mon étude, mon ressenti est que l'hygiène au niveau des postes de radiologie est toujours très mauvais, autant en terme

d'hygiène des mains à l'aide de solution hydro-alcoolique qu'en terme de nettoyage du fauteuil, du plan de travail et du générateur radiogène à l'aide de lingettes nettoyantes-désinfectantes.

3.6 Protocole des bonnes pratiques pour la prise d'une radiographie intra-orale

Tirant profit de mon travail, j'ai réalisé avec les conseils d'un certain nombre d'enseignants-seniors un poster destiné à être affiché dans les salles de Radiologie du Centre de soins. Ce poster, présent en annexe 3, récapitule chronologiquement les étapes de la prise d'une radiographie intra-orale, en prenant en compte les mesures de radioprotection et les mesures d'hygiène indispensables. Il pourra ainsi servir de référence aux externes lorsqu'ils prendront des radiographies intra-orales. Ce protocole n'est pas à appliquer strictement, certaines étapes peuvent être interverties et certaines des tâches peuvent être partagées lors de la présence d'un aide-opérateur.

3.7 Conclusion

La radiographie intra-orale est un outil merveilleux et indispensable à la prise en charge de nos patients. Toutefois, son utilisation ne peut être menée sans un minimum de précautions car l'emploi des rayonnements ionisants, même à faible dose, peut avoir des conséquences sur la santé des personnes exposées, voire sur leurs descendances. Les bonnes pratiques de radiologie intra-orale ne sont pas très contraignantes mais nécessitent quand même un minimum d'implication de la part des praticiens. En France, les bases de radioprotection sont dispensées à l'ensemble des chirurgiens-dentistes au cours d'une formation en radioprotection qui doit être renouvelée tous les 10 ans. Tous les étudiants en Odontologie bénéficient de cette formation au cours de leurs années d'études universitaires.

Pour la première fois au service d'Odontologie du CHRU de Nancy, une étude sur les bonnes pratiques en radiologie intra-orale a été menée d'octobre 2014 à février 2015. Cette étude avait pour but premier d'évaluer l'application pratique des règles de radioprotection des étudiants dans leur exercice professionnel au fauteuil. Elle a permis de dresser un constat mitigé : si le respect des règles est satisfaisant au niveau de la protection des patients, la radioprotection des travailleurs est très mauvaise. Elle a mis en évidence des dysfonctionnements matériels et pratiques mais aussi des fautes humaines : en effet, on peut espérer que certains résultats inciteront le CHRU de Nancy à remplacer les vieux générateurs radiogènes et à investir dans des porte-récepteurs dédiés à l'Endodontie ; par ailleurs, les graves erreurs pratiques doivent être impérativement corrigées par l'intermédiaire d'un enseignement magistral plus ciblé et précis sur certains points mais aussi par une validation pratique de la formation en clinique grâce à des outils d'évaluation comme les scores de radioprotection que nous avons déterminés dans ce travail.

L'étude nous a conduit à réaliser un guide, sous la forme d'un poster, à l'intention des externes et des praticiens-seniors du CHRU de Nancy. Ce poster regroupe les bonnes pratiques de radioprotection mais aussi d'hygiène à mettre en œuvre lors de la prise d'un cliché radiographique intra-orale avec capteur ERLM. Il pourra être affiché dans les box équipés de générateurs radiogènes afin que les travailleurs puissent s'y référer à tout moment. Il constitue également un bon outil pédagogique clinique à présenter lors des cours magistraux dispensés par les enseignants de la faculté d'Odontologie en Radiologie et Radioprotection.

Dans l'avenir, il serait intéressant de produire des études similaires dans d'autres services universitaires d'Odontologie afin d'avoir des données comparatives et de pouvoir découvrir les méthodes d'enseignement et les équipements les plus adaptés pour l'apprentissage et la bonne mise en application des pratiques appropriées en radiologie intra-orale.

Annexes

Annexe 1 : Autorisation du chef de service pour le déroulement de l'étude

---

De : Jean-Marc Martrette <jean-marc.martrette@univ-lorraine.fr> ven., 10 oct. 2014 15:18

1 pièce jointe

Objet : Re: Evaluation des bonnes pratiques de radiologie conventionnelle à la clinique dentaire de Nancy.

À : odonto-clinique <odonto-clinique@univ-lorraine.fr>

Cc : Catherine Strazielle <catherine.strazielle@univ-lorraine.fr>, Alexandre Baudet <alexandre.baudet6@etu.univ-lorraine.fr>

Bonjour à Tous,

Dans le cadre de la thèse d'exercice de Mr Alexandre Baudet (étudiant en T1) sur les bonnes pratiques de radiologie conventionnelle, je vous informe qu'il met en place une enquête à la clinique dentaire de Nancy (Heydenreich). Cette enquête se composera d'observations normalisées lors de la prise de clichés radiographiques endo-buccaux dans les différents postes équipés de générateurs à rayons X (principalement au SAS, en parodontologie et en OC-pathologie). Ces observations débuteront le lundi 13 octobre et se poursuivront vraisemblablement jusqu'au mois d'avril 2015.
Merci de ne pas informer les étudiants de la mise en place de cette étude afin d'éviter qu'ils ne modifient leur pratique habituelle, ce qui biaiserait son enquête.
Merci également de lui réserver un bon accueil.

Cordialement.

Pr Jean-Marc Martrette
responsable du service d'odontologie

CHU NANCY
www.chu-nancy.fr

Annexe 2 : Grille/fiche d'observation

Service :
OC-chir
Radio
SAS
Proth

Grille d'observation en radiologie intra-orale

n° fiche :

Nombre de radios :

	grade + sexe						Port du dosimètre	
	DFASO1	DFASO2	TCEO1	Interne	Senior		oui (1)	non (0)
OP						→		
AO						→		

Patient (sexe : / âge :)	adulte	adolescent	enfant	handicapé	f. enceinte	→	Coop. (O/N)	Nausée (O/N)
Equipement	tablier de plomb (O / N)	collier thyroïdien (O / N)						
Tierce pers.	sans	accompagnant	junior	senior	autre			

Type radio.	RA classique	RA instr.	RA digue	BW	mordu

		Maxillaire postérieur		Mandibulaire postérieur		Maxillaire antérieur		Mandibulaire antérieur	
		OP	AO	OP	AO	OP	AO	OP	AO
Position	hors/mur (2)								
	>2m (2)								
	<2m ac tabl. (1)								
	<2m ss tabl. (0)								
Main sur générateur (1/0)									
Dans faisceau primaire (1/0)									
Tenue film	angulateur (2)								
	dgt patient (1)								
	dgt OP (0)								
Qualité cliché	excellent (2)								
	acceptable (1)								
	inacceptable (0)								
Réglage générateur		oui (1)				non (0)			
Justification		oui (1)				non (0)			

Annexe 3 : Poster destiné à être affiché dans le service d'Odontologie du CHRU de Nancy

Protocole de prise d'un cliché radiographique intra-orale avec écran radioluminescent à mémoire

A. Baudet, R. Balthazard (MCU-PH), F. Camelot (AHU), C. Clément (MCU-PH) et C. Strazielle (PU-PH)

Pré-requis :

- Port du **dosimètre**,
- Anamnèse et examen clinique,
- Justification/indication de l'examen d'imagerie,
- Obtention du consentement éclairé,
- Angulateur adapté sous sachet stérile,
- Capteur de taille adaptée dans pochette plastique propre à usage unique,
- Masque, gants, solution pour friction hydro-alcoolique (FHA) des mains et lingettes détergentes-désinfectantes (dD).

Préparation du patient :

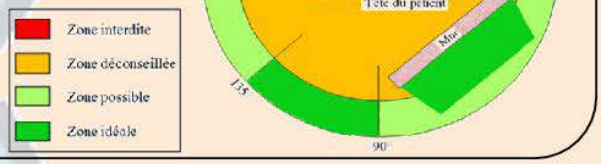
- Explication du déroulement de la prise du cliché,
- Retrait des éléments métalliques amovibles interférents (lunettes, PAPIM, piercing, cadre à digue, …),
- Revêtement du tablier plombé et du collier thyroïdien pour les jeunes patients (< 20 ans) et les patientes enceintes.

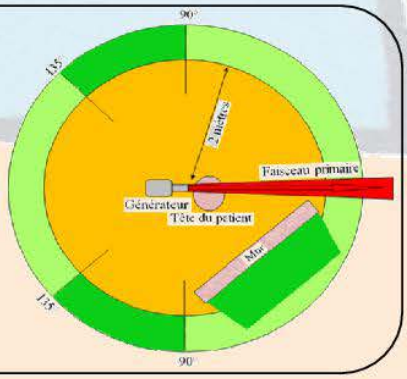
Préparation de l'opérateur :

- Port du masque,
- FHA,
- **Réglage du générateur**,
- Ouverture de l'emballage de l'angulateur,
- Nettoyage avec une lingette dD de la pochette plastique du capteur,
- FHA,
- Port des gants,
- Mise en place du **capteur sur l'angulateur** assemblé avec le bossage en occlusal,
- Positionnement de l'angulateur en bouche avec centrage sur la dent à radiographier,
- Positionnement du cône de visée du générateur parallèlement à la tige de visée de l'angulateur.

Prise du cliché :

- **Sortie de la salle de toute personne non essentielle** (aide-opérateur compris),
- Protection du **praticien derrière un mur ou à plus de 2 mètres** du tube radiogène (à défaut, porter un tablier de plomb), hors du faisceau primaire de rayons X, de préférence dans un angle compris entre 90 et 135°,
- **Absence de maintien manuel du générateur** lors du déclenchement,
- **Absence de maintien digital du récepteur** en bouche par le praticien.





Développement du capteur :

- Récupération de l'angulateur et du capteur,
- Enveloppement du capteur dans une lingette dD,
- Retrait des gants puis du masque,
- FHA,
- Ouverture de la pochette plastique sans en sortir le capteur,
- Développement,
- Insertion du capteur dans une nouvelle pochette plastique.

Image non satisfaisante → retour à la préparation de l'opérateur

Image satisfaisante ↓

Rangement :

- Rangement du capteur,
- Sortie du patient hors de la salle de radiologie,
- Port du masque, des lunettes de protection et des gants,
- Immersion de l'angulateur désassemblé dans un bac de pré-désinfection,
- Dépôt des déchets dans les poubelles dédiées,
- Nettoyage du plan de travail, du générateur et du fauteuil,
- Retrait des gants, du masque et des lunettes de protection,
- FHA.

- European Commission, 2004. *Radiation Protection n°136. European guidelines on radiation protection in dental radiology. The safe use of radiographs in dental practice*. Luxembourg : Office for Official Publications of the European Communities, 116 p.
- INRS, 2009. Médecine et rayonnements ionisants : fiche d'aide à l'analyse des risques en radiologie dentaire endobuccale et textes applicables. *DMT*. 117, 7-18.
- Praveen B.N., Shubhasini A.R., Bhanushree R., et al., 2013. Radiation in dental practice : awareness, protection and recommendations. *J Contemp Dent Pract*. 14(1), 143-148.

Faculté d'Odontologie — CHU NANCY www.chu-nancy.fr — UNIVERSITÉ DE LORRAINE

Bibliographie

1. ABBOTT P., 2000. Are dental radiographs safe? *Aust Dent J*. 45(3), 208-213.
2. AGENCE FRANÇAISE DE NORMALISATION (AFNOR), 1981. *Appareils de radiologie - Construction et essais – Règles : norme française NF C74-100*. La Plaine Saint-Denis : AFNOR, 49 p.
3. AGENCE FRANÇAISE DE NORMALISATION (AFNOR), 2002. *Installations électriques à basse tension : norme française NF C 15-100*. Fontenay-aux-Roses : UTE, 476 p.
4. AGENCE FRANÇAISE DE NORMALISATION (AFNOR), 2011. *Énergie nucléaire - Signalisation applicable aux rayonnements ionisants - Symbole de base : NF M 60-101*. La Plaine Saint-Denis : AFNOR, 5 p.
5. AGENCE FRANÇAISE DE NORMALISATION (AFNOR), 2011. *Installations pour la production et l'utilisation de rayonnements X - Exigences de radioprotection : NF C15-160*. La Plaine Saint-Denis : AFNOR, 41 p.
6. AGENCE FRANÇAISE DE NORMALISATION (AFNOR), 2013. *Photographie - Film et paquets de films pour la radiographie dentaire intrabuccale – Spécifications : NF EN ISO 3665*. Genève : ISO, 17 p.
7. AGENCE FRANÇAISE DE NORMALISATION (AFNOR), 2015. *Dispositifs de protection radiologique contre les rayonnements X pour diagnostic médical - Partie 3 : vêtements et lunettes de protection radiologique, écrans de protection pour le patient : NF EN 61331-3*. Fontenay-aux-Roses : UTE, 34 p.
8. AGENCE NATIONALE POUR LE DEVELOPPEMENT DE L'EVALUATION MEDICALE (ANDEM), 1996. *Recommandations et référence dentaires 1996*. Paris : ANDEM. 164 p.
9. ALCARAZ M., PARRA C., MARTINEZ-BENEYTO Y., et al., 2009. Is it true that the radiation dose to which patients are exposed has decreased with modern radiographic films? *Dentomaxillofac Radiol*. 38(2), 92–97.
10. ALCARAZ M., VELASCO E., MARTINEZ-BENEYTO Y., et al., 2010. The status of Spain's dental practice following the European Union directive concerning radiological installations : 11 years on (1996-2007). *Dentomaxillofac Radiol*. 39(8), 468-474.
11. ALKURT M.T., PEKER I., BALA O., et al., 2007. In vitro comparison of four different dental X-ray films and direct digital radiography for proximal caries detection. *Oper Dent*. 32(5), 504-509.
12. AMERICAN ACADEMY OF PEDIATRIC DENTISTRY (AAPD), 2014. Guideline on prescribing dental radiographs for infants, children, adolescents, and persons with special health care needs. *Pediatr Dent*. 36(6), 314-316.
13. AMERICAN DENTAL ASSOCIATION (ADA), 2006. The use of dental radiographs : update and recommendations. *J Am Dent Assoc*. 137(9), 1304-1312.
14. AMERICAN DENTAL ASSOCIATION (ADA), FOOD AND DRUG ADMINISTRATION (FDA), 2012. *Dental radiographic examinations : recommandations for patient selection and limiting radiation exposure* [en ligne]. Disponible sur : http://www.ada.org/~/media/ADA/Member%20Center/FIles/Dental_Radiographic_Examinations_2012.ashx [consulté le 26/06/15]

15. AMMERICH M., 2013. *La radioactivité sous surveillance et autres notions en radioprotection*. Les Ulis : EDP Sciences, 176 p.
16. ANISSI H.D., GEIBEL M.A., 2014. Intraoral radiology in general dental practices - a comparison of digital and film-based X-ray systems with regard to radiation protection and dose reduction. *Rofo*. 186(8), 762-767.
17. APS J.K., 2010. Flemish general dental practitioners' knowledge of dental radiology. *Dentomaxillofac Radiol*. 39(2), 113–118.
18. ARBAB-CHIRANI R. et DIEMER F., 2010. Imagerie radiologique : le point en 2010. *Inf Dent*. 92(22), 27-34.
19. AROUA A., BUCHILLIER-DECKA I., DULA K., et al., 2004. Radiation exposure in dental radiology: a 1998 nationwide survey in Switzerland. *Dentomaxillofac Radiol*. 33(4), 211-219.
20. ASHA M.L., CHATTERJEE I., PATIL P., et al., 2015. Dosimetry in dentistry. *Indian J Dent Res*. 26(2), 118-125.
21. ASSOCIATION DENTAIRE FRANÇAISE (ADF), 2007. *Guide de la radiologie en cabinet dentaire*. Paris : Association Dentaire Française, 80 p.
22. ASSOCIATION DENTAIRE FRANÇAISE (ADF), 2012. *Grille technique d'évaluation des règles de radioprotection en cabinets dentaires*. Paris : Association Dentaire Française, 103 p.
23. ASSOCIATION DENTAIRE FRANÇAISE (ADF), 2014. *Grille technique d'évaluation des règles de radioprotection en cabinets dentaires. Mise à jour 2014*. Paris : Association Dentaire Française, 7 p.
24. ATCHISON K.A., WHITE S.C., FLACK V.F., et al., 1995. Assessing the FDA guidelines for ordering dental radiographs. *J Am Dent Assoc*. 126(10), 1372-1383.
25. ATOMIC ENERGY REGULATORY BOARD (AERB), 2001. *Safety code for medical diagnostic x-ray equipment and installations* [en ligne]. Disponible sur : http://www.aerb.gov.in/AERBPortal/pages/Hindi/t/XRay/med-2.PDF [consulté le 26/06/15]
26. ATTAL S. et KALEKA R., 2008. Démarche qualité pour la radiologie intrabuccale en odontologie : pourquoi, comment ? *Réal Clin*. 19(2), 101-113.
27. AUBERT B., 2010. Organisation de la radioprotection en France. *J Radiol*. 91(11) : 1201-1206
28. AUTORITE DE SURETE NUCLEAIRE (ASN), 2013. *Présentation des principales dispositions réglementaires de radioprotection applicables en radiologie médicale et dentaire* [en ligne]. Disponible sur : http://professionnels.asn.fr/Activites-medicales/Guides-de-l-ASN-dans-le-domaine-medical/Presentation-des-principales-dispositions-reglementaires-de-radioprotection-applicables-en-radiologie-medicale-et-dentaire [consulté le 26/06/15]
29. BAECHLER S., MONNIN P., AROUA A., et al., 2006. Situation actuelle de l'irradiation du patient en radiologie dentaire. *Radioprotection*. 41(3), 333-344.
30. BERKHOUT W.E., SANDERINK G.C.H., VAN DER STELT P.F., 2002. A comparison of digital and film radiography in Dutch dental practices assessed by questionnaire. *Dentomaxillofac Radiol*. 31(2), 93–99.
31. BERKHOUT W.E., SANDERINK G.C.H., VAN DER STELT P.F., 2003. Does digital

radiography increase the number of intraoral radiographs? A questionnaire study of Dutch dental practices. *Dentomaxillofac Radiol*. 32(2), 124–127.
32. BHASKARAN V., QUALTROUGH A.J.E., RUSHTON V.E., et al., 2005. A laboratory comparison of three imaging systems for image quality and radiation exposure characteristics. *Int Endod J*. 38(9), 645-652.
33. BOHAY R.N., KOGON S.L., STEPHENS R.G., 1994. A survey of radiographic techniques and equipment used by a sample of general dental practitioners. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*. 78(6), 806-810.
34. BOIRIE J., 2013. *Performances diagnostiques du DIAGNOdent sur dents temporaires : revue systématique de la littérature* [en ligne]. [Thèse pour le diplôme d'état de docteur en chirurgie dentaire]. Nice : Université de Nice Sophia-Antipolis. 71 p. Disponible sur : http://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-00932268/document [consulté le 26/06/15]
35. BONNET E. et CHAUVEL B., 2014. Examens radiographiques dentomaxillaires : principes, matériels et indications. *Réal Clin*. 25(2), 93-102.
36. BONNET E., 2008. Imagerie numérique intrabuccale. *Réal Clin*. 19(2), 115-123.
37. BRENNER D.J., DOLL R., GOODHEAD D.T., et al., 2003. Cancer risks attributable to low doses of ionizing radiation: assessing what we really know. *Proc Natl Acad Sci USA*. 100(24), 13761-13766.
38. BROCKLEBANK L.M., 1998. The quality of the X-ray image : fault analysis. *Dental Update*. 25(5), 188-194.
39. CARMICHAEL F., 2005. The consistent image - how to improve the quality of dental radiographs : 1. Quality scale, operator technique, X-ray set. *Dental Update*. 32(10), 611-616.
40. CAVEZIAN R. et PASQUET G., 2005. *L'imagerie médicale en odontologie*. Paris : Editions CdP, 183 p.
41. CEDERBERG R.A., FREDERIKSEN N.L., Benson B.W., et al., 1997. Effect of the geometry of the intraoral position-indicating device on effective dose. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*. 84(1), 101-109.
42. CENTERS FOR DISEASE CONTROL AND PREVENTION (CDC), 2003. *Guidelines for Infection Control in Dental Health-Care Settings – 2003* [en ligne]. Disponible sur : http://www.cdc.gov/mmwr/preview/mmwrhtml/rr5217a1.htm [consulté le 16/05/15]
43. CERI D., GRANGE S. et TREVOR M.M., 2005. Radiation protection practices and related continuing professional education in dental radiography : a survey of practitioners in the North-east of England. *Radiography*. 11(4), 255–261.
44. CLAUS E.B., CALVOCORESSI L., BONDY M.L., et al., 2012. Dental x-rays and risk of meningioma. *Cancer*. 118(8), 4530-4537.
45. CLEE T. et SOUEIDAN A., 2014. Evolution de l'imagerie en parodontologie du bilan préopératoire à la maintenance. *Réal Clin*. 25(2), 147-154.
46. COCHET C., 2013. *Santé bucco-dentaire et grossesse : Connaissances et attitudes des praticiens de périnatalité en Lorraine*. [Thèse pour le diplôme d'état de docteur en chirurgie dentaire]. Nancy : Université de Lorraine, 135 p. Disponible sur : http://docnum.univ-lorraine.fr/public/BUPHA_TD_2013_COCHET_CAROLINE.pdf [consulté le 16/05/15]
47. COMMISSION EUROPEENNE, 1995. *Radiation protection n° 81. Radiation*

protection and quality assurance in dental radiology. The safe use of radiographs in dental practice. Luxembourg : Office for Official Publications of the European Communities, 22 p.

48. COMMISSION EUROPEENNE, 2004. *Radiation Protection n°136. European guidelines on radiation protection in dental radiology. The safe use of radiographs in dental practice*. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 116 p.
49. CONSEIL DE L'UNION EUROPÉENNE, 2014. *Directive 2013/59/Euratom du conseil du 5 décembre 2013 fixant les normes de base relatives à la protection sanitaire contre les dangers résultant de l'exposition aux rayonnements ionisants et abrogeant les directives 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom et 2003/122/Euratom*. Journal officiel de l'Union européenne du 17 janvier 2014.
50. CONSEIL NATIONAL DE L'ORDRE DES MEDECINS, 1998. *Existe-t-il une limite d'âge des patients dans l'exercice de la pédiatrie ?* [en ligne]. Disponible sur : http://www.conseil-national.medecin.fr/article/existe-t-il-une-limite-d-age-des-patients-dans-l-exercice-de-la-pediatrie-712 [consulté le 16/05/15]
51. CORDOLIANI Y.S. et FOEHRENBACH H., 2008. *Radioprotection en milieu médical. Principes et mise en pratique*. 2ème édition. Issy-les-Moulineaux : Elsevier Masson, 215 p.
52. CORDOLIANI Y.S., 2005. Explorations radiologiques en odontostomatologie dosimétrie et estimation du risque. *EMC-Stomatologie*. 1, 163–174.
53. DA SILVA PIERRO V.S., BARCELOS R., DE SOUZA I.P.R., et al., 2008. Pediatric Bitewing Film Holder : Preschoolers' Acceptance and Radiographs' Diagnostic Quality. *Pediatr Dent*. 30(4), 342-347.
54. DALSTEIN A., CAMELOT F., LACZNY E., et al., 2015. Prise en charge des urgences chez la femme enceinte : la fin des idées reçues… *Inf Dent*. 17(96), 42-56.
55. DANFORTH R.A. et TORABINEJAD M., 1990. Estimated radiation risks associated with endodontic radiography. *Endod Dent Traumatol*. 6(1), 21-25.
56. DE MELO M.F.B. et MELO S.L.S., 2008. Radioprotection in dentistry offices. *Cien Saude Colet*. 13(2), 2163–2170.
57. DE SANTIS M., DI GIANANTONIO E., STRAFACE G., et al., 2005. Ionizing radiations in pregnancy and teratogenesis : a review of literature. *Reprod Toxicol*. 20(3), 323-329.
58. DICTIONNAIRE MEDICAL DE L'ACADEMIE DE MEDECINE, 2015. *Bergognié et Tribondeau (loi de)* [en ligne]. Disponible sur : http://dictionnaire.academie-medecine.fr/?q=Bergogni%C3%A9%20et%20Tribondeau%20(loi%20de) [consulté le 16/05/15]
59. ESPELID I., MEJARE I. et WEERHEIJM K., 2003. EAPD guidelines for use of radiographs in children. *Eur J Paediatr Dent*. 4(1), 40-48.
60. FARMAN A.G., 2014. Image Gently : Enhancing Radiation Protection During Pediatric Imaging. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol*. 117(6), 657-658.
61. FAVA L.R. et DUMMER P.M., 1997. Periapical radiographic techniques during endodontic diagnosis and treatment. *Int Endod J*. 30(4), 250-261.
62. FOUCART J.M., 2007. *La radioprotection en odontologie : réglementation française et*

nouvelles normes européennes. 2ème édition. Rueil-Malmaison : Editions CdP, 126 p.
63. GAFFIELD M.L., GILBERT B.J., MALVITZ D.M., et al., 2001. Oral health during pregnancy : an analysis of information collected by the pregnancy risk assessment monitoring system. *J Am Dent Assoc*. 132(7), 1009-1016.
64. GAMBINI D.J. et GRANIER R., 2007. *Manuel pratique de radioprotection*. 3ème édition. Paris : Lavoisier, 666 p.
65. GAMBINI D.J., SAUREL D., CAUSSE E., et al., 2009. L'exposition professionnelle aux rayonnements ionisants à l'assistance publique – Hôpitaux de Paris en 2006. *Arch Mal Prof Env*. 70(1), 67-73.
66. GEIST J.R. et KATZ J.O., 2002. The use of radiation dose-reduction techniques in the practices of dental faculty members. *J Dent Educ.* 66(6), 697-702.
67. GIBBS S.J., 1982. Biological effects of radiation from dental radiography. Council on Dental Materials, Instruments, and Equipment. *J Am Dent Assoc*. 105(2), 275-81.
68. GIBBS S.J., PUJOL A., CHEN T.S., et al., 1984. Patient risk from interproximal radiography. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*. 58(3), 347-354.
69. GIGUERE J.Y. et JOLY L., 2010. *La radioprotection en radiodiagnostic*. 3ème édition. Montréal : CCDMD, 172 p.
70. GIJBELS F., DEBAVEYE D., VANDERSTAPPEN M, et al., 2005. Digital radiographic equipment in the Belgian dental office. *Radiat Prot Dosimetry*. 117(1-3), 309-312.
71. GOREN A.D., LUNDEEN R.C., DEAHL II S.T., et al., 2000. Updated quality assurance self-assessment exercise in intraoral and panoramic radiography. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*. 89(3), 369-374.
72. GOREN A.D., SCIUBBA J.J., FRIEDMAN R., et al., 1989. Survey of radiologic practices among dental practitioners. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 67(4), 464-468.
73. GUYOT M., 2011. *Choix du récepteur en radiologie dentaire intra-orale : enquête réalisée auprès d'une population de chirurgiens-dentistes de l'est de la France* [en ligne]. [Thèse pour le diplôme d'état de docteur en chirurgie dentaire]. Nancy : Université de Lorraine, 146 p. Disponible sur : http://docnum.univ-lorraine.fr/public/SCDPHA_TD_2011_GUYOT_MELANIE.pdf [consulté le 26/06/15]
74. HAUTE AUTORITE DE SANTE (HAS), 2011. *Enjeux et spécificités de la prise en charge des enfants et des adolescents en établissement de santé* [en ligne]. Disponible sur : http://www.has-sante.fr/portail/upload/docs/application/pdf/2012-02/20120213_guide_pec_enfant_ado.pdf [consulté le 26/06/15]
75. HAUTE AUTORITE DE SANTE (HAS), DIRECTION GENERALE DE LA SURETE NUCLEAIRE ET DE LA RADIOPROTECTION (DGSNR) ET INSTITUT DE RADIOPROTECTION ET DE SURETE NUCLEAIRE (IRSN), 2006. *Guide des indications et des procédures des examens radiologiques en odontostomatologie : recommandations pour les professionnels de santé*. [en ligne]. Disponible sur : http://www.irsn.fr/FR/professionnels_sante/documentation/Documents/guide_exam_rx%20dentaire_oct2006.pdf [consulté le 26/05/15]
76. HELMROT E., CARLSSON G.A. et ECKERDAL O., 1994. Effects of contrast equalization on energy imparted to the patient : a comparison of two dental generators and two types of intraoral film. *Dentomaxillofac Radiol.* 23(2), 83-90.

77. HOKETT S.D., HONEY J.R., RUIZ F., et al., 2000. Assessing the effectiveness of direct digital radiography barrier sheaths and finger cots. *J Am Dent Assoc*. 131(4), 463-467.
78. HORNER K. et HIRSCHMANN P.N., 1990. Dose reduction in dental radiography. *J Dent*. 18(4), 171-184.
79. HORNER K., 1994. Review article: radiation protection in dental radiology. *The Br J Radiol.*. 67(803), 1041-1049.
80. HORN-ROSS P.L., LJUNG B.M. et MORROW M., 1997. Environmental factors and the risk of salivary gland cancer. *Epidemiology*. 8(4), 414-419.
81. INSTITUT DE RADIOPROTECTION ET DE SURETE NUCLEAIRE (IRSN) et INSTITUT DE VEILLE SANITAIRE (InVS), 2006. *Exposition médicale de la population française aux rayonnements ionisants : état des lieux pour la mise en place d'un système pérenne d'information sur l'exposition médicale des patients aux rayonnements ionisants* [en ligne]. Disponible sur : http://www.irsn.fr/FR/expertise/rapports_expertise/Documents/radioprotection/IRSN_INVS_2006_Exposition_medicale_population_rayonnements_ionisants.pdf [consulté le 26/08/15]
82. INSTITUT DE RADIOPROTECTION ET DE SURETE NUCLEAIRE (IRSN), 2006. *La radioprotection des travailleurs. Activité de l'IRSN en 2005 dans le domaine de la gestion de la radioprotection* [en ligne]. Disponible sur : http://www.irsn.fr/FR/Larecherche/publications-documentation/Publications_documentation/BDD_publi/DRPH/SER/Documents/Bilan_annuel_RP-travailleurs2005.pdf [consulté le 26/08/15]
83. INSTITUT DE RADIOPROTECTION ET DE SURETE NUCLEAIRE (IRSN), 2008a. La r*adioprotection des travailleurs. Bilan 2006 de la surveillance des travailleurs exposés aux rayonnements ionisants en France* [en ligne]. Disponible sur : http://www.irsn.fr/fr/expertise/rapports_expertise/documents/radioprotection/irsn_bilan_annuel_travailleurs_2006.pdf [consulté le 26/08/15]
84. INSTITUT DE RADIOPROTECTION ET DE SURETE NUCLEAIRE (IRSN), 2008b. *La radioprotection des travailleurs. Bilan 2007 de la surveillance des travailleurs exposés aux rayonnements ionisants en France* [en ligne]. Disponible sur : http://www.irsn.fr/fr/expertise/rapports_expertise/documents/radioprotection/irsn_bilan_annuel_travailleurs_2007.pdf [consulté le 26/08/15]
85. INSTITUT DE RADIOPROTECTION ET DE SURETE NUCLEAIRE (IRSN), 2009. *La radioprotection des travailleurs. Bilan 2008 de la surveillance des travailleurs exposés aux rayonnements ionisants en France* [en ligne]. Disponible sur : http://www.irsn.fr/fr/expertise/rapports_expertise/documents/radioprotection/irsn_bilan_annuel_travailleurs_2008.pdf [consulté le 26/08/15]
86. INSTITUT DE RADIOPROTECTION ET DE SURETE NUCLEAIRE (IRSN), 2010. *La radioprotection des travailleurs. Exposition professionnelle aux rayonnements ionisants en France : bilan 2009* [en ligne]. Disponible sur : http://www.irsn.fr/FR/expertise/rapports_expertise/Documents/radioprotection/IRSN_bilan_annuel_travailleurs_2009.pdf [consulté le 26/08/15]
87. INSTITUT DE RADIOPROTECTION ET DE SURETE NUCLEAIRE (IRSN), 2011a.

Grossesse et exposition aux rayonnements ionisants [en ligne]. Disponible sur : http://www.irsn.fr/FR/professionnels_sante/prestations/Documents/uem_grossesse_v2011.pdf [consulté le 26/08/15]

88. INSTITUT DE RADIOPROTECTION ET DE SURETE NUCLEAIRE (IRSN), 2011b. *La radioprotection des travailleurs. Exposition professionnelle aux rayonnements ionisants en France : bilan 2010* [en ligne]. Disponible sur : http://www.irsn.fr/fr/expertise/rapports_expertise/documents/radioprotection/irsn_bilan_annuel_travailleurs_2010.pdf [consulté le 26/08/15]
89. INSTITUT DE RADIOPROTECTION ET DE SURETE NUCLEAIRE (IRSN), 2012a. *La radioprotection des travailleurs. Exposition professionnelle aux rayonnements ionisants en France : bilan 2011* [en ligne]. Disponible sur : http://www.irsn.fr/fr/expertise/rapports_expertise/documents/radioprotection/irsn_bilan_annuel_travailleurs_2011.pdf [consulté le 26/08/15]
90. INSTITUT DE RADIOPROTECTION ET DE SURETE NUCLEAIRE (IRSN), 2012b. L'aptitude médicale pour des salariées enceintes exposées. *Repères*. 13, 17-19.
91. INSTITUT DE RADIOPROTECTION ET DE SURETE NUCLEAIRE (IRSN), 2013a. *La radioprotection des travailleurs. Exposition professionnelle aux rayonnements ionisants en France : bilan 2012* [en ligne]. Disponible sur : http://www.irsn.fr/FR/expertise/rapports_expertise/Documents/radioprotection/IRSN_bilan_annuel_travailleurs_2012.pdf [consulté le 26/08/15]
92. INSTITUT DE RADIOPROTECTION ET DE SURETE NUCLEAIRE (IRSN), 2013b. Que faire en cas de dépassement de dose ? *Repères*. 17, 17-19.
93. INSTITUT DE RADIOPROTECTION ET DE SURETE NUCLEAIRE (IRSN), 2014. *Exposition de la population française aux rayonnements ionisants liée aux actes de diagnostic médical en 2012* [en ligne]. Disponible sur : http://www.irsn.fr/FR/expertise/rapports_expertise/Documents/radioprotection/IRSN-PRP-HOM-2014-6_Exposition-France-rayonnements-diagnostic-medical-2012.pdf [consulté le 26/08/15]
94. INSTITUT DE RADIOPROTECTION ET DE SURETE NUCLEAIRE (IRSN), 2015. *FAQ Radiologie dentaire* [en ligne]. Disponible sur : http://www.irsn.fr/fr/professionnels_sante/faq/pages/faq_radiologie_dentaire.aspx#.VVOb3_ntmko [consulté le 16/05/15]
95. INSTITUT NATIONAL DE RECHERCHE ET DE SECURITE (INRS), 2009. Médecine et rayonnements ionisants : fiche d'aide à l'analyse des risques en radiologie dentaire endobuccale et textes applicables. *DMT*. 117, 7-18.
96. INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION (ICRP), 2000. Pregnancy and medical radiation. *Ann ICRP*. 30(1), 37 p.
97. INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION (ICRP), 2007a. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. *Ann ICRP*. 37(2-4), 410 p.
98. INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION (ICRP), 2007b. Radiological Protection in Medicine. *Ann ICRP*. 37(6), 65 p.
99. INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION (ICRP), 2010. *Radiological protection education and training for healthcare staff and students*

[en ligne]. Disponible sur : http://www.icrp.org/docs/ICRP_Report-RP_Education_and_Training_for_Healthcare_Staff_and_Students(for_Consultation).pdf [consulté le 26/06/15]

100. JONES P., REYCHLER H., ENGELS H., et al., 2007. Exposition radiologique du patient en médecine dentaire : comparaison des doses délivrées par différentes techniques. *Rev Belge Med Dent*. 62(1), 4-24.
101. JORGENSEN T.J., 2013. Dental x-rays and risk of meningioma. *Cancer*. 119(2), 463.
102. KAEPPLER G., DIETZ K, HERZ K. et REINERT S., 2007. Factors influencing the absorbed dose in intraoral radiography. *Dentomaxillofac Radiol*. 36(8), 506-513.
103. KAFFE I., LITTNER M.M. et KUSPET M.E., 1984. Densitometric evaluation of intra-oral X-ray films : Ektaspeed versus Ultraspeed. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*. 57(3), 338–342.
104. KAFFE I., LITTNER M.M., SHLEZINGER T., et al., 1986. Efficiency of the cervical lead shield during intraoral radiography. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*. 62(6), 732-736.
105. KAUGARS G.E., BROGA D.W. ET COLLETT W.K., 1985. Dental radiologic survey of Virginia and Florida. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*. 60(2), 225-229.
106. KIEFER H., LAMBRECHT J.T. et ROTH J., 2004. Dose exposure from analog and digital full mouth radiography and panoramic radiography. *Schweiz Monatsschr Zahnmed*. 114(7), 283-287.
107. LASFARGUES J.J., BONTE E. et BUCH D., 2008. De l'argentique au numérique un pari gagné. *Réal Clin*. 19(2), 125-137.
108. LAW C.S., DOUGLASS J.M., FARMAN A.G., et al., 2014. The image gently in dentistry campaign : partnering with parents to promote the responsible use of x-rays in pediatric dentistry. *Pediatr Dent*. 36(7), 458-459.
109. LE DENMAT D., 2011. *Contrôle qualité en radiologie*. Paris : l'Information Dentaire, 34 p.
110. LE HERON J., PADOVANI R., SMITH I.R., et al., 2010. Radiation protection of medical staff. *European J Radiol*. 76(1), 20-23.
111. LEGIFRANCE, 1984. Décret n°84-492 du 22 juin 1984 révisant et complétant les tableaux de maladies professionnelles annexes au décret 462959 du 31-12-1946 pris pour l'application du livre iv du code de la sécurité sociale relatif a la prévention et a la réparation des accidents du travail et des maladies professionnelles [en ligne]. Disponible sur : http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000000885157&categorieLien=id [consulté le 25/05/15]
112. LEGIFRANCE, 1992. Convention collective nationale des cabinets dentaires du 17 janvier 1992 [en ligne]. Disponible sur : http://www.legifrance.gouv.fr/affichIDCC.do;jsessionid=9059C94862350F7401C8A53829BA875B.tpdila07v_3?idConvention=KALICONT000005635655 [consulté le 16/05/15]
113. LEGIFRANCE, 2001. Code de la santé publique, article L.1333-1 [en ligne]. Disponible sur : http://www.legifrance.gouv.fr/affichCodeArticle.do;jsessionid=DBD86BB0C1CE18B9

CBBAE8CD942BB9B2.tpdila16v_3?idArticle=LEGIARTI000006686648&cidTexte=LEGITEXT000006072665&dateTexte=20150525 [consulté le 25/05/15]
114. LEGIFRANCE, 2006. Code de la santé publique, article R.1333-8 [en ligne]. Disponible sur : http://www.legifrance.gouv.fr/affichCodeArticle.do;jsessionid=DBD86BB0C1CE18B9CBBAE8CD942BB9B2.tpdila16v_3?idArticle=LEGIARTI000006909971&cidTexte=LEGITEXT000006072665&dateTexte=20150525 [consulté le 25/05/15]
115. LEGIFRANCE, 2007. Code de la santé publique, article R.1333-19 [en ligne]. Disponible sur : http://www.legifrance.gouv.fr/affichCodeArticle.do;jsessionid=DBD86BB0C1CE18B9CBBAE8CD942BB9B2.tpdila16v_3?idArticle=LEGIARTI000006910006&cidTexte=LEGITEXT000006072665&dateTexte=20150525 [consulté le 25/05/15]
116. LEGIFRANCE, 2007. Code de la santé publique, article R.1333-20 [en ligne]. Disponible sur : http://www.legifrance.gouv.fr/affichCodeArticle.do;jsessionid=DBD86BB0C1CE18B9CBBAE8CD942BB9B2.tpdila16v_3?idArticle=LEGIARTI000006910009&cidTexte=LEGITEXT000006072665&dateTexte=20150525 [consulté le 25/05/15]
117. LEGIFRANCE, 2007. Code de la santé publique, article R.1333-56 [en ligne]. Disponible sur : http://www.legifrance.gouv.fr/affichCodeArticle.do;jsessionid=DBD86BB0C1CE18B9CBBAE8CD942BB9B2.tpdila16v_3?idArticle=LEGIARTI000006910139&cidTexte=LEGITEXT000006072665&dateTexte=20150525 [consulté le 25/05/15]
118. LEGIFRANCE, 2007. Code de la santé publique, article R.1333-61[en ligne]. Disponible sur : http://www.legifrance.gouv.fr/affichCodeArticle.do;jsessionid=DBD86BB0C1CE18B9CBBAE8CD942BB9B2.tpdila16v_3?idArticle=LEGIARTI000006910156&cidTexte=LEGITEXT000006072665&dateTexte=20150525 [consulté le 25/05/15]
119. LEGIFRANCE, 2007. Code de la santé publique, article R.1333-67 [en ligne]. Disponible sur : http://www.legifrance.gouv.fr/affichCodeArticle.do;jsessionid=DBD86BB0C1CE18B9CBBAE8CD942BB9B2.tpdila16v_3?idArticle=LEGIARTI000006910175&cidTexte=LEGITEXT000006072665&dateTexte=20150525 [consulté le 25/05/15]
120. LEGIFRANCE, 2007. Code de la santé publique, article R.1333-68 [en ligne]. Disponible sur : http://www.legifrance.gouv.fr/affichCodeArticle.do;jsessionid=DBD86BB0C1CE18B9CBBAE8CD942BB9B2.tpdila16v_3?idArticle=LEGIARTI000006910178&cidTexte=LEGITEXT000006072665&dateTexte=20150525 [consulté le 25/05/15]
121. LEGIFRANCE, 2007. Code de la santé publique, article R.1333-69 [en ligne]. Disponible sur : http://www.legifrance.gouv.fr/affichCodeArticle.do;jsessionid=DBD86BB0C1CE18B9CBBAE8CD942BB9B2.tpdila16v_3?idArticle=LEGIARTI000006910181&cidTexte=LEGITEXT000006072665&dateTexte=20150525 [consulté le 25/05/15]
122. LEGIFRANCE, 2007.Code de la sécurité sociale, article R.162-53 [en ligne]. Disponible sur :

http://www.legifrance.gouv.fr/affichCodeArticle.do;jsessionid=DBD86BB0C1CE18B9CBBAE8CD942BB9B2.tpdila16v_3?idArticle=LEGIARTI000006747618&cidTexte=LEGITEXT000006073189&dateTexte=20150525 [consulté le 25/05/15]

123. LEGIFRANCE, 2010. Code de la santé publique, article L.1333-11 [en ligne]. Disponible sur : http://www.legifrance.gouv.fr/affichCodeArticle.do;jsessionid=DBD86BB0C1CE18B9CBBAE8CD942BB9B2.tpdila16v_3?idArticle=LEGIARTI000021941857&cidTexte=LEGITEXT000006072665&dateTexte=20150525 [consulté le 25/05/15]
124. LEGIFRANCE, 2010. Code du travail, article R.4451-10 [en ligne]. Disponible sur : http://www.legifrance.gouv.fr/affichCodeArticle.do?idArticle=LEGIARTI000022441795&cidTexte=LEGITEXT000006072050&dateTexte=20150525 [consulté le 25/05/15]
125. LEGIFRANCE, 2010. Code du travail, article R.4451-110 [en ligne]. Disponible sur : http://www.legifrance.gouv.fr/affichCodeArticle.do;jsessionid=DBD86BB0C1CE18B9CBBAE8CD942BB9B2.tpdila16v_3?idArticle=LEGIARTI000022442134&cidTexte=LEGITEXT000006072050&dateTexte=20150525 [consulté le 25/05/15]
126. LEGIFRANCE, 2010. Code du travail, article R.4451-111[en ligne]. Disponible sur : http://www.legifrance.gouv.fr/affichCodeArticle.do?idArticle=LEGIARTI000022442108&cidTexte=LEGITEXT000006072050&dateTexte=20150525 [consulté le 25/05/15]
127. LEGIFRANCE, 2010. Code du travail, article R.4451-112 [en ligne]. Disponible sur : http://www.legifrance.gouv.fr/affichCodeArticle.do?idArticle=LEGIARTI000022442118&cidTexte=LEGITEXT000006072050&dateTexte=20150525 [consulté le 25/05/15]
128. LEGIFRANCE, 2010. Code du travail, article R.4451-117 [en ligne]. Disponible sur : http://www.legifrance.gouv.fr/affichCodeArticle.do?idArticle=LEGIARTI000022442070&cidTexte=LEGITEXT000006072050&dateTexte=20150525 [consulté le 25/05/15]
129. LEGIFRANCE, 2010. Code du travail, article R.4451-118 [en ligne]. Disponible sur : http://www.legifrance.gouv.fr/affichCodeArticle.do;jsessionid=DBD86BB0C1CE18B9CBBAE8CD942BB9B2.tpdila16v_3?idArticle=LEGIARTI000022442074&cidTexte=LEGITEXT000006072050&dateTexte=20150525 [consulté le 25/05/15]
130. LEGIFRANCE, 2010. Code du travail, article R.4451-12 [en ligne]. Disponible sur : http://www.legifrance.gouv.fr/affichCodeArticle.do;jsessionid=DBD86BB0C1CE18B9CBBAE8CD942BB9B2.tpdila16v_3?idArticle=LEGIARTI000022441782&cidTexte=LEGITEXT000006072050&dateTexte=20150525 [consulté le 25/05/15]
131. LEGIFRANCE, 2010. Code du travail, article R.4451-13 [en ligne]. Disponible sur : http://www.legifrance.gouv.fr/affichCodeArticle.do;jsessionid=DBD86BB0C1CE18B9CBBAE8CD942BB9B2.tpdila16v_3?idArticle=LEGIARTI000022441780&cidTexte=LEGITEXT000006072050&dateTexte=20150525 [consulté le 25/05/15]
132. LEGIFRANCE, 2010. Code du travail, article R.4451-18 [en ligne]. Disponible sur : http://www.legifrance.gouv.fr/affichCodeArticle.do;jsessionid=DBD86BB0C1CE18B9CBBAE8CD942BB9B2.tpdila16v_3?idArticle=LEGIARTI000022441754&cidTexte=LEGITEXT000006072050&dateTexte=20150525 [consulté le 25/05/15]
133. LEGIFRANCE, 2010. Code du travail, article R.4451-23 [en ligne]. Disponible sur : http://www.legifrance.gouv.fr/affichCodeArticle.do?idArticle=LEGIARTI000022442848&cidTexte=LEGITEXT000006072050&dateTexte=20150525 [consulté le 25/05/15]
134. LEGIFRANCE, 2010. Code du travail, article R.4451-32 [en ligne]. Disponible sur :

http://www.legifrance.gouv.fr/affichCodeArticle.do?idArticle=LEGIARTI000022442793&cidTexte=LEGITEXT000006072050&dateTexte=20150525 [consulté le 25/05/15]
135. LEGIFRANCE, 2010. Code du travail, article R.4451-35 [en ligne]. Disponible sur : http://www.legifrance.gouv.fr/affichCodeArticle.do;jsessionid=DBD86BB0C1CE18B9CBBAE8CD942BB9B2.tpdila16v_3?idArticle=LEGIARTI000022442775&cidTexte=LEGITEXT000006072050&dateTexte=20150525 [consulté le 25/05/15]
136. LEGIFRANCE, 2010. Code du travail, article R.4451-37 [en ligne]. Disponible sur : http://www.legifrance.gouv.fr/affichCodeArticle.do;jsessionid=DBD86BB0C1CE18B9CBBAE8CD942BB9B2.tpdila16v_3?idArticle=LEGIARTI000022442771&cidTexte=LEGITEXT000006072050&dateTexte=20150525 [consulté le 25/05/15]
137. LEGIFRANCE, 2010. Code du travail, article R.4451-40 [en ligne]. Disponible sur : http://www.legifrance.gouv.fr/affichCodeArticle.do?idArticle=LEGIARTI000022442732&cidTexte=LEGITEXT000006072050&dateTexte=20150525 [consulté le 25/05/15]
138. LEGIFRANCE, 2010. Code du travail, article R.4451-41 [en ligne]. Disponible sur : http://www.legifrance.gouv.fr/affichCodeArticle.do;jsessionid=DBD86BB0C1CE18B9CBBAE8CD942BB9B2.tpdila16v_3?idArticle=LEGIARTI000022442730&cidTexte=LEGITEXT000006072050&dateTexte=20150525 [consulté le 25/05/15]
139. LEGIFRANCE, 2010. Code du travail, article R.4451-44 [en ligne]. Disponible sur : http://www.legifrance.gouv.fr/affichCodeArticle.do;jsessionid=DBD86BB0C1CE18B9CBBAE8CD942BB9B2.tpdila16v_3?idArticle=LEGIARTI000022442718&cidTexte=LEGITEXT000006072050&dateTexte=20150525 [consulté le 25/05/15]
140. LEGIFRANCE, 2010. Code du travail, article R.4451-45 [en ligne]. Disponible sur : http://www.legifrance.gouv.fr/affichCodeArticle.do;jsessionid=DBD86BB0C1CE18B9CBBAE8CD942BB9B2.tpdila16v_3?idArticle=LEGIARTI000022442708&cidTexte=LEGITEXT000006072050&dateTexte=20150525 [consulté le 25/05/15]
141. LEGIFRANCE, 2010. Code du travail, article R.4451-46 [en ligne]. Disponible sur : http://www.legifrance.gouv.fr/affichCodeArticle.do;jsessionid=DBD86BB0C1CE18B9CBBAE8CD942BB9B2.tpdila16v_3?idArticle=LEGIARTI000022442700&cidTexte=LEGITEXT000006072050&dateTexte=20150525 [consulté le 25/05/15]
142. LEGIFRANCE, 2010. Code du travail, article R.4451-51 [en ligne]. Disponible sur : http://www.legifrance.gouv.fr/affichCodeArticle.do?idArticle=LEGIARTI000022442652&cidTexte=LEGITEXT000006072050&dateTexte=20150525 [consulté le 25/05/15]
143. LEGIFRANCE, 2010. Code du travail, article R.4451-62 [en ligne]. Disponible sur : http://www.legifrance.gouv.fr/affichCodeArticle.do?idArticle=LEGIARTI000022442536&cidTexte=LEGITEXT000006072050&dateTexte=20150525 [consulté le 25/05/15]
144. LEGIFRANCE, 2010. Code du travail, article R.4451-78 [en ligne]. Disponible sur : http://www.legifrance.gouv.fr/affichCodeArticle.do?idArticle=LEGIARTI000022442384&cidTexte=LEGITEXT000006072050&dateTexte=20150525 [consulté le 25/05/15]
145. LEGIFRANCE, 2011. Code de la santé publique, article L.5212-1 [en ligne]. Disponible sur : http://www.legifrance.gouv.fr/affichCodeArticle.do?idArticle=LEGIARTI000025104429&cidTexte=LEGITEXT000006072665&dateTexte=20150525 [consulté le 25/05/15]
146. LEGIFRANCE, 2011. Code de la santé publique, article R.5212-25 [en ligne]. Disponible sur :

http://www.legifrance.gouv.fr/affichCodeArticle.do?idArticle=LEGIARTI000024480018&cidTexte=LEGITEXT000006072665&dateTexte=20150525 [consulté le 25/05/15]

147. LEGIFRANCE, 2012. Code de la santé publique, article R.5211-5 [en ligne]. Disponible sur : http://www.legifrance.gouv.fr/affichCodeArticle.do;jsessionid=DBD86BB0C1CE18B9CBBAE8CD942BB9B2.tpdila16v_3?idArticle=LEGIARTI000025787327&cidTexte=LEGITEXT000006072665&dateTexte=20150525 [consulté le 25/05/15]
148. LEGIFRANCE, 2012. Code de la santé publique, article R.5212-28 [en ligne]. Disponible sur : http://www.legifrance.gouv.fr/affichCodeArticle.do;jsessionid=DBD86BB0C1CE18B9CBBAE8CD942BB9B2.tpdila16v_3?idArticle=LEGIARTI000026886419&cidTexte=LEGITEXT000006072665&dateTexte=20150525 [consulté le 25/05/15]
149. LIN M.C., LEE C.F., LIN C.L., et al., 2013. Dental diagnostic X-ray exposure and risk of benign and malignant brain tumors. *Ann Oncol*. 24(6), 1675-1679.
150. LONGSTRETH W.T., PHILLIPS L.E., DRANGSHOLT M., et al., 2004. Dental X-rays and the risk of intracranial meningioma : a population-based case-control study. *Cancer*. 100(5) : 1026-1034.
151. LUDLOW J.B., DAVIES-LUDLOW L.E. et WHITE S.C., 2008. Patient risk related to common dental radiographic examinations : the impact of 2007 International Commission on Radiological Protection recommendations regarding dose calculation. *Journal of the American Dental Association*. 139(9), 1237-1243.
152. LUDLOW J.B., PLATIN E. et MOL A., 2001. Characteristics of Kodak Insight, an F-speed intraoral film. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*. 91(1), 120-129.
153. MARTIN C.J., 2007. Effective dose : how should it be applied to medical exposures ?. *Br J Radiol*. 80(956), 639-647.
154. MARTINEZ-BENEYTO Y., ALCARAZ-BANOS M., PEREZ-LAJARIN L., et al., 2007. Clinical justification of dental radiology in adult patients : a review of the literature. *Med Oral Pathol Oral Cir Bucal*. 12(3), 244-251.
155. MEMON A., GODWARD S., WILLIAMS D., et al., 2010. Dental x-rays and the risk of thyroid cancer : a case-control study. *Acta Oncol*. 49(4), 447-453.
156. MINISTERE DE LA SANTE ET DE LA PROTECTION SOCIALE, 2004. *Arrêté du 18 mai 2004 relatif aux programmes de formation portant sur la radioprotection des patients exposés aux rayonnements ionisants.* JORF n°141 du 19 juin 2004. [en ligne]. Disponible sur : http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000000803463&dateTexte=&categorieLien=id [consulté le 25/05/15]
157. MINISTERE DE LA SANTE ET DES SOLIDARITES, 2006. *Arrêté du 22 septembre 2006 relatif aux informations dosimétriques devant figurer dans un compte rendu d'acte utilisant les rayonnements ionisants.* JORF n°226 du 29 septembre 2006. [en ligne]. Disponible sur : http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000000608231 [consulté le 25/05/15]
158. MINISTERE DE L'EMPLOI, DE LA COHESION SOCIALE ET DU LOGEMENT,

MINISTERE DE LA SANTE ET DES SOLIDARITES, MINISTERE DE L'AGRICULTURE ET DE LA PECHE ET MINISTERE DE L'INDUSTRIE, 2006. *Arrêté du 15 mai 2006 relatif aux conditions de délimitation et de signalisation des zones surveillées et contrôlées et des zones spécialement réglementées ou interdites compte tenu de l'exposition aux rayonnements ionisants, ainsi qu'aux règles d'hygiène, de sécurité et d'entretien qui y sont imposées.* JORF n°137 du 15 juin 2006. [en ligne]. Disponible sur : http://legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000000269112&dateTexte=&categorieLien=id [consulté le 25/05/15]

159. MINISTERE DU TRAVAIL, DE LA SOLIDARITE ET DE LA FONCTION PUBLIQUE et AUTORITE DE SURETE NUCLEAIRE (ASN), 2010. Circulaire DGT/ASN n° 04 du 21 avril 2010 relative aux mesures de prévention des risques d'exposition aux rayonnements ionisants [en ligne]. Disponible sur : http://www.asn.fr/Reglementer/Cadre-legislatif/Circulaires-directives-instructions-guides/Circulaire-DGT-ASN-n-04-du-21-avril-2010 [consulté le 26/06/15]
160. MINISTERE DU TRAVAIL, DE L'EMPLOI, DE LA FORMATION PROFESSIONNELLE ET DU DIALOGUE SOCIAL, MINISTERE DE L'AGRICULTURE, DE L'AGROALIMENTAIRE ET DE LA FORET ET MINISTERE DE L'ECOLOGIE, DU DEVELOPPEMENT DURABLE ET DE L'ENERGIE, CHARGE DES TRANSPORTS, DE LA MER ET DE LA PECHE, 2013. *Arrêté du 17 juillet 2013 relatif à la carte de suivi médical et au suivi dosimétrique des travailleurs exposés aux rayonnements ionisants.* JORF n°0181 du 6 août 2013. [en ligne]. Disponible sur : http://legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000027806111&categorieLien=id [consulté le 25/05/15]
161. MONSOUR P.A., KRUGER B.J., BARNES A., et al., 1988. A survey of dental radiography. *Aust Dent J*. 33(1), 9-13.
162. MONSOUR P.A., KRUGER B.J., BARNES A., et al., 1988. Measures taken to reduce X-ray exposure of the patient, operator, and staff. *Aust Denl J*. 33(3), 181-192.
163. MORTAZAVI S.M.J., SHIRAZI K.R. et MORTAZAVI G., 2013. The study of the effects of ionizing and non-ionizing radiations on birth weight of newborns to exposed mothers. *J Nat Sci Biol Med*. 4(1), 213-217.
164. MOURSHED F. et MCKINNEY A.L., 1972. A comparison of paralleling and bisecting radiographic techniques as experienced by dental students. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*. 33(2), 284-296.
165. MOURSHED F., 1971. A study of intraoral radiographic errors made by dental students. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*. 32(5), 824-328.
166. NAKFOOR C.A. et BROOKS S.L., 1992. Compliance of Michigan dentists with radiographic safety recommendations. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*. 73(4), 510-513.
167. NATIONAL RADIOLOGICAL PROTECTION BOARD (NRPB), 2001. *Guidance notes for dental practitioners on the safe use of x-ray equipment*. Chilton : National Radiological Protection Board, 58 p.
168. NATIONAL RADIOLOGICAL PROTECTION BOARD (NRPB), 2002. *Radiation*

exposure of the UK population from medical and dental x-ray examinations. Chilton : National Radiological Protection Board, 41 p.
169. NATIONAL RESEARCH COUNCIL OF THE NATIONAL ACADEMIES (NRC), 2006. *Health risks from exposure to low levels of ionizing radiation. BEIR VII Phase 2*. Washington : National Academies Press, 424 p.
170. NETA G., RAJARAMAN P., BERRINGTON DE GONZALEZ A., et al., 2013. A prospective study of medical diagnostic radiography and risk of thyroid cancer. *Am J Epidemiol*. 177(8), 800-809.
171. OKANO T. et SUR J., 2010. Radiation Dose and Protection in Dentistry. *Jpn Dent Sci Rev*. 46(2), 112–121.
172. ORGANISATION DES NATIONS UNIES (ONU), 1989. *Convention internationale des droits de l'enfant* [en ligne]. Disponible sur : http://www.droitsenfant.fr/cide.htm [consulté le 17/05/15]
173. ORGANISATION MONDIALE DE LA SANTE (OMS), 2015. *Développement des adolescents* [en ligne]. Disponible sur : http://www.who.int/maternal_child_adolescent/topics/adolescence/dev/fr/ [consulté le 16/05/15]
174. ORGANISATION MONDIALE DE LA SANTE (OMS), 1986. *Les jeunes et la santé : défi pour la société : rapport d'un groupe d'étude de l'OMS sur la jeunesse et la santé pour tous d'ici l'an 2000*. Genève : OMS, 128 p.
175. ORGANISATION MONDIALE DE LA SANTE (OMS), 1987. *Utilisation rationnelle de l'imagerie diagnostique en pédiatrie : rapport*. Genève : OMS, 111 p.
176. PATEL J.R. et GREER D.F., 1986. Evaluating student progress through error reduction in intraoral radiographic technique. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*. 62(4), 471-474.
177. PEKER I. et ALKURT M.T., 2009. Evaluation of radiographic errors made by undergraduate dental students in periapical radiography. *N Y State Dent J*. 75(5), 45-48.
178. PLATIN E., MAURIELLO S. et LUDLOW J.B., 1996. Effects of focal spot size on caries diagnosis with D and E speed images. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*. 81(2), 235-239.
179. PRAVEEN B.N., SHUBHASINI A.R., BHANUSHREE R., et al., 2013. Radiation in dental practice : awareness, protection and recommendations. *J Contemp Dent Pract*. 14(1), 143-148.
180. PRESTON D.L., PIERCE D.A., SHIMIZU Y., et al., 2003. Dose response and temporal patterns of radiation-associated solid cancer risks. *Health Phys*. 85(1), 43-46.
181. PRESTON R.J., BOICE J.D., BRILL A.B., et al., 2013. Uncertainties in estimating health risks associated with exposure to ionising radiation. *J Radiol Prot*. 33(3), 573–588.
182. PRESTON-MARTIN S. et WHITE S.C., 1990. Brain and salivary gland tumors related to prior dental radiography : implications for current practice. *J Am Dent Assoc.* 120(2), 151-158.
183. PRESTON-MARTIN S., BERNSTEIN L., PIKE M.C., et al., 1987. Thyroid cancer among young women related to prior thyroid disease and pregnancy history. *Br J Cancer*. 55(2), 191–195.
184. PRESTON-MARTIN S., PAGANINI-HILL A., HENDERSON B.E., et al., 1980. Case-

control study of intracranial meningiomas in women in Los Angeles County, California. *J Natl Cancer Inst*. 65(1), 67-73.
185. PRESTON-MARTIN S., THOMAS D.C., WHITE S.C., et al., 1988. Prior exposure to medical and dental x-rays related to tumors of the parotid gland. *J Natl Cancer Inst*. 80(12), 943–949.
186. RON E., LUBIN J.H., SHORE R.E., et al., 1995. Thyroid cancer after exposure to external radiation : a pooled analysis of seven studies. *Radiat Res*. 141(3), 259-277.
187. ROUAS P. et HAURET L., 2014. Imagerie en odontologie pédiatrique : indications, modalités et précautions. *Réal Clin*. 25(2), 115-128.
188. RUSHTON V.E., HORNER K. et WORTHINGTON H.M., 1999. The Quality of Panoramic Radiographs in General Dental Practice. *Br Dent J*. 186(12), 630-633.
189. SADETZKI S. et MANDELZWEIG L., 2009. Childhood exposure to external ionizing radiation and solid cancer risk. *Br J Cancer*. 100(7), 1021-1025.
190. SALMON B. et MARTINEZ H., 2014. Applications de l'imagerie en chirurgie orale : modalités et indications. *Réal Clin*. 25(2), 155-166.
191. SANTOS R.A., DE MIRANDA A.C. et DA COSTA SILVA E., 2010. Radioprotection norms and the use of individual protection equipments from the view of surgeon-dentists. *Cien Saude Colet*. 15(2), 3125–3127.
192. SCARFE W.C., FARMAN A.G., BRAND J.W., et al., 1997. Tissue radiation dosages using the RVG-S with and without niobium filtration. *Aust Dent J*. 42(5), 335-342.
193. SIKORSKI P.A. et TAYLOR K.W., 1989. The effectiveness of thyroid shield in dental radiography. *Oral Surg*. 68, 776.
194. SILK H., DOUGLASS A.B., DOUGLASS J.M., et al., 2008. Oral health during pregnancy. *Am Fam Physician*. 77(8), 1139-1144.
195. SINNOTT B., RON E. et SCHNEIDER A.B., 2010. Exposing the thyroid to radiation : a review of its current extent, risks, and implications. *Endocr Rev*. 31(5), 756–773.
196. SMITH N.J.D., 1968. The somatic hazard from dental radiology. *Brit Dent J*. 125(6), 256-260.
197. SOCIETE CANADIENNE DE PEDIATRIE, 2003. La limite d'âge entre l'adolescence et l'âge adulte. Document de principes. *Paediatr Child Health*. 8(9), 578.
198. STAVRIANOU K., PAPPOUS G., PALLIKARAKIS N., 2005. A quality assurance program in dental radiographic units in western Greece. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*. 99(5), 622-627.
199. SUNI J., VAHANIKKILA H., PAKKILA J., et al., 2013. Review of 36,537 patient records for tooth health and longevity of dental restorations. *Caries Res*. 47(4) : 309-317.
200. SVENSON B. et PETERSSON A., 1995. Questionnaire survey on the use of dental X-ray film and equipment among general practitioners in the Swedish Public Dental Health Service. *Acta Odontol Scand*. 53(4), 230-235.
201. SYRIOPOULOS K., VELDERS X.L., SANDERINK G.C., et al., 2001. Sensitometric and clinical evaluation of a new F-speed dental X-ray film. *Dentomaxillofac Radiol*. 30(1), 40-44.
202. SYRIOPOULOS K., VELDERS X.L., VAN DER STELT P.F., et al., 1998. Mail survey of dental radiographic techniques and radiation doses in Greece.

Dentomaxillofac Radiol. 27(6), 321-328.
203. THE ALLIANCE FOR RADIATION SAFETY IN PEDIATRIC IMAGING (IMAGE GENTLY®), 2014. *Image Gently During Dental Procedures* [en ligne]. Disponible sur : http://www.imagegently.org/Procedures/Dental.aspx [consulté le 16/05/15]
204. THIVET M., 2014. *L'hygiène des mains en médecine bucco-dentaire. Audit mené au centre de soins odontologique du CHU de Nancy* [en ligne]. [Thèse pour le diplôme d'état de docteur en chirurgie dentaire]. Nancy : Université de Lorraine, 199 p. Disponible sur : http://docnum.univ-lorraine.fr/prive/BUPHA_TD_2014_THIVET_MANON.pdf [consulté le 26/06/15]
205. TORABINEJAD M., DANFORTH R.A., ANDREWS K., et al., 1989. Absorbed radiation by various tissues during simulated endodontic radiography. *J Endod*. 15(6), 249-253.
206. UNDERHILL T.E., CHILVARQUER I., KIMURA K., et al., 1988. Radiobiologic risk estimation from dental radiology. Part I. Absorbed doses to critical organs. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*. 66(1), 111-120.
207. UNITED NATIONS SCIENTIFIC COMMITTEE ON THE EFFECTS OF ATOMIC RADIATION (UNSCEAR), 2010. *Sources and effects of ionizing radiation : UNSCEAR 2008 Report to the General Assembly with Scientific Annexes. Volume I.* [en ligne]. New York : United Nations. Disponible sur : http://www.unscear.org/docs/reports/2008/09-86753_Report_2008_Annex_B.pdf [consulté le 26/06/15]
208. UNITED NATIONS SCIENTIFIC COMMITTEE ON THE EFFECTS OF ATOMIC RADIATION (UNSCEAR), 2013. *Sources, effects and risks of ionizing radiation : UNSCEAR 2013 Report. Volume II. Scientific Annex B. Effects of radiation exposure of children* [en ligne]. New York: United Nations. Disponible sur : http://www.unscear.org/docs/reports/2013/UNSCEAR2013Report_AnnexB_Children_13-87320_Ebook_web.pdf [consulté le 26/06/15]
209. VALLAEYS K. et HODEZ C., 2014. Imagerie dentomaxillaire par faisceau conique : principes, matériels, indications et dosimétrie. *Réal Clin*. 25(2), 103-114.
210. WAMBERSIE A., 1991. Radiologie et radioprotection en médecine dentaire. Première partie : effets biologiques résultant d'une exposition aux rayonnements ionisants. *Rev Belge Med Dent*. 46(1), 9-29.
211. WARIN A.P., 1979. Radiodermatitis of the hands in a dental practitioner. *Clin Exp Dermatol*. 4(1), 129-132.
212. WHAITES E. et DRAGE N., 2013. *Radiography and radiology for dental care professionals*. 3ème édition. Londres : Churchill Livingstone, 293 p.
213. WHITE S.C., 1992. Assessment of radiation risk from dental radiography. *Dentomaxillofac Radiol*. 21(3), 118-126.
214. WHITE S.C. et MALLYA S.M., 2012. Update on The Biological Effects of Ionizing Radiation, Relative Dose Factors and Radiation Hygiene. Aust Dent J. 57(1), 2-8.
215. WHITE S.C. et PHAROAH J., 2014. Oral Radiology : principles and Interpretation. 7ème édition. St-Louis : Mosby : Elsevier, 679 p.
216. WHITE S.C., HESLOP E.W., HOLLENDER L.G., et al., 2001. Parameters of radiologic care : An official report of the American Academy of Oral and Maxillofacial

Radiology. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*. 91(5), 498-511.
217. WHITE S.C., HILDEBOLT C.F. et LURIE A.G., 2013. Dental x-rays and risk of meningioma. *Cancer*. 119(2), 464.
218. WHITE S.C., SCARFE W.C., SCHULZE R.K.W., et al., 2014. The Image Gently in Dentistry Campaign: Promotion of Responsible Use of Maxillofacial Radiology in Dentistry for Children. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol*. 118(3), 257-261.
219. WOOD R.E., HARRIS A.M., VAN DER MERWE E.J., et al., 1991. The leaded apron revisited: does it reduce gonadal radiation dose in dental radiology ? *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*. 71(5), 642-646.
220. YAMALIK N. et VAN DIJK W., 2013. Analysis of the attitudes and needs/demands of dental practitioners in the field of patient safety and risk management. *Int Dent J.* 63(6), 291-297.
221. ZDESAR U., FORTUNA T., VALANTIC B., et al., 2008. Is digital better in dental radiography ? *Radiat Prot Dosimetry*. 129(1-3), 138-139.

Table des matières

Sommaire 8
Liste des figures 9
Liste des tableaux 15
Liste des abréviations 17
Introduction 19
1 Les rayons X en cabinet dentaire 21
1.1 Dosimétrie 21
1.1.1 Grandeurs dosimétriques 21
1.1.2 Niveaux énergétiques 24
1.1.2.1 Doses en imagerie odontologique 24
1.1.2.2 Niveaux de référence diagnostiques 25
1.1.2.3 Comparaison avec l'irradiation naturelle 26
1.1.3 Classification des lieux de travail 27
1.1.4 Classification des travailleurs 32
1.1.5 Suivi dosimétrique 34
1.1.5.1 Mise en œuvre 34
1.1.5.2 Intérêt 35
1.1.5.3 Travailleurs concernés 35
1.1.5.4 Types de dosimètres passifs 36
1.1.5.5 Grandeurs opérationnelles 36
1.1.5.6 Recueil des résultats 37
1.1.5.7 Cas de dépassement de dose 37
1.1.6 Suivi médical 38
1.2 Effets biologiques 38
1.2.1 Interactions physiques 40
1.2.2 Interactions moléculaires 40
1.2.3 Interactions cellulaires 41
1.2.4 Interactions tissulaires 42
1.2.4.1 Effets déterministes 42
1.2.4.2 Effets stochastiques 45
1.2.4.2.1 Induction de cancer 46

1.2.4.2.2 Effets héréditaires 50
2 Radioprotection des patients et des travailleurs 51
2.1 Formation des professionnels de santé 51
2.2 Justification 52
2.3 Optimisation 55
2.3.1 Optimisation au niveau du matériel 56
2.3.1.1 Le générateur 56
2.3.1.1.1 La tension 59
2.3.1.1.2 L'intensité 61
2.3.1.1.3 Le temps d'exposition 62
2.3.1.1.4 La filtration 64
2.3.1.1.5 La collimation 64
2.3.1.1.6 Distance foyer-récepteur 67
2.3.1.1.7 Nouveau type de générateur 69
2.3.1.1.8 Générateurs mobiles et portatifs 70
2.3.1.2 Les récepteurs 70
2.3.1.2.1 Films argentiques et technique analogique 70
2.3.1.2.2 Capteurs numériques et techniques digitales 73
2.3.1.2.2.1 Capteurs à numérisation directe 78
2.3.1.2.2.2 Capteurs à numérisation indirecte 79
2.3.1.3 Les portes-récepteurs 81
2.3.1.4 Maintenance et contrôles de qualité du matériel 85
2.3.1.4.1 Maintenance 85
2.3.1.4.2 Contrôle de qualité 86
2.3.1.4.2.1 Contrôle interne 86
2.3.1.4.2.2 Contrôle externe 87
2.3.1.4.3 Le document unique d'évaluation des risques 88
2.3.2 Optimisation par les bonnes pratiques 88
2.3.2.1 Techniques de prise des clichés 89
2.3.2.1.1 Préparation du patient 89
2.3.2.1.2 Techniques d'angulation 89
2.3.2.1.2.1 Clichés rétro-alvéolaires 89

2.3.2.1.2.1.1 Technique de la bissectrice 90
2.3.2.1.2.1.2 Technique des plans parallèles 92
2.3.2.1.2.1.3 Incidences excentrées 93
2.3.2.1.2.2 Clichés rétro-coronaires (*bitewing*) 94
2.3.2.1.2.3 Clichés occlusaux (mordus) 95
2.3.2.1.2.3.1 Mordus ortho-occlusaux (orthocentrés) 95
2.3.2.1.2.3.2 Mordus dysocclusaux 97
2.3.2.2 Distances de sécurité et positionnement des travailleurs 98
2.3.2.3 Equipements de protection collective (EPC) 102
2.3.2.4 Equipements de protection individuelle (EPI) 103
2.3.2.4.1 Tablier de protection radiologique plombé 104
2.3.2.4.2 Collier thyroïdien (collier cervical) 105
2.3.2.4.3 Plateau ou écran cervical plombé (plateau sous-mentonnier) 106
2.3.2.4.4 Gants de protection radiologique plombés 107
2.3.2.4.5 Lunettes de protection radiologique plombées 107
2.3.2.5 Contrôle qualité de l'image 108
2.3.2.5.1 Conditions d'analyse de l'image 108
2.3.2.5.2 Objectifs 108
2.3.2.5.3 Erreurs à éviter 109
2.3.2.5.3.1 Image trop sombre 109
2.3.2.5.3.2 Image trop claire 110
2.3.2.5.3.3 Distorsion de l'image 110
2.3.2.5.3.4 Mauvais positionnement du récepteur 111
2.3.2.5.3.5 Angulation horizontale incorrecte du tube radiogène : superpositions 111
2.3.2.5.3.6 Erreur d'alignement du tube radiogène avec le récepteur : "*cone-cutting*" 112
2.3.2.5.3.7 Récepteur placé à l'envers 112
2.3.2.5.3.8 Flou 112
2.3.2.5.3.9 Superposition d'images 113
2.3.2.5.3.10 Objet métallique non retiré 113
2.3.2.5.3.11 Détérioration du récepteur 114

2.3.2.5.3.12 Problème technique lors du développement 114
2.3.2.5.3.13 Doigt(s) du praticien 115
2.4 Cas particuliers 115
2.4.1 Femme enceinte 115
2.4.2 Enfant 119
2.4.3 Ostéoporose 121
2.4.4 Radiothérapie de la sphère ORL 121
2.4.5 Trismus 122
2.4.6 Tuméfaction 122
2.4.7 Secteur édenté 122
2.4.8 Tissus mous 122
2.4.9 Handicap physique 122
2.4.10 Handicap mental et problèmes neurologiques 122
2.4.11 Réflexe nauséeux 123
2.4.12 Anesthésie générale 123
2.4.13 Autres particularités du patient 123
2.4.14 Accompagnateur 124
3 Enquête sur les pratiques radiologiques au service d'Odontologie du CHRU de Nancy 125
3.1 Contexte 125
3.2 Objectifs 125
3.3 Matériel et méthode 125
3.3.1 Etudes préliminaires 126
3.3.2 Déroulement de l'enquête 126
3.3.3 Description du lieu d'étude 127
3.3.3.1 Population étudiée 127
3.3.3.2 Locaux et équipements de radiologie 127
3.3.4 Description de la grille/fiche d'observation 128
3.3.4.1 Le service 128
3.3.4.2 Le binôme de travailleurs 128
3.3.4.3 Le patient 128
3.3.4.4 La tierce personne 129

3.3.4.5 Le type de radiographie intra-orale 129
3.3.4.6 Le nombre de radiographies 130
3.3.4.7 Le secteur radiographié 130
3.3.4.8 Le port du dosimètre 130
3.3.4.9 La justification 130
3.3.4.10 Le réglage du générateur 131
3.3.4.11 La position des travailleurs 131
3.3.4.12 La position par rapport au faisceau primaire 131
3.3.4.13 La main sur le générateur 132
3.3.4.14 La tenue du récepteur 132
3.3.4.15 La qualité de l'image 132
3.3.4.16 Le numéro de la fiche 132
3.3.5 Scores de radioprotection 133
3.3.5.1 Score de radioprotection des travailleurs 133
3.3.5.2 Score de radioprotection des patients 134
3.3.6 Analyse statistique des données 135
3.4 Résultats 135
3.4.1 Les services 136
3.4.2 Les travailleurs 137
3.4.3 Les patients 139
3.4.4 Les tierces personnes 141
3.4.5 Les types de radiographie 141
3.4.6 Les secteurs radiographiés 142
3.4.7 Le port du dosimètre 143
3.4.8 La justification 143
3.4.9 Le réglage du générateur 144
3.4.10 La position des travailleurs 144
3.4.11 La position par rapport au faisceau primaire 146
3.4.12 La main sur le générateur 148
3.4.13 La tenue du récepteur 149
3.4.14 Score de radioprotection des travailleurs 151
3.4.14.1 Score de radioprotection des opérateurs 151

3.4.14.2 Score de radioprotection des aides-opérateurs 154
3.4.15 Score de radioprotection des patients 157
3.4.16 La qualité de l'image 158
3.4.17 Femmes enceintes 161
3.4.18 Handicapés mentaux 161
3.4.19 Radiographies occlusales 162
3.5 Discussion 162
3.5.1 Coopération des patients 162
3.5.2 Patients et équipements de protection plombée 162
3.5.3 Les tierces personnes 163
3.5.4 Port du dosimètre 164
3.5.5 La justification 165
3.5.6 Le réglage du générateur 166
3.5.7 Position des travailleurs et facteurs associés 166
3.5.8 La radioprotection des travailleurs 169
3.5.9 La radioprotection des patients 170
3.5.10 La qualité de l'image 171
3.5.11 L'hygiène 171
3.6 Protocole des bonnes pratiques pour la prise d'une radiographie intra-orale 172
3.7 Conclusion 173
Annexes 174
Annexe 1 : Autorisation du chef de service pour le déroulement de l'étude 174
Annexe 2 : Grille/fiche d'observation 175
Annexe 3 : Poster destiné à être affiché dans le service d'Odontologie du CHRU de Nancy 176
Bibliographie 177
Table des matières 194

BAUDET Alexandre - Les bonnes pratiques en Radiologie conventionnelle intra-orale. Enquête réalisée au service d'Odontologie du CHRU de Nancy.

Nancy 2015 – 200 pages

Th. Chir.-Dent. : Nancy : 2015

Mots clefs : Radioprotection, Dentisterie, Optimisation, Habitude professionnelle, Protocole technique

BAUDET Alexandre - Les bonnes pratiques en Radiologie conventionnelle intra-orale. Enquête réalisée au service d'Odontologie du CHRU de Nancy.

Th. Chir.-Dent. : Nancy : 2015

Résumé :

La radiographie intra-orale est un outil merveilleux et indispensable à la prise en charge de nos patients. Toutefois son utilisation ne peut être menée sans un minimum de précautions car l'emploi des rayonnements ionisants, même à faible dose, peut avoir des conséquences sur la santé des personnes exposées, voire sur leurs descendances. Les bonnes pratiques de radiologie intra-buccale ne sont pas très contraignantes mais nécessitent quand même un minimum d'implication de la part des praticiens.

Une étude sur les bonnes pratiques de radiologie intra-orale a été menée au service d'Odontologie du CHRU de Nancy. Cette dernière a permis de mettre en évidence : 1) le manque d'implication d'un certain nombre de travailleurs ; 2) les difficultés qu'ils éprouvent dans le suivi des mesures de radioprotection élémentaires ; ainsi que, 3) les manques et dysfonctionnements au niveau du matériel de radiologie dont dispose le personnel du CHRU.

Un protocole de prise de clichés radiographiques intra-oraux avec écran radioluminescent à mémoire a été réalisé, sous la forme d'un poster, à l'intention des externes et des praticiens-seniors du CHRU de Nancy. Ce poster regroupe les bonnes pratiques de radioprotection mais aussi d'hygiène à mettre en œuvre lors de la prise d'un cliché radiographique intra-oral avec capteur ERLM.

Jury :

Pr J.M. MARTRETTE	Professeur des Universités	Président
Pr C. STRAZIELLE	Professeur des Universités	Juge
Dr C. CLEMENT	Maître de Conférences des Universités	Juge
Dr K. YASUKAWA	Maître de Conférences des Universités	Juge

Adresse de l'auteur :

BAUDET Alexandre
22 route de la reppe 39120 PLEURE

UNIVERSITÉ DE LORRAINE

Faculté d'Odontologie

Jury : Président : J.M. MARTRETTE – Professeur des Universités
Juges : C. STRAZIELLE– Professeur des Universités
K.YAZUKAWA – Maître de Conférences des Universités
C. CLEMENT – Maître de Conférences des Universités

Thèse pour obtenir le diplôme D'Etat de Docteur en Chirurgie Dentaire

Présentée par: **Monsieur BAUDET Alexandre, Georges, Gautier**

né(e) à: **DOLE (Jura)** le **22 janvier 1991**

et ayant pour titre : **« Les bonnes pratiques en radiologie conventionnelle intra-orale. Enquête réalisée au service d'Odontologie du CHRU de Nancy ».**

Le Président du jury

J.M. MARTRETTE

Le Doyen,
de la Faculté d'Odontologie

J.M. MARTRETTE

Autorise à soutenir et imprimer la thèse 2019.

NANCY, le

Le Président de l'Université de Lorraine

P. MUTZENHARDT