



**HAL**  
open science

# Radiodermites chroniques après procédures de radiologie interventionnelle : mise en place d'une étude prospective au CHU de Clermont-Ferrand

Iris Lavayssiere

► **To cite this version:**

Iris Lavayssiere. Radiodermites chroniques après procédures de radiologie interventionnelle : mise en place d'une étude prospective au CHU de Clermont-Ferrand. Médecine humaine et pathologie. 2021. dumas-03553132

**HAL Id: dumas-03553132**

**<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03553132v1>**

Submitted on 2 Feb 2022

**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 CLERMONT AUVERGNE  
UFR DE MÉDECINE ET DES PROFESSIONS PARAMÉDICALES

THÈSE D'EXERCICE

pour le

DIPLOME D'ÉTAT DE DOCTEUR EN MÉDECINE

par

LAVAYSSIERE Iris

Présentée et soutenue publiquement le 26 avril 2021

Radiodermites chroniques après procédures de radiologie interventionnelle :  
mise en place d'une étude prospective au CHU de Clermont-Ferrand

Président du Jury :

Monsieur Michel D'INCAN, Professeur,  
CHU Clermont-Ferrand, Service de Dermatologie-Vénérologie

Membres du jury :

Monsieur Louis BOYER, Professeur,  
CHU de Clermont-Ferrand, Service de Radiologie et Imagerie Médicale

Monsieur Pascal MOTREFF, Professeur  
CHU de Clermont-Ferrand, Service de Cardiologie

Madame Nathalie PHAM-DANG, Professeur  
CHU de Clermont-Ferrand, Service de Chirurgie Maxillo-Faciale et Stomatologie



UNIVERSITÉ CLERMONT AUVERGNE  
UFR DE MÉDECINE ET DES PROFESSIONS PARAMÉDICALES

THÈSE D'EXERCICE  
pour le  
DIPLOME D'ÉTAT DE DOCTEUR EN MÉDECINE  
par

LAVAYSSIERE Iris

Présentée et soutenue publiquement le 26 avril 2021

Radiodermites chroniques après procédures de radiologie interventionnelle :  
mise en place d'une étude prospective au CHU de Clermont-Ferrand

Président du Jury :

Monsieur Michel D'INCAN, Professeur,  
CHU Clermont-Ferrand, Service de Dermatologie-Vénérologie

Membres du jury :

Monsieur Louis BOYER, Professeur,  
CHU de Clermont-Ferrand, Service de Radiologie et Imagerie Médicale

Monsieur Pascal MOTREFF, Professeur  
CHU de Clermont-Ferrand, Service de Cardiologie

Madame Nathalie PHAM-DANG, Professeur  
CHU de Clermont-Ferrand, Service de Chirurgie Maxillo-Faciale et Stomatologie



## UNIVERSITE CLERMONT AUVERGNE

---

PRESIDENTS HONORAIRES  
UNIVERSITE D'AUVERGNE

: **JOYON** Louis  
: **DOLY** Michel  
: **TURPIN** Dominique  
: **VEYRE** Annie  
: **DULBECCO** Philippe  
: **ESCHALIER** Alain

PRESIDENTS HONORAIRES  
UNIVERSITE BLAISE PASCAL

: **CABANES** Pierre  
: **FONTAINE** Jacques  
: **BOUTIN** Christian  
: **MONTEIL** Jean-Marc  
: **ODOUARD** Albert  
: **LAVIGNOTTE** Nadine

PRESIDENT DE L'UNIVERSITE et  
PRESIDENT DU CONSEIL ACADEMIQUE PLENIER  
Mathias PRESIDENT DU CONSEIL ACADEMIQUE RESTREINT  
Vianney VICE-PRESIDENTE DU CONSEIL D'ADMINISTRATION  
VICE-PRESIDENT DE LA COMMISSION DE LA RECHERCHE  
Pierre VICE PRESIDENTE DE LA COMMISSION DE LA  
FORMATION ET DE LA VIE UNIVERSITAIRE  
DIRECTEUR GENERAL DES SERVICES

: **BERNARD**  
: **DEQUIEDT**  
: **FOGLI** Anne  
: **HENRARD**  
: **PEYRARD** Françoise  
: **PAQUIS** François



## UFR DE MEDECINE ET DES PROFESSIONS PARAMEDICALES

DOYENS HONORAIRES

: **DETEIX** Patrice  
: **CHAZAL** Jean

DOYEN  
RESPONSABLE ADMINISTRATIVE

: **CLAVELOU** Pierre  
: **ROBERT** Gaëlle

## LISTE DU PERSONNEL ENSEIGNANT

### **PROFESSEURS HONORAIRES :**

MM. BACIN Franck - BEGUE René-Jean - BEYTOUT Jean - BOMMELAER Gilles - BOUCHER Daniel - BUSSIERE Jean-Louis - CANO Noël - CASSAGNES Jean - CATILINA Pierre - CHABANNES Jacques - CHAZAL Jean - CHIPPONI Jacques - CHOLLET Philippe - CITRON Bernard - COUDERT Jean - DASTUGUE Bernard - DAUPLAT Jacques - DECHELOTTE Pierre - DEMEOCQ François - DE RIBEROLLES Charles - DETEIX Patrice - ESCANDE Georges - Mme FONCK Yvette - MM. GENTOU Claude - Mme GLANDDIER Phyllis - MM. IRTHUM Bernard - JACQUETIN Bernard - Mme LAVARENNE Jeanine - MM. LAVERAN Henri - LESOURD Bruno - LEVAI Jean-Paul - MAGE Gérard - MARCHEIX Jean-Claude - MICHEL Jean-Luc - MONDIE Jean-Michel - PHILIPPE Pierre - PLAGNE Robert - PLANCHE Roger - PONSONNAILLE Jean - REY Michel - Mme RIGAL Danièle - MM. ROZAN Raymond - SCHOEFFLER Pierre - SIROT Jacques - RIBAL Jean-Pierre - SOUTEYRAND Pierre - TANGUY Alain - TERVER Sylvain - THIEBLOT Philippe - TOURNILHAC Michel - VANNEUVILLE Guy - VIALLET Jean-François - Mlle VEYRE Annie

### **PROFESSEURS EMERITES :**

MM. AUMAITRE Olivier - BOITEUX Jean-Paul - CHAMOUX Alain - DUBRAY Claude - ESCHALIER Alain - KEMENY Jean-Louis - LABBE André - Mme LAFEUILLE Hélène - MM. LEMERY Didier - LUSSON Jean-René

## **PROFESSEURS DES UNIVERSITES – PRATICIENS HOSPITALIERS**

### **CLASSE EXCEPTIONNELLE**

M.	VAGO Philippe	Histologie-Embryologie Cytogénétique
M.	AVAN Paul	Biophysique et Traitement de l'Image
M.	DURIF Franck	Neurologie
M.	BOIRE Jean-Yves	Biostatistiques, Informatique Médicale et Technologies de Communication
M.	BOYER Louis	Radiologie et Imagerie Médicale option Clinique
M.	POULY Jean-Luc	Gynécologie et Obstétrique
M.	CANIS Michel	Gynécologie-Obstétrique
Mme	PENAULT-LLORCA Frédérique	Anatomie et Cytologie Pathologiques
M.	BAZIN Jean-Etienne	Anesthésiologie et Réanimation Chirurgicale
M.	BIGNON Yves Jean	Cancérologie option Biologique
M.	BOIRIE Yves	Nutrition Humaine
M.	CLAVELOU Pierre	Neurologie
M.	GILAIN Laurent	O.R.L.
M.	LEMAIRE Jean-Jacques	Neurochirurgie
M.	CAMILLERI Lionel	Chirurgie Thoracique et Cardio-Vasculaire
M.	DAPOIGNY Michel	Gastro-Entérologie
M.	LLORCA Pierre-Michel	Psychiatrie d'Adultes

M.	PEZET Denis	Chirurgie Digestive
M.	SOUWEINE Bertrand	Réanimation Médicale
M.	BOISGARD Stéphane	Chirurgie Orthopédique et Traumatologie
Mme	DUCLOS Martine	Physiologie
M.	SCHMIDT Jeannot	Médecine d'Urgence
M.	BERGER Marc	Hématologie
M.	GARCIER Jean-Marc	Anatomie-Radiologie et Imagerie Médicale
M.	ROSSET Eugénio	Chirurgie Vasculaire
M.	SOUBRIER Martin	Rhumatologie
M.	ABERGEL Armando	Hépatologie
Mle	BARTHELEMY Isabelle	Chirurgie Maxillo-Faciale
M.	RUIVARD Marc	Médecine Interne

***1ère CLASSE***

M.	CAILLAUD Denis	Pneumo-phtisiologie
M.	VERRELLE Pierre	Radiothérapie option Clinique
M.	D'INCAN Michel	Dermatologie - Vénérologie
Mme	JALENQUES Isabelle	Psychiatrie d'Adultes
M.	GERBAUD Laurent	Epidémiologie, Economie de la Santé et Prévention
M.	TAUVERON Igor	Endocrinologie et Maladies Métaboliques
M.	MOM Thierry	Oto-Rhino-Laryngologie
M.	RICHARD Ruddy	Physiologie
M.	SAPIN-DEFOUR Vincent	Biochimie et Biologie Moléculaire
M.	BAY Jacques-Olivier	Cancérologie
M.	COUDEYRE Emmanuel	Médecine Physique et de Réadaptation
Mme	GODFRAIND Catherine	Anatomie et Cytologie Pathologiques
M.	LAURICHESSE Henri	Maladies Infectieuses et Tropicales
M.	TOURNILHAC Olivier	Hématologie
M.	CHIAMBARETTA Frédéric	Ophtalmologie
M.	FILAIRE Marc	Anatomie – Chirurgie Thoracique et Cardio-Vasculaire
M.	GALLOT Denis	Gynécologie-Obstétrique
M.	GUY Laurent	Urologie
M.	TRAORE Ousmane	Hygiène Hospitalière
M.	ANDRE Marc	Médecine Interne
M.	BONNET Richard	Bactériologie, Virologie
M.	CACHIN Florent	Biophysique et Médecine Nucléaire
M.	COSTES Frédéric	Physiologie
M.	FUTIER Emmanuel	Anesthésiologie-Réanimation
Mme	HENG Anne-Elisabeth	Néphrologie
M.	MOTREFF Pascal	Cardiologie
Mme	PICKERING Gisèle	Pharmacologie Clinique
M.	RABISCHONG Benoît	Gynécologie Obstétrique
M.	CHABROT Pascal	Radiologie et Imagerie Médicale
M.	DESCAMPS Stéphane	Chirurgie Orthopédique et Traumatologique
Mme	HENQUELL Cécile	Bactériologie Virologie
M.	POMEL Christophe	Cancérologie – Chirurgie Générale

**2ème CLASSE**

Mme CREVEAUX Isabelle	Biochimie et Biologie Moléculaire
M. FAICT Thierry	Médecine Légale et Droit de la Santé
Mme KANOLD LASTAWIECKA Justyna	Pédiatrie
M. TCHIRKOV Andréi	Cytologie et Histologie
M. CORNELIS François	Génétique
M. LESENS Olivier	Maladies Infectieuses et Tropicales
M. AUTHIER Nicolas	Pharmacologie Médicale
M. BROUSSE Georges	Psychiatrie Adultes/Addictologie
M. BUC Emmanuel	Chirurgie Digestive
M. LAUTRETTE Alexandre	Néphrologie Réanimation Médicale
Mme BRUGNON Florence	Biologie et Médecine du Développement et de la Reproduction
M. ESCHALIER Romain	Cardiologie
M. MERLIN Etienne	Pédiatrie
Mme TOURNADRE Anne	Rhumatologie
M. DURANDO Xavier	Cancérologie
M. DUTHEIL Frédéric	Médecine et Santé au Travail
Mme FANTINI Maria Livia	Neurologie
M. SAKKA Laurent	Anatomie – Neurochirurgie
M. BOURDEL Nicolas	Gynécologie-Obstétrique
M. GUIEZE Romain	Hématologie
M. POINCLOUX Laurent	Gastroentérologie
M. SOUTEYRAND Géraud	Cardiologie
M. EVRARD Bertrand	Immunologie
M. POIRIER Philippe	Parasitologie et Mycologie
Mme PHAM DANG Nathalie	Chirurgie Maxillo-Faciale et Stomatologie
Mme SARRET Catherine	Pédiatrie

**PROFESSEURS DES UNIVERSITES DE MEDECINE GENERALE**

**1ère CLASSE**

M. CLEMENT Gilles	Médecine Générale
M. VORILHON Philippe	Médecine Générale

**PROFESSEURS DES UNIVERSITES**

**2ème CLASSE**

Mme MALPUECH-BRUGERE Corinne	Nutrition Humaine
------------------------------	-------------------



## PROFESSEURS ASSOCIES DES UNIVERSITES

Mme	BOTTET-MAULOUBIER Anne	Médecine Générale
M.	CAMBON Benoît	Médecine Générale
M.	TANGUY Gilles	Médecine Générale

## MAITRES DE CONFERENCES DES UNIVERSITES – PRATICIENS HOSPITALIERS

### *HORS CLASSE*

Mme	CHAMBON Martine	Bactériologie Virologie
Mme	BOUVELOUP Corinne	Nutrition
Mme	FOGLI Anne	Biochimie Biologie Moléculaire
Mle	GOUAS Laetitia	Cytologie et Histologie, Cytogénétique

### *1ère CLASSE*

M.	MORVAN Daniel	Biophysique et Traitement de l'Image
Mle	GOUMY Carole	Cytologie et Histologie, Cytogénétique
M.	MARCEAU Geoffroy	Biochimie Biologie Moléculaire
Mme	MINET-QUINARD Régine	Biochimie Biologie Moléculaire
M.	ROBIN Frédéric	Bactériologie
Mle	VERONESE Lauren	Cytologie et Histologie, Cytogénétique
M.	DELMAS Julien	Bactériologie
Mle	MIRAND Audrey	Bactériologie Virologie
M.	OUCHCHANE Lemlih	Biostatistiques, Informatique Médicale et Technologies de Communication
M.	LIBERT Frédéric	Pharmacologie Médicale
Mle	COSTE Karen	Pédiatrie
Mle	AUMERAN Claire	Hygiène Hospitalière
Mme	CASSAGNES Lucie	Radiologie et Imagerie Médicale
M.	LEBRETON Aurélien	Hématologie
M.	BUISSON Anthony	Gastroentérologie
M.	BOUVIER Damien	Biochimie et Biologie Moléculaire
M.	MAQDASY Salwan	Endocrinologie, Diabète et Maladies Métaboliques
Mme	NOURRISSON Céline	Parasitologie - Mycologie
Mme	PONS Hanaë	Biologie et Médecine du Développement et de la Reproduction

**2ème CLASSE**

M.	JABAUDON-GANDET Matthieu	Anesthésiologie – Réanimation Chirurgicale
M.	COLL Guillaume	Neurochirurgie
M.	GODET Thomas	Anesthésiologie-Réanimation et Médecine Péri-Opératoire
M.	LACHAL Jonathan	Pédopsychiatrie
M.	MOUSTAFA Farès	Médecine d’Urgence

**MAITRES DE CONFERENCES DES UNIVERSITES  
DE MEDECINE GENERALE**

**1ère CLASSE**

Mme	VAILLANT-ROUSSEL Hélène	Médecine Générale
-----	-------------------------	-------------------

**2ème CLASSE**

Mme	LAPORTE Catherine	Médecine Générale
-----	-------------------	-------------------

**MAITRES DE CONFERENCES DES UNIVERSITES**

**HORS CLASSE**

M.	BLANCHON Loïc	Biochimie Biologie Moléculaire
M.	MARCHAND Fabien	Pharmacologie Médicale
Mme	VAURS-BARRIERE Catherine	Biochimie Biologie Moléculaire

**CLASSE NORMALE**

M.	BAILLY Jean-Luc	Bactériologie Virologie
Mle	AUBEL Corinne	Oncologie Moléculaire
Mle	GUILLET Christelle	Nutrition Humaine
M.	BIDET Yannick	Oncogénétique
M.	DALMASSO Guillaume	Bactériologie
M.	PIZON Frank	Santé Publique
M.	SOLER Cédric	Biochimie Biologie Moléculaire
M.	GIRAUDET Fabrice	Biophysique et Traitement de l’Image
M.	LOLIGNIER Stéphane	Neurosciences – Neuropharmacologie

Mme MARTEIL Gaëlle  
M. PINEL Alexandre

Biologie de la Reproduction  
Nutrition Humaine

**MAITRES DE CONFERENCES ASSOCIES DES UNIVERSITES**

M. BERNARD Pierre  
Mme ESCHALIER Bénédicte  
Mme RICHARD Amélie  
M. TESSIERES Frédéric  
Mme ROUGE Laure

Médecine Générale  
Médecine Générale  
Médecine Générale  
Médecine Générale  
Médecine Générale

# Remerciements

## **Monsieur Le Professeur D'Incan,**

Je vous remercie de m'avoir confié ce travail de thèse et de l'avoir dirigé. Je vous remercie également de m'avoir guidée au cours de mon Internat, pour vos remarques bienveillantes, pour votre investissement dans notre formation et pour la grande qualité pédagogique de votre enseignement. Merci pour votre ouverture d'esprit et pour le partage de vos connaissances médicales et culturelles, avec beaucoup d'humour et d'humanité. C'est un plaisir de consulter à vos côtés et un honneur d'être Interne sous votre Direction.

## **Monsieur le Professeur Boyer,**

Je vous remercie d'avoir participé à l'élaboration de ce projet, et de me faire l'honneur de participer à ce jury de thèse. Veuillez trouver ici l'expression de ma gratitude.

## **Monsieur le Professeur Motreff,**

Vous me faites l'honneur d'être membre de ce jury de thèse. Je vous remercie d'avoir accepté d'évaluer ce travail. Recevez ici l'expression de ma reconnaissance.

## **Madame le Professeur Pham-Dang,**

Je te remercie de me faire l'honneur de participer à ce jury de thèse. J'ai eu l'honneur d'apprendre à tes côtés en tant qu'externe dans le Service de Chirurgie Maxillo-Faciale et

maintenant lors des RCP d'Oncodermatologie. Je te prie de trouver ici l'expression de mon profond respect.

Je remercie Monsieur Joël Guersen et Monsieur Mathieu Lanaret pour m'avoir permis d'accéder aux informations nécessaires à l'élaboration de ce projet.

Je remercie également les **Professeurs Bazin et Richard** pour leur expertise et leurs conseils sur la partie éthique et réglementaire de ce travail.

### ***A ma famille :***

A ma **Maman**, qui a toujours cru en moi, qui m'a donné un cadre de vie privilégié, qui m'a soutenue dans ce projet fou et qui a contribué à son aboutissement. Merci d'être là pour moi.

A mon **Papa** qui me manque, tu m'as appris la persévérance et ton exemple me donne la force d'avancer.

A **Cécile**, partie trop tôt et qui me manque tellement, j'espère que tu serais fière de ta petite sœur. Vous êtes toujours avec moi et je sais que vous seriez présents tous les deux aujourd'hui.

A **Pierre**, mon petit frère, merci pour le temps que tu as pris à relire ce travail et pour tes remarques justifiées.

A **Esther** dite TataTer, ma petite sœur, merci de m'avoir supportée pendant l'externat, merci pour ta patience et ta gentillesse. Tu es déjà et tu seras un très bon médecin généraliste et ce sera un plaisir de travailler avec toi.

A **Cyril**, mon compagnon, qui m'accompagne et me supporte depuis le début de cette aventure, qui m'a portée à bout de bras, parfois, qui sait trouver les mots pour m'encourager et qui me reconforte dans les moments difficiles. J'espère poursuivre ce rêve à tes côtés pendant un siècle ou deux. A mon petit poussin **Martial**, petit grelot joyeux, toujours de bonne humeur, dont les sourires me rendent le mien quand je rentre tard et qui illuminent mes journées. Tu es le plus beau et le plus mignon des bébés et tu remplis ma vie de joie. J'espère pouvoir te donner autant que j'ai reçu.

### ***A mes amis :***

A mes amis **Lilas, Audrey, Lucie, Vivien, Audrey, Pauline, Elsa**, merci pour toutes ces années d'amitié depuis le lycée ou la prépa, et pour nos retrouvailles plus ou moins éparpillées, j'espère vous revoir sous peu pour fêter ça !

### ***Aux seniors du service de Dermatologie :***

A **Marie-Christine**, merci pour votre rigueur, pour votre franchise et pour le partage de votre expérience, pour vos cours toujours clairs et bien construits. J'espère pouvoir assister plus souvent à vos consultations et profiter de vos enseignements puisque encore j'ai la chance de pouvoir travailler à vos côtés.

A **Sandrine**, merci pour le temps que tu nous consacres, et à chacun de tes patients, avec toujours beaucoup de sincérité et d'humanité malgré la difficulté inhérente à l'oncodermatologie. Merci de m'avoir aidée dès mes premiers jours en tant qu'interne, tu as toute mon admiration et ma reconnaissance.

Aux plus jeunes, **Marie, Justine et Jacques**, merci pour vos bons conseils et pour votre disponibilité, pour votre aide dans le service et pour les avis, notamment de pédiatrie et d'allergologie, merci pour votre bonne humeur et votre engagement.

A **Georges**, merci d'accepter si souvent de me donner un coup de main et pour m'apprendre des petites astuces de chirurgie (et merci pour les croissants le week-end !).

### ***A mes co-internes actuels et passés :***

A **Charline**, pour son humour et son soutien précieux les jours où la fatigue l'emportait, et à **Inès**, d'une franchise que j'apprécie et qui me fait beaucoup rire, ses traits d'esprits qui tombent toujours justes, et pour son altruisme. A **Clotilde** la Beauty Queen et sa bonne humeur permanente qui a fait ses débuts à Montluçon à mes côtés ; à **Emmanuelle**, pour son stoïcisme et son courage sans se départir de sa douceur ; à **Delphine**, qui excelle dans tout ce qu'elle fait, avec beaucoup de sensibilité ; à **Marion** l'allergologue, félicitations pour ton travail et merci pour ton aide, je regrette de ne passer qu'un seul semestre avec toi ; à **Nadiah**, si généreuse et dont la ténacité force le respect. A celles qui ont déjà terminé mais qui restent dans les parages: **Mélanie** la chirurgienne, rigoureuse et minutieuse, dont ce travail fait suite à sa thèse ; **Lucie**, ses cookies et sa petite voix que je connais depuis que je suis externe; et **Elise**, merci pour ta présence bienveillante et pour tes petits mots de soutien. A celles qui sont parties vers d'autres horizons : **Clémentine, Cécilia, Elodie, Axelle et Camille**. A ceux que j'ai aperçus de temps en temps et avec qui je vais bientôt travailler pendant les deux derniers semestres: **Aude, Pauline, Jean-Baptiste, Chloé, Amandine**. A ceux et celles que j'ai croisés dans mes stages hors filières, en périph' et en central: **Eloïse, Alix, Damien, Alice, Camille...**

### ***A tous ceux que j'ai croisés au cours de mon cursus et qui ont participé à ma formation :***

A **Madame Antoniotti**, merci de m'avoir accueillie à Montluçon, merci pour votre gentillesse et votre prévenance, j'ai beaucoup appris à vos côtés et ce fut un plaisir de travailler sous votre supervision. Merci également à **Monsieur Guillemot** pour m'avoir appris quelques bases de rhumatologie, et un grand merci à **toute l'équipe soignante du service dermato-rhumato de Montluçon** ainsi que les **secrétaires du service et des consultations**, grâce à qui j'ai passé une année formidable et que j'ai quittées à regret.

A **Carole**, merci pour ta disponibilité, merci pour avoir pris le temps de me former malgré une charge de travail imposante, tu as su rendre l'anapath passionnante et j'ai pris beaucoup de plaisir à apprendre les rudiments de cette spécialité. A **Fanny**, merci à toi également d'avoir participé à ma formation et merci d'avoir rendu les staffs intelligibles, je te souhaite beaucoup de bonheur à venir.

A **François Michel**, merci de m'avoir accueillie dans votre cabinet, grâce à vous j'ai pu aborder la partie esthétique de notre spécialité. Merci également à **Maryse et Babeth** pour leur accueil.

Aux secrétaires du service, **Nath, Aline, Colette, Emeline, Virginie**, merci pour votre bonne humeur et pour votre travail. Aux infirmiers du service, tout particulièrement **Sandra, Audrey, Julie, Antoine, Francine** et **Sophie**, également à **Virginie** et **Régis** qui étaient là lors de mon tout premier semestre, **Domi** et **Nathalie, Rose-Marie, Pascale, Isabelle** et **Amélie**, merci pour votre aide précieuse, j'ai beaucoup appris en votre compagnie et je vous dois beaucoup.

# TABLE DES MATIERES

<b>LISTE DES FIGURES</b>	<b>14</b>
<b>LISTE DES ANNEXES</b>	<b>14</b>
<b>ABREVIATIONS</b>	<b>15</b>
<b>INTRODUCTION</b>	<b>17</b>
<b>PROCEDURES GUIDEES PAR FLUOROSCOPIE</b>	<b>19</b>
<b>1. RAPPELS DE PHYSIQUE</b>	<b>20</b>
1.1. Structure de l'atome	20
1.2. Rayons X	21
1.3. Interaction des rayons X avec l'atome	21
1.3.1. Effet sur l'atome	21
1.3.2. Effet sur le photon	22
1.3.3. Coefficient d'atténuation	23
<b>2. DISPOSITIF DE FLUOROSCOPIE</b>	<b>24</b>
2.1. Production des rayons X	25
2.2. Détection des rayons X	26
2.3. Arceau	27
<b>3. DOSIMETRIE</b>	<b>27</b>
3.1. Dose maximale à la peau	28
3.2. Kerma dans l'air au point de référence interventionnel	29
3.2.1. Kerma	29
3.2.2. Dose absorbée	29
3.2.3. Relation entre dose absorbée et Kerma	30
3.2.4. Kerma dans l'air au point de référence interventionnel	31
3.3. Produit Dose Surface	31
3.4. Utilité et corrélation des indicateurs dosimétriques	32
<b>RADIODERMITES APRES PROCEDURE GUIDEE PAR FLUOROSCOPIE</b>	<b>34</b>
<b>1. CARACTERISTIQUES CLINIQUES</b>	<b>34</b>
1.1. Radiodermites aiguës	35
1.2. Radiodermites chroniques	35
<b>2. PHYSIOPATHOLOGIE</b>	<b>36</b>
<b>3. SPECIFICITES DES RADIODERMITES APRES FLUOROSCOPIE</b>	<b>39</b>
3.1. Des formes et topographies particulières	39
3.2. Difficultés diagnostiques des radiodermites chroniques	39
<b>4. FACTEURS DE RISQUE</b>	<b>40</b>
4.1. Risque lié à la dose reçue	41
4.1.1. Dose par intervention	41
4.1.2. Dose cumulée	42
4.2. Risque lié au profil du patient	43
4.2.1. Facteurs intrinsèques	43
4.2.2. Facteurs extrinsèques	43

<b>5. TRAITEMENT DES RADIODERMITES</b>	<b>44</b>
5.1. Radiodermites aiguës	44
5.2. Radiodermites chroniques	45
<b>MISE EN PLACE D'UNE ETUDE PROSPECTIVE</b>	<b>47</b>
<b>1. INCIDENCE DES RADIODERMITES APRES FLUOROSCOPIE : REVUE DE LA LITTERATURE</b>	<b>47</b>
1.1. Incidence globale	47
1.2. Incidence parmi une population à risque	48
<b>2. JUSTIFICATION DE L'ETUDE</b>	<b>49</b>
<b>3. OBJECTIFS</b>	<b>51</b>
3.1. Objectif principal	51
3.2. Objectifs secondaires	51
<b>4. POPULATION ET METHODES</b>	<b>52</b>
4.1. Schéma d'étude	52
4.2. Population étudiée	52
4.2.1. Description de la population	52
4.2.2. Critères d'inclusion	52
4.2.3. Critères de non inclusion	53
4.2.4. Durée de l'étude	53
4.2.5. Mode et faisabilité du recrutement	53
<b>5. DESCRIPTION DE L'ETUDE</b>	<b>54</b>
5.1. Définition du moment d'inclusion dans la cohorte	54
5.2. Suivi	54
5.3. Critère de jugement	55
<b>6. DEROULEMENT PRATIQUE DU PROTOCOLE</b>	<b>56</b>
6.1. Recrutement des patients	56
6.2. Organisation du suivi	56
<b>7. VARIABLES RELEVÉES</b>	<b>58</b>
7.1. Données du patient	58
7.2. Critère de jugement	59
7.3. Autres variables d'intérêt	60
7.4. Les sorties d'études	61
<b>8. ETHIQUE</b>	<b>62</b>
<b>CONCLUSION</b>	<b>63</b>
<b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES</b>	<b>66</b>
<b>FIGURES</b>	<b>71</b>
<b>ANNEXES</b>	<b>82</b>
<b>SERMENT D'HIPPOCRATE</b>	<b>107</b>



## LISTE DES FIGURES

Figure 1: Modèle de Bohr. Exemple de l'atome de sodium ( $Z=11$ )	71
Figure 2: Niveaux de transition des atomes d'hydrogène ( $Z=1$ ) et de tungstène ( $Z=74$ )	71
Figure 3: Spectre des radiations électromagnétiques	71
Figure 4: Ionisation d'un atome	72
Figure 5: Interaction rayonnement – tissus mous en fonction de l'énergie des photons	72
Figure 6: Variation du coefficient massique d'atténuation de différents tissus organiques en fonction de l'énergie des photons	73
Figure 7: Fluoroscope	73
Figure 8: Tube à rayons X à anode tournante	73
Figure 9: Rayonnement de freinage (Bremsstrahlung)	74
Figure 10: Spectre d'émission à la sortie du tube	74
Figure 11: Incidences normalisées en angiographie	74
Figure 12: Différence entre Kerma et dose absorbée	75
Figure 13: Kerma et dose absorbée dans le cas d'un faisceau non atténué	75
Figure 14: Kerma et dose absorbée dans le cas d'un faisceau atténué	75
Figure 15: Placement théorique du point de référence interventionnel et de l'arceau	76
Figure 16: Dispositif de mesure du kerma au point de référence interventionnel	76
Figure 17: Cartographie et estimation de la PSD par le logiciel em.dose (ESPRIMED)	77
Figure 18: Schéma de principe d'une chambre d'ionisation à parois d'air	77
Figure 19: Angle solide $\Omega$ pour une sphère de rayon $r$	77
Figure 20: Réactions cutanées en fonction de la dose et du temps	78
Figure 21: Doses-seuils pour les lésions radio-induites	78
Figure 22: Radiodermites aiguës classées en grades:	79
Figure 23: Radiodermite chronique, associant atrophie, télangiectasies et dyschromie	79
Figure 24: Processus fibrosant des radiodermites chroniques	80
Figure 25: Coupe histologique d'une radiodermite chronique, coloration HES	80
Figure 26: Répartition des cas rapportés de radiodermites par délai maximal d'apparition	81

## LISTE DES ANNEXES

Annexe I: Fluence énergétique.....	82
Annexe II: Fluence énergétique, Kerma et dose absorbée.....	83
Annexe III: Principe de la chambre d'ionisation.....	85
Annexe IV: Produit Dose.Surface et distance à la source .....	86
Annexe V: Cas rapportés dans la littérature des radiodermites après procédure guidée par fluoroscopie.....	87
Annexe VI: Note d'information du patient.....	96
Annexe VII: Formulaire d'inclusion .....	99
Annexe VIII: Formulaire de suivi pour <math>M1, M1</math> et <math&gt;m3&lt; math&gt;.....<="" td=""> <td style="text-align: right;">101</td> </math&gt;m3&lt;>	101
Annexe IX: Formulaire de suivi pour <math&gt;m12 (a1),="" (a3)&lt;="" (a5)&lt;="" <math&gt;m60="" et="" m36="" math&gt;="" math&gt;.....<="" td=""> <td style="text-align: right;">102</td> </math&gt;m12>	102
Annexe X: Algorithme résumant le déroulé de l'étude .....	103
Annexe XI: Tableau résumant la procédure.....	104
Annexe XII: Notice du Fichier Excel pour la gestion des patients inclus .....	105

# ABREVIATIONS

<b><math>D_a</math></b> :	dose absorbée dans le milieu $a$
<b><math>K_a</math></b> :	Kerma dans le milieu $a$
<b><math>K_{air,RP}</math></b> :	Kerma dans l'air au point de référence interventionnel
<b>ADN</b> :	acide désoxyribonucléique
<b>Anti-BRAF</b> :	inhibiteur des protéines kinases BRAF
<b>Anti-EGFR</b> :	inhibiteur de l'epidermal growth factor receptor (récepteur du facteur de croissance épidermique)
<b>ARN</b> :	acide ribonucléique
<b>DAP</b> :	Dose.Area Product (Produit Dose.Surface ou Produit Kerma.Surface)
<b>Gy</b> :	Gray
<b>HAS</b> :	Haute Autorité de Santé
<b>IMC</b> :	indice de masse corporelle
<b>J</b> :	Joule
<b>Kerma</b> :	kinetic energy released per unit mass (énergie cinétique transférée par unité de masse)
<b>MEC</b> :	matrice extra-cellulaire
<b>PDGF</b> :	platelet-derived growth-factor (facteur de croissance dérivé des plaquettes)
<b>PSD</b> :	peak skin dose (dose maximale à la peau)

- ROS :** reactive oxygen species  
(dérivés réactifs de l'oxygène)
- SIR:** Society of Interventional Radiology
- TGF $\beta$ :** transforming growth factor  $\beta$
- TIPS:** transjugular intrahepatic portosystemic shunt  
(shunt intrahépatique portosystémique transjugulaire)
- VIH :** virus de l'immunodéficience humaine

# INTRODUCTION

Les actes de radiologie interventionnelle guidés par fluoroscopie permettent de diagnostiquer et de traiter des patients dont l'état général ou les antécédents rendraient un geste chirurgical trop risqué. Cependant, l'irradiation concomitante et inévitable de la peau située sur le trajet du faisceau peut être suffisamment intense pour causer des dommages lésionnels macroscopiques. Ces lésions sont appelées radiodermites.

On distingue les radiodermites aiguës, qui surviennent dans les jours ou semaines suivant l'irradiation, et les radiodermites chroniques, qui peuvent se manifester de quelques mois à plusieurs dizaines d'années après l'irradiation. Ces dernières peuvent avoir une présentation clinique variable et s'aggravent de façon très progressive, de sorte que, si elles ne sont pas prises en charge à temps, leur traitement peut imposer une excision large et délabrante.

En raison de leur délai d'apparition et de l'aspect clinique non spécifique, l'incidence des radiodermites chroniques après procédure guidée par fluoroscopie est probablement sous-évaluée. Selon la littérature, elle serait de l'ordre de 1%. Toutefois, en 2019, une étude rétrospective menée au CHU de Clermont-Ferrand a estimé à 8.8% l'incidence des radiodermites chroniques chez des patients à risque, définis comme ayant reçu des doses d'irradiation dépassant les seuils d'indicateurs dosimétriques publiés par la Society Of Interventional Radiology en 2009.

Cette étude présentait néanmoins des biais inhérents à son caractère rétrospectif. C'est pourquoi il a été décidé, en collaboration avec les services de Radiologie Interventionnelle et de Cardiologie du CHU de Clermont-Ferrand, de mettre en place une

étude prospective afin de suivre une cohorte de patients ayant reçu une dose de rayons X susceptible de favoriser l'apparition d'une lésion cutanée radio-induite.

D'abord nous exposerons les notions physiques expliquant l'utilisation des rayons X, de la formation des rayons X au déroulement d'une séance de procédure guidée par fluoroscopie. Puis nous ferons une mise au point sur l'état des connaissances sur les radiodermites suite à une procédure de radiologie interventionnelle. Enfin nous détaillerons la mise en place du protocole d'étude prospective.

# PROCEDURES GUIDEES PAR FLUOROSCOPIE

Apparue au milieu des années 1960, la radiologie interventionnelle permet d'obtenir des images diagnostiques et de procéder à des interventions médicales très peu invasives sans recourir à un acte chirurgical. Elle a également l'avantage de limiter les risques infectieux, hémorragiques et les difficultés de cicatrisation, diminuant ainsi les durées d'hospitalisation. Le recours à la radiologie interventionnelle est en constante augmentation. En 2009, 545 000 actes de radiologie interventionnelle ont été pratiqués, dont 315 000 actes diagnostiques et 230 000 actes thérapeutiques, soit 30 % de croissance par rapport à 2007 (1). Cette discipline comporte différentes techniques : l'échographie, l'angiographie par soustraction numérique, la tomодensitométrie, l'imagerie par résonance magnétique, et la fluoroscopie.

La fluoroscopie est l'acquisition en continu d'images radiographiques en temps réel. Elle vise à obtenir des images en mouvement des structures internes du patient. Les applications en sont multiples : coronarographie, embolisation d'anévrisme, chimio-embolisation, embolisation d'hémostase... En contrepartie, elle expose le patient à de fortes doses, en particulier lorsque la complexité de l'intervention requiert d'allonger le temps d'exposition.

Pour comprendre les effets de la fluoroscopie au niveau cutané, il est nécessaire de revenir sur les notions physiques à la base de l'imagerie médicale par rayons X.

# 1. RAPPELS DE PHYSIQUE

## 1.1. Structure de l'atome

Un atome est composé de particules élémentaires. Les électrons, chargés négativement, sont maintenus via l'interaction électromagnétique autour d'un noyau dense, lui-même composé de protons, chargés positivement, et de neutrons, non chargés. Le nombre total de protons du noyau est appelé **numéro atomique** ; on lui attribue la lettre  $Z$ . Le numéro atomique définit la nature de l'atome : par exemple hydrogène ( $Z=1$ ), carbone ( $Z=6$ ), oxygène ( $Z=8$ ), platine ( $Z=78$ ).

Selon le postulat de Bohr (1913), les orbites des électrons sont organisées en 7 couches situées à distance fixe du noyau. Les couches sont dénombrées de la plus interne à la plus externe et on leur attribue un nombre quantique  $n$ . La couche la plus profonde porte le numéro  $n = 1$ , la suivante  $n = 2$ , etc. Chaque couche ne peut contenir que  $2n^2$  électrons (figure 1).

L'énergie nécessaire pour retirer un électron de l'atome est appelée **énergie de liaison**. Sa valeur absolue augmente avec le numéro atomique, mais aussi avec la proximité de la couche au noyau (figure 2).

La répartition des électrons dans les différentes orbitales atomiques d'un atome à l'état fondamental obéit à la règle de Klechkowski : les électrons sont répartis prioritairement dans les orbitales d'énergie les plus faibles (donc d'abord la couche  $n = 1$  puis  $n = 2$ , etc).

## 1.2. Rayons X

Les rayons X sont des radiations électromagnétiques, au même titre que la lumière ou les ultraviolets (figure 3). Une radiation électromagnétique correspond à une énergie qui voyage dans le vide à la vitesse de la lumière, en ligne droite. Cette énergie se comporte à la fois comme une onde et comme un flot de corpuscules. Son vecteur est le photon, qui est une particule dépourvue de masse.

Les radiations électromagnétiques sont caractérisées par leur fréquence  $\nu$ , et leur énergie par photon est  $E = h\nu$ , où  $h$  est la constante de Planck. Les rayons X ont des fréquences comprises entre  $10^{16}$  et  $10^{20}$  Hz. Leur énergie varie donc de 40 à  $4 \cdot 10^5$  eV (1 eV est l'énergie acquise par un électron lorsqu'il traverse une différence de potentiel d'1 Volt dans le vide ;  $1 \text{ eV} = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$ ).

## 1.3. Interaction des rayons X avec l'atome

Les photons X peuvent interagir avec la matière. La rencontre d'un photon avec un atome et son cortège d'électrons produit des effets sur l'atome mais aussi sur le photon.

### 1.3.1. Effet sur l'atome

Lorsqu'une particule de haute énergie, telle qu'un photon X, entre en collision avec un électron gravitant sur une couche profonde d'un atome, la particule incidente cède à l'électron une partie de son énergie cinétique. L'atome se trouve alors dans un état instable, selon la règle de Klechkowski.

Si l'énergie cédée est inférieure à l'énergie de liaison de l'électron, celui-ci va pouvoir momentanément se déplacer sur une couche orbitale plus externe. On dit que l'atome est **excité**.



Si l'énergie cédée est supérieure à l'énergie de liaison de l'électron, cet électron est éjecté : c'est le phénomène d'**ionisation** (figure 4). L'énergie cinétique de l'électron éjecté correspond à la différence entre l'énergie du photon incident et l'énergie de liaison de l'électron. Dans le cas où l'énergie de liaison est faible (atomes d'hydrogène, oxygène, carbone...), l'électron émis possèdera alors une énergie cinétique suffisante pour engendrer l'ionisation d'un autre atome, appelée **ionisation secondaire**.

De plus, l'atome ne pouvant demeurer en état d'instabilité, un électron de la couche immédiatement supérieure vient combler la vacance électronique, lui-même étant remplacé par un électron d'une couche supérieure, et ainsi de suite jusqu'à ce que l'atome retrouve sa stabilité. L'énergie libérée totale est égale à la différence d'énergie de liaison entre la couche d'origine et la couche finale de l'électron remplaçant. Cette énergie est alors :

- Soit d'intensité suffisante pour être émise sous forme de **photon X** : c'est le phénomène de la **fluorescence X**;
- Soit transmise à un électron d'une couche externe qui se trouve alors expulsé : c'est **l'effet Auger**. Ce mécanisme crée donc une ionisation supplémentaire. Sa probabilité diminue lorsque le numéro atomique  $Z$  augmente. L'électron Auger pourra à son tour interagir avec les atomes environnants.

### ***1.3.2. Effet sur le photon***

La rencontre entre le photon et l'atome produit également un effet sur le photon incident. Cet effet varie selon l'énergie du photon incident et selon la nature de l'atome rencontré.

1. **Diffusion élastique** : le photon ne possède pas une énergie suffisante pour éjecter un électron hors de son orbite (effet non-ionisant). Il interagit avec tous les électrons de l'atome. Le photon est dévié dans une direction différente sans perdre de son énergie.
2. **Absorption photoélectrique** : le photon est suffisamment énergétique pour ioniser l'atome, mais il perd alors toute son énergie.
3. **Diffusion de Compton** : le photon est suffisamment énergétique pour ioniser l'atome et pour ne pas perdre toute son énergie. Il est alors dévié dans une direction différente. L'angle de diffusion sera d'autant plus faible que l'énergie restante du photon est grande.
4. **Production de paires** : le photon disparaît en créant un électron et un positon (particule de même masse que l'électron mais chargé positivement). Cet effet n'est pas ionisant et ne concerne que les photons de très forte énergie.

Toutes ces interactions participent à l'atténuation du faisceau de rayons X lors de son passage dans la matière.

### ***1.3.3. Coefficient d'atténuation***

La capacité d'absorption d'un matériau est caractérisée par son coefficient linéaire d'atténuation  $\mu$ . Ce coefficient correspond à la somme des effets sur le photon précédemment décrits (diffusion élastique, absorption photo-électrique, diffusion de Compton et production de paires). En imagerie médicale par rayons X, seule la production de paires n'entre pas en compte dans l'atténuation des photons (figure 5).

Le coefficient d'atténuation traduit la diminution en nombre des particules incidentes par unité de longueur au cours du trajet. Il dépend des numéros atomiques des atomes constituant le matériau traversé. Les différences d'atténuation en fonction des tissus traversés génèrent le contraste. Les produits à base d'iode possèdent un coefficient d'atténuation bien supérieur à celui de l'eau et à celui des tissus mous, d'où leur utilisation en tant que produits de contraste, notamment dans les procédures de fluoroscopie (figure 6).

## **2. DISPOSITIF DE FLUOROSCOPIE**

La fluoroscopie est une technique d'imagerie qui utilise les rayons X pour obtenir des images dynamiques en temps réel. Cette technique sert à suivre des organes en mouvement (comme le cœur), à guider des instruments à l'intérieur du corps du patient, ou à visualiser la progression d'un agent de contraste dans des structures anatomiques ou pathologiques.

Une installation de fluoroscopie est composée d'un tube à rayons X, d'un détecteur, d'un arceau et d'une table mobile sur laquelle le patient est installé (figure 7). Le praticien dispose d'une pédale qu'il active pour lancer le mode scopie et obtenir l'image dynamique. L'image créée en scopie est de moyenne qualité. L'autre mode d'utilisation de l'arceau est la graphie, où la qualité d'image sera optimale, mais l'irradiation plus importante. Le mode graphie peut permettre de visualiser des détails fins qui ne sont pas visibles en scopie. Pendant l'intervention, un écran affiche l'image en direct.

## 2.1. Production des rayons X

Les rayons X sont produits au moyen d'un tube à rayons X (figure 8). Il s'agit d'un tube à vide, contenant un filament métallique (en général en tungstène en raison de son point de fusion très élevé) et une masse métallique constituant l'anode. Le filament, chauffé par un courant électrique, produit des électrons par effet thermoïonique. Ces électrons sont accélérés par l'anode métallique sous l'effet d'une haute tension  $U_a$ . Les électrons possèdent une énergie cinétique  $E_c(e^-)$  proportionnelle à  $U_a$ .

A l'approche de l'anode, il peut se produire deux phénomènes :

- Freinage des électrons par le champ magnétique des noyaux de la cible : cette variation brutale de vitesse correspond à une émission d'énergie. C'est le **rayonnement de freinage (*Bremsstrahlung*)** (figure 9).
  - Si l'électron passe loin du noyau, l'énergie, de faible intensité, est dégagée **sous forme de chaleur** (99% des cas). La dissipation de chaleur représente la principale contrainte du système. On utilise une anode rotative pour augmenter la surface bombardée par les électrons et répartir ainsi l'échauffement.
  - Si l'électron passe près du noyau (moins de 1% des cas), l'énergie est émise **sous forme d'un photon X**.
- Collision d'un électron avec un atome de l'anode (moins de 1% des cas) : l'atome se trouve ionisé avec **émission d'un photon X** (ou d'un électron Auger).

L'énergie maximale des photons X émis par l'anode est proportionnelle à l'énergie cinétique des électrons incidents, et donc à  $U_a$ . Il est ainsi possible de choisir quelle

énergie moyenne on veut émettre en faisant varier la tension appliquée à l'anode. Des rayons d'énergie faible fourniront un meilleur contraste mais seront davantage atténués. En radiologie interventionnelle, les rayons X utilisés ont une énergie de l'ordre de 50 à 150 KeV.

A la sortie du tube, on obtient un spectre continu correspondant au *Bremsstrahlung* et aux raies caractéristiques de l'anode (figure 10). Le faisceau de rayons X est ensuite filtré à travers une fenêtre en béryllium afin de minimiser le nombre de photons de basse énergie (aussi appelés « rayonnement mou »), qui seront quasiment tous absorbés par le patient via l'effet photoélectrique et ne participeront pas à la formation de l'image. Cette fenêtre est associée à un collimateur, qui permet à l'opérateur de contrôler la taille et la forme du faisceau.

## **2.2. Détection des rayons X**

La plupart des dispositifs de radiologie utilisent des détecteurs numériques. Ces appareils se divisent en deux familles :

- Conversion directe : les rayons X sont directement transformés en signal électrique par technique CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor).
- Conversion indirecte : les rayons X interagissent avec les atomes d'un scintillateur qui, en se désexcitant, émettent des photons dans le spectre visible. Cette lumière est transformée en signal électrique par des photodiodes.

Ces deux techniques utilisent les propriétés des semi-conducteurs. Les photons provoquent un désordre électronique dans les atomes du semi-conducteur, qui est polarisé par un dispositif annexe : les électrons éjectés sont mis en mouvement via la

polarisation, générant un courant électrique. L'intensité du signal électrique est proportionnelle à l'énergie du photon X qui l'a générée. On peut ainsi en faire une analyse spectrale directe, pixel par pixel, pour générer l'image.

### **2.3. Arceau**

L'arceau relie le générateur de rayons X au détecteur de manière solidaire. Motorisé, il permet d'incliner ces deux éléments de part et d'autre du patient, par rotation autour de son isocentre (intersection entre l'axe du faisceau et l'axe de rotation) On peut ainsi obtenir des images sous n'importe quel angle, sans avoir besoin de mobiliser le patient.

La rotation autour de l'axe longitudinal du patient est appelée « angle primaire ». Elle est décrite par deux incidences : Oblique Antérieure Droite et Oblique Antérieure Gauche, selon que le détecteur est déplacé à droite ou à gauche du patient. La rotation dans le plan longitudinal du patient est appelée « angulation ». Elle est décrite par deux incidences : Crâniale et Caudale, selon que le détecteur est déplacé vers les pieds ou vers la tête du patient.

Selon l'intervention, certains angles seront privilégiés. Par exemple, en cardiologie interventionnelle, l'incidence Oblique Antérieure Droite à 30° permet une étude de l'ensemble du réseau circonflexe et des branches marginales (figure 11). Certaines zones du corps se trouvent ainsi davantage irradiées selon les procédures.

## **3. DOSIMETRIE**

Les effets biologiques des rayonnements ionisants sont de deux types : stochastiques ou déterministes.

Les effets **stochastiques** ont une **probabilité** d'apparition qui augmente avec la dose, c'est-à-dire qu'ils peuvent survenir, en théorie, quelle que soit la dose délivrée. C'est le cas des cancers et des maladies génétiques. La prévention des effets stochastiques est surtout recherchée chez le personnel médical, exposé à faible dose mais de façon répétée.

Les effets **déterministes**, en revanche, apparaissent en cas de dépassement d'une dose **seuil**, bien que ce seuil soit sujet à des variations biologiques, et leur gravité augmente avec la dose. C'est notamment le cas des radiodermites. Lors d'une séance de procédure guidée par fluoroscopie, on cherche à déterminer si la dose à laquelle le patient a été exposé dépasse ce seuil. Pour ce faire, on cherche à déterminer la dose maximale à la peau reçue par le patient.

### **3.1. Dose maximale à la peau**

La peau est le principal organe impacté par les réactions tissulaires déterministes. La dose maximale à la peau (*peak skin dose*, PSD) indique le risque de lésion cutanée radio-induite. Ce paramètre inclut les contributions du faisceau incident, du rayonnement diffusé par le patient, et le rayonnement de fuite en provenance sur tube générateur. L'estimation directe de la PSD est possible via l'utilisation de films radiochromiques, qui noircissent de façon proportionnelle à la dose absorbée, et qui sont lus 24 heures après l'irradiation. Cette procédure, qui constitue le Gold Standard, est longue et coûteuse, et donc non utilisable en routine. Actuellement, aucun appareil n'est capable de mesurer de façon directe et instantanée la PSD.

D'autres indicateurs dosimétriques sont utilisés pour estimer le risque déterministe.

Ces indicateurs sont les suivants :

- Kerma dans l'air au point de référence interventionnel
- Produit Dose.Surface
- Temps de fluoroscopie

### **3.2. Kerma dans l'air au point de référence interventionnel**

Pour exposer ce qu'est le Kerma dans l'air au point de référence interventionnel, il faut définir certaines grandeurs dosimétriques : Kerma, dose absorbée, point de référence interventionnel.

#### **3.2.1. Kerma**

Kerma est l'acronyme de *Kinetic Energy Released per unit Mass*. Cette grandeur correspond à la somme des énergies cinétiques transférées par les photons aux électrons dans une sphère élémentaire de masse  $d_m$  uniformément irradiée du milieu  $a$ , quel que soit le devenir des particules mises en mouvement lors de ces transferts. Elle traduit la perte d'énergie du faisceau.

Le Kerma s'exprime en Gray, avec  $1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/kg}$ . On note  $K_a$  le Kerma dans le milieu  $a$ .

#### **3.2.2. Dose absorbée**

La dose absorbée  $D_a$  est l'énergie déposée par les radiations ionisantes dans une sphère élémentaire de masse  $d_m$  du milieu  $a$ . Elle est mesurée en Gray. Son intérêt premier est de quantifier l'énergie déposée dans un tissu biologique pour prévoir les effets d'une irradiation.



La dose absorbée diffère du Kerma (figure 12) : les particules secondaires, créées suite aux interactions des photons incidents à l'entrée du milieu, parcourent une certaine distance et ne s'arrêtent pas nécessairement à l'intérieur de  $d_m$ . Ainsi, seule une partie de l'énergie transférée par le photon incident sera déposée dans  $d_m$ .

### **3.2.3. Relation entre dose absorbée et Kerma**

Dans le cas où la sphère élémentaire de masse  $d_m$  ne se situe pas immédiatement sous l'interface entre deux milieux de coefficients d'atténuation différents, et si l'atténuation de faisceau de photons incident est négligeable, il y a compensation entre :

- d'une part, l'énergie transférée en dedans de la sphère et absorbée à l'extérieur ;
- d'autre part, l'énergie transférée en dehors de la sphère et absorbée à l'intérieur.

On atteint un équilibre électronique (figure 13). Dans ces conditions, il y a égalité entre  $K_a$  et  $D_a$ . En radiologie, il est courant de considérer que ces conditions sont réunies dans l'air, donc  $K_{air} \simeq D_{air}$ .

Lorsque le faisceau pénètre dans la peau, l'atténuation n'est plus négligeable. Le Kerma est maximal à l'entrée puis diminue progressivement. Quant à la dose absorbée dans la peau, elle augmente avec la profondeur, jusqu'à sa valeur maximale, avant de suivre la même décroissance que le Kerma (figure 14). La profondeur du pic est d'autant plus élevée que l'énergie des électrons est élevée. C'est cet effet qui est mis à profit en radiothérapie pour épargner la peau, en réservant le maximum de la dose absorbée à l'organe cible. En revanche, pour les rayons X utilisés en fluoroscopie, le pic sera situé immédiatement sous la surface de la peau (2).

Donc à l'interface air/peau,  $K_{peau} \simeq D_{peau}$ .

Une estimation de  $D_{peau}$  pourra être obtenue à partir du Kerma dans l'air à l'interface air/peau (annexe i et annexe ii).

### **3.2.4. Kerma dans l'air au point de référence interventionnel**

Le Kerma dans l'air au point de référence interventionnel, noté  $K_{air,RP}$ , est spécifique aux interventions guidées par fluoroscopies. Ce Kerma est mesuré en l'absence de rayonnement rétrodiffusé par le patient.

**Le point de référence interventionnel** est le point où se situe, approximativement, **la surface d'entrée de la peau du patient**. Il est situé à 15 cm de l'isocentre de l'arceau, dans la direction du foyer du tube à rayons X (figure 15). Il est calculé de manière automatique. Il peut y avoir une différence de position entre le point de référence interventionnel et la position réelle de la surface d'entrée à la peau.

On mesure le Kerma dans l'air à la distance  $d$  ( $K_{a,d}$ ) à l'aide d'une chambre d'ionisation, qui est située à la sortie du collimateur à la distance  $d$  de la source (annexe iii).

$K_{air,RP}$  est ensuite obtenu par la relation :

$$K_{air,RP} = K_{a,d} \cdot \frac{d^2}{d_{RP}^2}$$

Où  $d_{RP}$  = distance du foyer au point de référence (figure 16).

### **3.3. Produit Dose Surface**

Le Produit Kerma Surface, aussi appelé Produit Dose.Surface (*Dose.Area Product*, DAP), est défini comme la somme des Kerma dans l'air sur un plan transverse à l'axe du

faisceau. Son unité est le  $\text{Gy}\cdot\text{cm}^2$ . **Le DAP est le même quelle que soit la distance à la source** (annexe iv). On peut le calculer grâce à la chambre d'ionisation, qui mesure  $K_{a,d}$ .

### 3.4. Utilité et corrélation des indicateurs dosimétriques

Parmi les indicateurs présentés ci-dessus, aucun n'estime la PSD de façon parfaitement fiable. En effet, la PSD dépend d'un grand nombre de facteurs, dont l'angle, la position du portique, la taille et la forme du champ, ainsi que la taille et la position du patient.

Le paramètre le plus simple à obtenir est **le temps de scopie**. Toutefois, utilisé seul, il sous-estime le risque d'effets radio-induits à la peau (3). Le temps de scopie est systématiquement enregistré car, en l'absence des autres indicateurs, il donnera tout de même une idée de l'exposition du patient.

**Le DAP correspond à la quantité d'énergie totale délivrée par le faisceau**, toutes incidences cumulées. C'est la grandeur la plus utilisée en radiologie, notamment en radiopédiatrie car le DAP donne une bonne estimation du risque stochastique, et donc du risque d'apparition de cancers (4). En revanche, ce n'est pas un bon estimateur de la PSD (5), car une petite dose de rayonnement délivrée à une grande zone peut produire le même DAP qu'une grande dose de rayonnement délivrée à une petite zone. De plus, le DAP n'inclut pas le rayonnement rétrodiffusé.

**Le  $K_{air,RP}$  estime la dose totale au point de référence interventionnel**, qui ne correspond pas totalement à la position précise de la surface d'entrée, laquelle peut, de surcroît, changer au cours de la procédure. Il n'inclut pas non plus le rayonnement rétrodiffusé. Toutefois, le  $K_{air,RP}$  cumulé démontre une meilleure corrélation avec la dose maximale à la peau par rapport au DAP (4,5).

Ces indicateurs permettent d'obtenir des informations sur l'exposition du patient, mais sont insuffisants si utilisés seuls. Leur avantage réside dans le fait qu'ils sont disponibles en temps réel sur la plupart des installations. Au cours de l'intervention, le médecin interventionnel peut ajuster la dose délivrée en fonction de ces indicateurs, notamment en diminuant la cadence d'images lors de la scopie pulsée, en utilisant des filtres additionnels ou des diaphragmes, ou encore en éloignant le patient du tube à rayons X (6).

La plupart des machines récentes utilisent des logiciels de reconstruction de l'exposition de la peau du patient. A chaque nouvelle acquisition d'image, les paramètres dosimétriques (dont le  $K_{air,RP}$ ) et les informations géométriques de l'irradiation (angulation de l'arceau, taille de champ...) sont stockées dans un fichier. Ces données sont utilisées *a posteriori* pour **cartographier les doses à la peau et estimer la PSD**. Au CHU de Clermont-Ferrand, sur les plateaux techniques équipés, le logiciel utilisé est em.dose, développé par la société Esprimed (figure 17). Une étude menée par Greffier et al. en 2017 sur une quarantaine de procédures de cardiologie interventionnelle a montré, en moyenne, une corrélation entre la dose maximale à la peau estimée par em.dose et celle mesurée par film radiochromique (7). Toutefois, individuellement, la différence entre les deux valeurs pouvait aller jusqu'à presque 20% selon la méthode utilisée.

L'estimation de la PSD réelle n'est donc pas aisée. La minimisation du risque d'effet déterministe passe par la surveillance combinée des différents indicateurs présentés.

# **RADIODERMITES APRES PROCEDURE**

## **GUIDEE PAR FLUOROSCOPIE**

De façon générale, après une exposition aux rayons X, la peau est l'organe le plus à risque de développer une lésion radio-induite (8). Les radiodermites sont connues depuis la découverte des rayons X par Röntgen en 1895. L'année suivante, Daniel (9) décrit une alopecie survenue le lendemain d'une exposition aux rayons X. En 1899, Plonski (10) rapporte des troubles de la cicatrisation apparus quelques mois après une irradiation. Il s'agit d'une complication fréquente de la radiothérapie. Toutefois, elles peuvent également survenir après une procédure guidée par fluoroscopie. En effet, ces interventions peuvent être longues et complexes, et donner lieu à une irradiation importante du patient.

Les radiodermites peuvent ainsi être soit précoces, soit tardives. Les radiodermites tardives, aussi appelées radiodermites chroniques, se manifestent plusieurs mois après l'irradiation. De ce fait, elles passent souvent inaperçues et peuvent s'aggraver insidieusement, de sorte qu'elles diminuent considérablement la qualité de vie du patient. Il est essentiel de savoir les reconnaître pour les prendre en charge de façon précoce.

### **1. CARACTERISTIQUES CLINIQUES**

Les radiodermites sont une complication déterministe de l'exposition aux rayonnements ionisants. Leur apparition dépend de la dose maximale reçue à la peau (PSD). Selon leur délai de survenue, on les classe en radiodermites aiguës ou chroniques (figure 20).

## **1.1. Radiodermites aiguës**

Les radiodermites aiguës apparaissent dans les heures ou les jours qui suivent l'irradiation. Au moment de l'irradiation, il n'y a pas d'élévation décelable de la température ni de perturbation du système sensitif (11,12). Les symptômes des radiodermites aiguës varient en fonction de la PSD (figure 21). Elles sont classées en grades de I à IV (figure 22).

- Grade I : une PSD inférieure à 5 Gy produira un léger érythème pouvant être associé à une dépilation transitoire.
- Grade II : entre 6 et 10 Gy, la dépilation devient permanente, et l'érythème plus franc.
- Grade III : au-delà de 15 Gy, la radiodermite devient exsudative, en raison d'un ralentissement du renouvellement cellulaire par les kératinocytes de la couche basale, alors que les cellules des couches superficielles, suivent leur rythme habituel de maturation et d'apoptose.
- Grade IV : après 24 Gy, le derme se nécrose et laisse place à une ulcération plus ou moins profonde. Les ulcérations peuvent être très douloureuses, et la cicatrisation peut être difficile et s'étaler sur plusieurs mois.

## **1.2. Radiodermites chroniques**

Les radiodermites chroniques se forment à partir de 10 Gy et ont un délai d'apparition qui peut varier de quelques mois à plusieurs dizaines d'années.

Elles se présentent généralement sous forme d'une plaque poïkilodermique (figure 23), associant dyschromie (hypo ou hyperpigmentation), télangiectasies et atrophie épidermique. Une xérose cutanée et une dépilation peuvent y être associées. On observe également un épaissement et une rigidité du derme et de l'hypoderme, réalisant un aspect de sclérose. Elles s'accompagnent souvent de prurit ou de douleur, après une phase précoce asymptomatique.

Ces lésions peuvent s'aggraver progressivement, avec une extension de la sclérose jusqu'à provoquer une adhérence aux plans profonds. Dans certains cas, à la suite d'un traumatisme minime ou d'une infection, la radiodermite chronique peut se compliquer d'une ulcération très douloureuse, pouvant s'étendre en profondeur jusqu'au tissu squelettique, avec un risque d'infection majoré.

Enfin, les lésions causées à l'ADN et l'inflammation chronique peuvent favoriser l'apparition de cancers cutanés, essentiellement des carcinomes basocellulaires, surtout si l'irradiation a lieu chez des patients jeunes (12).

## **2. PHYSIOPATHOLOGIE**

Les rayons X sont des radiations ionisantes, c'est-à-dire qu'elles sont capables d'arracher des électrons aux atomes qu'elles rencontrent. Les atomes et molécules ainsi rendus instables, appelés dérivés réactifs de l'oxygène (Reactive Oxygen Species, ROS), sont extrêmement réactifs vis-à-vis des molécules environnantes. Ils sont capables d'oxyder l'ADN, les protéines et les molécules constitutives des membranes cellulaires, les rendant à leur tour instables, et pouvant ainsi entraîner des réactions en chaîne.

Les lésions de l'ADN affectent en premier lieu les cellules à renouvellement rapide, c'est-à-dire les cellules de la couche basale de l'épiderme (kératinocytes et mélanocytes) (13). L'apoptose et la nécrose de ces cellules sont la cause d'une diminution des capacités de renouvellement cellulaire.

De plus, les cellules lésées produisent des cytokines inflammatoires, qui, d'une part, **entretiennent l'inflammation et la production de ROS**, et d'autre part, recrutent des monocytes. Ces cellules immunitaires se différencient en macrophages qui sécrètent le facteur de croissance dérivé des plaquettes (platelet-derived growth factor, PDGF). Le PDGF stimule l'angiogenèse et la migration des fibroblastes.

Les macrophages, les fibroblastes et les cellules lésées (endothéliales et épithéliales) produisent du TGF $\beta$  (transforming growth factor beta), qui joue un rôle central dans le processus qui conduit à la formation d'une radiodermite chronique. Cette cytokine, via la voie de signalisation des protéines Smad, active la différenciation des fibroblastes du derme en myofibroblastes, qui sécrètent une **matrice extracellulaire (MEC) abondante** (14). Parallèlement, le TGF $\beta$  diminue l'activité des métalloprotéases dans les fibroblastes, dont la fonction est de dégrader la MEC lésée. L'accumulation de MEC se traduit histologiquement par des **faisceaux de collagène épaissis et hyalinisés** et par une **augmentation relative des fibres élastiques**. Les fibroblastes stimulés prennent l'aspect de grosses cellules dendritiques avec noyau hyperchromatique et hypertrophié (figure 24 et figure 25), ce qui n'est habituellement pas retrouvé dans les pathologies fibrosantes comme la sclérodermie (11). Cliniquement, la peau sera scléreuse à la palpation, avec un épiderme aminci, et un derme et un hypoderme épaissis et rétractés. De plus, la fibrose entraîne **l'atrophie des follicules pileux et des glandes annexes**, ce



qui, ajouté à la perte des cellules souches via l'irradiation, accentue la dépilation et la xérose cutanée (11,15).

Les cytokines inflammatoires et les fibroblastes stimulent les mélanocytes restants, d'où **l'hyperpigmentation** des sites irradiés, associée à une **hypopigmentation** dans les zones où les mélanocytes ont été détruits par les rayons (15).

Les rayons X affectent aussi les cellules de Langerhans : la diminution du nombre de ces cellules, conjuguée à l'inflammation chronique, favorise la **survenue d'infections** et la colonisation bactérienne (12).

En outre, l'irradiation des cellules endothéliales active le système de coagulation, avec pour effet principal la production de thrombine. Cette enzyme possède des effets pro-inflammatoires, agit sur la prolifération cellulaire via le TGF $\beta$  et augmente la perméabilité vasculaire (16). La fibrose s'accompagne d'une diminution de la densité de la vascularisation et d'une altération de la morphologie des capillaires dont la lumière se rétrécit, via un œdème endothélial et la fibrose périvasculaire. Il en résulte une diminution du flux sanguin et une **hypoxie tissulaire**, laquelle stimule d'autant plus le phénomène de fibrose par la production de ROS (14,15).

L'ensemble de ces phénomènes altère la réparation tissulaire, ce qui explique les difficultés de cicatrisation des radiodermes (12) et le risque accru d'apparition de cancers.

Enfin, l'association de la fibrose et de l'angiogenèse stimulée par le PDGF est sans doute à l'origine des télangiectasies, bien que le mécanisme ne soit pas clairement établi (12).

### **3. SPECIFICITES DES RADIODERMITES APRES FLUOROSCOPIE**

#### **3.1. Des formes et topographies particulières**

Dans le cas des procédures guidées par fluoroscopie, en raison des incidences utilisées, le tube générateur sera le plus souvent positionné dans le dos du patient. Par exemple, après une ablation par radiofréquence ou une angioplastie coronaire, les lésions radio-induites se situeront préférentiellement en axillaire droit, médiodorsal ou en scapulaire gauche (17,18). Après la mise en place d'un shunt intrahépatique portosystémique transjugulaire (TIPS), les lésions se situent habituellement au niveau sous-scapulaire droit (19).

Les radiodermites auront également des formes particulières, « géométriques » : rondes, rectangulaires ou carrées. Cet aspect est dû à l'utilisation de collimateurs pour atténuer la dispersion du faisceau, épargner les tissus au voisinage de l'intervention, et limiter le chevauchement des champs d'irradiation lorsque des incidences différentes sont employées au cours d'une même procédure. Bien que l'utilisation d'un collimateur soit recommandée, la dose à la peau sera d'autant plus augmentée que le faisceau est resserré, pour des raisons de luminosité de l'image obtenue (20).

#### **3.2. Difficultés diagnostiques des radiodermites chroniques**

Les radiodermites chroniques peuvent faire suite à une radiodermite aiguë, surtout en cas d'atteinte sévère, mais ce n'est pas toujours le cas (21,22). Le diagnostic de radiodermite est facilité quand le patient a la notion d'une irradiation antérieure, mais peut se révéler difficile en l'absence d'information, et ce d'autant plus que les médecins et les patients ne sont pas toujours informés du risque de lésion cutanée radio-induite

après procédure guidée par fluoroscopie (23). Le délai d'apparition pouvant aller jusqu'à plusieurs années dans certains cas, le lien avec l'irradiation n'est pas toujours évident.

De plus, si le patient a subi plusieurs interventions et que chaque procédure n'a délivré qu'une dose modérée d'irradiation, il ne se verra pas systématiquement informé du risque de survenue d'une radiodermite liée à la succession des irradiations (cf. partie 4.1.2).

La présentation clinique peut être trompeuse. Une radiodermite chronique peut être facilement confondue avec une morphee ou un lichen scléreux, qui se présente également sous forme d'une lésion scléreuse et télangiectasique. La différence pourrait être mise en évidence par une biopsie, qui révélerait, dans le meilleur des cas, des fibroblastes stellaires et une rareté cellulaire globale, mais avec une sensibilité médiocre et au risque d'une aggravation de la radiodermite par le traumatisme cutané (21). Dans une publication de 2016, Tchanque et al. rapportaient le cas d'une radiodermite chronique initialement diagnostiquée comme une notalgie paresthésique devant un prurit intermittent sur une lésion légèrement dyschromique et parsemée de télangiectasies (24). Au niveau du cuir chevelu, une alopécie consécutive à l'irradiation pourrait facilement être confondue avec une pelade ou une alopécie iatrogénique (25). Un diagnostic d'érythème pigmenté fixe a été posé devant des lésions pigmentées (26).

## **4. FACTEURS DE RISQUE**

Certains facteurs de risque de développer une radiodermite ont été identifiés. Ces facteurs peuvent être liés à la dose reçue ou aux caractéristiques du patient.

## 4.1. Risque lié à la dose reçue

### 4.1.1. Dose par intervention

Les radiodermites sont une complication bien connue de la radiothérapie. Les techniques utilisées dans ce cadre ont évolué pour diminuer au maximum le risque de survenue, avec l'emploi du fractionnement qui permet de ne délivrer qu'une faible dose à la fois, en étalant le traitement sur plusieurs jours. Cette technique permet de délivrer une dose totale supérieure pour une même toxicité cutanée (27). Malheureusement, elle n'est pas utilisable en radiologie interventionnelle.

Pendant une procédure guidée par fluoroscopie, la dose reçue est généralement comprise entre 0.02 et 0.05 Gy/minute. Toutefois, dans le cas de procédures complexes, le patient peut recevoir plus de 0.5 Gy/minute (28). Or, comme exposé en partie 1, pour une irradiation unique, le seuil d'apparition d'une radiodermite aiguë est estimé à 2 Gray. Pour une radiodermite chronique, il est de 10 Gray. Ces seuils peuvent donc être rapidement dépassés en cas de procédure complexe.

Une étude rétrospective menée par Fetterly et al. en 2011, portant sur des procédures de cardiologie interventionnelle sur 14 mois consécutifs, montrait que la médiane de la dose cumulée (calculée à partir du Kerma dans l'air au point de référence interventionnel  $K_{air,RP}$ ) était de 1.64 Gy pour les hommes et de 1.15 Gy pour les femmes, avec un maximum à plus de 12 Gy (29).

Sur la base des recommandations de la Society of Interventional Radiology de 2009 (30), l'HAS a émis en 2014 des seuils d'alerte, qui sont les suivants :

- Une PSD à **3 Gy** ;

- Un DAP à **500 Gy.cm<sup>2</sup>** ;
- Un  $K_{air,RP}$  à **5 Gy** ;
- Un temps de scopie supérieur à **60 minutes**.

Le dépassement d'un seul de ces seuils doit conduire le praticien à informer le patient sur les risques de survenue d'une radiodermite et l'orienter vers un dermatologue pour la surveillance.

#### ***4.1.2. Dose cumulée***

Parmi les cas rapportés dans la littérature, la majorité des procédures impliquées sont des coronarographies et des angioplasties coronaires. Cela s'explique par la part largement majoritaire d'interventions cardiaques parmi les procédures guidées par fluoroscopie (11), mais également par le fait que les patients atteints de cardiopathie rythmique ou ischémique bénéficient souvent de plusieurs interventions dans un court laps de temps (quelques jours ou semaines) (31). **Les effets de ces interventions peuvent se cumuler** en fonction des doses reçues pour chacune d'entre elles et du délai qui les séparent, laissant plus ou moins de temps aux cellules cutanées pour se régénérer (32,33). En outre, il faut y ajouter les effets des examens radiologiques non interventionnels, comme la tomodensitométrie (34). Ainsi la dose totale cumulée sur l'ensemble des examens et interventions dont a bénéficié le patient est-elle difficilement calculable.

## 4.2. Risque lié au profil du patient

### 4.2.1. Facteurs intrinsèques

Parmi les facteurs de risques intrinsèques, il faut d'abord citer **l'obésité** (35). En effet, dans ce cas, le faisceau doit traverser une plus grande épaisseur de tissus, et l'atténuation est d'autant plus forte. Pour obtenir une image de qualité satisfaisante, il faut donc soit rapprocher le tube générateur de la peau du patient, soit majorer l'énergie portée par le faisceau incident. Dans les deux cas, la dose maximale à la peau sera plus grande que pour une personne d'IMC normal.

Sur la base des études effectuées sur les radiodermites après radiothérapie, plusieurs auteurs évoquent comme facteurs de risque le phototype, le **tabagisme**, la **dénutrition**, l'âge et certaines comorbidités comme l'hyperthyroïdie, l'infection par le VIH, les connectivites ou le diabète (12,36). Des **maladies génétiques** peuvent également diminuer les capacités de régénération de l'ADN et engendrer une radiosensibilité accrue : ataxie-télangiectasie, anémie de Fanconi, xeroderma pigmentosum, syndrome du nævus dysplasique (27,37).

### 4.2.2. Facteurs extrinsèques

La prise de certains traitements au moment de l'irradiation peut favoriser la survenue d'une radiodermite, par altération de la réparation tissulaire.

C'est notamment le cas des **chimiothérapies** qui inhibent la synthèse de l'ADN ou sa transcription en ARN, et diminuent la rapidité du renouvellement cellulaire : doxorubicine, méthotrexate, bléomycine, dactinomycine, hydroxyurée, 5-fluorouracile ;

on retrouve également les poisons du fuseau, qui bloquent la division cellulaire : paclitaxel, docetaxel (27).

Certaines **thérapies ciblées** ont aussi été incriminées, comme les anti-EGFR (38) et les anti-BRAF (39).

Quelques auteurs ont suggéré que des médicaments photosensibilisants comme l'amiodarone (40) ou les fibrates (41) pourraient également agir comme radiosensibilisants, mais cet effet n'a pas été formellement démontré.

## **5. TRAITEMENT DES RADIODERMITES**

### **5.1. Radiodermites aiguës**

Le traitement des radiodermites aiguës n'est pas clairement établi.

Pour une lésion érythémateuse avec ou sans desquamation sèche, l'hydratation par des émoullients est préconisé (42). D'autres topiques comme le *Calendula*, l'*Aloe vera*, le sucralfate ou l'acide hyaluronique n'ont pas fait la preuve de leur efficacité (43).

En cas de lésion exsudative, on peut utiliser des pansements hydrocolloïdes ou des hydrogels pour maintenir la plaie dans un environnement humide. En effet, un environnement humide favoriserait la ré-épithélialisation, la détersion des tissus nécrotiques et limiterait les risques infectieux (44).

On peut également appliquer des dermocorticoïdes, dont les propriétés anti-inflammatoires limiteraient le prurit, la douleur, mais également la production de ROS au sein de la lésion. Toutefois, leur utilisation doit être prudente compte-tenu des risques infectieux et de l'atrophie cutanée inhérents à cette classe thérapeutique (12).

Pour les patients immunodéprimés ou présentant une plaie à haut risque infectieux, on préférera l'utilisation de topiques antimicrobiens comme la sulfadiazine argentique ou les pansements à l'argent (43).

Des études sont en cours pour évaluer le traitement des radiodermites aiguës par photobiomodulation. Cette technique pourrait réduire la sévérité et la durée des lésions cutanées radio-induites (45).

## **5.2. Radiodermites chroniques**

La fibrose est le principal mécanisme à la base des radiodermites chroniques. Comme pour les radiodermites aiguës, le traitement médical est mal codifié.

Des tentatives de traitement par physiothérapie ont montré des résultats prometteurs, avec une efficacité sur l'érythème, le prurit, la douleur et l'induration cutanée. Les massages causeraient une rupture des fibres et interrompraient le processus de fibrose, mais ces résultats restent à confirmer (15).

L'utilisation de dermocorticoïdes retarderaient le processus fibrosant et diminueraient les symptômes (douleur, prurit), sans empêcher leur survenue à terme (15).

La pentoxifylline est un agent vasodilatateur utilisée dans l'artérite oblitérante des membres inférieurs. Par inhibition de la phosphodiesterase, elle diminuerait l'expression du TGF $\beta$  (46). Cet effet pourrait être potentialisé par la prise concomitante de vitamine E, qui est un antioxydant capable de limiter la génération des ROS (47). Toutefois, si des études ont montré une amélioration de la souplesse des tissus par la prise de ce traitement, l'observance était cependant compromise en raison de nausées importantes (48).



Des traitements par oxygénothérapie hyperbare ou encore par laser CO<sup>2</sup> fractionné ont été proposés pour réduire la fibrose, sans preuve d'efficacité à ce jour (43). A visée esthétique, on pourra traiter les télangiectasies par laser vasculaire à colorant pulsé ou par électrocoagulation (49).

Des techniques d'autogreffes de tissu graisseux sont utilisées depuis une quinzaine d'année pour améliorer la trophicité cutanée du site irradié. La richesse du tissu adipeux en cellules souches permettrait, via la libération de facteurs de croissance angiogéniques et anti-apoptotiques, de diminuer la synthèse de matrice extracellulaire et d'augmenter la vascularisation du tissu irradié (50,51). Un problème majeur est la prise de greffe au niveau du site irradié, où l'altération de la vascularisation, l'inflammation et la fibrose peuvent entraîner une nécrose du greffon graisseux et accroître le processus inflammatoire (15).

Dans les cas où le processus fibrosant est avancé, ou que la radiodermite est ulcérée sans possibilité de cicatrisation, le traitement repose sur la chirurgie, avec une exérèse des tissus radiodystrophiques et un recouvrement par lambeau cutané (52). Toutefois, une intervention chirurgicale pourrait aggraver la fibrose par exacerbation des phénomènes inflammatoires dans la zone irradiée (46), c'est pourquoi l'exérèse doit être large, ce qui la rend potentiellement délabrante. Il est possible d'associer exérèse chirurgicale et autogreffe de tissu graisseux pour améliorer la cicatrisation et limiter les séquelles esthétiques et fonctionnelles.

# **MISE EN PLACE D'UNE ETUDE PROSPECTIVE**

## **1. INCIDENCE DES RADIODERMITES APRES FLUOROSCOPIE :**

### **REVUE DE LA LITTERATURE**

L'utilisation croissante des procédures guidées par fluoroscopie est corrélée à une augmentation des cas de radiodermite chroniques. Leur incidence est pourtant mal connue. Dans la littérature, les radiodermites sont rapportées sous forme de cas isolés ou de petites séries. La plupart des études portent sur la survenue de lésions radio-induites, tout délai d'apparition confondu (aiguës, subaiguës ou chroniques).

#### **1.1. Incidence globale**

D'après Akita et al. (53), une estimation grossière du risque de développer une lésion cutanée radio-induite après procédure guidée par fluoroscopie le situerait entre 0.01% et 0.001%. En 2004, Vlietstra et al. (54) considéraient, sur la base des cas rapportés dans littérature aux Etats-Unis, que l'incidence des radiodermites (aiguës et chroniques) après procédure de cardiologie interventionnelle serait de moins de 0.01%.

Cependant, ces estimations sous-évaluent probablement l'incidence réelle des radiodermites après fluoroscopie. Plusieurs raisons peuvent être invoquées : erreur de diagnostic, manque d'information des patients et des médecins sur les conséquences possibles d'une irradiation, délai entre le début des signes et la consultation, délai d'apparition des lésions (36,55).

En 2012, Kato et al. (56) ont suivi **pendant 3 ans** une cohorte de 400 patients ayant bénéficié d'un acte de cardiologie interventionnelle entre 2006 et 2008. L'incidence des radiodermites a été **estimée à 1.5%** dans cette étude prospective.

En 2015, une étude rétrospective menée par Wei et al. (26) retrouvait, pour les ulcères sur radiodermites après acte de cardiologie interventionnelle entre 2012 et 2013, une occurrence de **0.42% par patient et de 0.34% par procédure**. Cette étude n'incluait que les ulcères avec un diagnostic sur photo, et ne prenait pas en compte les autres manifestations des radiodermites chroniques.

## **1.2. Incidence parmi une population à risque**

Les radiodermites étant un effet déterministe, les patients à risque sont définis, dans les études sur ce sujet, comme ceux ayant reçu des doses d'irradiation dépassant une certaine valeur-seuil.

L'équipe de Padovani (57), en 2007, sur la base d'une étude rétrospective portant sur 78 patients ayant subi une procédure de cardiologie interventionnelle entre 1998 et 2002 et sélectionnés sur la base d'un **DAP supérieur à 300 Gy.cm<sup>2</sup>**, estimait la fréquence de survenue de lésion cutanée radio-induite **à moins de 0.03%**.

En 2014, Kirkwood et al. (55) ont également tenté d'évaluer l'incidence des radiodermites chez des patients ayant reçu un  $K_{air,RP}$  supérieur à 5 Gy, **suivis pendant 1 an**. Sur 61 procédures, **aucune radiodermite** n'était décelée. Les lésions pouvant apparaître plusieurs mois, voire plusieurs années après l'irradiation, on peut supposer que la durée de suivi de ces patients n'était peut-être pas suffisante.

En 2019 également, Matei et al. (58) ont mené une étude prospective parmi des patients majeurs ayant reçu un **DAP supérieur ou égal à 200 Gy.cm<sup>2</sup>** au cours d'une dilatation coronaire percutanée, par un suivi téléphonique une semaine après l'intervention et à 6 mois. En cas de déclaration de lésion suspecte par les patients, ceux-ci étaient reçus en consultation dermatologique. La fréquence d'apparition de radiodermites aiguës ou subaiguës a ainsi été **estimée à 4.82%** au sein de cette population de patients à risque. Toutefois, en l'absence de consultation dermatologique systématique, puisque la consultation n'avait lieu qu'en cas de lésion déclarée par le patient lors de l'entretien téléphonique, on peut supposer qu'un certain nombre de lésions asymptomatiques n'ont pas été diagnostiquées.

En 2019, Guesnier-Dopagne et al. (35), dans une étude rétrospective, identifiaient une radiodermite chronique chez 8 patients sur une série de 91 patients ayant reçu des doses dépassant les **seuils recommandés par l'HAS** entre 2010 et 2016, tous types d'intervention confondus, soit **une incidence de 8.8%**. De plus, 20.9% d'entre eux avaient également présenté une radiodermite aiguë les jours suivant l'intervention. Toutefois, cette étude rétrospective présentait un nombre important de refus d'inclusion et de patients perdus de vue ou décédés, et n'incluait pas les patients ayant subi des irradiations multiples si aucune de ces procédures n'avait mené à un dépassement de dose.

## **2. JUSTIFICATION DE L'ETUDE**

Les radiodermites sont une complication potentiellement grave des procédures de radiologie interventionnelle. Si les radiodermites aiguës se manifestent rapidement, quelques jours après l'intervention, ce n'est pas le cas des radiodermites chroniques, qui

peuvent survenir au bout de plusieurs mois ou années. Ce délai d'apparition, conjugué à leur topographie souvent dorsale, à une présentation clinique parfois trompeuse, ainsi qu'à une méconnaissance des facteurs de risque inhérents à la procédure irradiante et au profil du patient, peuvent conduire à une prise en charge tardive, au prix d'une qualité de vie amoindrie et de gestes chirurgicaux lourds.

Les quelques études qui ont tenté d'évaluer la fréquence des radiodermites survenant chez des patients surexposés au cours d'une procédure guidée par fluoroscopie fournissent des chiffres disparates, entre 0 et 8.8%. Ces résultats ne constituent qu'une approximation de l'incidence réelle, car la plupart de ces travaux sont, soit rétrospectifs et donc soumis au biais de mémorisation (35,57), soit ne portaient que sur les actes de cardiologie interventionnelle (57,58), ou bien ne comportaient pas une durée de suivi suffisante pour détecter des radiodermites chroniques d'apparition tardive (55).

Les difficultés diagnostiques des radiodermites chroniques et leur délai d'apparition parfois très long contribuent probablement à une sous-évaluation de leur incidence réelle au sein d'une population à risque.

Aucune étude n'a proposé de suivre, de façon systématique, une cohorte de patients ayant, au terme d'une procédure guidée par fluoroscopie (pas seulement les actes de cardiologie interventionnelle), reçu des doses d'irradiation dépassant les seuils à risque. L'intérêt d'une telle étude est de déterminer l'incidence de survenue de radiodermites chroniques. Si l'incidence estimée est supérieure aux estimations courantes, le suivi dermatologique pourrait devenir systématique.

Cette étude pourrait également mettre en évidence des corrélations entre certains antécédents ou traitements et la survenue d'une radiodermite après surexposition. Cela

permettrait de détecter, au décours immédiat de l'irradiation, les patients les plus susceptibles de développer une lésion radio-induite, de façon à proposer une surveillance dermatologique plus stricte en fonction des doses reçues. Cette étude pourrait également souligner le lien entre radiodermite aiguë et radiodermite chronique. Enfin, elle pourrait être l'occasion d'évaluer le bénéfice d'une prise en charge chirurgicale précoce des lésions de radiodystrophie évolutive, puisque ce traitement chirurgical est le seul qui ait fait la preuve de son efficacité sur les radiodermes chroniques et qu'une chirurgie tardive expose à un geste d'autant plus délabrant et complexe.

### **3. OBJECTIFS**

#### **3.1. Objectif principal**

L'objectif principal de l'étude sera d'évaluer l'incidence des radiodermes chroniques chez les patients ayant reçu des doses dépassant les seuils d'alerte au terme d'une procédure de radiologie interventionnelle.

#### **3.2. Objectifs secondaires**

Les objectifs secondaires de l'étude seront :

- l'identification des facteurs de risque de développer une radiodermite ;
- la mise en évidence des corrélations entre la prise de certains traitements et la survenue d'une radiodermite ;
- la relation entre la survenue d'une radiodermite aiguë et une radiodermite chronique ;

- le bénéfice d'une prise en charge chirurgicale précoce des lésions de radiodystrophie évolutive.

## **4. POPULATION ET METHODES**

### **4.1. Schéma d'étude**

Il s'agit d'une étude de cohorte observationnelle, non comparative, monocentrique, ouverte et contemporaine.

### **4.2. Population étudiée**

#### ***4.2.1. Description de la population***

La population source de cette étude sera l'ensemble des patients ayant reçu des doses dépassants les seuils d'alerte au terme d'une procédure de radiologie interventionnelle.

#### ***4.2.2. Critères d'inclusion***

Les critères d'inclusion seront les suivants :

- Patient ayant reçu, au cours de cette intervention, des doses dépassant les seuils d'alerte :
  - Dose maximale à la peau > 3 Gy
  - et/ou Produit Dose.Surface > 500 Gy.cm<sup>2</sup>
  - et/ou Kerma dans l'air > 5 Gy
  - et/ou Temps d'exposition > 60 minutes.

- Patient ayant déjà été irradié au cours d'une procédure de radiologie interventionnelle
- Patient informé et n'ayant pas refusé de donner son consentement oral
- Patient âgé de plus de 18 ans

#### ***4.2.3. Critères de non inclusion***

Les critères de non-inclusion seront les suivants :

- Patient dans l'impossibilité de donner son consentement oral
- Patient ayant refusé sa participation à l'étude
- Absence de suivi possible (déménagement...)
- Patient concerné par une barrière linguistique rendant impossible la lecture de la note d'information.

#### ***4.2.4. Durée de l'étude***

Sur une période de 15 mois, on a pu recenser 102 cas de dépassement de dose au cours de procédures guidées par fluoroscopie, ce qui fait une moyenne de 81 cas par an. La durée des inclusions devrait être de 5 ans pour inclure environ 400 patients, sans compter les cas de non-inclusion.

#### ***4.2.5. Mode et faisabilité du recrutement***

Le recrutement se fera au CHU de Clermont-Ferrand, à partir des services de radiologie interventionnelle, de cardiologie interventionnelle et de neuroradiologie participants à



l'étude. Les patients seront recrutés par le médecin ayant pratiqué le geste, à l'issue de la procédure.

## **5. DESCRIPTION DE L'ETUDE**

### **5.1. Définition du moment d'inclusion dans la cohorte**

L'inclusion se fera au terme immédiat de la procédure de radiologie interventionnelle en cas de constat du dépassement d'un des seuils d'alerte, au cours de cette intervention ou bien en cumulé sur un an si les doses des irradiations précédents sont connues.

### **5.2. Suivi**

Le suivi sera fait en consultation de dermatologie :

- dans le mois suivant l'intervention,
- à 1 mois de l'intervention,
- à 3 mois,
- 1 an
- puis tous les 2 ans.

Dans la littérature, nous avons dénombré 220 cas rapportés depuis 1994 de radiodermites survenues après procédure guidée par fluoroscopie (annexe v). Parmi ces cas :

- 44.5% sont apparues sans lésion de radiodermite aiguë préalable ;

- 96.8% sont apparues dans les 2 ans ;
- 99.5% sont apparues dans les 4 ans.

Parmi les 20 cas de radiodermites apparues après 1 an, 13 (65%) sont apparues dans les 2 ans après l'irradiation, et 6 (30%) sont apparues dans les 4 ans après l'irradiation (figure 26).

Sur la base de ces observations, on propose de suivre les patients pendant 5 ans. Les trois premières consultations se feront dans le Service de Dermatologie du CHU de Clermont-Ferrand, et les suivantes auprès du Dermatologue libéral du choix du patient.

### **5.3. Critère de jugement**

Une radiodermite est suspectée en cas d'apparition d'une ou plusieurs des lésions suivantes (11):

- Erythème
- Œdème
- Dépilation
- Télangiectasies
- Pigmentation
- Sclérose
- Ulcération
- Nécrose

Les lésions néoplasiques ne font pas partie du spectre des radiodermites.

## **6. DEROULEMENT PRATIQUE DU PROTOCOLE**

### **6.1. Recrutement des patients**

Le praticien ayant effectué le geste informera le patient des risques consécutifs à l'irradiation, et proposera au patient un suivi dermatologique. Une note d'information (annexe vi) sera remise au patient, expliquant la finalité de l'étude, et l'informant des modalités de recueillement et de traitement de ses données personnelles. En cas d'opposition du patient, celui-ci sera orienté vers les consultations du service de Dermatologie pour y bénéficier d'un suivi selon les pratiques cliniques habituelles.

Sinon, le praticien remplira le formulaire d'inclusion (annexe vii), mentionnant le type d'intervention pratiquée, les doses d'irradiation reçues au cours du geste, les irradiations précédentes sur la dernière année s'il en a connaissance et les doses reçues au cours de chaque irradiation, les antécédents médicaux et les traitements médicamenteux pris le jour de l'irradiation. Ce formulaire sera adressé, par le secrétariat du service concerné, au secrétariat de Dermatologie accompagné des coordonnées téléphoniques du patient, pour organiser le suivi en consultation.

### **6.2. Organisation du suivi**

Les rendez-vous seront donnés par le secrétariat du CHU de Clermont-Ferrand. Lors de la réception du fichier d'inclusion, les trois premiers rendez-vous seront programmés (<M1, M1 et M3).

Chaque consultation comportera un examen de la totalité de la peau par un Dermatologue (du service de Dermatologie pour les 3 premières consultations, libéral pour les suivantes). En cas de lésion dans la zone irradiée, une photographie sera prise (en prenant soin de masquer le visage et les signes distinctifs), puis rangée dans le dossier du patient. En cas de dépistage d'une lésion radio-induite chronique, une biopsie sera proposée au patient.

Lors de la consultation de M1 uniquement, le patient sera interrogé sur la survenue de lésions transitoires (érythème, sensation de brûlure) au niveau de la zone irradiée, pour ne pas méconnaître une radiodermite aiguë de résolution rapide. Lors de cette consultation également, l'organisation du suivi sera expliquée au patient.

Lors de la consultation de M3, le Dermatologue hospitalier rappellera au patient la nécessité de choisir un Dermatologue libéral auprès duquel il prendra rendez-vous pour la suite de la surveillance à partir de M12 puis tous les deux ans.

A l'issue de chaque consultation, le Dermatologue consignera, dans un formulaire de suivi (annexe viii et annexe ix), l'ensemble de ses observations, les gestes pratiqués (biopsie, photographie de lésions) et les traitements prescrits éventuels. Si une lésion de radiodermite est diagnostiquée, le Dermatologue libéral transmettra le formulaire et la photographie, accompagnés du compte-rendu anatomopathologique en cas de biopsie, par mail au Service de Dermatologie du CHU de Clermont-Ferrand. S'il s'agit d'une lésion de radiodystrophie évolutive, le patient sera contacté pour être vu en consultation dans le Service de Dermatologie afin d'évaluer la nécessité de lui proposer une exérèse chirurgicale selon le mode de prise en charge habituel. Le cas échéant, le patient sera alors adressé au service de Chirurgie Maxillo-faciale.

Un algorithme résumant le parcours du patient inclus est présenté en annexe x. Un tableau résumant les différentes étapes à remplir par les médecins impliqués est disponible en annexe xi.

Un fichier Excel (annexe xii) comportant la liste des patients inclus dans l'étude permettra de signaler de façon automatique les patients qui devront être suivis en consultation à M12 dans les 3 prochains mois, ou à M36 ou à M60 dans les 12 prochains mois. Ces patients seront contactés par courrier par un Attaché de Recherche Clinique pour leur rappeler la nécessité de poursuivre la surveillance dermatologique.

## **7. VARIABLES RELEVÉES**

### **7.1. Données du patient**

Cette étude prévoit le recueil de données indirectement nominatives concernant les patients au sens de la loi "Informatique et Libertés". De ce fait, et conformément à cette loi, le médecin participant devra informer le patient sous une forme compréhensible par lui, et avant son entrée dans l'étude, de la nature, de l'objectif et des conséquences possibles de l'étude, du recueil de données indirectement nominatives le concernant, ainsi que de l'existence d'un traitement automatisé de ces données, de la finalité de ce recueil et de son droit d'accès, de rectification et d'opposition au traitement de ses données.

Une note d'information comportant un formulaire d'opposition de participation patient sera remise par le médecin à tous les patients identifiés comme incluables.

La non-opposition du patient dans les 7 jours à compter de la réception de la note d'information fera office de consentement. Dans le cas où le patient exprimerait son

opposition à la participation à cette recherche après ce délai, les données déjà saisies dans la base de données seraient conservées mais la collecte ultérieure des données s'arrêtera.

Les données à caractère personnel du patient collectées dans le cadre de l'étude devront être traitées dans le respect de la loi Informatique et Liberté n°78-17 du 6 janvier modifiée.

Le recueil des données sera effectué à l'aide des formulaires de suivi qui comprendront les caractéristiques des patients, des facteurs d'exposition, de la pathologie étudiée et les données du suivi. Ces formulaires figurent en annexe.

La vérification de la qualité des données sera effectuée par l'Assistant de Recherche Clinique affecté à cette étude, qui saisira dès réception les données et recherchera l'existence de données manquantes et aberrantes. Toutes données ainsi retrouvées feront l'objet d'une demande de correction par l'investigateur du centre ayant adressé le cahier d'observation.

## **7.2. Critère de jugement**

Si une radiodermite est identifiée par le médecin consultant, une photographie de la zone lésée sera faite.

Une radiodermite sera qualifiée de « chronique » si :

- après survenue d'une radiodermite aiguë ou subaiguë, les lésions sont toujours présentes 1 an après l'intervention ;
- ou si les lésions apparaissent 1 an après l'intervention sans radiodermite aiguë ou subaiguë préalable.

En cas de suspicion de radiodermite chronique de diagnostic non évident, ou si le médecin détecte des signes de néoplasie, une biopsie sera proposée au patient pour confirmation histologique. Pour confirmer la radiodermite, l'anatomo-pathologiste recherchera une rareté cellulaire globale, la présence de quelques fibroblastes stellaires, la présence de signe de fibrose dermique et/ou hypodermique.

### **7.3. Autres variables d'intérêt**

Les informations suivantes seront collectées :

- Nom, prénom
- Date de naissance
- Sexe
- Taille, poids, indice de masse corporelle
- Phototype
- Type de procédure de radiologie interventionnelle subie
- Date de l'intervention
- Doses reçues au cours de la procédure de radiologie interventionnelle (temps de scopie, dose maximale à la peau, Kerma dans l'air, Produit Dose.Surface)
- Zone irradiée
- Antécédents médicaux ou chirurgicaux pertinents avant l'intervention
- Médicaments pris le jour de l'intervention

- Antécédents de procédure de radiologie interventionnelle, nature du geste et les doses correspondantes si connues
- Traitements en cours le jour de la consultation de suivi
- Modifications transitoires de la zone irradiée (type et durée) si constatées par le patient avant la consultation de M1
- Photographie de la zone irradiée en cas de présence d'une lésion

#### **7.4. Les sorties d'études**

Si possible, les causes d'une sortie d'étude seront notifiées dans le dossier (refus du suivi, déménagement).

Si la cause de la sortie d'étude n'a pas été récupérée, le médecin traitant identifié dans les dossiers médicaux sera interrogé sur leur devenir.

Le statut vital sera déterminé par les données du dossier médical, ou à défaut par contact avec le médecin traitant, ou par le retour aux données de l'état-civil de la commune de naissance. Le cas échéant, la cause du décès sera recherchée auprès du CepiDC (procédure Inserm), si non documentée dans le dossier médical et non connue par le médecin participant.

Si le patient n'est plus suivi dans l'étude sans qu'aucune cause ne soit repérée, il est alors *perdu de vue*.



## **8. ETHIQUE**

Cette étude s'inscrit dans les recommandations de l'HAS de 2014 qui préconise que les patients ayant reçu des doses dépassant les seuils d'alerte bénéficient d'une surveillance dermatologique régulière. Par ailleurs il ne s'agit pas d'une étude interventionnelle mais uniquement observationnelle. L'éventualité d'une biopsie cutanée devant un doute diagnostique ou une suspicion de néoplasie relève de la prise en charge habituelle de ce type de lésions, de même que la proposition d'exérèse chirurgicale en cas de radiodystrophie évolutive. Cette étude ne nécessite donc pas l'avis d'un Comité de Protection des Personnes.

Le fichier Excel utilisé pour répertorier les patients à relancer avant leur prochain rendez-vous (annexe xii) fera l'objet d'une déclaration simplifiée à la Commission Nationale de l'Informatique et des Libertés. Les démarches sont en cours auprès du Département de l'Information Médicale du CHU de Clermont-Ferrand.

# CONCLUSION

Les procédures fluoroscopiques, peu invasives, sont de plus en plus utilisées, dans de multiples indications. De par leur emploi des rayonnements ionisants, elles ne sont pas sans risque, et elles peuvent notamment induire des lésions à la peau.

Les radiodermites sont un effet déterministe, donc dépendant de la dose reçue. La dose limite pour développer une radiodermite est elle-même variable selon les caractéristiques des individus. Or la mesure précise de la dose maximale à la peau au cours des procédures de radiologie interventionnelle est impossible en routine à l'heure actuelle. L'évaluation du risque passe par l'utilisation d'indicateurs dosimétriques de façon combinée : le temps de scopie, le Produit Dose.Surface, le Kerma dans l'air au point de référence interventionnel, et la Dose à la Peau estimée a posteriori par un logiciel de cartographie de dose.

Les radiodermites sont dites chroniques quand elles apparaissent ou durent au-delà de plusieurs mois après l'irradiation. Elles ne sont pas toujours précédées d'une radiodermite aiguë, et peuvent être tout à fait asymptomatiques en début d'évolution. Au fil du temps, la peau devient scléreuse, dyschromique, télangiectasique, siège de troubles de cicatrisation importants, pouvant conduire à des ulcérations extrêmement douloureuses et invalidantes. Le traitement, mal codifié, repose pour les lésions les plus invalidantes sur une chirurgie d'exérèse large avec reconstruction par lambeau cutané.

Bien qu'elles se caractérisent par leur forme quasi-géométrique, due au champ d'irradiation, et une localisation typique, liée à l'incidence utilisée au cours du geste, les radiodermites demeurent un effet méconnu des procédures de radiologie

interventionnelle. Leur délai d'apparition tardif, leur ressemblance avec d'autres pathologies cutanées (morphée, pelade, notalgie paresthésique...), la méconnaissance des facteurs de risque inhérents à la procédure irradiante et au profil du patient, contribuent à une errance diagnostique et à une prise en charge tardive. L'incidence des radiodermes est réputée faible, autour de 1%, mais elle est probablement sous-évaluée. Une précédente étude rétrospective conduite au CHU de Clermont-Ferrand a, quant à elle, évalué à plus de 8% le risque de survenue de radioderme chez des patients à risque du fait d'une irradiation prolongée.

Notre thèse a consisté à mettre en place au sein du CHU de Clermont-Ferrand, d'une part, d'un suivi dermatologique systématique pour les patients surexposés au cours d'une procédure de radiologie interventionnelle, et d'autre part, dans le cadre de ce suivi, d'une étude prospective et observationnelle visant à évaluer l'incidence réelle des radiodermes chroniques au sein de cette population de patients. La surexposition est définie comme le dépassement, par les indicateurs dosimétriques, des seuils recommandés par l'HAS au cours de la procédure. Seront également inclus les patients ayant déjà été exposés lors de séances de radiologie interventionnelle précédentes mais à des seuils considérés comme non à risque. Les objectifs secondaires seront l'identification des facteurs de risque personnels de développer une radioderme, la mise en évidence des corrélations entre la prise de certains traitements et la survenue d'une radioderme, le lien entre radioderme aiguë et chronique, et enfin l'évaluation de l'intérêt d'un traitement chirurgical précoce.

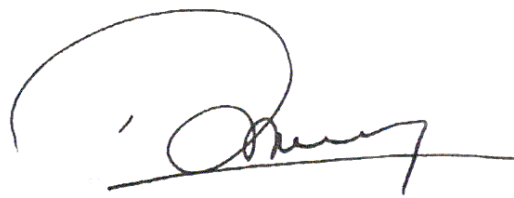
Il s'agit de la première étude prospective sur le sujet, dont la réalisation nécessitera l'implication des Services de Dermatologie, Cardiologie et Radiologie Interventionnelle sur plusieurs années. A terme, les résultats issus de cette étude permettront une

optimisation de la prise en charge des patients à risque de développer des radiodermites. L'identification de ces patients en amont de la procédure de radiologie interventionnelle pourrait conduire le médecin interventionnel à minimiser les risques de dépassement de dose. En cas de surexposition malgré ces précautions, ces patients pourraient bénéficier d'une surveillance dermatologique accrue, afin de détecter la formation de lésions radio-induites de façon précoce et de les traiter avant qu'elles ne deviennent trop étendues et invalidantes.

Pierre CLAVELOU 28/3/24  
Doyen-Directeur



Le 25/03/2024

  
H. SIMON

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. IRSN. Radiologie interventionnelle.
2. Podgorsak EB. External photon beams: Physical aspects. *Radiat Oncol Phys Handb Teach Stud*.
3. O'Dea TJ, Geise RA, Ritenour ER. The potential for radiation-induced skin damage in interventional neuroradiological procedures: a review of 522 cases using automated dosimetry. *Med Phys*. 26:2027-33.
4. Lazarus MS, Taragin BH, Malouf W, Levin TL, Nororis E, Schoenfeld AH, et al. Radiation dose monitoring in pediatric fluoroscopy: comparison of fluoroscopy time and dose-area product thresholds for identifying high-exposure cases. *Pediatr Radiol*. 49:600-8.
5. van de Putte S, Verhaegen F, Taeymans Y, Thierens H. Correlation of patient skin doses in cardiac interventional radiology with dose-area product. *Br J Radiol*. 73:504-13.
6. Haute Autorité de Santé. Améliorer le suivi des patients en radiologie interventionnelle et actes radioguidés. Réduire le risque d'effets déterministes. 2014.
7. Greffier J, Van Ngoc Ty C, Bonniaud G, Moliner G, Ledermann B, Schmutz L, et al. Assessment of peak skin dose in interventional cardiology: A comparison between Gafchromic film and dosimetric software em.dose. *Phys Medica PM Int J Devoted Appl Phys Med Biol Off J Ital Assoc Biomed Phys AIFB*. 38:16-22.
8. Miller DL, Balter S, Schueler BA, Wagner LK, Strauss KJ, Vañó E. Clinical radiation management for fluoroscopically guided interventional procedures. *Radiology*. 257:321-32.
9. Daniel J. THE X-RAYS. *Science*. 3:562-3.
10. Plonski B. VII. Dermatitis nach Röntgen-Strahlen. *Dermatology*. 5:36-9.
11. Koenig TR, Wolff D, Mettler FA, Wagner LK. Skin injuries from fluoroscopically guided procedures: part 1, characteristics of radiation injury. *AJR Am J Roentgenol*. 177:3-11.
12. Hymes SR, Strom EA, Fife C. Radiation dermatitis: clinical presentation, pathophysiology, and treatment 2006. *J Am Acad Dermatol*. 54:28-46.
13. Bergonié J, Tribondeau L. Interpretation of some results from radiotherapy and an attempt to determine a rational treatment technique. 1906. *Yale J Biol Med*. 76:181-2.
14. Singh M, Alavi A, Wong R, Akita S. Radiodermatitis: A Review of Our Current Understanding. *Am J Clin Dermatol*. 17:277-92.

15. Borrelli MR, Shen AH, Lee GK, Momeni A, Longaker MT, Wan DC. Radiation-Induced Skin Fibrosis: Pathogenesis, Current Treatment Options, and Emerging Therapeutics. *Ann Plast Surg.* 83:S59-64.
16. Yarnold J, Brotons M-CV. Pathogenetic mechanisms in radiation fibrosis. *Radiother Oncol J Eur Soc Ther Radiol Oncol.* 97:149-61.
17. Tugba F, Vefa Aslı E, Sevil S, Mehmet Salih G, Ezgi O. Fluoroscopy-Induced Chronic Radiodermatitis. *J Dermatol Res Ther.* 2.
18. Kawakami T, Saito R, Miyazaki S. Chronic radiodermatitis following repeated percutaneous transluminal coronary angioplasty. *Br J Dermatol.* 141:150-3.
19. Knautz MA, Abele DC, Reynolds TL. Radiodermatitis after transjugular intrahepatic portosystemic shunt. *South Med J.* 90:352-6.
20. Koenig TR, Mettler FA, Wagner LK. Skin injuries from fluoroscopically guided procedures: part 2, review of 73 cases and recommendations for minimizing dose delivered to patient. *AJR Am J Roentgenol.* 177:13-20.
21. Batrani M, Kubba A, Sundharam J. Fluoroscopy-induced chronic radiation dermatitis masquerading as morphea: A diagnostic pitfall. *Indian J Pathol Microbiol.* 61:393-6.
22. Jaschke W, Schmuth M, Trianni A, Bartal G. Radiation-Induced Skin Injuries to Patients: What the Interventional Radiologist Needs to Know. *Cardiovasc Intervent Radiol.* 40:1131-40.
23. Granel F, Barbaud A, Gillet-Terver MN, Reichert S, Weber M, Danchin N, et al. [Chronic radiodermatitis after interventional cardiac catheterization. Four cases]. *Ann Dermatol Venereol.* 125:405-7.
24. Tchanque-Fossuo C, Isseroff R, Silverstein M. Fluoroscopy induced chronic radiation dermatitis should be included in the differential diagnosis of notalgia paresthetica. *Dermatol Online J.* 22.
25. D'Incan M, Roger H, Gabrillargues J, Mansard S, Parent S, Chazal J, et al. Alopecie transitoire d'origine radique après embolisation artérielle cérébrale: 6 cas. *Ann Dermatol Venereol.* :4.
26. Wei K-C, Yang K-C, Mar G-Y, Chen L-W, Wu C-S, Lai C-C, et al. STROBE–Radiation Ulcer: An Overlooked Complication of Fluoroscopic Intervention: A Cross-Sectional Study. *Medicine (Baltimore).* 94:e2178.
27. Bray FN, Simmons BJ, Wolfson AH, Nouri K. Acute and Chronic Cutaneous Reactions to Ionizing Radiation Therapy. *Dermatol Ther.* 6:185-206.
28. Frazier TH, Richardson JB, Fabré VC, Callen JP. Fluoroscopy-Induced Chronic Radiation Skin Injury: A Disease Perhaps Often Overlooked. *Arch Dermatol.* 143.
29. Fetterly KA, Lennon RJ, Bell MR, Holmes DR, Rihal CS. Clinical determinants of radiation dose in percutaneous coronary interventional procedures: influence of patient

- size, procedure complexity, and performing physician. *JACC Cardiovasc Interv.* 4:336-43.
30. Stecker MS, Balter S, Towbin RB, Miller DL, Vañó E, Bartal G, et al. Guidelines for patient radiation dose management. *J Vasc Interv Radiol JVIR.* 20:S263-273.
  31. Spiker A, Zinn Z, Carter WH, Powers R, Kovach R. Fluoroscopy-induced chronic radiation dermatitis. *Am J Cardiol.* 110:1861-3.
  32. Balter S, Hopewell JW, Miller DL, Wagner LK, Zelefsky MJ. Fluoroscopically Guided Interventional Procedures: A Review of Radiation Effects on Patients' Skin and Hair. *Radiology.* 254:326-41.
  33. Tchanque-Fossuo CN, Kamangar F, Ho B, Chang S, Dahle SE, Schulman JM, et al. Fluoroscopy-induced radionecrosis. *Dermatol Online J.* 22.
  34. Miller DL. Overview of contemporary interventional fluoroscopy procedures. *Health Phys.* 95:638-44.
  35. Guesnier-Dopagne M, Boyer L, Pereira B, Guersen J, Motreff P, D'Incan M. Incidence of Chronic Radiodermatitis after Fluoroscopically Guided Interventions: A Retrospective Study. *J Vasc Interv Radiol JVIR.* 30:692-698.e13.
  36. Wei Y-A, Wang W-H, Lai P-C, Wei K-C. Fluoroscopy-induced radiation dermatitis: A pitfall complication of percutaneous cardiac interventions. *Med Imaging Interv Radiol.* 2.
  37. Brown KR, Rzucidlo E. Acute and chronic radiation injury. *J Vasc Surg.* 53:15S-21S.
  38. Tejwani A, Wu S, Jia Y, Agulnik M, Millender L, Lacouture ME. Increased risk of high-grade dermatologic toxicities with radiation plus epidermal growth factor receptor inhibitor therapy. *Cancer.* 115:1286-99.
  39. Anker CJ, Grossmann KF, Atkins MB, Suneja G, Tarhini AA, Kirkwood JM. Avoiding Severe Toxicity From Combined BRAF Inhibitor and Radiation Treatment: Consensus Guidelines from the Eastern Cooperative Oncology Group (ECOG). *Int J Radiat Oncol Biol Phys.* 95:632-46.
  40. De Neve W, Fortan L, Storme G. Increased acute mucosal and cutaneous radiation toxicity in two patients taking amiodarone. *Int J Radiat Oncol Biol Phys.* 22:224.
  41. Gironet N, Jan V, Machet MC, Machet L, Lorette G, Vaillant L. [Chronic radiodermatitis after heart catheterization: the contributing role of ciprofibrate (Lipantor)?]. *Ann Dermatol Venereol.* 125:598-600.
  42. O'Donovan A, Coleman M, Harris R, Herst P. Prophylaxis and management of acute radiation-induced skin toxicity: a survey of practice across Europe and the USA. *Eur J Cancer Care (Engl).* 24:425-35.
  43. Leventhal J, Young MR. Radiation Dermatitis: Recognition, Prevention, and Management. *Oncol Williston Park N.* 31:885-7, 894-9.

44. Ramirez M, Ravichandran S, Ronald L, Pabon-Ramos WM, Smith TP, Kim CY, et al. Recognition and management of dermatologic complications from interventional radiology procedures. *Diagn Interv Imaging*. 100:659-70.
45. Robijns J, Lodewijckx J, Bensadoun R-J, Mebis J. A Narrative Review on the Use of Photobiomodulation Therapy for the Prevention and Management of Acute Radiodermatitis: Proposed Mechanisms, Current Clinical Outcomes, and Preliminary Guidance for Clinical Studies. *Photobiomodulation Photomed Laser Surg*. 38:332-9.
46. Spałek M. Chronic radiation-induced dermatitis: challenges and solutions. *Clin Cosmet Investig Dermatol*. 9:473-82.
47. Delanian S, Porcher R, Balla-Mekias S, Lefaix J-L. Randomized, placebo-controlled trial of combined pentoxifylline and tocopherol for regression of superficial radiation-induced fibrosis. *J Clin Oncol Off J Am Soc Clin Oncol*. 21:2545-50.
48. Famoso JM, Laughlin B, McBride A, Gonzalez VJ. Pentoxifylline and vitamin E drug compliance after adjuvant breast radiation therapy. *Adv Radiat Oncol*. 3:19-24.
49. Seité S, Bensadoun R-J, Mazer J-M. Prevention and treatment of acute and chronic radiodermatitis. *Breast Cancer Targets Ther*. Volume 9:551-7.
50. Garza RM, Paik KJ, Chung MT, Duscher D, Gurtner GC, Longaker MT, et al. Studies in fat grafting: Part III. Fat grafting irradiated tissue—improved skin quality and decreased fat graft retention. *Plast Reconstr Surg*. 134:249-57.
51. Rehman J, Traktuev D, Li J, Merfeld-Clauss S, Temm-Grove CJ, Bovenkerk JE, et al. Secretion of angiogenic and antiapoptotic factors by human adipose stromal cells. *Circulation*. 109:1292-8.
52. Reichman EF. Fluoroscopy-Induced Radiation Dermatitis. *J Emerg Med*. 47:e117-9.
53. Akita S. Treatment of Radiation Injury. *Adv Wound Care*. 3:1-11.
54. Vlietstra RE, Wagner LK, Koenig T, Mettler F. Radiation burns as a severe complication of fluoroscopically guided cardiological interventions. *J Intervent Cardiol*. 17:131-42.
55. Kirkwood ML, Arbique GM, Guild JB, Timaran C, Valentine RJ, Anderson JA. Radiation-induced skin injury after complex endovascular procedures. *J Vasc Surg*. 60:742-8.
56. Kato M, Chida K, Sato T, Oosaka H, Tosa T, Munehisa M, et al. The necessity of follow-up for radiation skin injuries in patients after percutaneous coronary interventions: radiation skin injuries will often be overlooked clinically. *Acta Radiol*. 53:1040-4.
57. Padovani R, Bernardi G, Quai E, Signor M, Toh HS, Morocutti G, et al. Retrospective evaluation of occurrence of skin injuries in interventional cardiac procedures. *Radiat Prot Dosimetry*. 117:247-50.



58. Matei TI, Paziuc A, Mester P, Ispas A, Puie P, Blaga L, et al. [Evaluation of the incidence of radiodermatitis lesions in interventional cardiology]. *Ann Cardiol Angeiol (Paris)*. 68:293-9.
59. Bushberg JT. The AAPM/RSNA physics tutorial for residents. X-ray interactions. *RadioGraphics*. 18:457-68.
60. Angelini E. UE ACIMED Octobre 2007. :147.
61. Etat de l'art des techniques cardiovasculaires pour le traitement de la sténose.
62. Report No. 168 – Radiation Dose Management for Fluoroscopically-Guided Interventional Medical Procedures (2010) - NCRP Bethesda, MD.
63. NE 581 – Radiation Protection – OSU Extended Campus - Oregon State University.
64. Cousins C, Miller DL, Bernardi G, Rehani MM, Schofield P, Vañó E, et al. ICRP PUBLICATION 120: Radiological protection in cardiology. *Ann ICRP*. 42:1-125.
65. Ma CM, Seuntjens JP. Mass-energy absorption coefficient and backscatter factor ratios for kilovoltage x-ray beams. *Phys Med Biol*. 44:131-43.

# FIGURES

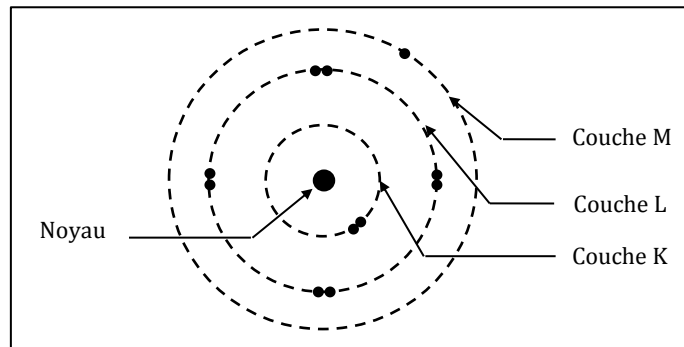


Figure 1: Modèle de Bohr. Exemple de l'atome de sodium ( $Z=11$ )

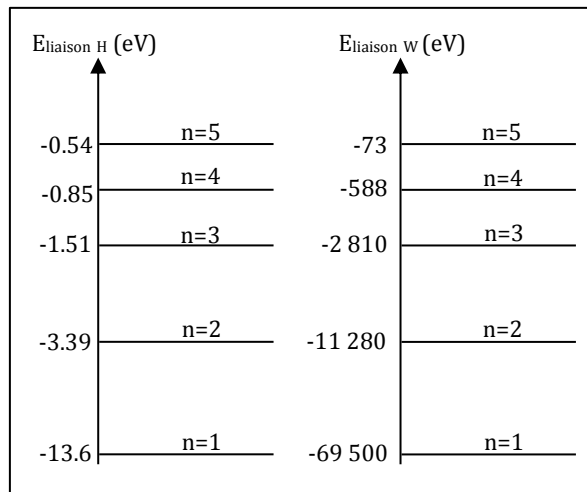


Figure 2: Niveaux de transition des atomes d'hydrogène (H,  $Z=1$ ) et de tungstène (W,  $Z=74$ )

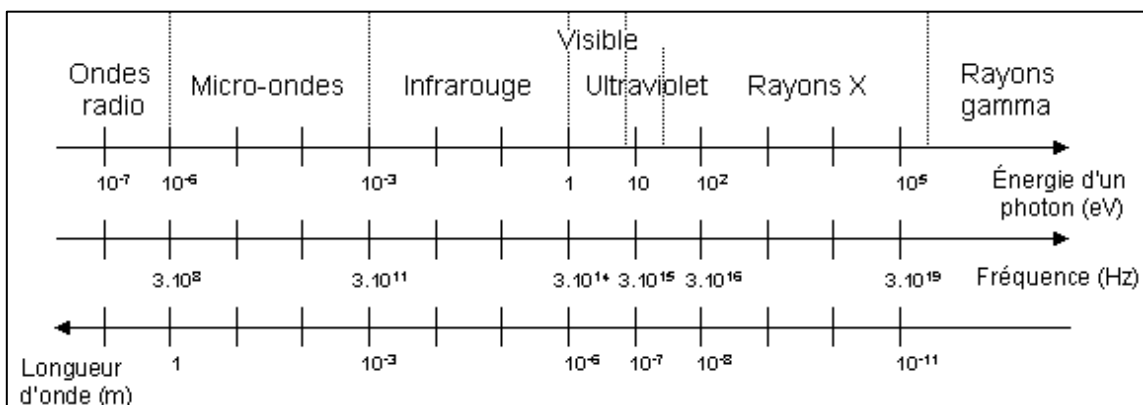


Figure 3: Spectre des radiations électromagnétiques

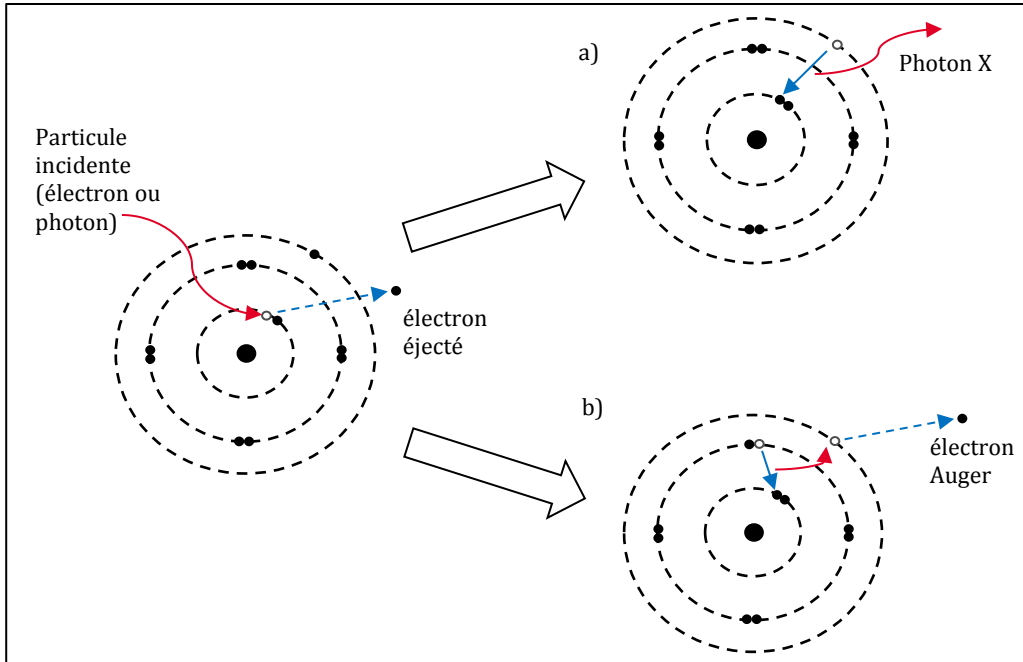


Figure 4: Ionisation d'un atome

- A) la lacune interne est comblée par un électron de la couche extérieure et l'énergie est libérée sous forme d'un photon X ;
- B) la lacune interne est comblée par un électron de la couche immédiatement supérieure et l'énergie libérée est transmise à un électron de la couche extérieure qui est éjecté (électron Auger)

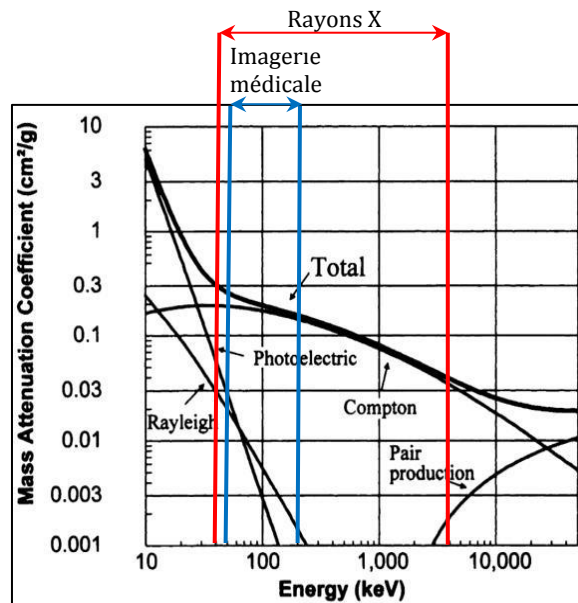


Figure 5: Interaction rayonnement - tissus mous en fonction de l'énergie des photons (59)

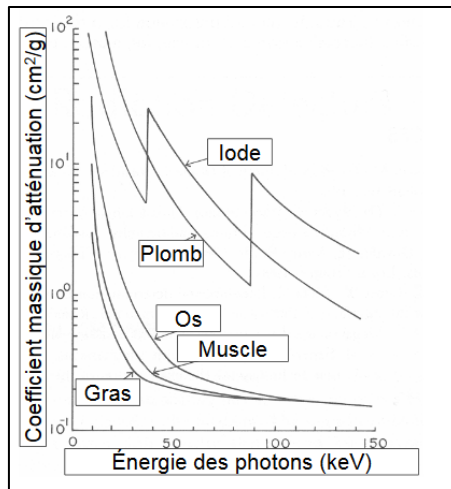


Figure 6: Variation du coefficient massique d'atténuation de différents tissus organiques en fonction de l'énergie des photons (60)

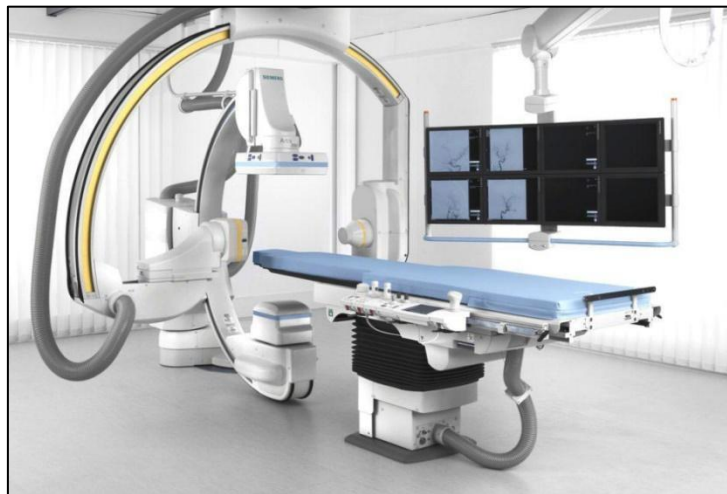


Figure 7: Fluoroscope

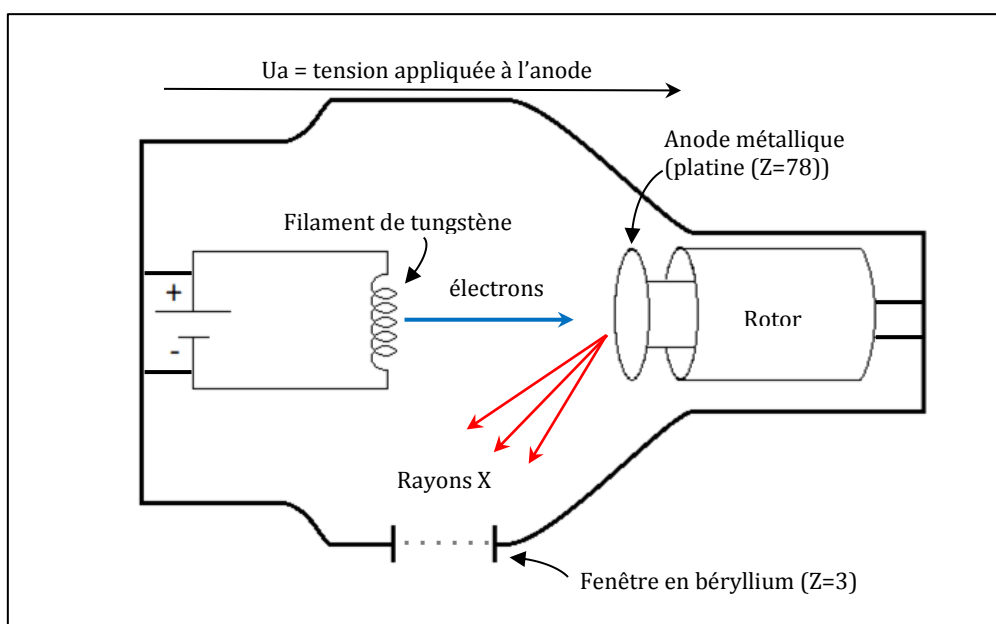


Figure 8: Tube à rayons X à anode tournante

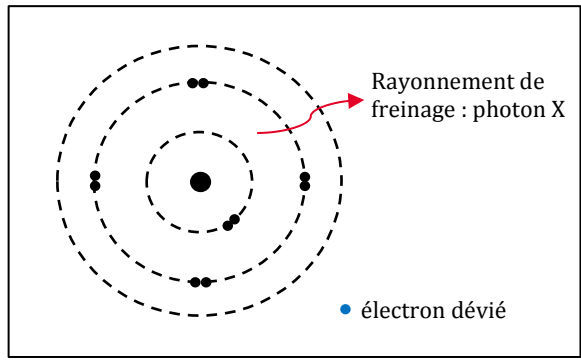


Figure 9: Rayonnement de freinage (Bremsstrahlung)

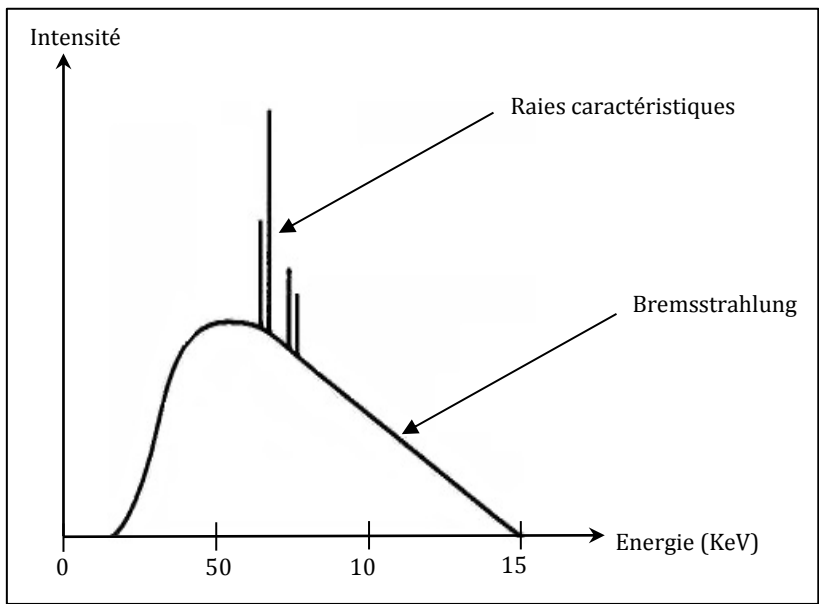


Figure 10: Spectre d'émission à la sortie du tube

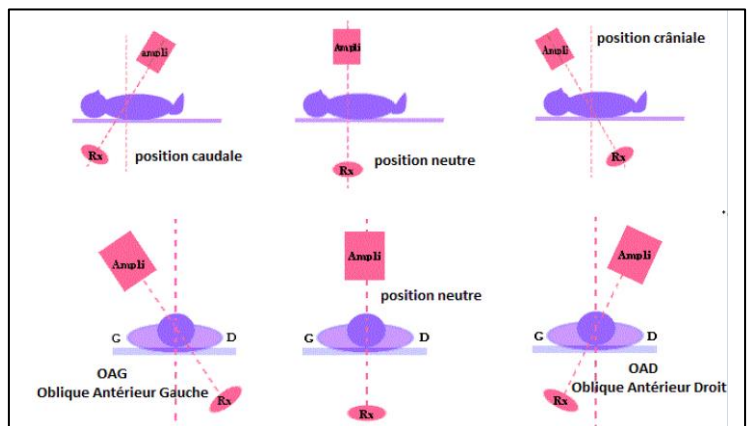


Figure 11: Incidences normalisées en angiographie (61)

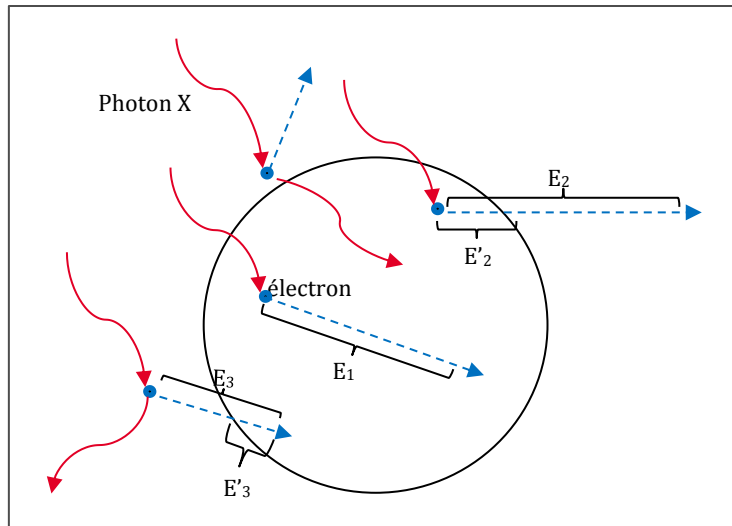


Figure 12: Différence entre Kerma et dose absorbée

Kerma = somme des énergies cinétiques transférées:  $dE_{tr} = E_1 + E_2$

Dose absorbée = somme des énergies cinétiques absorbées:  $dE_a = E_1 + E'_2 + E'_3$

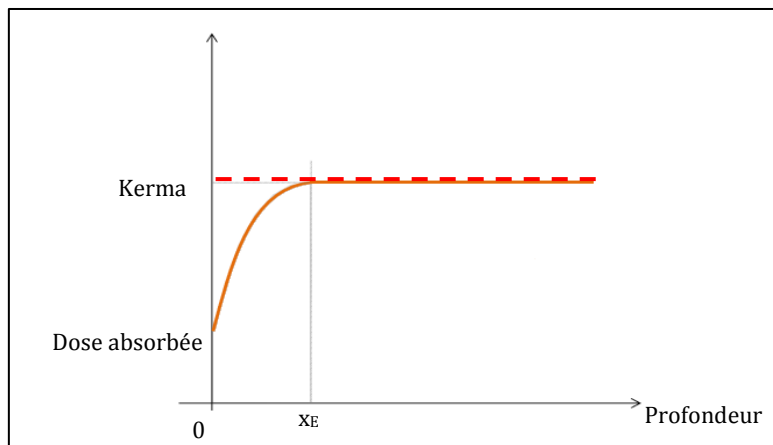


Figure 13: Kerma et dose absorbée dans le cas d'un faisceau non atténué  
L'équilibre électronique est atteint à partir de la profondeur  $x_E$

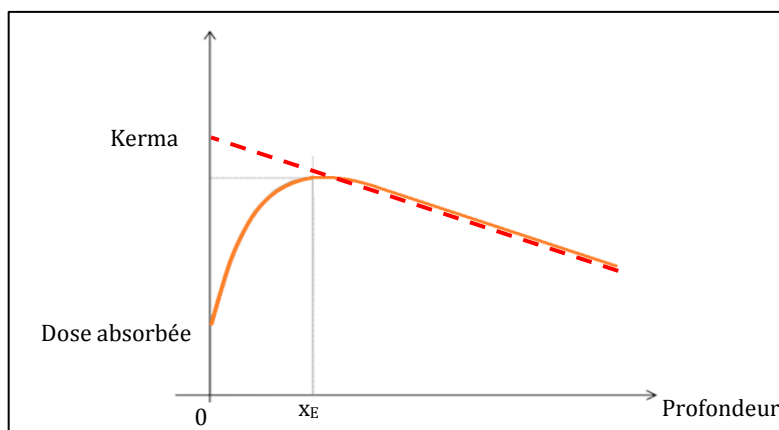


Figure 14: Kerma et dose absorbée dans le cas d'un faisceau atténué  
Un équilibre électronique transitoire est atteint à partir de la profondeur  $x_E$

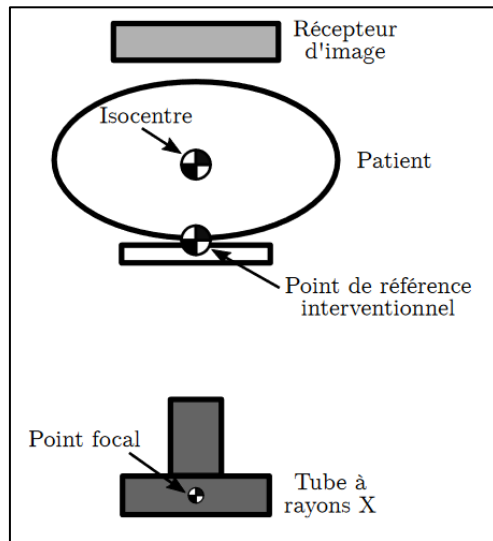


Figure 15: Placement théorique du point de référence interventionnel et de l'arceau (62)

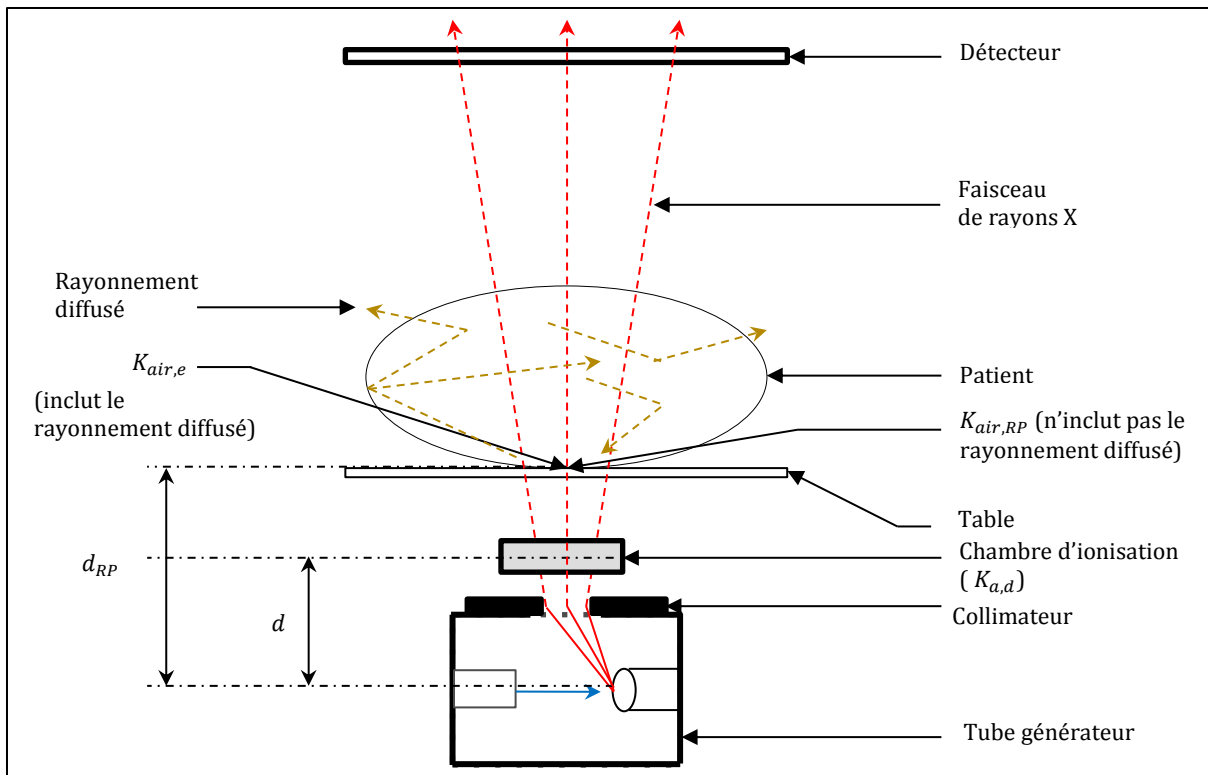


Figure 16: Dispositif de mesure du kerma au point de référence interventionnel

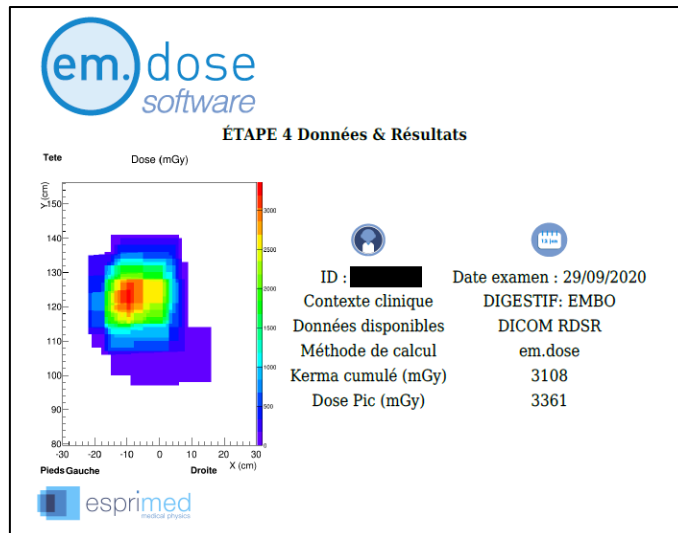


Figure 17: Cartographie et estimation de la PSD par le logiciel em.dose (ESPRIMED)

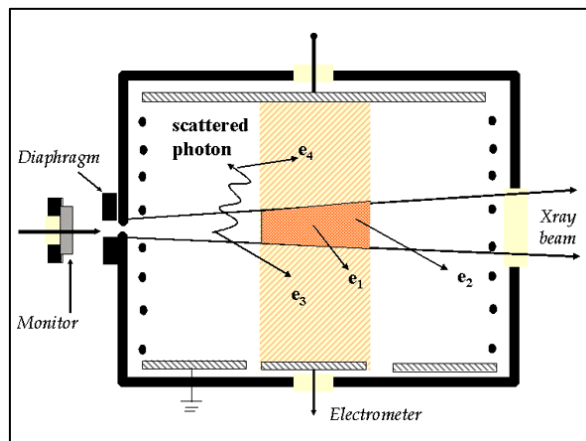


Figure 18: Schéma de principe d'une chambre d'ionisation à parois d'air (63)

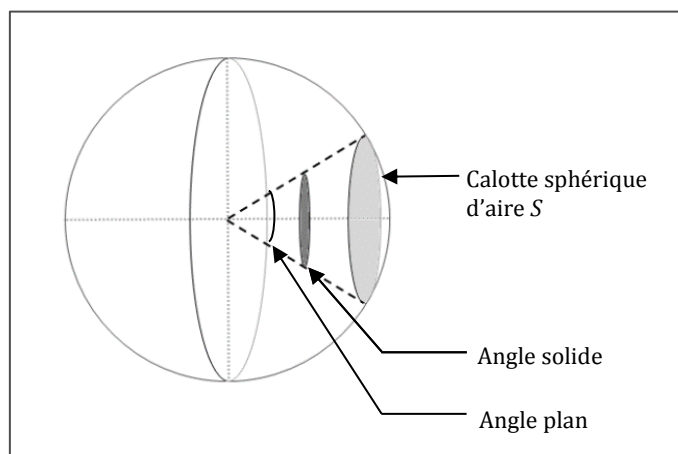


Figure 19: Angle solide  $\Omega$  pour une sphère de rayon  $r$  :  $\Omega = \frac{S}{r^2}$ .  
C'est l'analogie en 3 dimensions de l'angle plan  $\alpha = \frac{arc}{r}$



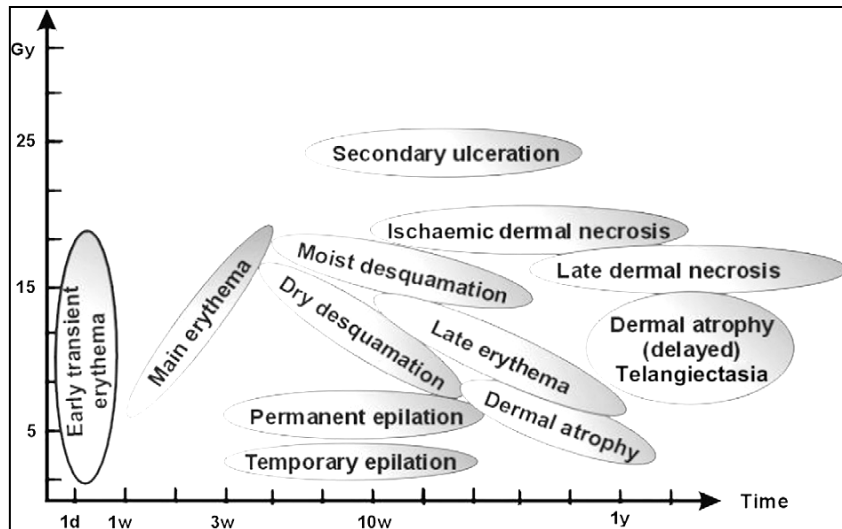


Figure 20: Réactions cutanées en fonction de la dose et du temps (64)

Dose (Gy)	Lésion	Délai d'apparition
2	Erythème transitoire	Heures
6	Erythème franc	~ 10 jours
3	Dépilation temporaire	~ 3 semaines
7	Dépilation permanente	~ 3 semaines
14	Desquamation	~ 4 semaines
18	Nécrose	> 10 semaines
24	Ulcération secondaire	> 6 semaines
15	Erythème tardif	~ 8 à 10 semaines
18	Dermite exsudative	~ 4 semaines
10	Atrophie dermique	> 12 semaines
10	Atrophie dermique tardive	> 1 an
10	Sclérose	
10	Télangiectasies	> 1 an
>12	Nécrose tardive	> 1 an

Figure 21: Doses-seuils pour les lésions radio-induites (adapté de (20))

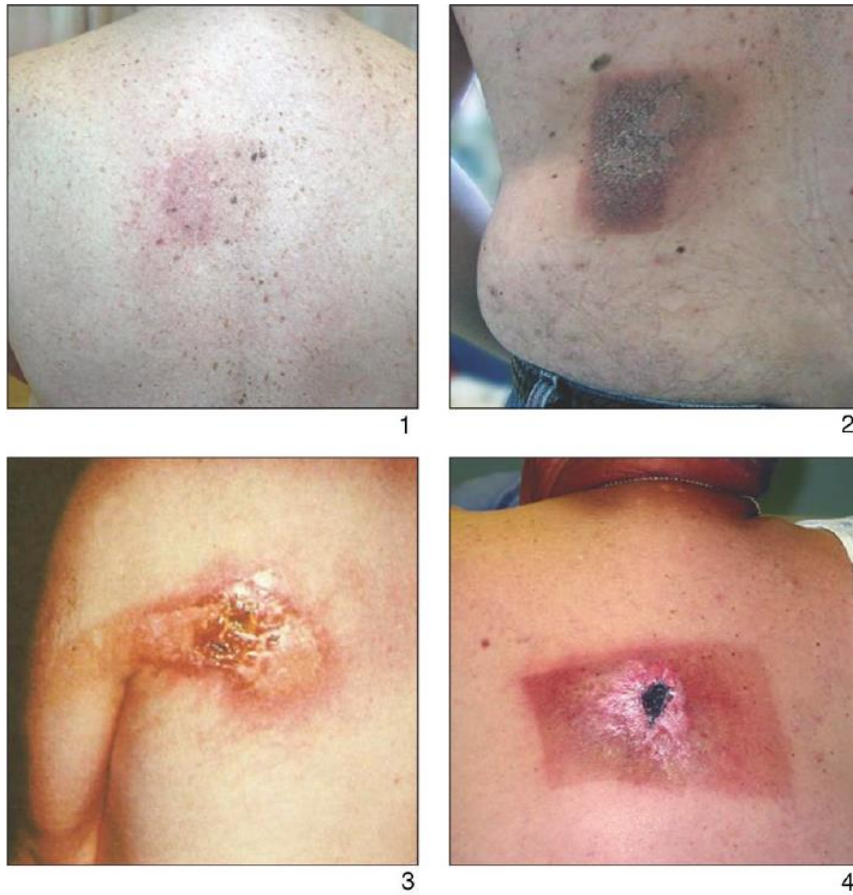


Figure 22: Radiodermites aiguës classées en grades:

- 1 : grade I érythème
- 2 : grade II érythème et plaque exsudative
- 3 : grade III radiodermite exsudative avec décollement cutané
- 4 : grade IV radionécrose aiguë



Figure 23: Radiodermite chronique, associant atrophie, télangiectasies et dyschromie

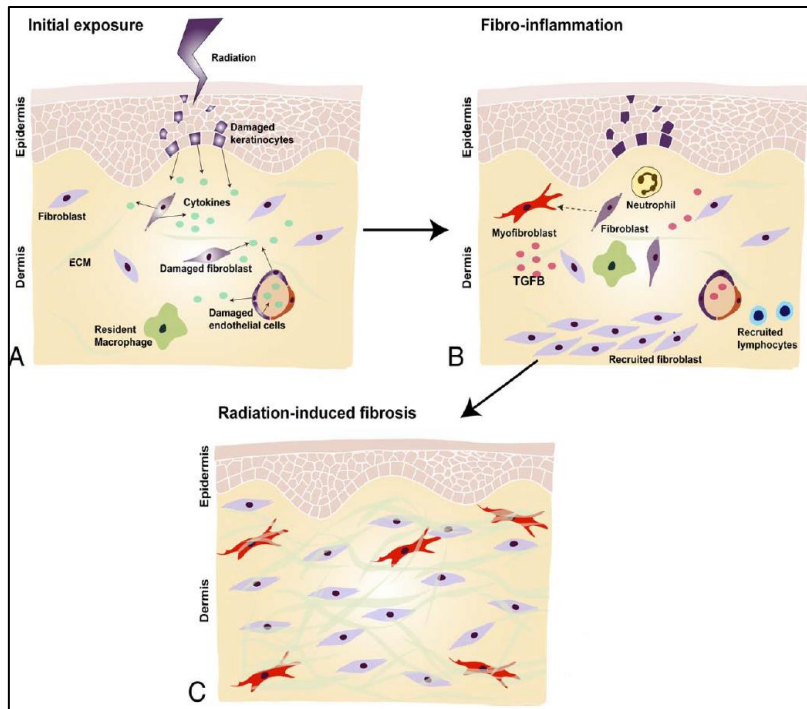


Figure 24: Processus fibrosant des radiodermites chroniques (15)

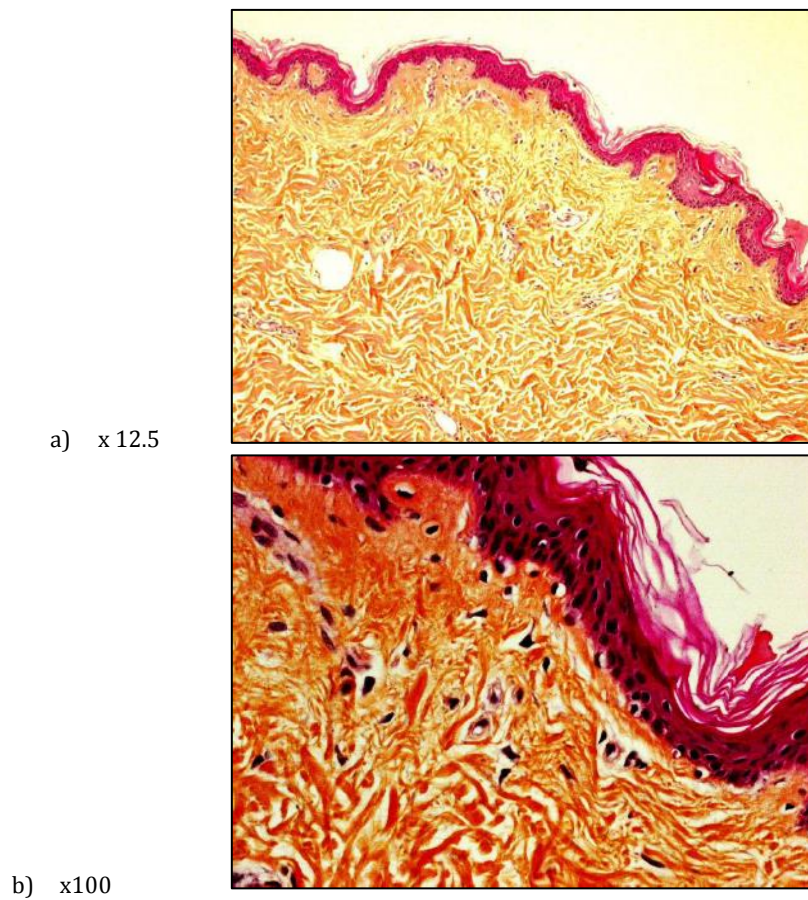


Figure 25: Coupe histologique d'une radiodermite chronique, coloration HES

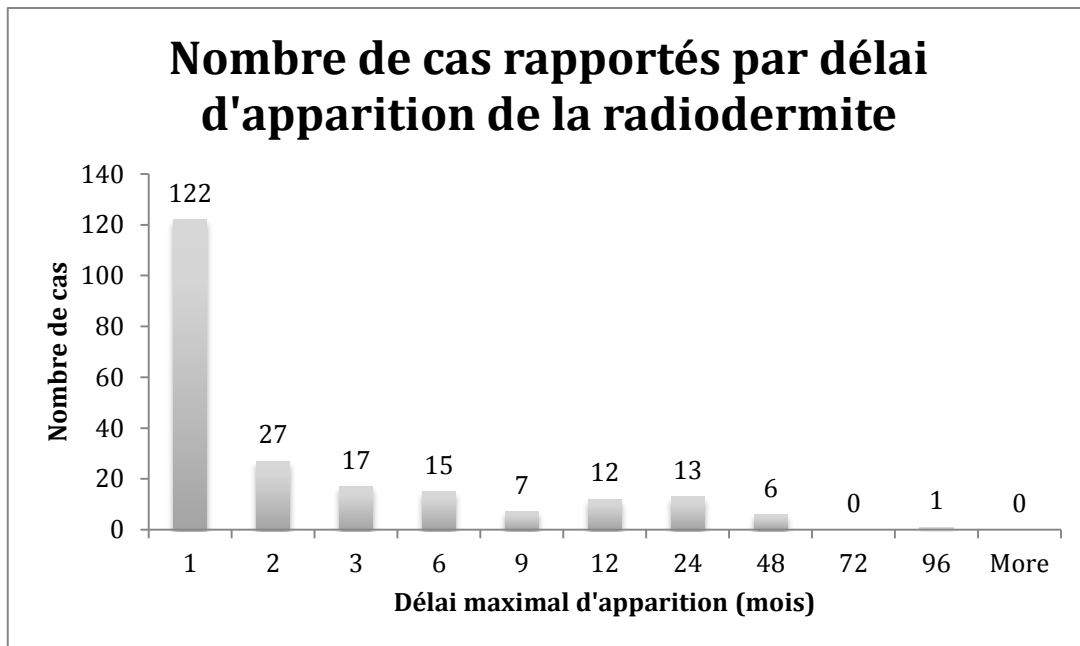


Figure 26: Répartition des cas rapportés de radiodermites par délai maximal d'apparition (cf. annexe v)

# ANNEXES

## Annexe I: Fluence énergétique

La fluence  $\Phi$  est le nombre de particules incidentes par unité de surface :

$$\Phi = \frac{dN}{dS}$$

Elle décroît en fonction de la profondeur et du coefficient d'atténuation du milieu  $a, \mu_a$ , selon la relation suivante :

$$\Phi(x) = \Phi(0).e^{-\mu_a x}$$

La fluence énergétique  $\Psi$  est l'énergie transportée par le faisceau, par unité de surface. Si  $E_i$  est l'énergie incidente des particules d'un faisceau supposé mono-énergétique, on a :

$$\Psi = \Phi.E_i$$

où  $E_i$  ne dépend que des paramètres de génération du faisceau : temps d'irradiation, intensité du courant cathodique, tension  $U_a$ , numéro atomique  $Z$  de l'anode, et constante spécifique du tube générateur.

La fluence énergétique suit une loi en carré inverse, c'est-à-dire qu'elle est inversement proportionnelle au carré de la distance à la source. Considérons une distribution uniforme du flux sur la surface d'une sphère de rayon  $r$ . Puisque la superficie de la sphère est  $4\pi r^2$ , l'énergie reçue en un point de cette surface sera égale à l'énergie totale rayonnée divisée par  $4\pi r^2$ . Donc  $\Psi$  est proportionnelle à  $\frac{1}{r^2}$ .

## Annexe II: Fluence énergétique, Kerma et dose absorbée

Le Kerma dans une sphère élémentaire uniformément irradiée du milieu  $a$  peut s'écrire:

$$K_a = \Phi \cdot \mu_{m_a} \cdot \underline{E_{tr}}$$

avec :

$\Phi$  = fluence;

$\mu_{m_a}$  = coefficient d'atténuation massique = nombre d'interactions par photon par unité de longueur au sein d'un milieu  $a$  de masse volumique  $\rho_a$  :

$$\mu_{m_a} = \frac{\mu_a}{\rho_a}$$

où  $\mu_a$  = coefficient d'atténuation du milieu  $a$ .

$\underline{E_{tr}}$  = énergie moyenne transférée aux électrons par interaction.

On définit le coefficient de transfert d'énergie  $\mu_{tr}$  comme la fraction d'énergie transférée par unité de longueur au cours du trajet d'un photon, soit :

$$\mu_{tr} = \frac{E_{tr}}{E_i} \mu_a$$

Le coefficient de transfert d'énergie massique  $\mu_{tr_a}$  sera :

$$\mu_{tr_a} = \frac{\mu_{tr}}{\rho_a} = \frac{E_{tr}}{E_i} \mu_{m_a}$$

Alors :

$$K_a = \Phi \cdot \mu_{tr_a} \cdot E_i = \mu_{tr_a} \cdot \Psi$$

Donc le Kerma dans le milieu  $a$  est proportionnel à la fluence énergétique  $\Psi$ .

Donc à l'interface air/peau,

$$K_{peau} = K_{air} \cdot \frac{\mu_{tr\,peau}}{\mu_{tr\,air}}$$

Ainsi est-il possible de connaître  $K_{peau}$  si l'on connaît  $K_{air}$  à l'interface air/peau.

De la même manière, on établit la relation

$$D_{peau} = D_{air} \cdot \frac{\mu_{ab\,peau}}{\mu_{ab\,air}}$$

Où  $\mu_{ab}$  est le coefficient d'absorption d'un milieu, que l'on connaît via des tables (65).

### **Annexe III: Principe de la chambre d'ionisation**

La chambre d'ionisation permet de calculer le Kerma dans l'air à la distance  $d$  où elle se situe.

Le principe est le suivant (figure 18): le faisceau de rayons X, collimaté, passe entre deux plaques parallèles, entre lesquelles on applique une différence de potentiel. Les électrons éjectés (par interactions entre les photons incidents et les atomes de l'air) sont dirigés vers les électrodes. Ces charges sont détectées par un amplificateur, qui produit un signal électrique proportionnel au nombre de charges créées. La mesure de l'intensité du courant délivré est convertie en  $K_{a,d}$ .



## Annexe IV: Produit Dose.Surface et distance à la source

Le Kerma est proportionnel à la fluence énergétique (cf. annexe ii), qui suit une loi en carré inverse. Donc on peut écrire que le Kerma dans le milieu  $a$  en un point  $i$  situé à une distance  $d_i$  de la source est égale à :

$$K_{a,i} = \frac{k}{d_i^2}$$

Où  $k$  est une constante qui dépend de  $\mu_{tr_a}$  et des paramètres du faisceau.

Le produit du Kerma au point  $i$  avec la surface de la section transverse au faisceau à la distance  $d_i$ , nommée  $S_i$ , sera :

$$PDS = K_{a,i}S_i = \frac{k}{d_i^2} \cdot S_i$$

Or  $\frac{S_i}{d_i^2}$  n'est autre que l'angle solide  $\Omega$  (figure 19) qui, par définition, est indépendant de  $d_i$ .

Donc le Produit Dose.Surface est le même quelle que soit la distance à la source.

## Annexe V: Cas rapportés dans la littérature des radiodermites après procédure guidée par fluoroscopie

TABLEAU 1: CARDIOLOGIE INTERVENTIONNELLE	87
TABLEAU 2: ABLATION PAR RADIOFREQUENCE	91
TABLEAU 3: NEURORADIOLOGIE	92
TABLEAU 4: TIPS	94
TABLEAU 5: AUTRES	95

TABLEAU 1: CARDIOLOGIE INTERVENTIONNELLE						
Auteur	Année	Sexe	Age	Topographie	Lésion	Délai maximal d'apparition (mois)
Lichstentein	1996	H	67	scapulaire G	plaque arrondie indurée, avec épiderme atrophique et télangiectasies	12
		H	66	axillaire D	lésion douloureuse poikilodermique	24
Shope	1996	H	40	médiodorsal G	plaque nécrotique	1
Sovik	1996	H	58	scapulaire D	plaque ulcérée	0,75
D'Incan et Roger	1997	H	48	scapulaire D	plaque pigmentée à bordure inflammatoire	3
		H	81	axillaire D	plaque pigmentée puis indurée	2
		H	61	axillaire D	plaque érythémateuse et ulcérée	0,5
		H	42	scapulaire D	plaque pigmentée puis indurée et poikilodermique	3
		H	54	axillaire D	plaque pigmentée puis indurée et douloureuse	3
H	71	scapulaire G	plaque ulcérée et scléreuse	1		
Poletti	1997	H		scapulaire G	plaque prurigineuse et douloureuse	1
Gironet	1998	F	62	scapulaire D	plaque érythémateuse prurigineuse rectangulaire, poikilodermique, puis atrophique	0,75
Granel	1998	H	69	scapulaire G	placard scléreux ulcéré	1
		F	59	médiodorsal	macule pigmentée puis lésion indurée avec ulcération centrale	0,75
		H	63	sous-pectoral D	plaque atrophique ulcérée, nécrotique, inflammatoire	7
		F	52	pectoral D	plaque télangiectasique et ulcérée	16
Stone	1998	F	47	scapulaire G	plaque scléreuse, télangiectasique, berges hyperpigmentées, 2 petites ulcérations	7
Dandurand	1999	H	74	sous-scapulaire G	plaque pigmentée scléreuse puis ulcérée	3
		H	59	sous-scapulaire D	plaque érythémato-vésiculeuse	2
		H	69	sous-scapulaire G	plaque pigmentée puis nécrotique	2
		H	73	scapulaire, axillaire et face postérieure du bras D	plaque érythémato-pigmentée	12
Dehen	1999	H	71	axillaire D	plaque pigmentée, télangiectasique et indurée	24
		H	62	sous-scapulaire D	plaque pigmentée ulcérée douloureuse	12
Miralbell	1999	H	75	scapulaire D et G	plaque érythémateuse, desquamative et prurigineuse, puis ulcérée, avec apparition de télangiectasies et bordure hyperpigmentée	0,5

Kawakami	1999	H	63	scapulaire G	plaque poïkilodermique, télangiectasique et indurée	17
		F	63	axillaire G	plaque atrophique ulcérée	19
		F	54	dorsale	plaque poïkilodermique, atrophique et prurigineuse	2
Koenig	2001	H	54	scapulaire D	ulcération profonde	0,5
		H	56	axillaire D	plaque pigmentée hyperkératosique	2,5
		H	63	scapulaire G	plaque dépigmentée télangiectasique	13
		H	65	scapulaire D	plaque pigmentée télangiectasique	7
		F	75	axillaire D	plaque poïkilodermique	10
		H	64	scapulaire G	plaque dyschromique et télangiectasique	16
		H	83	scapulaire D	plaque hyperpigmentée	35
		H	57	scapulaire D	ulcère	5
		H	69	médiodorsal	ulcère	3
		H	67	scapulaire G	ulcère	6
		H	62	médiodorsal	ulcération profonde	8
		H	53	médiodorsal D	ulcération profonde	3
H	48	médiodorsal	ulcération profonde	7		
Schmoor	2001	F	78	sous-scapulaire G	plaque ulcérée, nécrotique, très douloureuse, avec berges érythémateuses inflammatoires indurées et atrophiques	6
Berlin	2001	H	57	scapulaire D	plaque érythémateuse douloureuse secondairement ulcérée	5
Petit	2002	F	66	dorsal D	plaque quadrangulaire, atrophique, scléreuse, télangiectasique, dyschromique, puis ulcérée	0,5
		H	71	sous-axillaire D	plaque arrondie scléreuse télangiectasique, érythémateuse et ulcérée	12
Aerts	2003	H	75	scapulaire D	plaque hyperpigmentée ulcérée douloureuse	12
		F	65	sous-scapulaire D	plaque hyperpigmentée, atrophique, télangiectasique	3
Lee	2003	H	48	médiodorsal	plaque douloureuse ulcérée	8
Chan	2004	H	50	axillaire D	plaque prurigineuse érythémateuse et hyperpigmentée avec télangiectasies, zone atrophique hypopigmentée	3
Hivnor	2004	H	77	haut du dos	plaque ulcérée poïkilodermique	0,75
		H	65	haut du dos	plaque scléreuse érythémateuse	0,1
Vliestra	2004	H	48	scapulaire D	plaque érythémateuse douloureuse puis érosive, puis surinfectée et hémorragique	0,5
		H	53	médiodorsal D	plaque rectangulaire prurigineuse érythémateuse puis douloureuse et ulcérée	1,5
		H	38	médiodorsal D	dyschromie rectangulaire	2,5
Roudier	2006	H	56	scapulaire D		42
		H	75	scapulaire D		2
		H	54	scapulaire D		36
		F	71	scapulaire D		1,5
		H	67	scapulaire D		21
		H	73	dorsale D		3
H	55	scapulaire G		2		
Frazier	2007	H	62	scapulaire G	plaque érythémateuse	24

					télangiectasique, prurigineuse et douloureuse, puis scléreuse, et enfin ulcérée	
Wagner	2007			haut du dos	plaque érythémateuse rectangulaire nécrotique et prurigineuse	1
Banaag	2008	H	66	scapulaire	brûlure puis ulcération	0
Henry	2009	F	57	scapulaire D	plaque érythémateuse atrophique télangiectasique	0,25
		H	73	scapulaire D	plaque érythémateuse prurigineuse progressivement indurée	0
		M	69	sous-scapulaire G	plaque érythémateuse indurée	0,09
Ukisu	2009	F	60	pectoral D et sous-scapulaire D	plaque érythémateuse puis exsudative, ulcération, dyschromie, atrophie	1
		H	64	scapulaire D	plaque atrophique et télangiectasique	3
		F	64	scapulaire D	plaque érythémateuse puis ulcérée avec berges hyperpigmentées	48
		H	76	axillaire D	érythème	0,06
Slovut	2009	H	57	scapulaire D	plaque érythématosquameuse rectangulaire	1,25
Otterburn	2010	H	68	sous-scapulaire G	plaque atrophique ulcérée	0,5
		H	59	sous-scapulaire G	ulcération avec berges atrophiques et scléreuses	0,75
		H	58	médiodorsal	plaque scléreuse puis ulcérée	0,5
Jeskowiak	2010	H	54	dos	plaque érythémateuse prurigineuse secondairement indurée, atrophique et ulcérée	24
Banic	2011	H	59	pectoral D	plaque poikilodermique	2
Rehani	2011	H	42	scapulaire D	plaque atrophique secondairement ulcérée	0,75
Dichtl	2012	H	68	scapulaire D	plaque rectangulaire érythémateuse douloureuse	0,25
Kato	2012	F	68	axillaire D	plaque érythémateuse douloureuse	1
		H	78	sous-scapulaire D	plaque érythémateuse douloureuse	1
		H	62	axillaire D	plaque érythémateuse douloureuse	1
		H	53	scapulaire D	plaque pigmentée	6
		F	65	axillaire D	plaque érythémateuse douloureuse	0,09
		H	64	axillaire D	plaque érythémateuse douloureuse	1
Spiker	2012	H	62	scapulaire D	lésion indurée, atrophique, télangiectasique, ulcérée et prurigineuse	0,09
Srimahachota	2012	H	67	scapulaire D	plaque érythémateuse puis hyperpigmentée	0,75
		H	74	sous-scapulaire D	plaque érythémateuse puis hyperpigmentée	1
		H	72	coude D	plaque érythémateuse puis hyperpigmentée	1
Nishimoto	2012	H	42	scapulaire D	ulcère douloureux	2
Perrot	2013	H	72	scapulaire D	ulcération nécrotique	36
Mundi	2013	H	67	médiodorsal D	plaque quadrangulaire atrophique, scléreuse, télangiectasique, ulcérée au centre	7
				dorsal	plaque rectangulaire poikilodermique, érythémateuse, atrophique, dyschromique et télangiectasique	1,75
Herz-Ruelas	2014	H	46	scapulaire G	plaque atrophique prurigineuse et douloureuse, puis induration et ulcération, dyschromie, télangiectasies	3
Reichman	2014	H	58	interscapulaire	lésion érythématosquameuse, puis ulcération	0,25

Balter	2014			dorsal	plaque rectangulaire douloureuse puis ulcérée	0,5
Yasukochi	2015	H	75	flanc D	ulcère sur plaque rectangulaire érythémateuse douloureuse	5
Sanchez-Perez	2015	H	58	scapulaire G	plaque atrophique scléreuse indurée dyschromique ulcérée	1
Kai-Che Wei	2015	H	81		plaque en cocarde avec érosion centrale, sclérose périphérique et zone hyperpigmentée	2
		H	82		plaque érythémateuse bien délimitée	1
		H	45		ulcère rectangulaire avec périphérie hyperpigmentée	2
		H	52		plaque en cocarde avec ulcération centrale, sclérose périphérique et zone hyperpigmentée	2
		H	52		plaque érythémateuse rectangulaire bien délimitée	0,75
		H	60		ulcère nécrotique rectangulaire avec érythème en périphérie	2
		H	43		plaque en cocarde avec ulcération centrale et hyperpigmentation périphérique rectangulaire	3
		H	62		petit ulcère au sein d'un rectangle dyschromique	3
		H	70		ulcération profonde surinfecté	1
Tchanque	2016	H	78	scapulaire D	plaque poïkilodermique prurigineuse	24
Cunha	2016	H	66	scapulaire D	plaque érythémateuse avec desquamation centrale et zones érosives	0,6
Plana Pla	2016	H	50	scapulaire D	plaque indurée érythémateuse ulcérée, panniculite, douleurs	6
Lee	2016	H	63	scapulaire D	ulcère	0,25
		H	60	scapulaire D	ulcère	5
		H	57	médiodorsal	ulcère	1,5
		H	59	médiodorsal	ulcère	0
		H	64	coude G et flanc G	ulcère	1
		H	80	flanc D	ulcère	0
		H	82	épaule D	ulcère	0
		H	58	scapulaire G	ulcère	6
		H	58	flanc D	ulcère	6
		H	86	scapulaire D	ulcère	6
Kostova-Lefterova	2017	H	62	scapulaire G	plaque érythémateuse prurigineuse	0,75
		H	76	scapulaire D	macule hyperpigmentée, puis ulcérée et douloureuse	0,06
Batrani	2018	H	67	scapulaire G	plaque indurée, douloureuse, dépigmentée et télangiectasique, avec bordure hyperpigmentée	0,5
		F	58	scapulaire D	plaque douloureuse, érythémateuse, dépigmentée, indurée et télangiectasique	18
Huang	2019	H	59	axillaire D	plaque douloureuse rectangulaire érythémateuse	1,25

<b>TABLEAU 2: ABLATION PAR RADIOFREQUENCE</b>						
Auteur	Année	Sexe	Age	Topographie	Lésion	Délai maximal d'apparition (mois)
Shope	1996	F	25		lésion ulcéreuse	0,75
		F	34	dorsal	lésion exsudative	1,25
Rosenthal	1997	F	38	sous-scapulaire D	plaque prurigineuse, puis douloureuse, érythématobulleuse, secondairement nécrotique	0,75
Nahass	1997			scapulaire G	plaque rectangulaire érythémateuse avec multiples ulcérations	1
				scapulaire G	prurit, érythème et desquamation, puis plaque rectangulaire rosée finement squameuse, puis hyperpigmentation séquellaire	0,75
Vano	1998	F	12	bras D	macule érythémateuse, puis plaque pigmentée, indurée	3
		F	17	axillaire D	plaque érythémateuse, évolution bulleuse, puis plaque indurée atrophique, dyschromique, télangiectasique, avec infiltration des muscles et impotence fonctionnelle	0
		F	7	bras D	plaque indurée érythémateuse	4
		F	50		plaque érythémateuse	1
Wong	2004	H	52	face postérieure bras D	plaque érythémateuse, douloureuse, avec ulcère fibrineux au centre	4
Kim	2005	H	54	scapulaire D + face postérieure bras D	plaque rectangulaire érythémateuse douloureuse pigmentée et télangiectasique, finement desquamative	2
		F	59	axillaire D + face postérieure bras D	plaque pigmentée douloureuse et exsudative	0,75
Roudier	2006	F	83	sous-scapulaire D		10
Hashimoto	2008	H	50	bras D + scapulaire D	plaque érythémateuse, puis indurée et ulcérée	0,06
Glazier	2011	F	45	flanc D	plaque érythématosquameuse, puis douloureuse et prurigineuse, puis atrophie, sclérose et télangiectasies	0,25

TABLEAU 3: NEURORADIOLOGIE						
Auteur	Année	Sexe	Age	Topographie	Lésion	Délai maximal d'apparition (mois)
Huda	1994	F	34	occipital D	alopécie	1
Carstens	1996	H	38	lombaire	plaque érythémateuse puis desquamative et dyschromie séquellaire	1
Krasovec	1998			occipital et pariétal D	alopécie	0,5
Tosti	1999	F		temporopariétal G	alopécie temporaire	1
		F		occipital	alopécie temporaire	1
		F		pariétal bilatéral et occipital	alopécie temporaire	1
Wen	2003	H	33	temporopariétal et occipital	alopécie temporaire	0,75
Lee	2004	F	47	temporo-occipital D	alopécie	0,4
		M	40	temporo-occipital G	alopécie	0,3
		F	45	occipital	alopécie	0,3
		F	47	temporo-occipital D	alopécie	0,4
		F	57	occipital	alopécie	0,4
Roudier	2006	F	48	occipital	alopécie	1
Thorat	2007	H	34	pariéto-occipital G	plaque alopecique, rectangulaire, télangiectasique, hypoesthétique, avec alopecie persistante	0,5
Nannapaneni	2007	H	31	occipital	alopécie temporaire	1
		H	45	occipital	alopécie temporaire	1
Marti	2008	F	29	occipital	alopécie temporaire	0,5
Allen	2009	H	61	lombaire	érythème puis douleur	17
Garnacho	2009	H	39	pariéto-occipital G	plaque rectangulaire d'alopécie temporaire, repousse en 5 mois	0,5
Lopez	2012	H	55	vertex	plaque atrophique alopecique télangiectasique avec ulcération chronique, plusieurs surinfections	96
Freysz	2014			occipitopariétal G	plaque alopecique bien limitée de forme géométrique	1
				occipitopariétal G	plaque alopecique bien limitée de forme géométrique	1
				occipitopariétal G	plaque alopecique bien limitée de forme géométrique	1
				occipitopariétal D	plaque alopecique bien limitée de forme géométrique	1
				occipitopariétal bilatéral	plaque alopecique bien limitée de forme géométrique	1
				occipitopariétal bilatéral	plaque alopecique bien limitée de forme géométrique	1
				occipitopariétal bilatéral	plaque alopecique bien limitée de forme géométrique	1
				occipitopariétal bilatéral	plaque alopecique bien limitée de forme géométrique	1
				occipitopariétal bilatéral	plaque alopecique bien limitée de forme géométrique	1
				occipitopariétal bilatéral	plaque alopecique bien limitée de forme géométrique	1
				pariétal G	plaque alopecique bien limitée de forme géométrique	1
				pariétal D	plaque alopecique bien limitée de forme géométrique	1

				temporal D	plaque alopecique bien limitée de forme géométrique	1
				temporal D	plaque alopecique bien limitée de forme géométrique	1
				temporal D	plaque alopecique bien limitée de forme géométrique	1
				temporal G	plaque alopecique bien limitée de forme géométrique	1
				frontal G	plaque alopecique bien limitée de forme géométrique	1
				occipital G	plaque alopecique bien limitée de forme géométrique	1
Cho	2014	F	70	pariéto-occipital D	alopécie	0,5
		F	35	temporo-occipital G	alopécie	2
		H	39	occipital	alopécie	1
		F	48	temporo-occipital G	alopécie	0,75
		M	54	temporo-occipital G	alopécie	0,25
		F	67	temporo-occipital G	alopécie	0,25
		F	66	occipital	alopécie	0,25
		F	48	temporo-occipital G	alopécie	1,5
		F	58	pariéto-occipital G	alopécie	1,5
		F	65	occipital	alopécie	0,5
Vaccaro	2014	H		pariéto-occipital et pariéto-temporal bilatéral	alopécie temporaire	1
Danko	2016	H	48	occipital G	alopécie temporaire	0,5
Marinello	2016	H	49	flanc G et face postérieure bras G	plaque vésiculeuse et érosive, cicatrisation vers une plaque hyperpigmentée	1
Otero-Rivas	2016	H	45	occipital	plaque alopecique temporaire	0,75



**TABLEAU 4: TIPS**

Auteur	Année	Sexe	Age	Topographie	Lésion	Délai maximal d'apparition (mois)
Knautz	1997	F	50	médiodorsal D	plaque hyperpigmentée, puis atrophique et prurigineuse, puis indurée, puis ulcérée	1
Nahass et Cornelius	1998	H	42	médiodorsal	plaque douloureuse focalement nécrotique et ulcérée	1,5
		H	44	dorsal	ulcération	12
		H	59	médiodorsal	plaque rectangulaire hyperpigmentée, secondairement ulcérée	1,5
Wagner	1999	H	61	médiodorsal D	plaque érythémateuse puis ulcérée	0,75
Flerens	2000	F	63	sous-scapulaire D	plaque indurée dyschromique et télangiectasique	12
		H	50	scapulaire D	lésion quadrangulaire inflammatoire et ulcérée douloureuse, évolution vers une adhérence au plan profond	0,25
		H	64	sous-scapulaire D	placard scléreux avec croûte hémorragique	60
		F	82	scapulaire D	plaque rectangulaire de radiodermite aiguë	0,5
Koenig	2001	H	49	médiodorsal	douleur puis hyperpigmentation, puis ulcération	1
Cante	2011	F	40	médiothoracique et abdominal	plaque poïkilodermique indurée et scléreuse	48
Montesu	2014	H	64	médiodorsal D	plaque indurée, hypopigmentée, scléreuse, ulcéro-nécrotique, très douloureuse avec atteinte musculaire	0,09
Bell	2015	H	45	médiodorsal	plaque poïkilodermique	1

<b>TABLEAU 5: AUTRES</b>						
Auteur	Année	Sexe	Age	Topographie	Lésion	Délai maximal d'apparition (mois)
<b>Angioplastie rénale</b>						
Dandurand	1999	H	68	médiolombaire	plaque érythémateuse pigmentée et scléreuse	12
<b>Insertion d'un cathéter de drainage biliaire et multiples procédures endovasculaires sur l'artère gastroduodénale</b>						
Ramirez	2019	H	68	médiadorsal D	plaque rectangulaire atrophique et nécrotique	2
<b>Angioplastie mésentérique + TIPS</b>						
Ramirez	2019	F	59	médiolombaire D	plaque rectangulaire érythémateuse, papuleuse, prurigineuse et douloureuse	1
<b>Angioplastie mésentérique + sphinctérectomie endoscopique</b>						
Bassas Freixas	2007	H	49	flanc G	ulcération douloureuse avec bordure inflammatoire et érythémateuse	12
<b>Angioplastie mésentérique</b>						
Boncher	2011	H	64	flanc G	plaque érythémateuse indurée atrophique télangiectasique et ulcérée	12
<b>Angioplastie cœliaque</b>						
Ridgeway-Diaz	2015	F	80	flanc D	plaque douloureuse érythémateuse avec vésicules et érosion centrale, évolution vers induration, télangiectasies et ulcération	1,5
<b>Angiographie hépatique</b>						
Bassas Freixas	2007	H	63	sous-scapulaire D	prurit, puis ulcération puis placard poikilodermique, dépilé, induré, avec escarre nécrotique au centre	0,09
<b>Embolisation utérine</b>						
Wagner	2007	F		lombar	2 plaques quadrangulaires érythémateuses	0,09
<b>Angioplastie aorte abdominale</b>						
Ioro	2012	H	43	flanc G	irritation puis ulcération sur peau indurée et hyperpigmentée	0,5
<b>Embolisation de vaisseaux abdominaux</b>						
Ukisu	2009	H	61	médiadorsal D	plaque érythématosquameuse douloureuse avec bordure hyperpigmentée	0,3
Ioro	2012	H	64	médiadorsal D	escarre sur plaque indurée	5
Wunderle	2014	H	61	médiadorsal	plaque érythémateuse rectangulaire bien limitée prurigineuse	0,5
Kim	2016	H	58	dorsal D + bras D	lésion érythémateuse et érosive	0,03
Pruitt	2016	F	31	médiadorsal D	plaque érythémateuse bulleuse douloureuse et prurigineuse. Hyperpigmentation et télangiectasies.	0,5
<b>Scopie pour cancer des voies biliaires</b>						
Roudier	2006	H	46	abdominal G		2,5
<b>Embolisation prostatique</b>						
Laborda	2015	H	63	lombosacré	plaque érythémateuse hyperpigmentée, douloureuse, prurigineuse, puis atrophie locale	0,4

## Annexe VI: Note d'information du patient

### Evaluation de l'incidence des radiodermes chroniques : étude de cohorte observationnelle

Promoteur :  
CHU de Clermont-Ferrand  
58 rue Montalembert  
63003, Clermont-Ferrand

### NOTE D'INFORMATION

Madame, Monsieur,

Au cours de la procédure radiologique qui vient d'être pratiquée, vous avez reçu des doses d'irradiation qui vous exposent à un risque de développer une **radiodermite**. Conformément aux recommandations de la Haute Autorité de Santé, **une surveillance dermatologique** va vous être proposée.

Le Docteur ..... exerçant au CHU de Clermont-Ferrand vous propose de participer à une recherche intitulée :

« **Evaluation de l'incidence des radiodermes chroniques : étude de cohorte observationnelle** ».

Il est important de lire attentivement cette note avant de prendre votre décision.

#### **Que sont les radiodermes ?**

Les radiodermes sont des lésions cutanées induites par les rayons X.

Elles peuvent apparaître au cours des jours suivant l'irradiation (radiodermes aigus), et parfois jusqu'à plusieurs mois ou années après (radiodermes chroniques).

Les radiodermes se traduisent, le plus souvent, par une rougeur comparable à un coup de soleil ou par une perte de poils ou de cheveux transitoire. Plus rarement, la perte de poils ou de cheveux peut être permanente, ou bien on peut voir un durcissement de la peau, ou une plaie. Elles sont fréquemment indolores et se développent au niveau du dos ou des aisselles dans la majorité des cas.

**La prise en charge doit être précoce** pour éviter une pérennisation et une aggravation des lésions avec le temps, qui nécessitent parfois le recours à un acte chirurgical complexe.

#### **Quel est le but de cette recherche ?**

Les radiodermes chroniques sont une **complication rare** des procédures de radiologie interventionnelle. Elles apparaissent en cas d'irradiation à dose élevée, notamment au cours d'actes radiologiques particulièrement complexes ou de procédures répétées.

Toutefois, la dose suffisante pour induire une radiodermite est variable selon les individus et dépend notamment des antécédents médicaux et des traitements concomitants, ce qui explique que tous les patients ayant reçu une même dose d'irradiation ne développeront pas tous une radiodermite.

De plus, les délais d'apparition tardifs, le caractère souvent asymptomatique et la localisation souvent dorsale de ces lésions contribuent à un diagnostic retardé.

En 2009, la Society of Interventional Radiology a publié des seuils d'alerte pour que les patients soient orientés vers un suivi dermatologique si les doses reçues dépassent ces seuils. Une étude rétrospective<sup>1</sup> en 2019 a estimé à près de 10% la fréquence des radiodermites chroniques chez les patients exposés à des doses dépassant ces seuils d'alerte.

Nous souhaitons **évaluer l'incidence réelle** des radiodermites de façon précise et rigoureuse. Au cours de cette étude nous tenterons également d'identifier des facteurs de risque de développer ce type de lésion et de mettre en évidence des corrélations entre la prise de certains traitements et la survenue d'une radiodermite. Ceci permettrait, à terme, de mieux cibler les personnes à risque et de leur proposer une surveillance dermatologique accrue.

### ***Quelles données seront recueillies et comment ?***

Le médecin interventionnel qui a pratiqué l'acte radiologique recueillera des données nécessaires pour la conduite de cette étude. Ces données comprennent notamment : âge, sexe, IMC<sup>2</sup>, antécédents d'irradiation, antécédents médicaux, traitements suivis au moment de l'irradiation et au moment du suivi. Vos coordonnées téléphoniques seront ensuite transmises au secrétariat de Dermatologie du CHU de Clermont-Ferrand pour organiser le suivi.

Un médecin dermatologue du service de Dermatologie vous recevra en consultation **dans le mois suivant l'intervention, à 1 mois et à 3 mois**. Ensuite, la surveillance se fera en consultation avec le Dermatologue libéral de votre choix, 1 an après l'irradiation, à 3 ans, puis à 5 ans.

Chaque consultation comprendra un **examen total de la peau**, avec une attention accrue au niveau de la zone irradiée. Si une lésion induite par les rayons X est dépistée, le médecin qui vous examinera prendra **une photographie de la zone lésée** (avec masquage du visage et des signes distinctifs). S'il existe un doute diagnostique, une biopsie cutanée de 3 mm sous anesthésie locale pourra vous être proposée, pour confirmer le diagnostic et pour envisager un traitement adapté. Les observations seront consignées sur des formulaires fournis par le promoteur.

### ***Si vous participez, comment vont être traitées les données recueillies?***

Dans le cadre de cette recherche, un traitement informatique de vos données personnelles va être mis en œuvre pour permettre d'en analyser les résultats au regard des objectifs qui vous ont été présentés. Le responsable du traitement des données est le CHU de Clermont-Ferrand, représenté par son représentant légal en exercice.

Seules les informations strictement nécessaires à la finalité de la recherche seront recueillies, et ces données seront conservées pendant la durée de l'étude jusqu'au rapport final ou jusqu'à la dernière publication puis archivées pendant la durée conforme à la réglementation en vigueur. Ces données pourront également, dans des conditions assurant leur confidentialité, être transmises aux autorités de santé françaises.

Vos données pourront être utilisées pour des recherches ultérieures sur le même thème ou des analyses complémentaires à la présente recherche en collaboration avec des partenaires privés ou publics, en France ou à l'étranger, dans des conditions assurant leur confidentialité et le même niveau de protection que la législation européenne. Vous pouvez vous opposer à tout moment à l'utilisation ultérieure de vos données auprès de la personne qui vous a proposé de participer à cette recherche (identifié en première page du présent document).

Le fichier informatique utilisé pour cette recherche est mis en œuvre conformément à la réglementation française (loi n° 78-17 du 6 janvier 1978 relative à l'informatique, aux fichiers et aux libertés modifiée) et européenne (au Règlement Européen 2016/679 relatif à la Protection des Données – RGPD). Vous disposez d'un droit d'accès, de rectification et d'opposition au traitement des données couvertes par le secret professionnel, utilisées dans le cadre de cette recherche. Ces droits s'exercent auprès du médecin qui vous a proposé de participer à cette recherche (identifié en première page du présent document).

### ***Quels sont vos droits ?***

Vous êtes libre de refuser de participer à cette recherche sans que cela n'ait de conséquences sur votre parcours médical ni ne modifie vos relations avec les médecins impliqués dans votre prise en charge.

En l'absence d'opposition ou de refus de votre part sous un délai de 7 jours après réception de la présente note, nous considérerons que vous acceptez de participer à cette recherche.

Au-delà, vous pourrez revenir à tout moment sur votre décision et exprimer votre opposition à la participation à cette recherche, en utilisant l'encadré ci-dessous. Dans ce cas, les données déjà saisies dans la base de données seront conservées.

A l'issue de la recherche, vous pourrez être informé des résultats si vous le souhaitez, en vous adressant au médecin qui vous a proposé d'y participer.

---

<sup>1</sup> Guesnier-Dopagne M. , Boyer L. , Pereira B. , Guersen J. , Motreff P. , D'Incan M. Incidence of Chronic Radiodermatitis after Fluoroscopically Guided Interventions: A Retrospective Study. J Vasc Interv Radiol. 2019; 30: 692-698.

<sup>2</sup> Indice de masse corporelle

Vous pouvez également accéder directement ou par l'intermédiaire d'un médecin de votre choix à l'ensemble de vos données médicales en application des dispositions de l'article L111-7 du Code Santé Publique.

**Cadre réservé à l'opposition**

Nom :

Prénom :

**Je souhaite m'opposer/refuser de participer à cette recherche :**       OUI       NON

Date de l'opposition :

Signature :

Document à renvoyer au Pr D'Incan par :

Courrier à :      Secrétariat de Consultation de Dermatologie, CHU Estaing  
1 rue Lucie et Raymond Aubrac,  
63100 CLERMONT-FERRAND

## Annexe VII: Formulaire d'inclusion

### Evaluation de l'incidence des radiodermites chroniques : étude de cohorte observationnelle

#### FORMULAIRE D'INCLUSION

IDENTITE DU PATIENT	
NOM :	Prénom :
Date de naissance : ..../..../....	IPP :

INTERVENTION	
Type d'intervention :	Choisissez Précision :
Date de l'intervention :	../..../....
Doses reçues :	Durée de radioscopie (s) :
	Kerma dans l'air (Gy) :
	Produit Dose.Surface (Gy.m <sup>2</sup> ) :
	Dose max à la peau (Gy) :

FACTEURS DE RISQUE						
Poids (kg) :	Taille (cm) :	IMC :				
Phototype (cf. annexe) :	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> 6
Antécédents significatifs :						
Médicaments pris au moment de l'irradiation :						
Irradiations précédentes :						
Date : ../..../....	Intervention : Choisissez			Précision :		
Doses (si connues) :						
-----						
Date : ../..../....	Intervention : Choisissez			Précision :		
Doses (si connues) :						
-----						
Date : ../..../....	Intervention : Choisissez			Précision :		
Doses (si connues) :						

Afin de dépister et de traiter les lésions cutanées radio-induites potentielles, un suivi dermatologique est recommandé. Le service de Dermatologie du CHU de Clermont-Ferrand propose de recevoir le patient en consultation **dans le mois suivant l'intervention**, à 1 mois, puis à 3 mois. Ensuite, la surveillance se fera en consultation avec le Dermatologue libéral ou hospitalier du choix du patient, 1 an après l'irradiation, à 3 ans, puis à 5 ans.

Merci d'avertir le patient qu'il sera contacté directement par la Consultation de Dermatologie et de transmettre rapidement cette fiche au service de Dermatologie pour la suite de la prise en charge (fax : 04 73 750 446).

Nom et signature du praticien effectuant l'inclusion :

**Evaluation de l'incidence des radiodermites chroniques :  
étude de cohorte observationnelle**

**ANNEXE  
AU FORMULAIRE D'INCLUSION**

Classification des phototypes de Fitzpatrick :

Phototype	Cheveux	Yeux	Peau	Bronzage
1	Roux ou blonds	Bleus, verts, gris	Très claire	Brûle très facilement, ne bronze jamais
2	Blonds ou châtain clair	Bleus, verts, gris, noisette	Très claire	Brûle facilement, bronze rarement
3	Blonds ou châtain	Marron, bleus, verts, gris, noisette	Claire	Brûle parfois, bronze progressivement
4	Châtain ou bruns	Noisette, marron	Mate	Brûle rarement, bronze facilement
5	Bruns	Marron	Foncée	Brûle rarement, bronze très rapidement
6	Noirs	Noirs	Noire	Ne brûle jamais

## Annexe VIII: Formulaire de suivi pour <M1, M1 et M3

### Evaluation de l'incidence des radiodermites chroniques : étude de cohorte observationnelle

#### FORMULAIRE DE SUIVI à destination du Dermatologue hospitalier

Date de la consultation:

Consultation de : <M1  M1  M3

#### IDENTITE

NOM : Prénom :  
Date de naissance : IPP :  
Date de l'intervention :

#### EXAMEN CLINIQUE

Traitements (si changement depuis la dernière consultation) :

Pour la consultation de M1 uniquement :

Le patient a-t-il remarqué une modification transitoire de la zone irradiée ?  OUI  NON

Si OUI, précisez le type et la durée :

Après un examen de la totalité de la peau et du cuir chevelu, une lésion suspecte de radiodermite a-t-elle été identifiée ?  
 OUI  NON

Si OUI :

Localisation de la lésion : Choisissez un élément. Précision :

Caractéristiques :

- Erythème  Œdème  Téléangiectasies  Dépilation  
 Pigmentation  Sclérose  Ulcération  Nécrose  
 Autre (préciser) :

Si autres zones irradiées avec présence d'une lésion, précisez la zone et les caractéristiques de la lésion :

#### **Faire une photographie (à ranger dans le dossier du patient)**

La lésion suspecte de radiodermite a-t-elle été biopsiée ?  OUI  NON

Commentaires éventuels :

Si un traitement est prescrit, précisez lequel :

Prévoir une consultation de dermatologie le :

(Rythme de suivi : dans le mois suivant l'intervention, M1, M3, puis auprès du Dermatologue libéral à M12 puis tous les 2 ans pour une durée totale de 5 ans)

Nom du médecin :



## Annexe IX: Formulaire de suivi pour M12 (A1), M36 (A3) et M60 (A5)

### Evaluation de l'incidence des radiodermites chroniques : étude de cohorte observationnelle

#### FORMULAIRE DE SUIVI à destination du Dermatologue libéral

Date de la consultation:

Consultation de : M12 (A1)  M36 (A3)  M60 (A5)

#### IDENTITE

NOM : Prénom :  
Date de naissance :  
Date de l'intervention :

#### EXAMEN CLINIQUE

Traitements (si changement depuis la dernière consultation) :

Après un examen de la totalité de la peau et du cuir chevelu, une lésion suspecte de radiodermite a-t-elle été identifiée ?  
 OUI  NON

##### Si OUI :

Localisation de la lésion : Choisissez un élément. Précision :  
Caractéristiques :  
 Erythème  Œdème  Télangiectasies  Dépilation  
 Pigmentation  Sclérose  Ulcération  Nécrose  
 Autre (préciser) :

Si autres zones irradiées avec présence d'une lésion, préciser la zone et les caractéristiques de la lésion :

#### Faire une photographie (à ranger dans le dossier du patient)

La lésion suspecte de radiodermite a-t-elle été biopsiée ?  OUI  NON

En cas de lésion suspecte de radiodermite, merci de transmettre ce formulaire accompagné de la photographie et du compte-rendu d'anatomopathologie le cas échéant, par mail à [avis.dermato@chu-clermont-ferrand.fr](mailto:avis.dermato@chu-clermont-ferrand.fr).

Commentaires éventuels :

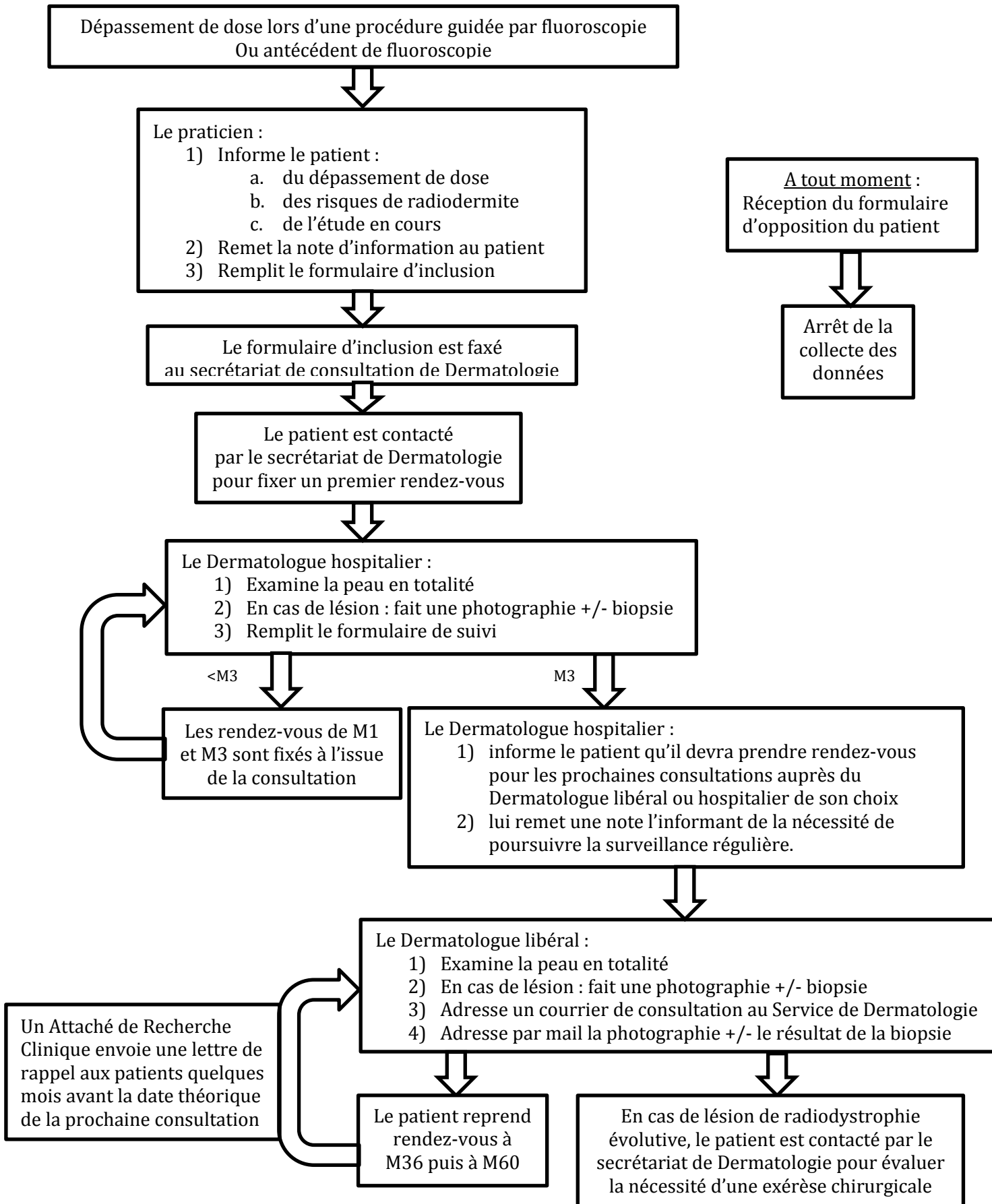
Si un traitement est prescrit, précisez lequel :

Prévoir une consultation de dermatologie le :

(Rythme de suivi : à 1 an de l'intervention puis tous les 2 ans pour une durée totale de 5 ans)

Nom du médecin :

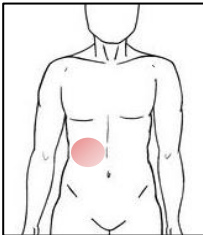
## Annexe X: Algorithme résumant le déroulé de l'étude




## Annexe XI: Tableau résumant la procédure

PROCEDURE							
	J0	<M1	M1	M3	M12	M36	M60
Consentement oral	X						
Formulaire d'inclusion	X						
Faxer le formulaire au secrétariat de consultation de Dermatologie	X						
Interrogatoire du patient concernant des lésions transitoires		X					
Examen dermatologique		X	X	X	X	X	X
Photographie (1)		+/-	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-
Biopsie (2)		+/-	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-
Formulaire de suivi		X	X	X	X	X	X
Explication du suivi au patient			X				
Remise d'une note explicative au patient				X			
Envoi d'un mail au Service de Dermatologie (3)					+/-	+/-	+/-





(1) Faire une photographie de loin et une photographie de près

(2) En cas de doute diagnostique ou de suspicion de lésion néoplasique

(3) En cas de diagnostic de lésion de radiodermite

## Annexe XII: Notice du Fichier Excel pour la gestion des patients inclus

Ce fichier permettra de repérer rapidement à quels patients il faut envoyer une lettre leur rappelant de prendre leur rendez-vous pour leur consultation de suivi (= « relance ») auprès de leur Dermatologue de ville, à partir de la consultation de M12.

Hormis les cellules portant sur l'identité du patient, la date de l'intervention, et la validation de la relance, toutes les cellules de ce fichier sont automatiquement verrouillées, y compris les cellules vides, et ne sont donc pas modifiables manuellement.

Les ajouts et suppressions de patients se font via les 3 boutons « Ajouter un patient », « Supprimer le dernier patient ajouté », et « Supprimer une ligne ». Les fonctions de ces boutons sont décrites ci-dessous.

	A	B	C	D	E	F
1	Aujourd'hui: 11/04/2021		AJOUTER UN PATIENT	SUPPRIMER LE DERNIER PATIENT AJOUTE		SUPPRIMER UNE LIGNE
2	N° ligne	IDENTITE				Date de l'intervention
3		SEXE	NOM	PRENOM	Date de naissance	
4	1	Madame	NOM1	Prénom1	04/10/1987	10/08/2020
5						
6	2	Monsieur	NOM2	Prénom2	11/08/1953	11/06/2018
7						
8	3	Madame	NOM3	Prénom3	24/09/1950	10/04/2016
9						
10		Champs modifiables manuellement				
11						
12						

	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
	SUPPRIMER UNE LIGNE												
	Date de l'intervention	RENDEZ-VOUS											
		A1	A3					A5					
	10/08/2020	Entre le 11/07/2021 et le 09/09/2021	Entre le 11/07/2023 et le 09/09/2023					Entre le 11/07/2025 et le 09/09/2025					
		A FAIRE	A FAIRE					A FAIRE					
	11/06/2018	Entre le 12/05/2019 et le 11/07/2019	Entre le 12/05/2021 et le 11/07/2021					Entre le 12/05/2023 et le 11/07/2023					
		A FAIRE	A FAIRE					A FAIRE					
	10/04/2016	Entre le 11/03/2017 et le 10/05/2017	Entre le 11/03/2019 et le 10/05/2019					Entre le 11/03/2021 et le 10/05/2021					
		A FAIRE	A FAIRE					A FAIRE					

A partir de la date d'intervention, la date théorique de chaque consultation est calculée automatiquement. La consultation devra se tenir dans un délai allant de 30 jours avant jusqu'à 30 jours après cette date théorique.

Les alertes sont calculées à chaque ouverture du fichier Excel. La date prise en compte est la date d'ouverture du fichier et qui correspond à la date sur laquelle l'horloge du système d'exploitation est réglée.

L'alerte se fait par la coloration en rose de la cellule contenant le délai pour la consultation correspondante pour un patient donné.

Pour la consultation de M12, l'alerte apparaît 3 mois avant le début du délai et perdure jusqu'à la fin du délai.

Pour les consultations de A3 (=M36) et A5 (=M60), l'alerte apparaît 12 mois avant le début du délai et perdure jusqu'à la fin du délai.

Les patients à relancer sont ainsi facilement identifiables.

		F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	
RIMER UNE LIGNE															
Date de l'intervention	RENDEZ-VOUS														
	A1	A3	A5												
10/08/2020	Entre le 11/07/2021 et le 09/09/2021 A FAIRE	Entre le 11/07/2023 et le 09/09/2023 A FAIRE	Entre le 11/07/2025 et le 09/09/2025 A FAIRE												
11/06/2018	Entre le 12/05/2019 et le 11/07/2019 A FAIRE	Entre le 12/05/2021 et le 11/07/2021 A FAIRE	Entre le 12/05/2023 et le 11/07/2023 A FAIRE												
10/04/2016	Entre le 11/03/2017 et le 10/05/2017 A FAIRE	Entre le 11/03/2019 et le 10/05/2019 A FAIRE	Entre le 11/03/2021 et le 10/05/2021 A FAIRE												
			<div style="border: 1px solid black; padding: 2px;"> A FAIRE  OK </div>												

Une fois que le patient a été relancé, l'utilisateur sélectionne « OK » dans la liste déroulante

		F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	
RIMER UNE LIGNE															
Date de l'intervention	RENDEZ-VOUS														
	A1	A3	A5												
10/08/2020	Entre le 11/07/2021 et le 09/09/2021 A FAIRE	Entre le 11/07/2023 et le 09/09/2023 A FAIRE	Entre le 11/07/2025 et le 09/09/2025 A FAIRE												
11/06/2018	Entre le 12/05/2019 et le 11/07/2019 A FAIRE	Entre le 12/05/2021 et le 11/07/2021 A FAIRE	Entre le 12/05/2023 et le 11/07/2023 A FAIRE												
10/04/2016	Entre le 11/03/2017 et le 10/05/2017 A FAIRE	Entre le 11/03/2019 et le 10/05/2019 A FAIRE	Entre le 11/03/2021 et le 10/05/2021 OK												

La case correspondante à la consultation pour laquelle le patient a été relancé perd automatiquement sa coloration.

Une fois que la lettre a été envoyée, l'utilisateur peut sélectionner la valeur « OK » dans la liste déroulante de la cellule située immédiatement sous la consultation en alerte. Celle-ci perd alors automatiquement sa coloration.

# SERMENT D'HIPPOCRATE

Au moment d'être admis(e) à exercer la médecine, je promets et je jure d'être fidèle aux lois de l'honneur et de la probité.

Mon premier souci sera de rétablir, de préserver ou de promouvoir la santé dans tous ses éléments, physiques et mentaux, individuels et sociaux.

Je respecterai toutes les personnes, leur autonomie et leur volonté, sans aucune discrimination selon leur état ou leurs convictions. J'interviendrai pour les protéger si elles sont affaiblies, vulnérables ou menacées dans leur intégrité ou leur dignité. Même sous la contrainte, je ne ferai pas usage de mes connaissances contre les lois de l'humanité.

J'informerai les patients des décisions envisagées, de leurs raisons et de leurs conséquences. Je ne tromperai jamais leur confiance et n'exploiterai pas le pouvoir hérité des circonstances pour forcer les consciences.

Je donnerai mes soins à l'indigent et à quiconque me les demandera. Je ne me laisserai pas influencer par la soif du gain ou la recherche de la gloire.

Admis(e) dans l'intimité des personnes, je tairai les secrets qui me seront confiés. Reçu(e) à l'intérieur des maisons, je respecterai les secrets des foyers et ma conduite ne servira pas à corrompre les mœurs.

Je ferai tout pour soulager les souffrances. Je ne prolongerai pas abusivement les agonies. Je ne provoquerai jamais la mort délibérément. Je préserverai l'indépendance nécessaire à l'accomplissement de ma mission. Je n'entreprendrai rien qui dépasse mes

compétences. Je les entretiendrai et les perfectionnerai pour assurer au mieux les services qui me seront demandés. J'apporterai mon aide à mes confrères ainsi qu'à leurs familles dans l'adversité.

Que les hommes et mes confrères m'accordent leur estime si je suis fidèle à mes promesses ; que je sois déshonoré(e) et méprisé(e) si j'y manque.

## **SERMENT D'HIPPOCRATE**

En présence des Maîtres de cette FACULTE et de mes chers CONDISEIPLES, je promets et je jure d'être fidèle aux lois de l'Honneur et de la Probité dans l'exercice de la Médecine.

Je donnerai mes soins gratuits à l'indigent et je n'exigerai jamais un salaire au-dessus de mon travail. Admis dans l'intérieur des maisons, mes yeux ne verront pas ce qui s'y passe, ma langue taira les secrets qui me seront confiés et mon état ne servira pas à corrompre les mœurs ni à favoriser le crime. Respectueux et reconnaissant envers mes MAÎTRES, je rendrai à leurs enfants l'instruction que j'ai reçue de leurs pères.

Que les HOMMES m'accordent leur estime si je suis fidèle à mes promesses. Que je sois couvert d'OPPROBRE et méprisé de mes confrères si j'y manque.



## **Radiodermites chroniques après procédures de radiologie interventionnelle : mise en place d'une étude prospective au CHU de Clermont-Ferrand**

### **Résumé :**

Les radiodermites chroniques sont une complication potentiellement grave et pourtant méconnue des procédures de radiologie interventionnelle. En raison de leur délai d'apparition souvent tardif, l'incidence de ces lésions radio-induites n'a été estimée que par des études rétrospectives.

Notre thèse a consisté en la mise en place d'une étude prospective et observationnelle au CHU de Clermont-Ferrand. Cette étude impliquera les services de Dermatologie, de Cardiologie et de Radiologie Interventionnelle. Les radiodermites résultant d'un effet déterministe des rayonnements ionisants, les patients inclus seront ceux qui auront reçu, au cours d'un acte de radiologie interventionnelle, des doses dépassant l'un des seuils dosimétriques fixés par la Haute Autorité de Santé. Quelques jours après l'irradiation et de façon réitérée pendant 5 ans, ces patients seront reçus en consultation de Dermatologie pour dépister des lésions radio-induites.

L'objectif principal sera le calcul de l'incidence des radiodermites chroniques. Les objectifs secondaires sont la mise en évidence de facteurs de risque en lien avec les antécédents du patient, les irradiations précédentes, la prise de médicaments radiosensibilisants le jour du geste, le lien entre apparition d'une radiodermite aiguë et radiodermite chronique, et l'évaluation du bénéfice d'une prise en charge chirurgicale précoce en cas de lésion radiodystrophique évolutive.

**Mots-clefs :** radiodermatitis, fluoroscopy, interventional radiology, interventional cardiology, neuroradiology, epidemiology, incidence, risk factors