



Francesco Mascaro

# IMAGERIE MÉDICALE

Comment voir  
ce qui est invisible  
à l'œil nu





Francesco Mascaro

# IMAGERIE MÉDICALE

Comment voir  
ce qui est invisible  
à l'œil nu

© copyright 2022 par Carocci editore, Rome

Titre original: *Diagnostica per immagini. Come vedere ciò che è invisibile a occhio nudo* (Carocci, 2020)

Conception graphique d'Ulderico Iorillo et Valentina Pochesci



05 Préface

**07 PREMIÈRE PARTIE IMAGERIE MÉDICALE**

08 Introduction

09 La découverte de la radioactivité

11 Naissance de l'imagerie médicale

12 Les radiations

23 Méthodes diagnostiques utilisant les rayonnements ionisants

31 Méthodes diagnostiques utilisant les rayonnements non ionisants

38 Un aperçu de la médecine nucléaire

40 Conclusions et perspectives

**43 DEUXIÈME PARTIE UNE CHUTE QUI FINIT BIEN**

57 Glossaire





## PRÉFACE

Dans quelle mesure sommes-nous conscients des retombées de la recherche scientifique et de la pratique médicale sur notre vie quotidienne? Quelles sont les “passions” et les motivations qui animent les chercheurs et les professionnels de la santé? Que savons-nous de leur profession?

Nombreux sont les efforts déployés par la société pour faire connaître à tous la science et ses implications. Nous pensons par exemple aux diverses brochures mettant en avant l'importance d'un style de vie sain et, en général, le bien-être. Naturellement, l'école aussi joue un rôle important, à travers des principes d'alphabétisation scientifique et la sensibilisation à une série de thèmes favorisant la construction d'une culture scientifique pour nos jeunes.

Le projet *Let's Science!* – réalisé par la Fondation IBSA pour la recherche scientifique en collaboration avec le Département de l'éducation, de la culture et du sport du Canton du Tessin (DECS) – est le fruit de ces réflexions. Ce partenariat a permis d'identifier d'intéressants domaines thématiques qui ont été affrontés en impliquant les scientifiques actifs sur le territoire cantonal. C'est ainsi que deux réalités souvent distantes ont été rapprochées – la recherche scientifique et l'école – en favorisant le dialogue entre professionnels et élèves à travers des ateliers thématiques, dans le but de développer une sensibilité aussi bien au thème qu'à sa communication.

Mais quel a été l'horizon thématique du projet et quelles sont les réflexions qui ont conduit à certains choix stratégiques? La science et la recherche, notamment en biomédecine et dans les disciplines connexes, avancent rapidement et l'élargissement continu des domaines d'investigation nécessite un effort constant de mise à jour afin de maintenir une perspective historique et d'accueillir les nombreuses nouveautés. Pouvoir disposer d'informations scientifiquement correctes, proposées à travers un langage accessible, offre la possibilité aux jeunes de se passionner pour des questions jugées en général “difficiles” et de s'en approcher.

C'est ainsi que naît la collection *Let's Science!*, qui se propose d'élargir le champ des sujets scientifiques pouvant être approfondis à l'école. Les thèmes, de nature interdisciplinaire et directement liés à la santé et au bien-être de la

personne, sont présentés de façon innovante: le texte scientifique est en effet accompagné d'une histoire réalisée à partir de l'expérience de classes des écoles secondaires cantonales qui, accompagnées par leurs professeurs, ont élaboré des scénarios originaux transposés en bandes dessinées par des professionnels du secteur.

Nous n'avons plus qu'à inviter le jeune lecteur à se laisser surprendre par les domaines de recherche tous plus passionnants les uns que les autres de *Let's Science!*, qui favorisent à leur tour la possibilité de nouvelles questions et de nouveaux approfondissements. Et qui sait... Parmi ces lecteurs se trouve peut-être celui ou celle qui, un jour, réalisera des découvertes fondamentales dans la compréhension de la complexité de la vie et du délicat équilibre qui nous permet de vivre heureux et en bonne santé. Bonne lecture!

**SILVIA MISITI**

Directrice de la Fondation IBSA pour la recherche scientifique

**NICOLÒ OSTERWALDER**

Conseiller didactique de la division scolaire pour les sciences naturelles (DECS)

# Imagerie médicale


PREMIÈRE PARTIE



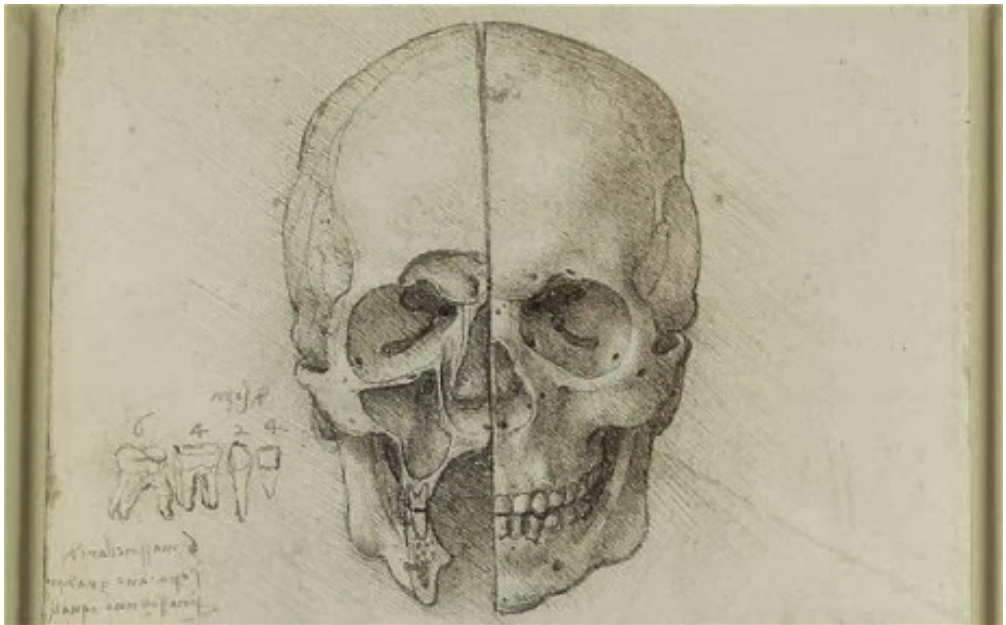


## INTRODUCTION

Vous ne vous-êtes jamais demandé comment il était possible d'observer l'intérieur de notre corps et de comprendre son fonctionnement sans le disséquer? Étudier l'anatomie et la physiologie du corps humain pour en saisir la structure et la fonction est quelque chose que les scientifiques ont commencé à faire de manière systématique il y a très longtemps, notamment en étudiant les cadavres (le premier traité de médecine explorant l'anatomie remonte à 1270 et on le doit au moins Guillaume de Salicet, auteur du *Liber in scientiae medichae*).

Pendant très longtemps, la seule façon de regarder à l'intérieur du corps humain était de pratiquer une autopsie, puis une reproduction sous forme de dessins anatomiques, technique dont Léonard de Vinci était passé maître. Le grand artiste et scientifique, considéré comme l'un des plus grands génies de l'humanité, s'est en effet consacré pendant de nombreuses années à l'étude du corps humain [figure 1 ]. En réalité, même avant lui, presque tous les

 **Figure 1** Dessin anatomique du crâne réalisé par Léonard de Vinci



peintres et sculpteurs faisaient des études d'anatomie pour augmenter leurs qualités artistiques et reproduire, de la façon la plus vraisemblable, la structure du corps humain et le mouvement des muscles. Toutefois, fasciné par la "merveilleuse machine humaine", Léonard est allé plus loin. Nous lui devons les premières illustrations anatomiques du corps humain vu de l'intérieur. Grâce aux nombreuses dissections de cadavres qu'il exécute, il commence à décrire et à représenter les organes internes, les articulations, le fonctionnement de la circulation sanguine, le système nerveux, la reproduction humaine, etc.

Aujourd'hui, nous disposons de moyens technologiques qui nous permettent d'observer, d'étudier et de comprendre la structure anatomique et le fonctionnement (et le dysfonctionnement) de corps vivants: un énorme avantage qui permet, surtout, de sauver des vies humaines.

Ensemble, dans ce volume, nous verrons comment est née la technologie à la base de l'imagerie médicale. Pour ce faire, nous passerons en revue les découvertes, les machines et les technologies qui ont marqué l'histoire du siècle dernier et d'une partie de ce siècle.



## LA DÉCOUVERTE DE LA RADIOACTIVITÉ

---

Tout allait changer avec la découverte de la radioactivité. En 1895, un célèbre article, *Sur une nouvelle espèce de rayons*, écrit par le professeur de physique Wilhelm Conrad Röntgen, informe le monde entier de la découverte des rayons X.

La découverte a lieu, presque par hasard, le soir du 8 novembre 1895. Depuis plusieurs semaines, Röntgen est enfermé dans son laboratoire à Würzburg pour étudier les rayons cathodiques: il fait des expériences avec un tube à travers lequel il fait passer un faisceau d'électrons. À un moment donné, il s'aperçoit qu'un panneau recouvert d'une substance fluorescente, situé à peu de distance du tube, commence à briller faiblement. Il recouvre alors le tube de feuilles de carton noir très épaisses et il continue de travailler dans la pénombre la plus totale, mais la lueur est encore visible. Quoi que ce soit, cette "chose" est à même de traverser le carton. Et pas seulement! Il se rend compte qu'en plaçant sa main sur la trajectoire du faisceau de rayons, il voit l'ombre des os sur le panneau.

Après avoir répété l'expérience plusieurs fois afin d'être sûr qu'il ne se trompe pas, il tente d'arrêter le rayon mystérieux en interposant différents matériaux. Il découvre ainsi que le seul matériau à même de le bloquer est le plomb. Il demande alors à sa femme de positionner sa main de façon immobile sur la plaque photographique et, au bout de 15 minutes d'émission de rayons directs contre la plaque, il obtient la première radiographie de l'histoire: une image des os de la main de sa femme et de son alliance [figure 2]. Il décide d'appeler ces mystérieux rayons "X", comme le signe mathématique indiquant une quantité inconnue.

Pourquoi les appelle-t-on rayons X?

 **Figure 2** Radiographie de la main gauche de la femme de Wilhelm Conrad Röntgen



Le 28 décembre 1895, Röntgen remet à la Société de physique médicale de Würzburg le compte-rendu de sa découverte, en demandant qu'il soit publié rapidement. En quelques jours, la nouvelle est de notoriété publique, la presse internationale en faisant ses gros titres.

En 1901, Röntgen reçoit le prix Nobel de physique «en reconnaissance des services extraordinaires qu'il a rendus en découvrant les remarquables rayons qui ont été nommés par la suite en son honneur». En effet, aujourd'hui encore en Allemagne les rayons X s'appellent *Röntgenstrahlen* (rayons Röntgen).

Le grand physicien fit don de sa récompense en argent à l'université de Würzburg pour financer de nouvelles recherches.

L'année suivante, en 1896, Antoine Henri Becquerel découvre la radioactivité naturelle en étudiant la phosphorescence des sels d'uranium. Il se rend compte en effet que certains matériaux émettent un rayonnement, y compris sans lumière d'excitation.

En 1898, Marie et Pierre Curie parviennent à isoler à partir de plusieurs tonnes de pechblende (un minéral contenant de l'uranium naturel) une petite quantité d'un nouvel élément, 330 fois plus radioactif que l'uranium. Il est appelé polonium, en l'honneur du pays d'origine de Marie (de son véritable nom Maria Skłodowska). Quelques mois plus tard, ils découvrent un autre élément, 900 fois plus radioactif que l'uranium, le radium. Marie réalise que l'émission de rayonnements est une propriété atomique de l'uranium et baptise ce phénomène **radioactivité**.

En 1903, Marie et Pierre Curie reçoivent avec Henri Becquerel le prix Nobel de physique pour leurs recherches sur les phénomènes radioactifs, tandis que le couple Curie obtient un second prix Nobel en 1911 pour la découverte du polonium et du radium.



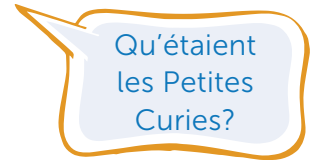
## NAISSANCE DE L'IMAGERIE MÉDICALE

---

C'est ainsi que s'ouvre, à la fin du XIXe siècle, une nouvelle ère pour la médecine. Les rayons X sont appliqués pour la première fois dans le domaine médical. L'un des pionniers de cette application est John Francis Hall-Edwards,

médecin britannique et grand passionné de photographie. Il instaure en effet l'utilisation des rayons X à l'hôpital de Birmingham pour diagnostiquer les fractures, et il est le premier à se servir de la radiographie pendant une intervention chirurgicale et à effectuer une radiographie de la colonne vertébrale.

Au cours des années suivantes, les rayons X sont de plus en plus utilisés. Un exemple spécifique est celui des **Petites Curies**, de petits véhicules dotés d'une radiologie mobile qui ont été utilisés au cours de la Première Guerre mondiale pour les soldats français au front. Plus d'un million d'examen radiologiques ont été effectués. Ce premier service de radiologie, fondé et géré par Marie Curie, contribue à soigner et sauver la vie de nombreux militaires.




Marie Curie, une femme exceptionnelle: la première à avoir reçu un prix Nobel et la seule, encore à ce jour, à en avoir reçu deux. Récompensée pour ses recherches et ses découvertes extraordinaires, elle a contribué de façon significative à l'évolution et à l'histoire du monde, une véritable femme engagée.

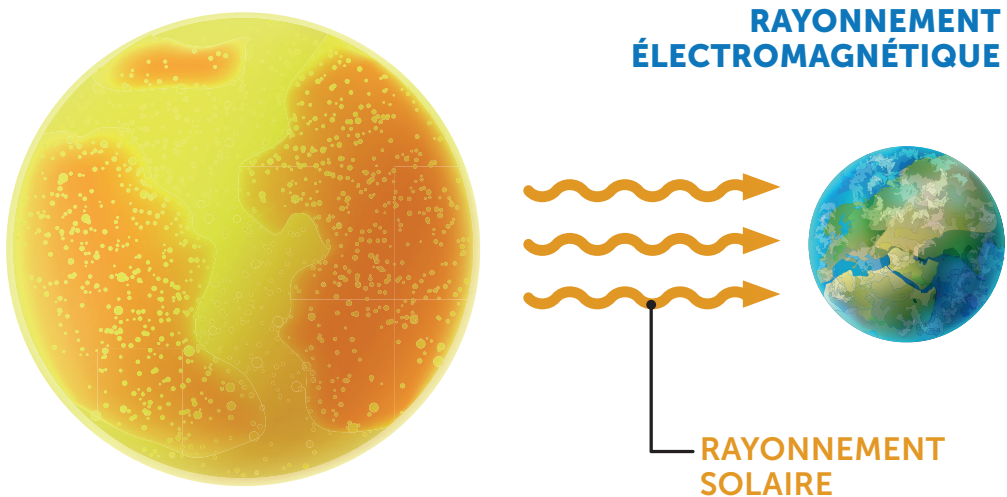
Il était finalement possible de regarder à l'intérieur du corps humain avec des yeux et des méthodes différents! Grâce aux premières radiographies s'ouvre un parcours en continuelle évolution, nous permettant d'explorer notre corps depuis l'extérieur à travers la formation d'images. Cette discipline est dénommée **diagnostic par image** ou **imagerie médicale**.

## **LES RADIATIONS**

Avant de parler de l'imagerie médicale en radiologie, il est important de définir les aspects des radiations, leurs effets et comment s'en protéger.


La **radiation** est l'émission ou la transmission d'énergie sous forme d'ondes ou particules à travers l'espace ou un matériau. Un exemple: lorsque nous regardons le soleil et que nous percevons la lumière et la chaleur qu'il dégage. Dans la pratique, de l'énergie est transférée du soleil vers la terre et nous sommes donc en présence d'une radiation [figure 3 ].

 **Figure 3** Le rayonnement solaire sur la terre



Généralement, les rayonnements utilisés dans l'imagerie médicale occupent la zone de la fréquence la plus élevée du **spectre électromagnétique**, qui indique l'ensemble de toutes les fréquences possibles des rayonnements électromagnétiques. La **fréquence élevée** et la **courte longueur d'onde** garantissent les propriétés nécessaires à une utilisation dans le domaine du diagnostic.

L'énergie est transportée par des particules appelées **photons** qui voyagent à la vitesse de la lumière. L'énergie de ces photons est inversement proportionnelle à leur longueur d'onde; cela signifie que plus la longueur d'onde est courte, plus l'énergie associée au photon est importante. Le même rapport peut être appliqué à la fréquence: plus la fréquence est élevée, plus l'énergie associée est importante. La formule de l'équation permettant de calculer l'énergie associée à un photon est la suivante:  $E = (h \cdot c) / \lambda$ , où **h** est la constante de Planck, **c** est la vitesse de la lumière dans le vide et **lambda** est la longueur d'onde du photon. Le fait que h et c soient des constantes explique le fait que l'énergie associée au photon est inversement proportionnelle à la longueur d'onde lambda. L'unité de mesure avec laquelle est exprimée l'énergie associée aux photons est l'eV (électronvolt) où un J (joule) est égal à  $6,24 \times 10^{18}$  eV.

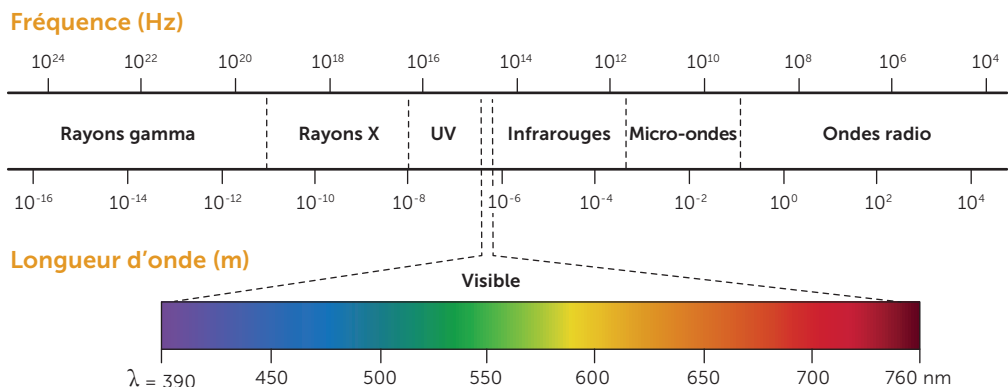
Le rayonnement visible est perçu sous forme de **lumière**. Cette partie du spectre électromagnétique est comprise entre une longueur d'onde de 760 nm ( $7 \times 10^{-7}$  m) de la couleur rouge et une longueur d'onde de 390 nm ( $4 \times 10^{-7}$  m) de la couleur violette. Les radiations utilisées pour l'imagerie médicale, par exemple pour les radiographies et le scanner, correspondent à une longueur d'onde égale à  $10^{-10}$  m. Plus courte est la longueur d'onde, plus élevées sont la fréquence et l'énergie de la radiation [figure 4 .

Si l'énergie de la radiation ayant des conséquences sur la matière est suffisante pour modifier la structure des atomes ou des molécules avec lesquels elle entre en contact, la radiation est dite **ionisante**. Dans le cas contraire, elle est définie **non ionisante**. Ce sont là deux principes fondamentaux de l'imagerie médicale, qui permettent de déterminer si un rayonnement est nocif pour l'être humain ou non.

Quels sont les rayonnements dangereux pour l'homme?


Vous vous souvenez de John Francis Hall-Edwards, cité plus haut? Ses expériences pionnières avec les rayons X n'ont pas tenu compte de cet aspect: les rayons ont endommagé les cellules de son corps au point qu'il a été nécessaire de lui amputer le bras gauche et certains doigts de la main droite; c'est pour cette raison que travailler dans ce secteur nécessite d'adopter de nombreuses précautions, et les patients aussi doivent être correctement protégés.


 **Figure 4** Spectre électromagnétique

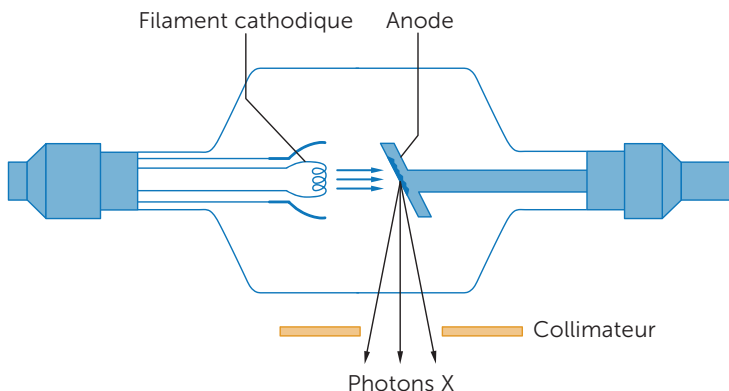


D'autres techniques utilisées pour la production d'images se basent sur les **ultrasons**, comme l'échographie, et d'autres encore, comme l'imagerie par résonance magnétique (IRM), sur l'utilisation de **champs électromagnétiques** et d'**ondes radio**. L'échographie et l'IRM ne sont pas nocives pour l'être humain, car elles ne sont pas à même d'ioniser les atomes ou les molécules biologiques. Elles sont par conséquent utilisées également chez la femme enceinte et l'enfant.

## ⊙ PRODUCTION DES RAYONS X


Les principaux rayonnements ionisants utilisés dans le domaine de l'imagerie médicale sont les **rayons X**. Ces derniers sont produits grâce au tube radiogène ou au tube à rayons X, dont le prototype est le tube de Coolidge. Le tube radiogène [figure 5 cathode est constituée d'un filament qui, une fois incandescent, libère des électrons depuis sa surface (les électrons sont des particules chargées, possédant une charge négative, c'est pour cette raison que la cathode est aussi appelée électrode négative). Parallèlement, une différence de potentiel est appliquée, pouvant atteindre 140 000 V (volts), et permettant aux électrons situés au niveau de la cathode d'accélérer en direction de l'**anode** (étant donné que l'anode est chargée positivement, un champ électrique très fort est créé, le long duquel les électrons avec une charge négative se déplacent de la cathode vers l'anode) (voir les flèches bleues dans la figure 5).

 **Figure 5** Schéma d'un tube radiogène





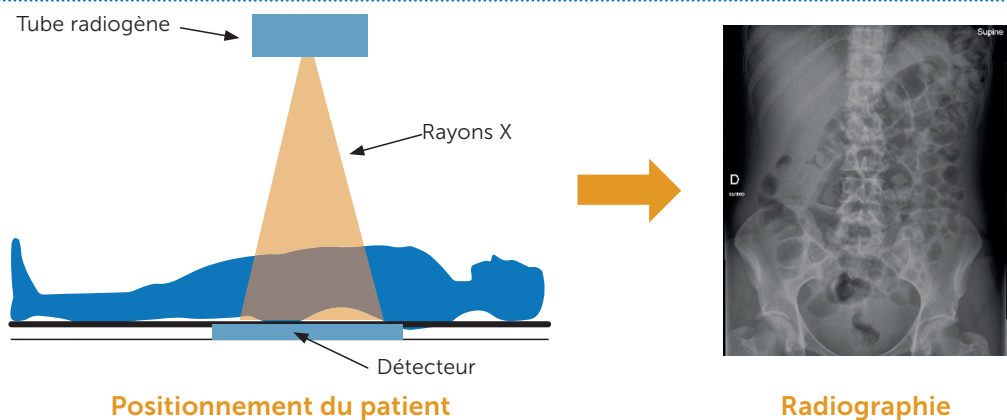
L'anode est constituée d'un disque ou d'une base métallique généralement en tungstène (le même type de matériau qui constitue le filament des ampoules à incandescence). Lorsque le faisceau d'électrons (appelé aussi rayon) provenant de la cathode atteint l'anode, la plupart de l'énergie cinétique des électrons, environ 99 %, est dissipée sous forme de chaleur. Le pourcentage restant, grâce à certains phénomènes physiques, est émis sous forme de rayons X (photons X).

Les rayons X produits par le tube radiogène peuvent à présent partir en direction du patient: la plupart d'entre eux interagissent avec les tissus du corps humain, tandis qu'une petite partie les traverse jusqu'à atteindre un détecteur spécifique. Les informations recueillies sont ensuite codées, générant ainsi la formation de l'image [figure 6 ].

Les principales méthodes utilisées pour l'imagerie médicale nécessitant la présence d'un tube radiogène et, par conséquent, la production de rayons X, sont les suivantes:

- ⊙ la radiologie conventionnelle;
- ⊙ la fluoroscopie ou radioscopie;
- ⊙ la tomographie axiale calculée par ordinateur (TACO, appelée aussi scanner);
- ⊙ la mammographie.

 **Figure 6** Radiographie de l'abdomen en position allongée



Étant donné que les rayons X sont à même d'ioniser les molécules biologiques, ils sont nocifs pour les cellules des êtres vivants. Il est donc important de comprendre leurs effets et comment les limiter.



Comment se protéger des radiations?

Au cours du siècle dernier, nous nous sommes interrogés sur les effets des radiations sur l'être humain. Aujourd'hui encore, nombreuses sont les questions en suspens auxquelles la communauté scientifique tente d'apporter des réponses. La radiobiologie et la radioprotection sont deux disciplines qui nous aident à comprendre les effets de la radiation sur l'être humain et les mesures de protection à adopter pour en limiter la nocivité.

## ⊙ RADIOBIOLOGIE

La radiobiologie est la branche des sciences biologiques qui s'occupe des effets des rayonnements sur la matière vivante.

Les dégâts du **rayonnement** sur les tissus biologiques sont générés par son interaction avec la cellule au niveau microscopique. Les radiations sont notamment à même d'endommager l'acide désoxyribonucléique (ADN) nucléaire (ADNn), entraînant ainsi des modifications plus ou moins complexes des deux filaments qui le constituent.


En principe, les cellules humaines sont capables de réparer seules les dégâts du rayonnement ionisant. Une fois les dégâts réparés, la cellule continue d'exercer son activité à l'intérieur du corps humain. Toutefois, si la cellule n'est pas à même de les réparer, elle s'expose à une **apoptose** (mort cellulaire programmée), un processus biologique qui préserve l'être humain, y compris contre les dommages causés par les rayonnements ionisants.


En revanche, lorsque l'ADN cellulaire est trop endommagé, ou en cas de dysfonctionnement des mécanismes de réparation, le dégât causé peut aboutir à des dommages aux tissus et à des phénomènes cliniquement observables, comme la nécrose.

Enfin, l'introduction d'une réparation erronée au détriment de l'ADN peut produire une cellule vitale présentant des mutations pouvant entraîner l'apparition de tumeurs ou d'anomalies héréditaires.

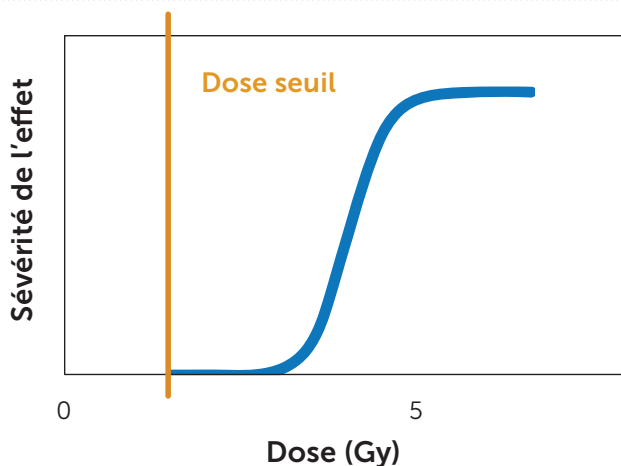
L'interaction physique, chimique et biochimique du rayonnement ionisant avec l'ADN a lieu en une fraction de seconde, tandis que la manifestation clinique de l'effet peut avoir lieu aussi bien quelques minutes plus tard que des dizaines d'années après l'irradiation.

On distingue deux types d'effets des rayonnements sur l'être humain: les effets déterministes et les effets stochastiques (dits aussi à caractère probabiliste).

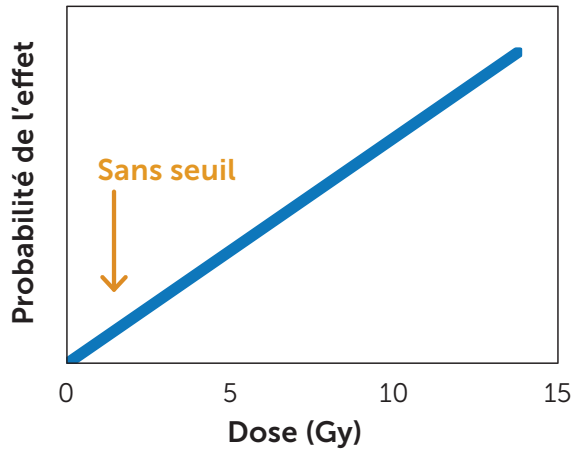
Les **effets déterministes** se manifestent généralement immédiatement après l'exposition au rayonnement ionisant, ils apparaissent au dépassement d'une valeur limite et entraînent le dysfonctionnement de l'organe. Plus la dose absorbée par l'individu est importante, plus les dommages sont sévères. On compte parmi eux les érythèmes, les brûlures cutanées et les dommages entraînant la stérilité [figure 7 .

Les **effets stochastiques** ou à caractère probabiliste sont dus à des mutations produites au niveau cellulaire. Aucun seuil n'a été défini pour ces effets; on suppose que le risque de développer un cancer augmente de façon linéaire avec la dose. Plus la dose de rayonnement ionisant auquel est exposé l'individu et la fréquence à laquelle l'individu est exposé à cette dose au cours de sa vie sont importantes, et plus la probabilité d'apparition d'un cancer ou de malformations chez ses descendants est élevée [figure 8 .

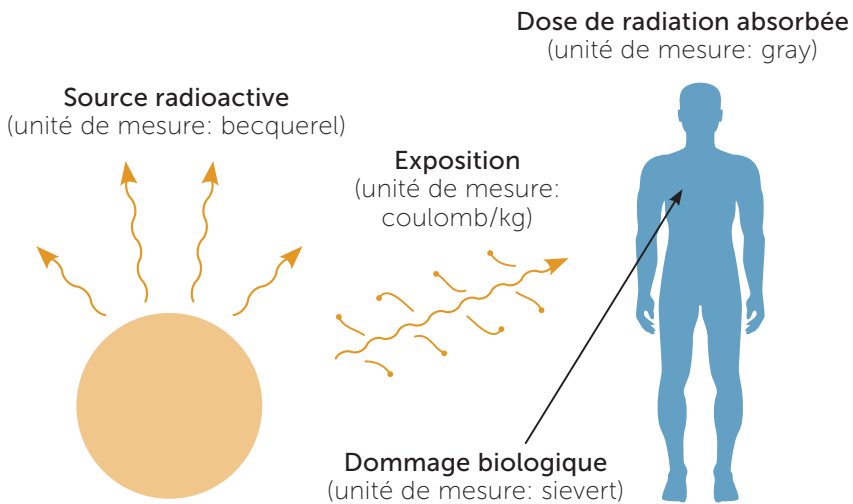
 **Figure 7** Effets déterministes des radiations sur l'être humain




 **Figure 8** Effets stochastiques des radiations sur l'être humain



 **Figure 9** Unités de mesure de la radioactivité

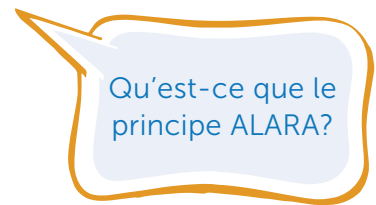


L'énergie que les radiations cèdent à l'unité de masse en un point donné de la région anatomique irradiée est appelée **dose**. Dans le Système international, l'absorption de 1 joule d'énergie par 1 kg de matière porte le nom de **gray** (Gy) [figure 9 ]. Le risque de provoquer des dégâts aux cellules augmente avec la quantité d'énergie dégagée.


L'indicateur de risque utilisé pour les rayonnements est la **dose efficace**, exprimée en **sievert** (Sv), qui tient compte de la nature des rayonnements et du type de tissu exposé. En définitive, le Sv est une mesure de l'effet du rayonnement ionisant sur la santé.


Vous êtes-vous déjà demandé combien d'examens avec rayonnement ionisant (par exemple des radiographies, des scanners) nous pouvons exécuter pendant notre vie? C'est une question légitime, qui trouve sa réponse grâce à l'application de réglementations que les professionnels de la santé doivent respecter. La prescription d'examens avec rayonnement ionisant, mais pas uniquement, relève de la responsabilité médicale. L'exécution d'un examen est évaluée en fonction du bénéfice que la personne en tire du point de vue de la santé, par rapport aux risques biologiques causés par le rayonnement ionisant; un principe de justification est appliqué. Par conséquent, il n'existe pas un nombre maximal d'examens exécutables au cours d'une vie, mais les raisons, les bénéfices et les risques pour lesquels ils doivent être exécutés sont évalués à chaque fois.

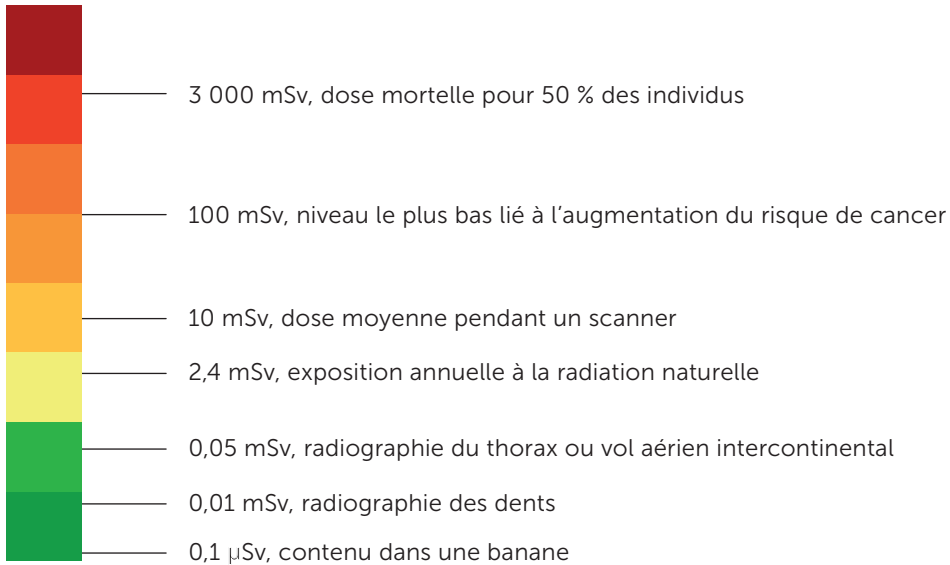
Et comment limiter les risques sur les personnes? La limitation des risques sur les personnes qui se soumettent à des examens avec rayonnement ionisant passe également à travers le principe ALARA (*as low as reasonably achievable*). Dans le domaine de l'imagerie médicale, le principe ALARA permet d'exécuter les examens par rayonnement ionisant avec l'intention de diminuer le plus possible la dose (l'énergie que les radiations cèdent à l'unité de masse en un point donné) que la personne reçoit, sans compromettre la qualité de l'image produite et donc le résultat du diagnostic et, dans certains cas, de l'intervention.




L'un des défis que les organisations s'efforcent de relever est l'introduction d'un passeport dosimétrique individuel, permettant de surveiller efficacement la dose reçue par une personne, dans le domaine des applications médicales, au cours de sa vie.

L'échelle des doses de radiation indique que cette dernière est présente naturellement, qu'elle varie selon la région dans laquelle on vit et qu'elle est présente à l'intérieur de certains aliments. Notre corps est généralement à même de réagir de façon efficace en évitant l'apparition de dommages éventuels [figure 10 ].

 **Figure 10** Comparaison des doses exprimées en millisievert (mSv)



## ⊙ **RADIOPROTECTION**

La radioprotection est une discipline née comme champ d'application de la radiobiologie, qui s'occupe de la protection de l'individu, de sa descendance, de la population en général et de l'environnement contre les effets néfastes des rayonnements ionisants [figure 11 

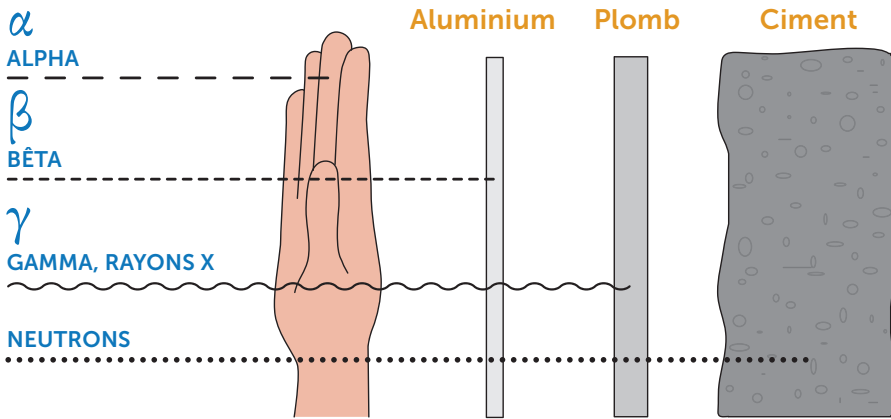
L'objectif est de prévenir les effets déterministes et de limiter la probabilité d'effets stochastiques à un niveau acceptable (réduction du risque clinique).


Les trois grands principes de base de la radioprotection sont les suivants:

- ⊙ **justification** des activités avec les rayonnements;
- ⊙ **optimisation** des mesures de radioprotection;
- ⊙ **limitation** des doses individuelles.

Pour se protéger des rayonnements ionisants utilisés dans l'imagerie médicale (rayons X et gamma), on utilise le plomb. Il s'agit d'un élément à la densité électronique et à la stabilité élevées, également très malléable. Grâce à ces

 **Figure 11** Capacité pénétrante des typologies de rayonnement ionisant




caractéristiques, il est possible de produire les dispositifs de radioprotection utilisés en radiologie [figure 12 .

Outre les protections en plomb, il n'existe que quelques règles élémentaires pour se protéger ou limiter l'effet des radiations, parmi lesquelles :

- ⊙ s'éloigner de la source de rayonnement, étant donné que l'intensité des radiations diminue avec la distance (important pour les opérateurs de radiologie);
- ⊙ interposer un ou plusieurs dispositifs de blindage entre la source et les personnes;
- ⊙ réduire au minimum la durée d'exposition aux rayonnements.

Les personnes professionnellement exposées aux rayonnements, y compris dans des secteurs autres que la médecine (par exemple, les activités aériennes, les excavations souterraines, etc.), sont dotées d'un **dosimètre** personnel, grâce auquel la radiation représentative de la dose efficace rapportée au corps entier est surveillée pendant un certain temps. La dose efficace, exprimée en sievert, est un indicateur du risque biologique: plus la dose est importante, plus le potentiel risque de dommages au niveau biologique est important. Ces chiffres représentent une méthode de contrôle et de vérification de la sécurité des professionnels qui travaillent avec les rayonnements et doivent être évalués et interprétés de façon périodique, en tenant compte également des limites prévues par la législation en vigueur.

 **Figure 12** Dispositifs de radioprotection

**Tablier**



**Jupe  
protège-gonades**



**Protège-thyroïde**



## MÉTHODES DIAGNOSTIQUES UTILISANT LES RAYONNEMENTS IONISANTS

### ⊙ RADIOGRAPHIE CONVENTIONNELLE

La radiographie conventionnelle est la première méthode d'imagerie à avoir été découverte et c'est également celle qui est la plus facilement disponible. Elle utilise les rayons X produits par le tube radiogène qui sont dirigés vers le patient. Grâce au détecteur et au traitement des informations, les images radiographiques sont produites. Entre la production des rayons X et la visualisation de l'image, il s'écoule moins d'une seconde.

En général, la radiographie traditionnelle est la méthode d'imagerie la plus utilisée pour examiner les membres, le thorax et, parfois, la colonne vertébrale et l'abdomen.

Quelles maladies la radiologie traditionnelle permet-elle de diagnostiquer?


Ces zones contiennent d'importantes structures aux densités différentes de celles des tissus adjacents.

Par exemple, la radiologie traditionnelle est une méthode de premier choix pour détecter:


- ⊙ fractures (les os sont plus denses que les tissus mous et, par conséquent, leur structure peut être facilement observée pour la recherche de lésions);



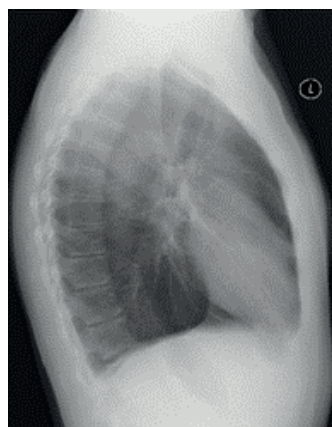
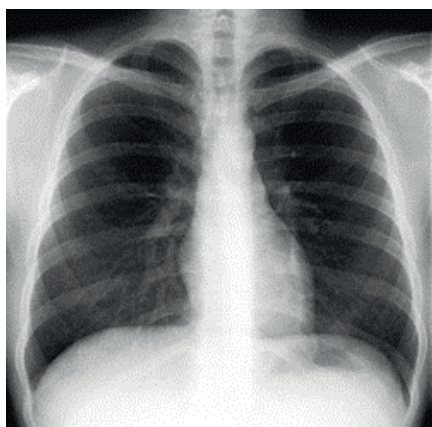
- ⊙ pneumonies (le contraste important entre l'air présent au niveau pulmonaire, de couleur noire par radiographie, et le liquide, de couleur blanche par radiographie, permet d'évaluer la présence éventuelle de la pathologie);
- ⊙ occlusion intestinale (il est possible d'évaluer la présence de niveaux hydro-aériques, constitués d'une accumulation de liquide et de gaz).

Étant donné que les différentes structures anatomiques sont superposées, il convient d'effectuer au moins deux radiographies de différents angles. Cela permet de mieux visualiser la structure anatomique faisant l'objet de la radiographie [figure 13 

### ⊙ FLUOROSCOPIE OU RADIOSCOPIE

La fluoroscopie (ou radioscopie) est une technique permettant d'obtenir des images en temps réel de l'anatomie interne de l'être humain; on utilise pour cette méthode les rayons X [figure 14 


 **Figure 13** Exemple d'une radiographie du thorax exécutée sur un patient dans deux positions différentes




 **Figure 14** L'angiographe



Dans ce dernier cas, les images sont utilisées pour diriger et positionner les dispositifs à l'intérieur du corps du patient.

En salle d'angiographie, pendant les interventions sur les axes vasculaires, des instruments spécifiques, comme les introducteurs, les cathéters, les fils-guides, les ballons et les stents, sont utilisés [figure 15 ].

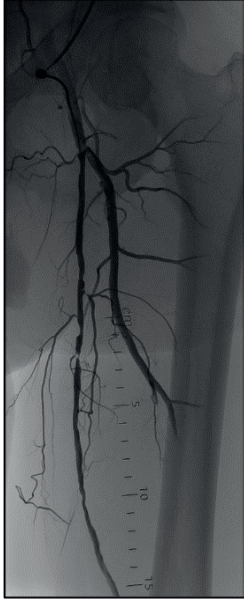
La figure 16  montre un petit ballon utilisé pour la dilatation des sténoses (rétrécissement d'un canal, d'un orifice, d'un organe creux ou d'un vaisseau) présentes à l'intérieur des vaisseaux sanguins. Le même ballon est utilisé pour la dilatation de la section de l'artère fémorale superficielle présente sur les images précédentes.

#### © TOMOGRAPHIE AXIALE CALCULÉE PAR ORDINATEUR (TACO OU SCANNER)

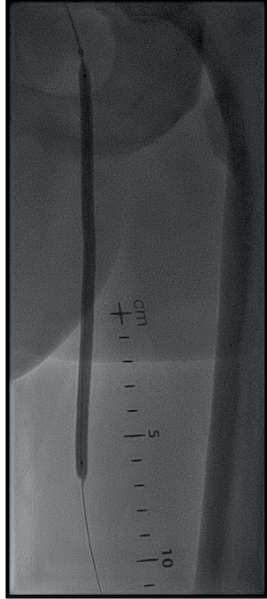
Le scanner, l'une des plus importantes technologies de l'imagerie médicale, de plus en plus répandue au niveau mondial, fait appel au rayonnement ionisant, et notamment aux rayons X. Nous devons l'invention de cette technique à l'ingénieur anglais Godfrey Hounsfield, qui a réalisé le premier appareil de tomographie axiale calculée par ordinateur, en même temps que le physicien sud-africain Allan Cormack, au sein du Central Research Laboratories d'EMI, à Hayes, au Royaume-Uni, en 1967. Les recherches liées à l'utilisation de cette

 **Figure 15** Exemples d'angiographie de l'artère fémorale gauche

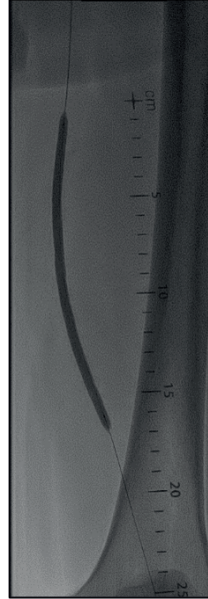
**Angiographie  
de l'artère  
fémorale gauche**



**Dilatation  
par  
ballonnet**



**Dilatation  
par  
ballonnet**




**Résultat  
final**

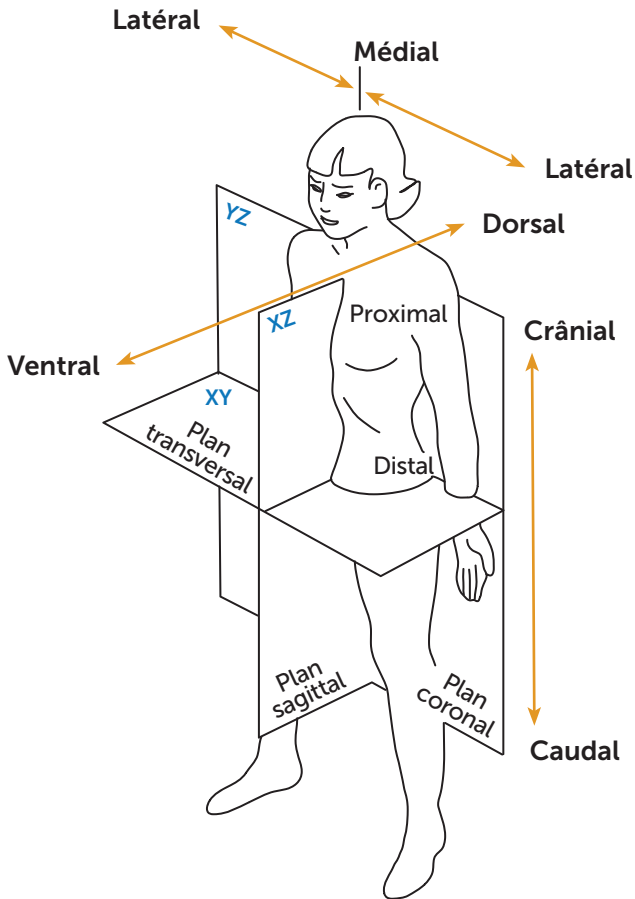


 **Figure 16** Ballon utilisé pendant une intervention angiographique



méthode d'examen lui ont valu le prix Nobel de médecine en 1979, une récompense qu'il a partagée avec Allan McLeod Cormack de la Tufts University du Massachusetts, qui proposait lui aussi, de façon indépendante, une technique similaire. Le premier tomographe informatique commercial permettait exclusivement d'étudier les structures du crâne et a été installé à l'Atkinson Morley Hospital de Londres en 1971. Cette technique de diagnostic est à même de représenter le corps humain en sections selon des plans axiaux, coronaux et sagittaux [figure 17 ], permettant ainsi de visualiser et d'étudier les organes et les structures vasculaires pour en détecter toute anomalie éventuelle.


 **Figure 17** Axes et plans du corps humain



Grâce à l'atténuation du faisceau de rayons X qui traverse le patient, la différence de densité des tissus situés à l'intérieur du corps humain est mise en évidence, générant, grâce à l'utilisation de puissants ordinateurs de calcul, des images numériques. L'évolution en termes de technologie, d'informatique et d'ingénierie a permis d'obtenir des images numériques et des reconstructions plus complexes et de meilleure qualité. Grâce au scanner, il est aujourd'hui possible d'explorer le corps humain dans sa totalité.

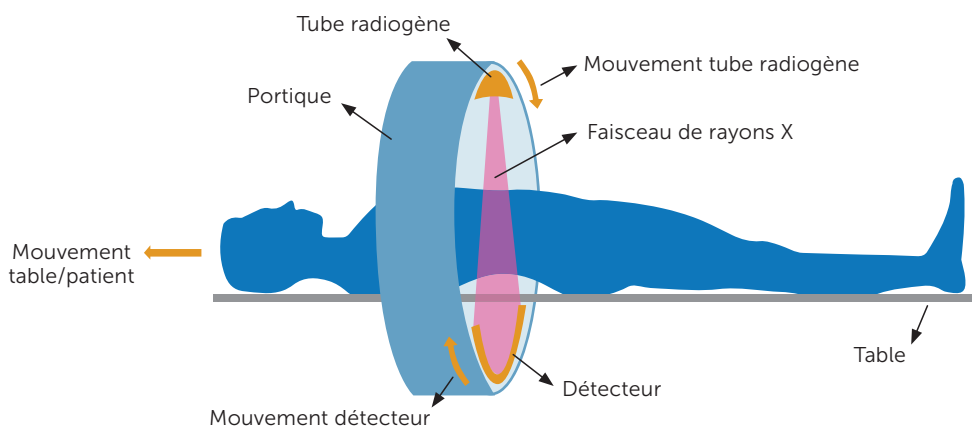
Le scanner est principalement composé des éléments suivants:

- ⊙ le portique, une structure circulaire rotative, qui contient le tube radio-gène et le détecteur (révélateur);
- ⊙ la table;
- ⊙ le pupitre de commande et les ordinateurs de calcul.

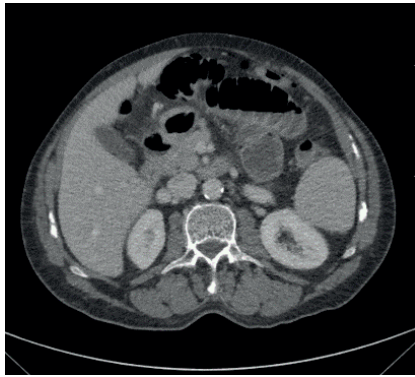
À la rotation du tube-détecteur s'ajoute le mouvement, à vitesse constante, de la table où est allongé le patient. Cela permet d'irradier exclusivement la région anatomique concernée et de la traverser avec les rayons X de façon enveloppante [figure 18 .

Le détecteur recueille les informations qui sont ensuite traitées par de puissants ordinateurs à même de les transformer en images, qui sont affichées sur

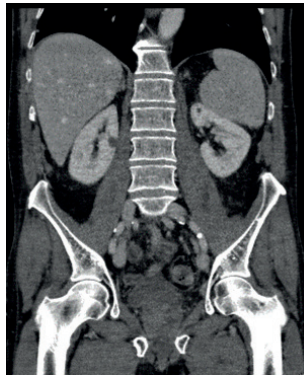
 **Figure 18** Les principaux composants du scanner



 **Figure 19** Exemple de scanner de l'abdomen




**Plan axial**



**Plan coronal**




**Plan sagittal**


les écrans situés sur le pupitre de commande. Entre le rayonnement et l'affichage des images, quelques secondes seulement s'écoulent. Les scanners de dernière génération parviennent à produire des centaines d'images en une poignée de secondes [figure 19 .

À quoi sert le liquide de contraste utilisé lors du scanner?

Pour exécuter un scanner, il est parfois nécessaire d'administrer un liquide contenant de l'iode, appelé **produit de contraste** iodé, qui permet de différencier artères, veines, ganglions lymphatiques et, en règle générale, les anomalies des organes. L'administration du

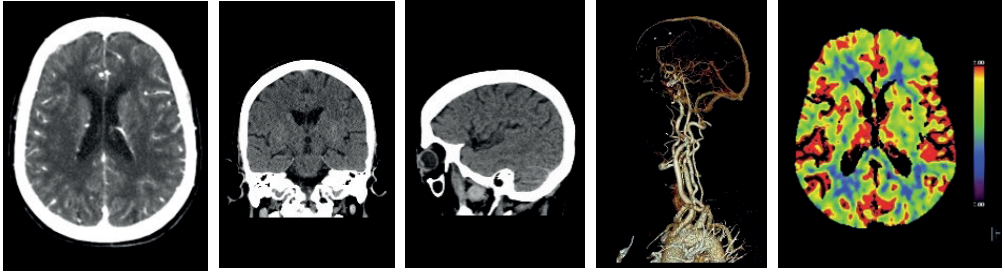
produit de contraste permet également de reconstruire les données acquises dans des images tridimensionnelles de la région irradiée et, dans certains cas, de cartographier la fonctionnalité de l'organe irradié [figure 20 .

## ⊙ MAMMOGRAPHIE

Cette méthode, utilisée pour l'acquisition d'images du sein de la femme (et du tissu mammaire de l'homme), utilise les rayons X et est considérée comme une radiographie du sein [figure 21 .

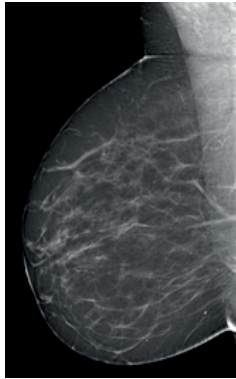
Les premières mammographies sont introduites en 1930 par le radiologue américain Stafford L. Warren qui,

 **Figure 20** Exemple de scanner cérébral avec produit de contraste

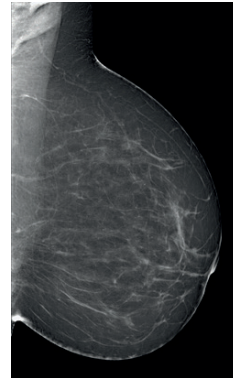


 **Figure 21** La mammographie

**Mammographie  
sein droit**



**Mammographie  
sein gauche**




à New York, développe des techniques et des études précédemment réalisées, à partir de 1913, par un chirurgien allemand, Albert Salomon, qui travaillait sur des échantillons de tissu obtenus par enlèvement chirurgical de la poitrine de femmes atteintes d'un cancer du sein (mastectomie).

Aujourd'hui, la mammographie est l'examen de diagnostic par excellence et de premier choix pour le dépistage du cancer du sein; dans certains cas, un examen échographique est réalisé en complément, afin de mieux visualiser toute la structure anatomique, notamment chez les personnes présentant un sein dense.

 **Figure 22** Mammographe avec tomosynthèse



Au cours de ces dernières années, la **tomosynthèse** a été introduite: elle permet d'obtenir des images tridimensionnelles (3D) du sein et de réduire et/ou éliminer l'effet de superposition des tissus typique des radiographies. Elle est généralement exécutée en complément de la mammographie standard [figure 22 .

## MÉTHODES DIAGNOSTIQUES UTILISANT LES RAYONNEMENTS NON IONISANTS

### ⊙ **IMAGERIE PAR RÉSONANCE MAGNÉTIQUE (IRM)**

L'IRM est une méthode d'imagerie moderne qui produit des images stratifiées de toutes les régions du corps humain, grâce à l'utilisation de champs magnétiques et d'ondes radio. L'IRM n'a pas les mêmes effets que les rayonnements ionisants, elle fait donc partie des rayonnements non ionisants.

Avant d'exécuter une IRM, il est demandé au patient de remplir un formulaire, une étape fondamentale pour


Pourquoi est-il nécessaire de ne porter aucun objet métallique pendant l'exécution d'une IRM?



comprendre si cet examen peut être effectué. Le champ magnétique puissant présent dans la résonance magnétique est à même d'attirer les objets en métal aux propriétés spécifiques et d'altérer le fonctionnement de certains dispositifs médicaux. Par conséquent, avant d'effectuer une IRM, certaines informations sont nécessaires: par exemple la présence de pacemakers, de défibrillateurs, de valves cardiaques, de clips cérébraux, d'appareils acoustiques et dentaires, d'implants cochléaires, de tatouages, de piercings, de maquillage permanent, ou encore la présence de maladies comme le diabète ou le glaucome. S'il existe ne serait-ce qu'une contre-indication, le personnel technico-médical suspend l'IRM en évaluant au cas par cas, et en collaboration avec d'autres figures sanitaires, si le patient est apte à passer l'examen. Toute personne entrant dans la salle d'IRM doit remplir ce formulaire.

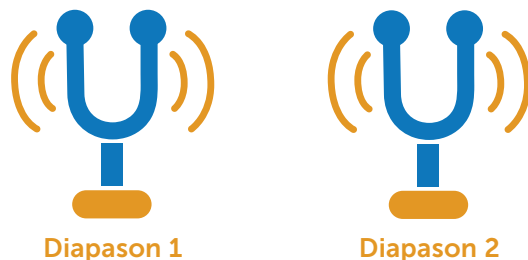
Les principes physiques et mathématiques à la base de cette technique sont extrêmement complexes.

Commençons par nous demander: qu'est-ce qu'une résonance? On appelle résonance un échange d'énergie entre deux systèmes similaires.

Par exemple, prenons deux diapasons qui émettent la même note (ils vibrent à la même fréquence). Si nous faisons vibrer l'un des deux (diapason 1), le deuxième diapason entre lui aussi en vibration (diapason 2). L'affinité entre les deux systèmes est appelée fréquence de résonance [figure 23 ].


La résonance magnétique utilisée pour le diagnostic par imagerie fonctionne selon le même principe que le diapason. Dans la pratique, une fois que le patient est positionné à l'intérieur de la machine, la présence du grand champ

 **Figure 23** Le phénomène de la résonance

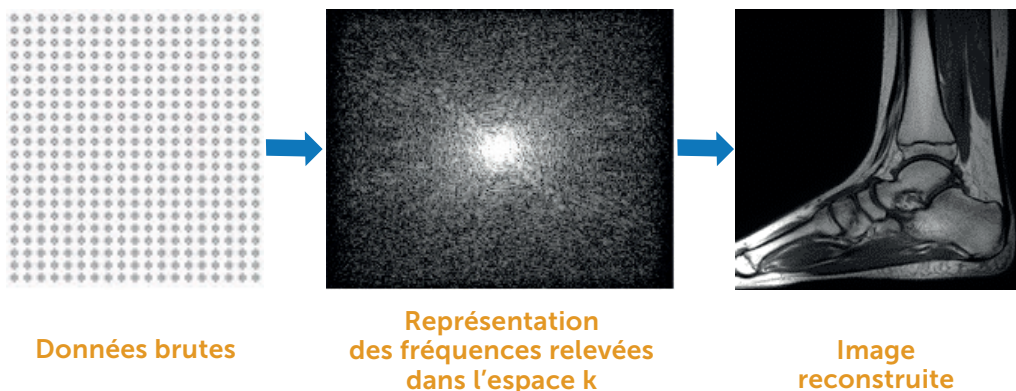


magnétique, appelé **aimant**, et l'application successive des impulsions de radiofréquence, produites par des antennes appelées **bobines**, permettent de produire les images diagnostiques.

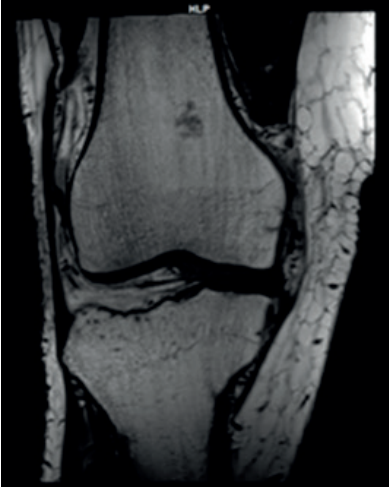
L'IRM utilise les propriétés magnétiques du corps pour produire des images détaillées de n'importe quelle partie de ce dernier. Elle utilise notamment les noyaux d'hydrogène (constitués d'un seul proton) qui se trouvent en abondance dans l'eau et la graisse. Les noyaux d'hydrogène sont des particules de matière électriquement chargées, et leur rotation sur eux-mêmes détermine leur comportement, comme s'ils étaient de petits aimants; leur orientation est aléatoire. Si nous plaçons le corps du patient à l'intérieur du champ magnétique de la machine, les noyaux d'hydrogène s'orientent envers ou contre le champ magnétique.

Cette situation est stable et si nous voulons provoquer un signal de résonance, nous devons la déranger. Pour ce faire, nous utilisons une onde radio appropriée, qui crée une nouvelle situation de stabilité jusqu'à ce que nous interrompions l'émission radio. Lorsque le signal est interrompu, les noyaux d'hydrogène libèrent l'énergie accumulée à nouveau comme des ondes électromagnétiques, dont les caractéristiques dépendent de l'environnement. On obtient ainsi un signal de résonance de retour, que nous pouvons capter avec une antenne. Le signal obtenu dévoile les caractéristiques du tissu analysé. En utilisant des instruments mathématiques appropriés et de puissants ordinateurs, nous pouvons alors transformer le signal électrique en image [figure 24 

 **Figure 24** L'imagerie par résonance magnétique (IRM)



 **Figure 25** Exemples d'IRM




**IRM du genou,  
plan coronal**





**IRM du rachis lombaire,  
plan sagittal**


La combinaison créée par les énergies produites par le champ magnétique et les impulsions de radiofréquence génère les bruits caractéristiques de l'IRM.

Cette technique est particulièrement adaptée pour la représentation d'organes et de tissus riches en liquides, et elle est couramment appliquée lors des examens du système nerveux (cerveau, moelle spinale), des organes internes, des articulations et des vaisseaux sanguins [figure 25 .

### ⊙ COMPARAISON DE CHAMPS MAGNÉTIQUES

Selon le Système international, l'unité de mesure de l'induction magnétique, c'est-à-dire de la densité de flux magnétique, est le **tesla** (T). Toutefois, cette unité de mesure étant très grande et utile appliquée à d'énormes champs magnétiques, comme celui des étoiles, on utilise encore souvent l'unité de l'ancien système, le **gauss** (G). Un tesla correspond à 10 000 gauss. Le **tableau 1**  comprend, à titre d'exemple, certaines valeurs de champs magnétiques.

Le champ magnétique terrestre varie en fonction des lieux de notre planète et est compris entre 0,4 et 0,6 gauss [figure 26 .

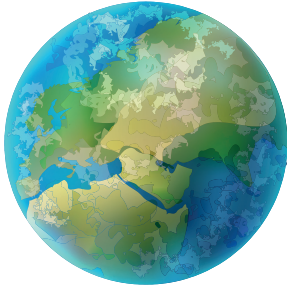
 **Tableau 1** Ordres de grandeur de certains champs magnétiques

$10^{-9}$ - $10^{-8}$ gauss	Champ magnétique du cerveau humain
$10^{-6}$ - $10^{-3}$ gauss	Champ magnétique des nuages moléculaires
0,25-0,60 gauss	Champ magnétique de la terre à sa surface
25 gauss	Champ magnétique de la terre en son noyau
50 gauss	Magnet de frigo
100 gauss	Aimant
1 500 gauss	Intérieur d'une tache solaire
10 000-13 000 gauss	Rémanence d'un aimant au néodyme (NIB)
16 000-22 000 gauss	Saturation d'alliages de fer à haute perméabilité utilisés dans les transformateurs
3 000-70 000 gauss	Appareil pour la résonance magnétique
$10^{12}$ - $10^{13}$ gauss	Surface d'une étoile à neutrons
$4 \times 10^{13}$ gauss	Seuil de l'électrodynamique quantique
$10^{15}$ gauss	Champ magnétique de certains magnétars de formation récente
$10^{17}$ gauss	Mesure maximale de magnétisme d'une étoile à neutrons

Généralement, les résonances magnétiques utilisées pour une application sur l'être humain utilisent des champs magnétiques pouvant atteindre jusqu'à 30 000 gauss, correspondant à 3 teslas.

Le champ magnétique d'une résonance de 3 teslas équivaut à environ 60 000 fois le champ magnétique terrestre. C'est justement en raison du champ magnétique élevé qu'implique cette méthode qu'il est nécessaire d'éliminer tout objet en mé-

 **Figure 26** Champs magnétiques



0,4-0,6 gauss





30 000 gauss

tal susceptible d'être attiré comme un projectile à l'intérieur de la machine. En outre, il est important de toujours évaluer l'état de santé du patient en lui faisant remplir un questionnaire de sécurité.

### ⊙ ÉCHOGRAPHIE

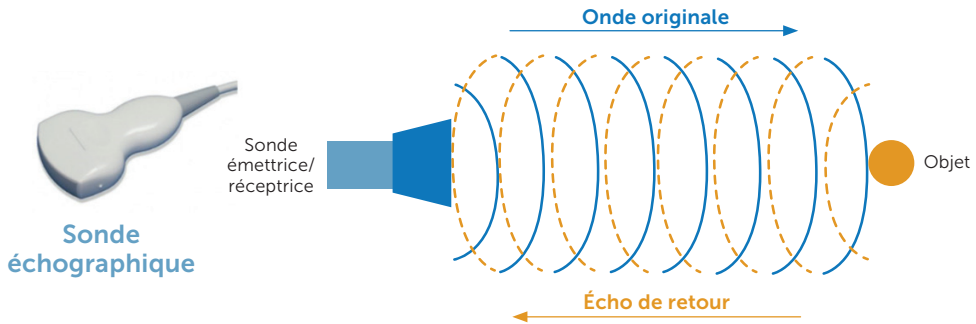
L'échographie (ou sonographie) est un examen de diagnostic non invasif qui n'utilise pas le rayonnement ionisant, mais les **ultrasons**, c'est-à-dire les ondes sonores à fréquence élevée, avec des valeurs dépassant les 20 000 Hz, non audibles par l'oreille humaine, qui se propagent à l'intérieur du corps. Le fonctionnement de l'échographie s'appuie sur le principe suivant: au point le plus haut d'une vallée, si on crie fort en direction d'une paroi on assiste au phénomène de l'écho. L'onde sonore que nous avons émise est réfléchiée par la paroi et revient vers nos oreilles.

Le procédé d'acquisition des images fait appel à la réflexion d'ondes sonores générées par des sondes appropriées et à la réception successive d'échos provenant de la région examinée par ces mêmes sondes [figure 27 ]. L'image qui se forme sur l'écran représente une petite section de la portion de corps sur laquelle, à ce moment-là, est appuyée la sonde [figure 28 .

L'utilisation des ultrasons ne comporte aucun type de risque. Cette procédure ne présente par conséquent aucune contre-indication. C'est pour cette raison qu'elle peut

Pourquoi l'exécution d'une échographie ne présente-t-elle aucune contre-indication?

 **Figure 27** Principe de fonctionnement de l'échographie



 **Figure 28** Exemple d'image échographique

### Échographie du rein gauche



être effectuée à tout moment de la vie d'une personne. Il est d'usage, par exemple, d'effectuer des échographies pendant la grossesse afin de contrôler la croissance du fœtus. En plus de cela, cette méthode produit des images en temps réel et les machines sont facilement transportables.

Les régions anatomiques principalement examinées grâce à cette méthode sont constituées de tissus mous:

- ⊙ l'abdomen;
- ⊙ les voies urinaires;
- ⊙ la thyroïde;
- ⊙ le cœur et les vaisseaux sanguins;
- ⊙ les tendons, les muscles et les articulations.




## UN APERÇU DE LA MÉDECINE NUCLÉAIRE

---

La médecine nucléaire est une branche de la médecine qui utilise des substances radioactives, appelées **médicaments radiopharmaceutiques**, composées d'une partie radioactive et d'une partie pharmacologiquement active. Ces médicaments pharmaceutiques peuvent être utilisés aussi bien à des fins de diagnostic qu'à des fins thérapeutiques.

Plus précisément, le médicament radiopharmaceutique est composé d'un vecteur, c'est-à-dire une molécule aux fonctions biologiques de transport, et du nucléide radioactif lié à celui-ci. Le vecteur permet de véhiculer le radionucléide jusqu'à atteindre l'organe ou l'appareil concerné, tandis que le nucléide radioactif permet, à travers l'usage d'une technologie diagnostique appropriée, de suivre la distribution et le dépôt, dans l'organisme, du médicament radiopharmaceutique.

L'utilisation d'appareils spécifiques, comme la **tomographie par émission de positons** (TEP-scan), permet de produire des images de haute résolution résultant de la fusion entre des images moléculaires (acquises grâce à la TEP) et des images radiologiques obtenues grâce à la technique tomographique (acquises par le scanner à rayons X couplé à la TEP) [figure 29 .

Les médicaments radiopharmaceutiques les plus utilisés et répandus en médecine nucléaire sont les suivants:

- ⊙ 18F-fluorodésoxyglucose (FDG);
- ⊙ 18F-PSMA (acronyme d'« antigène membranaire spécifique de la prostate »);
- ⊙ 18F-fluoroéthylthirosine (FET);
- ⊙ 68Ga-peptides (gallium 68).

Les principales applications cliniques concernent notamment les domaines de l'oncologie, de la cardiologie, de la neurologie et de la rhumatologie.

En oncologie, l'examen permet d'évaluer les caractéristiques morphologiques, structurelles et fonctionnelles de nombreuses pathologies tumorales. En outre, il permet d'évaluer la réponse des patients aux thérapies et permet d'obtenir des informations utiles quant au pronostic et à l'agressivité biologique de la tumeur.


 **Figure 29** Images réalisées à l'aide du scanner, de la TEP et de la fusion en TEP-scan, acquises après l'administration du médicament radiopharmaceutique 18F-fluorodésoxyglucose (FDG)

Image coronale scanner

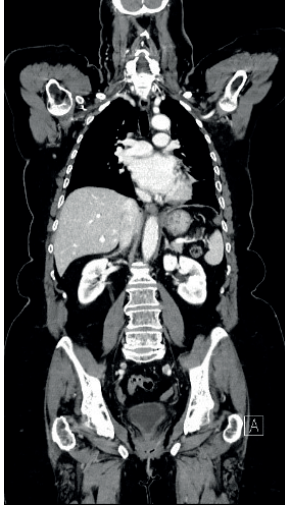


Image TEP

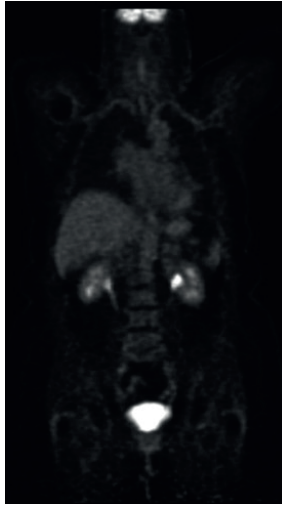



Image TEP-scan



### © CAMÉRA D'ANGER OU GAMMA-CAMÉRA

La technologie la plus diffusée en médecine nucléaire est la caméra d'Anger, dite aussi gamma-caméra. Le premier prototype a été conçu par l'ingénieur et biophysicien Hal Oscar Anger en 1957, dans les laboratoires de l'université de Californie à Berkeley.

Elle est utilisée pour l'acquisition d'images scintigraphiques statiques, dynamiques et tomographiques. Grâce à l'administration du radionucléide à l'intérieur du patient, il est possible d'acquérir des images représentatives de sa distribution et de son dépôt à l'intérieur de l'organisme. La gamma-caméra n'émet donc pas de radiations, mais les enregistre uniquement. Le système de détection à la base de cette technologie est à même d'exécuter la tomographie par émission monophotonique (TEMP ou SPECT). Les radionucléides les plus utilisés dans le diagnostic médico-nucléaire, en raison de leurs caractéristiques physiques et dosimétriques, de leur approvisionnement facile, ainsi que de leur faible coût, sont le technétium-99m, l'iode-123 et l'indium-111 [**figure 30** .

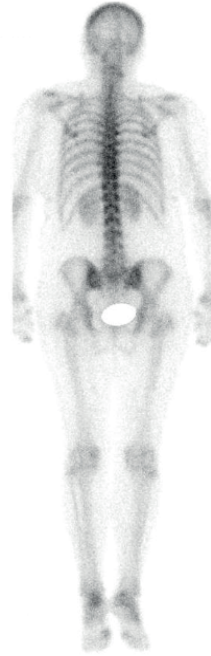


 **Figure 30** Scintigraphie osseuse corps entier exécutée au technétium-99m

**Vue antérieure**



**Vue postérieure**



## **CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES**

Après avoir traversé plus d'un siècle d'évolution technologique, informatique, bio-médicale et d'ingénierie, nous arrivons au terme de ce parcours dans l'univers de l'imagerie médicale en radiologie. Nous sommes parvenus à saisir la complexité du domaine de l'imagerie médicale et la diversité des méthodes qui nous permettent d'évaluer au mieux chacune des structures anatomiques du corps humain. L'imagerie médicale est donc aujourd'hui un instrument très puissant entre les mains du médecin, qui permet – à travers un travail d'équipe impliquant des techniciens de radiologie, des médecins radiologues, d'autres professionnels de la santé et des ingénieurs – de diagnostiquer, surveiller et soigner un grand nombre de maladies.

Nous avons également vu que les rayonnements, ionisants et non ionisants, à la base des techniques de diagnostic que nous avons traitées, sont présents dans

notre environnement, qu'ils soient naturels (radioactivité naturelle, champ magnétique terrestre) ou le fruit d'autres technologies anthropiques, comme la radio, le four à micro-ondes, les lampes et les anciens téléviseurs à tube cathodique. Lorsque nous raisonnons en termes de diagnostic et que nous faisons référence à des rayonnements ionisants, nous devons toujours tenir compte de la dangerosité de ces techniques et prendre les précautions nécessaires, afin de bénéficier de leurs avantages tout en limitant les effets indésirables.

L'évolution constante de l'imagerie médicale nous projette vers le futur, où les nouvelles technologies et des systèmes d'analyse de plus en plus avancés seront encore plus présents dans le domaine de la santé.

Une nouvelle frontière de la médecine est représentée, par exemple, par la **radio-mique**, c'est-à-dire l'application de l'intelligence artificielle à l'imagerie médicale: les images obtenues par scanner, IRM, TEP sont converties en données numériques qui sont analysées, avec d'autres données, par de puissants instruments de calcul. Cela permet d'obtenir des informations utiles pour l'identification des gènes susceptibles de provoquer l'apparition d'une tumeur et des données sur l'agressivité d'une maladie déjà présente, sur le diagnostic, la thérapie, le pronostic et la réponse du patient aux soins.

On doit aussi l'évolution de la technologie de l'imagerie médicale au travail réalisé dans les meilleurs centres de recherche au monde. La technologie Medipix, développée au sein du CERN de Genève et qui trouve son application dans certains scanners présents sur le marché, en est un exemple. Cette technologie permet de distinguer et de classer les biomolécules présentes à l'intérieur de la région anatomique étudiée, en aidant ainsi les professionnels de la santé à mieux comprendre la structure d'éventuelles anomalies.

Pour conclure, le défi futur de l'imagerie diagnostique sera de réussir à intégrer toutes les données du patient, en fournissant ainsi des images qui seront ensuite nourries par d'autres informations (anamnèse, contexte culturel, données de laboratoire, etc.), dans une perspective de médecine personnalisée ou de précision.



Une chute  
qui finit bien

DEUXIÈME PARTIE



## TEXTES

---

Textes rédigés par les élèves de la classe 3B de l'école secondaire Acquarossa:

Janis Bruschetti	Valentina Maroni	Alessia Poncioni
Clara Beatriz Castè	Clarissa Martinoli	Vito Ragazzi
Chiara Cavargna	Diana Morosi	Gioele Ratti
Clarissa Degiorgi	Nathan Ochsner	Edgard Solari
Giorgia Delfoc	Manuele Oncelli	Owen Taddei
Samuele Ferrari	Bruno Pedretti	Luca Tonelli
Timoteo Lucchini	Ana Luisa Pinto Paralta	Tristan Vanazzi

Sous la coordination des professeurs:

Alessandro Borrello (professeur de sciences naturelles)

Teresa La Scala (professeure d'italien)

École secondaire Acquarossa

Via alle Scuole 10 - 6716 Acquarossa

Tessin - Suisse

<https://acquarossa.sm.edu.ti.ch/>

[ecs-sm.acquarossa@edu.ti.ch](mailto:ecs-sm.acquarossa@edu.ti.ch)

Directeur: Stefano Imelli

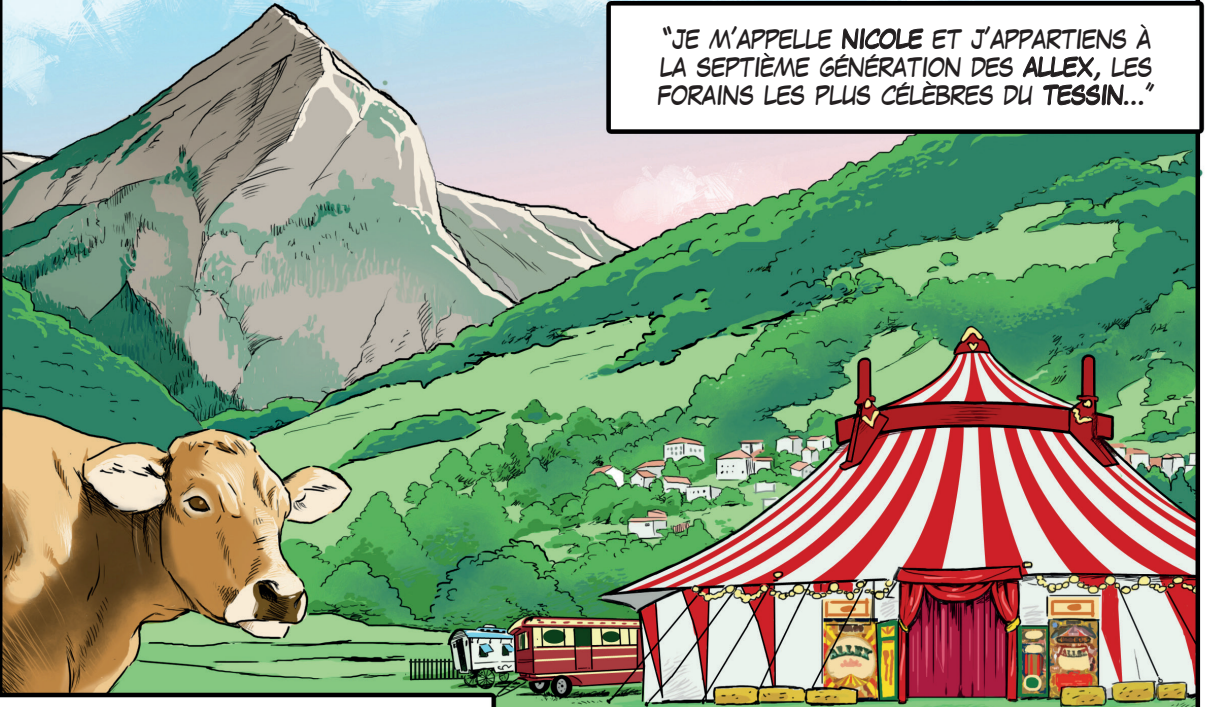
## DESSINS

---

Réalisation d'Alessandro Telve, pour la Scuola Romana dei Fumetti.

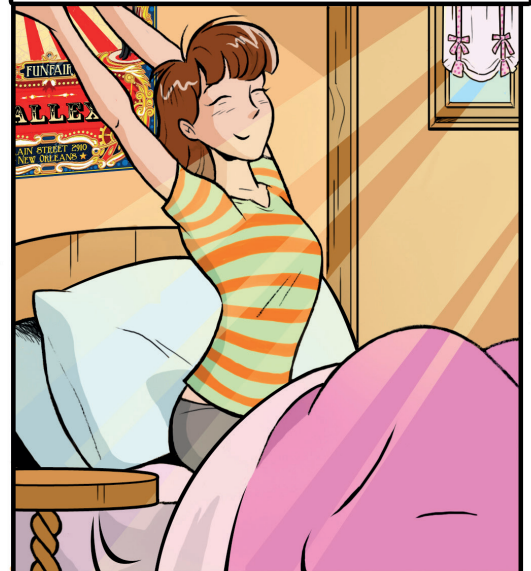
# UNE CHUTE QUI FINIT BIEN

"JE M'APPELLE NICOLE ET J'APPARTIENS À LA SEPTIÈME GÉNÉRATION DES ALLEX, LES FORAINS LES PLUS CÉLÈBRES DU TESSIN..."



"AUJOURD'HUI NOUS COMMENÇONS UNE SÉRIE DE SPECTACLES À ACQUAROSSA, UNE SPLENDE VALLÉE ENTOURÉE DE LA RIVIÈRE BRENNO ET DU MONT SOSTO. NOUS SOMMES ARRIVÉS ICI HIER, AVEC LA MÉNAGERIE..."

"... J'AI BIEN DORMI CETTE NUIT, DANS LE SILENCE DE LA NATURE. ET CE MATIN, J'AI ÉTÉ RÉVEILLÉE PAR LES CHANTS DES OISEAUX ET UN RAYON DE SOLEIL QUI S'EST POSÉ SUR MON OREILLER..."



"MES PARENTS DORMENT ENCORE,  
EN EFFET IL EST TRÈS TÔT.  
MAIS JE ME SENS REPOSÉE..."



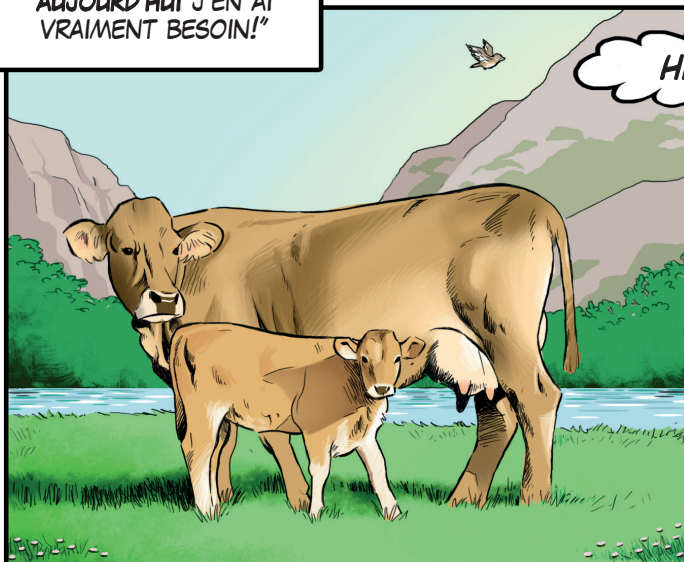
"... J'AI ENVIE D'ALLER DEHORS TOUT DE  
SUITE, ICI LE CADRE EST MAGNIFIQUE..."



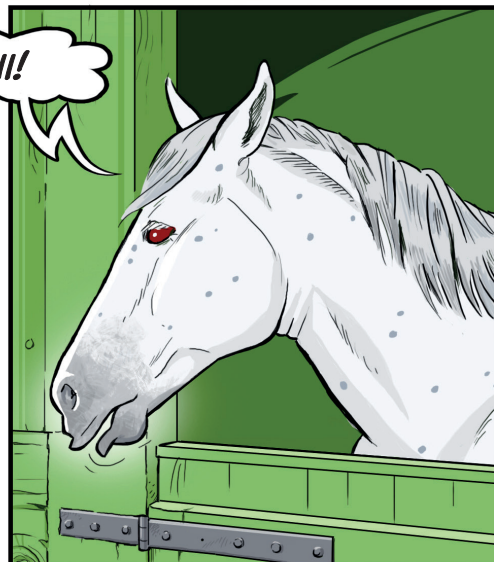
"... NOTRE CHAPITEAU À RAYURES BLANCHES ET ROUGES RESSORT  
SUR LE VERT ÉMERAUDE DU PRÉ, SOUS LA PROTECTION DU  
MONT SOSTO QUI RESSEMBLE À UN GENTIL GRAND-PÈRE..."



"C'EST SI PAISIBLE...  
AUJOURD'HUI J'EN AI  
VRAIMENT BESOIN!"



HIIII!



"... LUI, C'EST MON CHEVAL... C'EST UN MAGNIFIQUE CATALAN, AVEC SA ROBE BLANCHE PARSEMÉE DE QUELQUES POINTS NOIRS..."

BONJOUR, BÉRYL!

"... SES YEUX PRESQUE ROUGES RESSEMBLENT À DES PIERRES PRÉCIEUSES... VOILÀ POURQUOI IL S'APPELLE AINSI!"

"JE RETOURNE DANS LA CARAVANE. MES PARENTS SE SONT RÉVEILLÉS ET ONT PRÉPARÉ LE PETIT-DÉJEUNER..."

BONJOUR MAMAN, BONJOUR PAPA!

TU NE SERAIS PAS TOMBÉE DU LIT, PAR HASARD?

TOUJOURS EN TRAIN DE PLAISANTER, PAPA!

MOI EN REVANCHE J'AVOUE QUE JE SUIS UN PEU ANXIEUSE...

CE SOIR MA PETITE FILLE FAIT SES DÉBUTS!



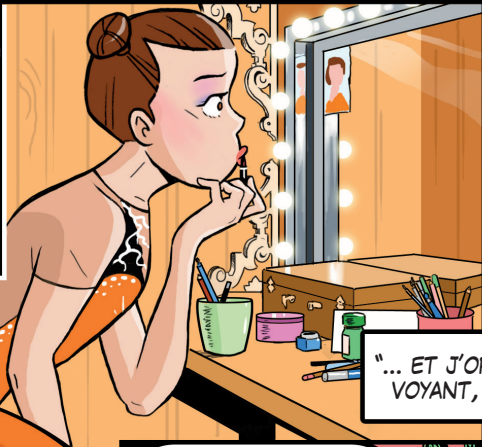
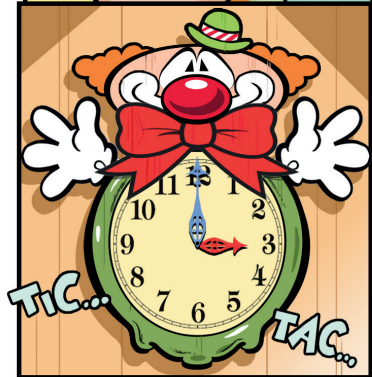
JE NE SUIS PLUS  
UNE ENFANT,  
MAMAN!

TU PEUX ME LAISSER  
PRENDRE MON PETIT-  
DÉJEUNER?

TU AS RAISON MA  
CHÉRIE... IL FAUT QUE TU  
PRENNES DES FORCES!

PFFF...

"LE TEMPS PASSE TROP VITE À MON GOÛT! MAIS J'AI ENFILÉ  
MA ROBE À PAILLETTES, JE L'ADORE!"

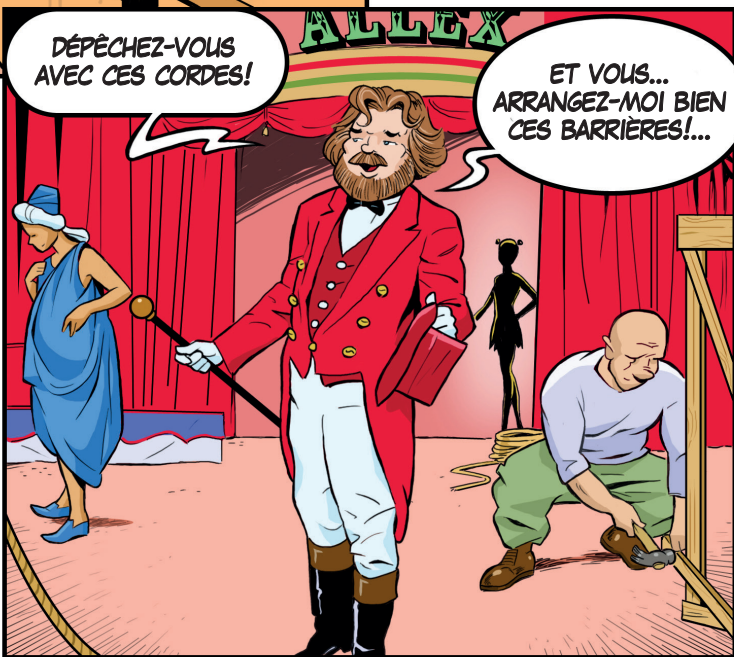


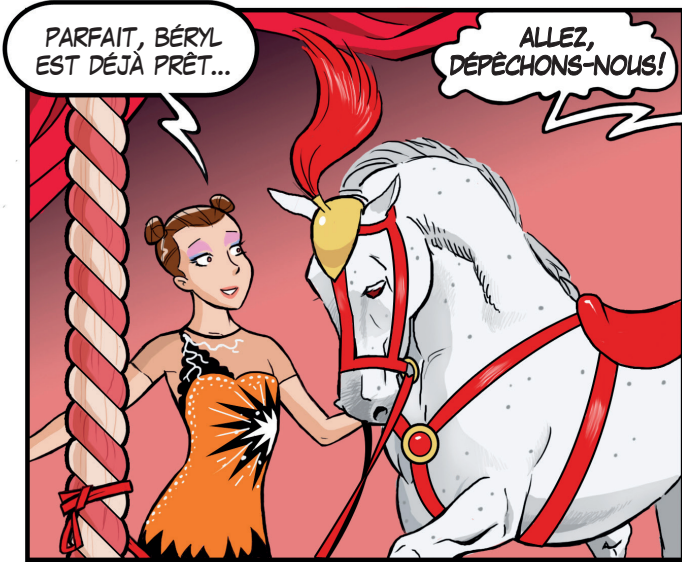
"... ET J'OPTÉ POUR UN MAQUILLAGE ASSEZ  
VOYANT, COMME MAMAN M'A APPRIS..."

"... JE SUIS PRÊTE, UN COUP D'OEIL  
DANS LE MIROIR SUR LA PORTE DE  
LA CARAVANE ET ZOU, EN PISTE  
POUR LES DERNIERS PRÉPARATIFS..."

DÉPÊCHEZ-VOUS  
AVEC CES CORDES!

ET VOUS...  
ARRANGEZ-MOI BIEN  
CES BARRIÈRES!...





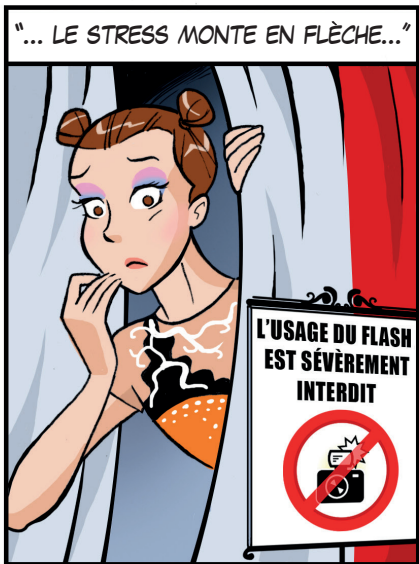
PARFAIT, BÉRYL EST DÉJÀ PRÊT...

ALLEZ, DÉPÊCHONS-NOUS!

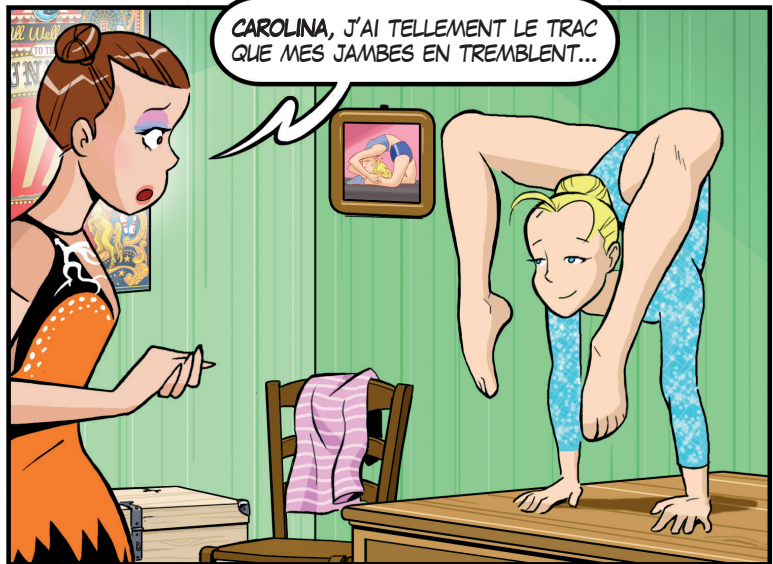


TOUT EST PRÊT, LE SPECTACLE VA BIENTÔT COMMENCER!

"DEHORS, IL Y A UNE LONGUE FILE DE SPECTATEURS..."



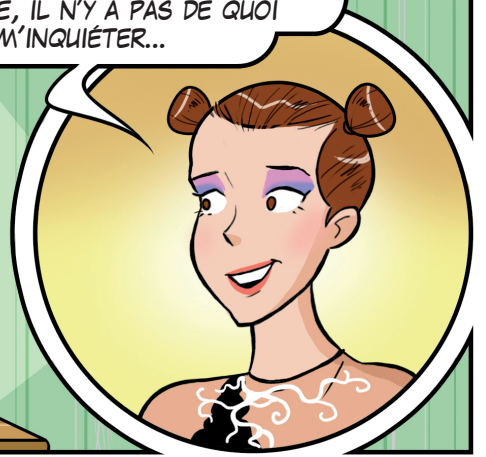
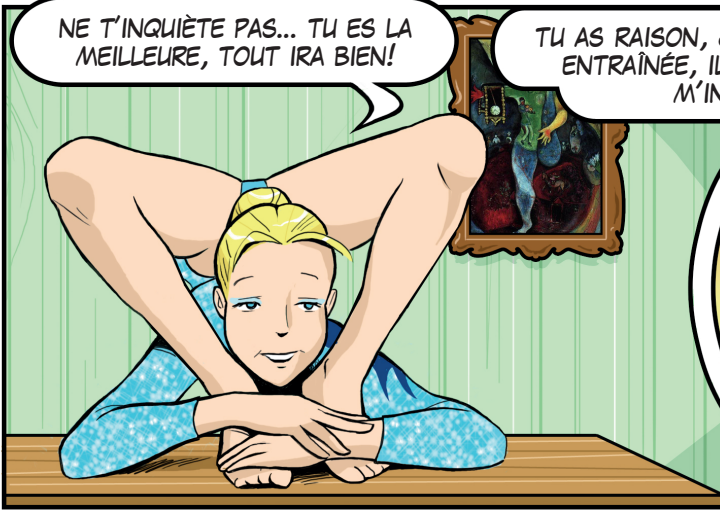
"... LE STRESS MONTE EN FLÈCHE..."



CAROLINA, J'AI TELLEMENT LE TRAC QUE MES JAMBES EN TREMBENT...

NE T'INQUIÈTE PAS... TU ES LA MEILLEURE, TOUT IRA BIEN!

TU AS RAISON, JE ME SUIS BEAUCOUP ENTRAÎNÉE, IL N'Y A PAS DE QUOI M'INQUIÉTER...



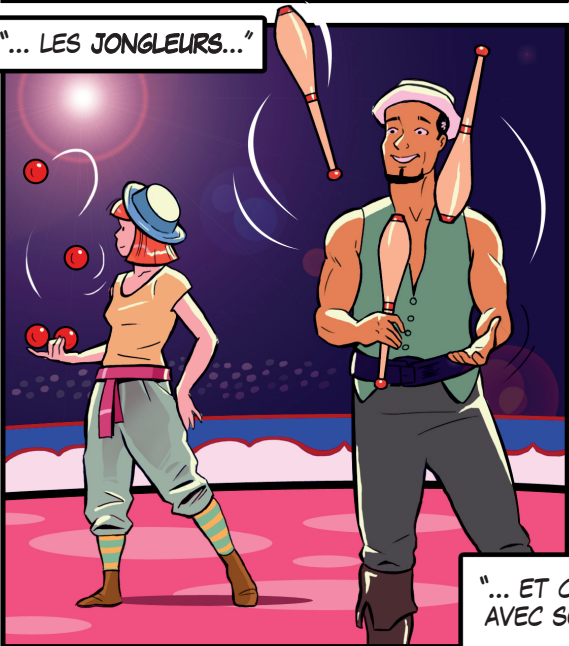
"LE SPECTACLE A COMMENCÉ FORT AVEC LES CLOWNS..."



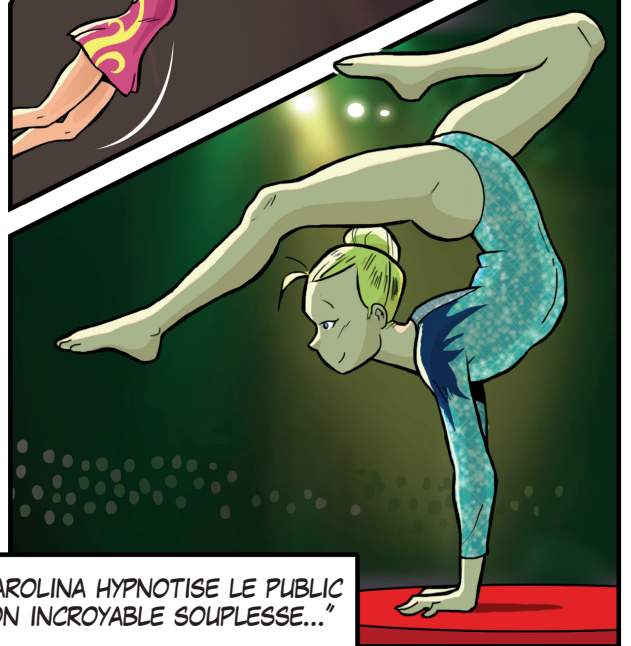
"... PUIS LES TRAPÉZISTES..."



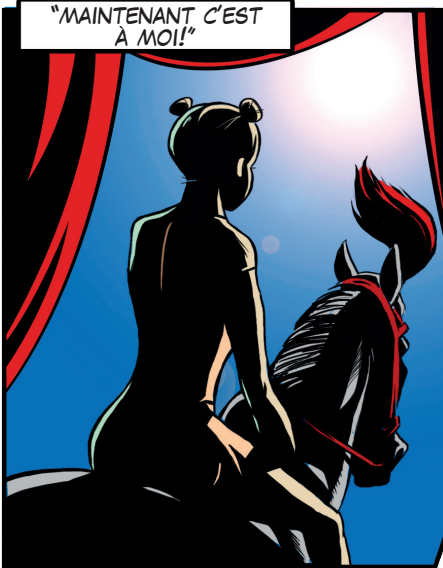
"... LES JONGLEURS..."



"... ET CAROLINA HYPNOTISE LE PUBLIC AVEC SON INCROYABLE SOUPLESSE..."



"MAINTENANT C'EST  
À MOI!"

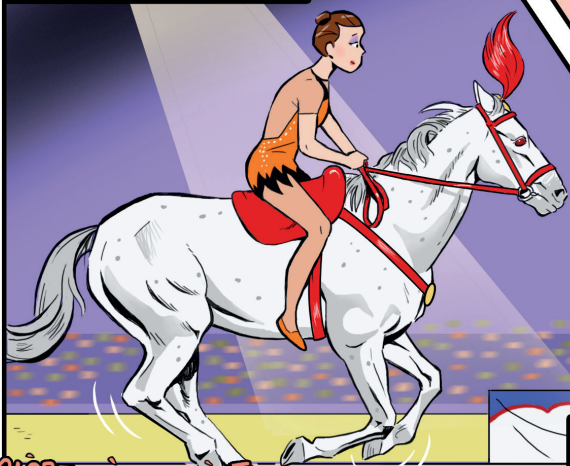


"JE PRENDS LES RÈNES DE BÉRYL... ET NOUS ENTRONS  
ENSEMBLE EN PISTE SOUS UNE PLUIE D'APPLAUDISSEMENTS..."

CLAP CLAP  
CLAP CLAP  
CLAP



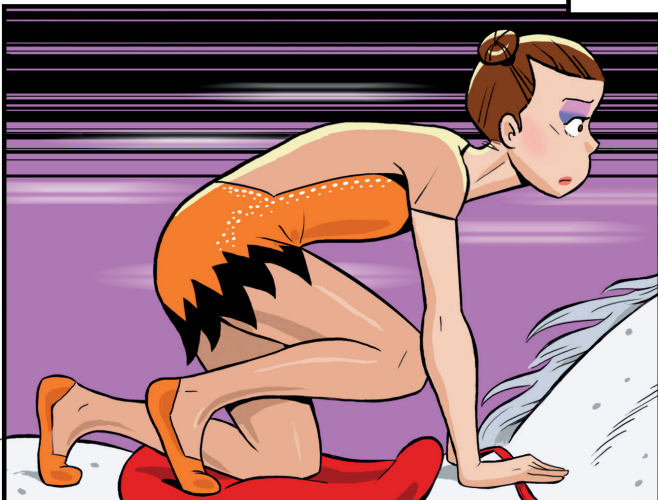
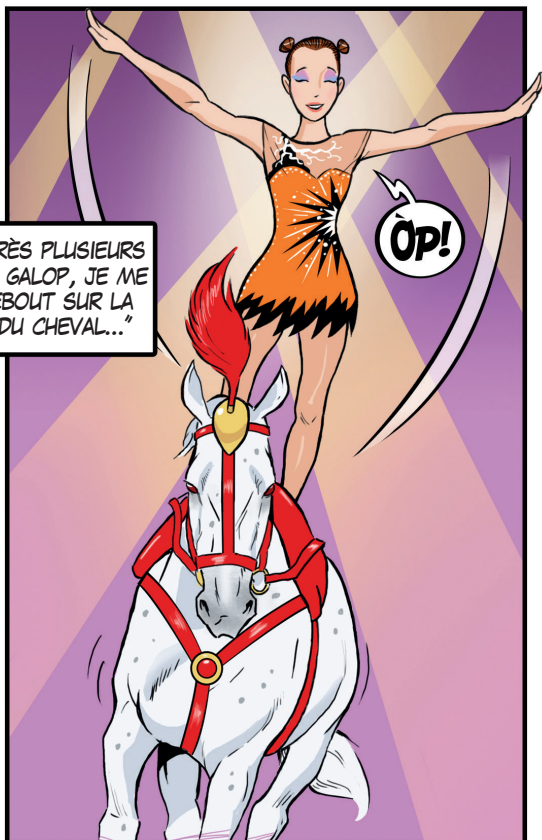
"... PUIS JE ME LANCE  
DANS MON NUMÉRO..."

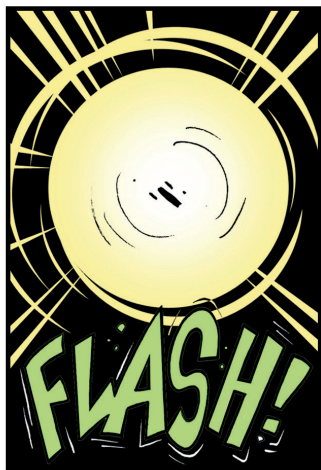


CLOPT. CLOPT. CLOPT.

"... ET APRÈS PLUSIEURS  
TOURS AU GALOP, JE ME  
METS DEBOUT SUR LA  
GROUPE DU CHEVAL..."

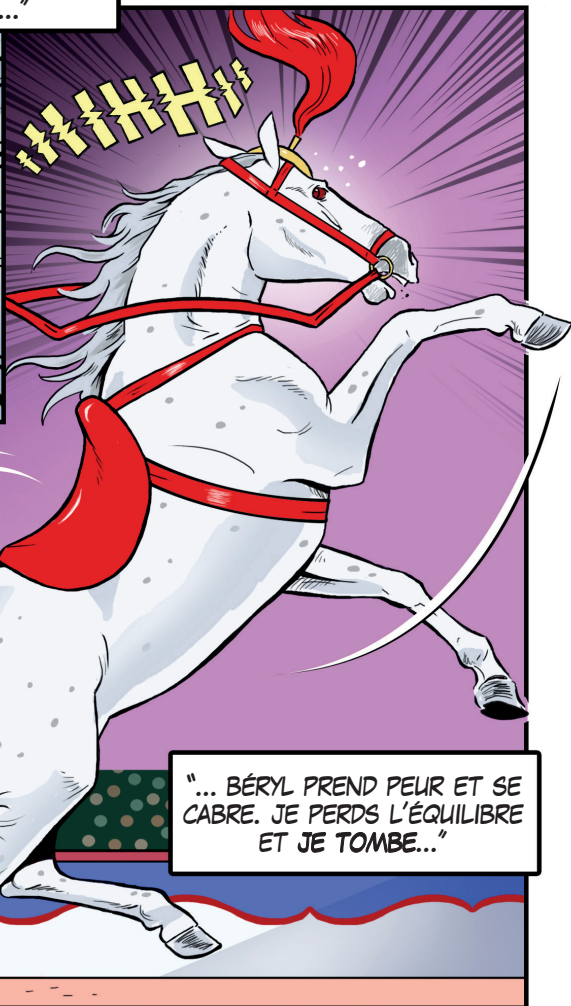
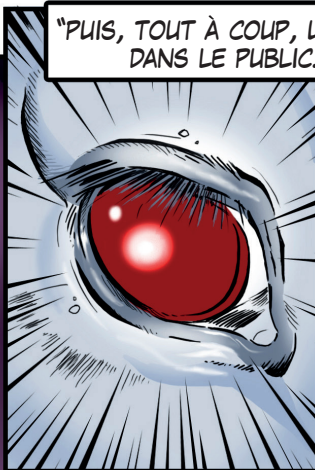
ÔP!





FLASH!

"PLUIS, TOUT À COUP, UN FLASH  
DANS LE PUBLIC..."



AHHH!

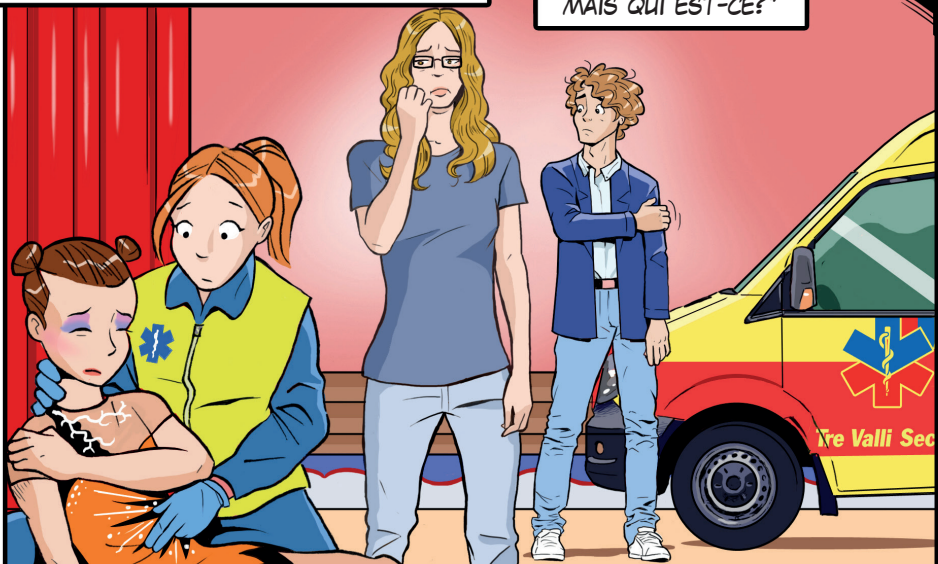


"... BÉRYL PREND PEUR ET SE  
CABRE. JE PERDS L'ÉQUILIBRE  
ET JE TOMBE..."

"J'AI PERDU CONNAISSANCE. QUAND JE ME RÉVEILLE,  
L'AMBULANCE EST DÉJÀ LÀ. L'ÉPAULE DROITE ME FAIT  
ATROCEMENT MAL... PRÈS DE MOI, JE VOIS MA MÈRE ET..."



"... UN TRÈS BEAU  
JEUNE HOMME...  
MAIS QUI EST-CE?"



JE SUIS DÉSOLÉ, JE SUIS DÉSOLÉ. PARDONNE-MOI, JE T'EN PRIE, PARDONNE-MOI. TU ÉTAIS SI BELLE SUR TON CHEVAL! JE T'AI PRIS EN PHOTO, MAIS JE NE ME SUIS PAS RENDU COMPTE QUE LE FLASH ÉTAIT ACTIVÉ...

ALLEZ, JEUNE FILLE, ALLONS-Y... TU AS PROBABLEMENT UNE FRACTURE À L'ÉPAULE, ON T'EMMÈNE À L'HÔPITAL...

"IL ÉTAIT VRAIMENT DÉSOLÉ... ET TELLEMENT MIGNON, AVEC SES BOUCLES BLONDES ET SES GRANDS YEUX DE BICHE..."

"NOUS SOMMES PARTIS EN AMBULANCE..."

"... MAMAN A PLEURÉ COMME UNE MADELEINE PENDANT TOUT LE TRAJET. HEUREUSEMENT, L'HÔPITAL EST ASSEZ PROCHE. DEPUIS LES URGENCES, ILS M'ONT TRANSFÉRÉE EN RADIOLOGIE... ET ILS M'ONT ENFILÉ UNE JUPE EXTREMEMENT LOURDE..."

AU SECOURS, JE NE PEUX PLUS BOUGER...

MAIS C'EST DU PLOMB?

EXACTEMENT, ÇA SERT À TE PROTÉGER CONTRE LES RADIATIONS...

ENSUITE NOUS FERONS UNE IRM, QUI EST PLUS COMPLÈTE, AFIN DE VÉRIFIER QU'IL N'Y A PAS D'AUTRES FRACTURES... SURTOUT, PENSE À BIEN ENLEVER TES BOUCLES D'OREILLE, COLLIERS OU BRACELETS EN MÉTAL!

"TOUT À COUP, LA TABLE SUR LAQUELLE JE SUIS ALLONGÉE COMMENCE À BOUGER, ET JE COMPRENDS ALORS QUE JE VAIS ENTRER DANS UNE ÉNORME MACHINE À LAVER..."

PLUS TARD...

MAIS C'EST QUOI, CE TRUC?

C'EST UN TUNNEL MAGNÉTIQUE.

NOUS TE PRÊTONS UN CASQUE, CAR C'EST TRÈS BRUYANT. PAR CONTRE, NOUS ALLONS TE FAIRE ÉCOUTER DE LA BONNE MUSIQUE!

"À L'ENTRÉE DE LA MACHINE À LAVER, J'AI UNE CRISE DE CLAUSTROPHOBIE. JE NE SAIS PAS COMMENT, MAIS LA VOIX DERRIÈRE MOI S'EN REND COMPTE... CE TECHNICIEN DE RADIOLOGIE DOIT VRAIMENT ÊTRE QUELQU'UN DE SYMPA!"

TOUT VA BIEN?

PAS VRAIMENT...

TU VAS Y ARRIVER?

"JE DOIS Y ARRIVER... JE DOIS ME CONTRÔLER..."

QUOI QU'IL EN SOIT, SI QUELQUE CHOSE NE VA PAS, APPUIE SUR LE BOUTON QUE LE TECHNICIEN DE RADIOLOGIE T'A GLISSÉ DANS LA MAIN GAUCHE.

"C'EST MARRANT, JE NE M'ÉTAIS PAS RENDU COMPTE DE L'AVOIR ENTRE LES DOIGTS..."

"POUR GARDER MON CALME, JE FERME LES YEUX ET JE ME CONCENTRE SUR LA MUSIQUE. ELLE EST BIZARRE, PSYCHÉDELIQUE. ON DIRAIT LES PINK FLOYD, LE GROUPE PRÉFÉRÉ DE PAPA..."

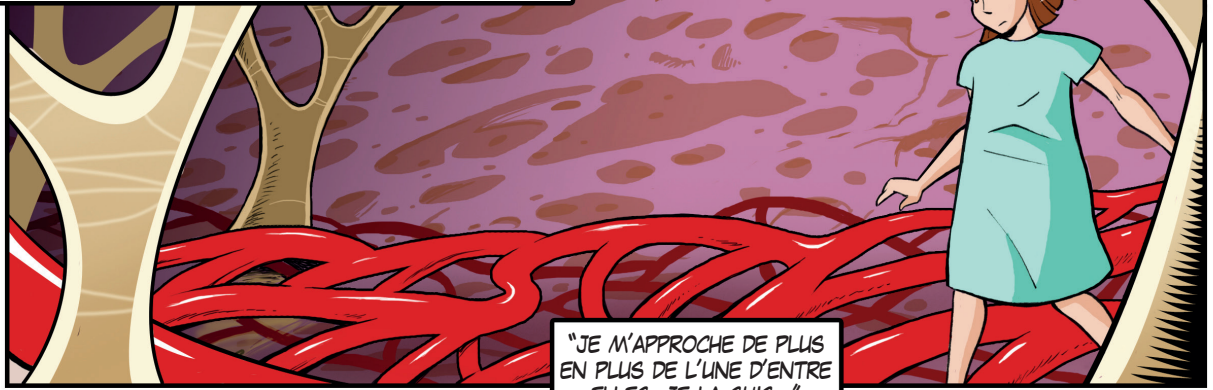
"... IL Y A QUELQUE TEMPS ENCORE, IL NOUS LES FAISAIT TOUJOURS ÉCOUTER EN VOITURE PENDANT LES VOYAGES... ET MOI JE DORMAIS PENDANT TOUT LE TRAJET..."

"LÀ AUSSI J'AI L'IMPRESSIION D'ÊTRE EN VOITURE. C'EST MOI QUI CONDUIS. LA ROUTE DEVANT MOI FILE DE PLUS EN PLUS VITE... ON DIRAIT UN TOURBILLON QUI VA FINIR PAR M'ENGLOUTIR..."



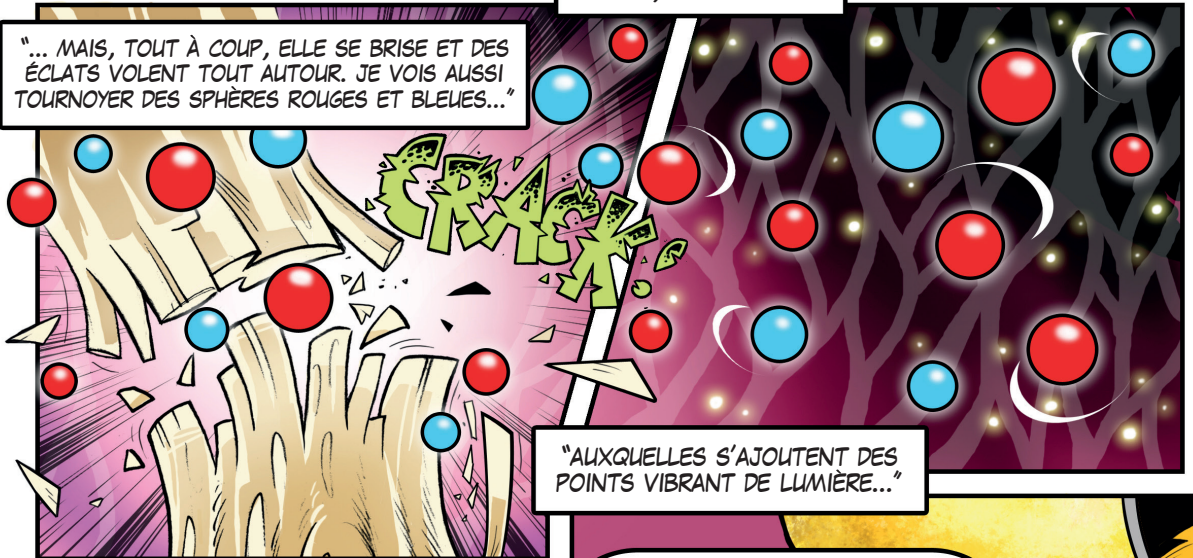
"J'ENTRE DANS UN TROU NOIR, D'OÙ SE DÉTACHENT PETIT À PETIT DES FILAMENTS ROUGEÂTRES QUI COMMENCENT À S'ÉCOULER COMME DES RUISSEAUX..."

"... ILS COULENT AU MILIEU D'UN ENCHEVÊTEMENT DE BRANCHES BLANCHÂTRES...!"



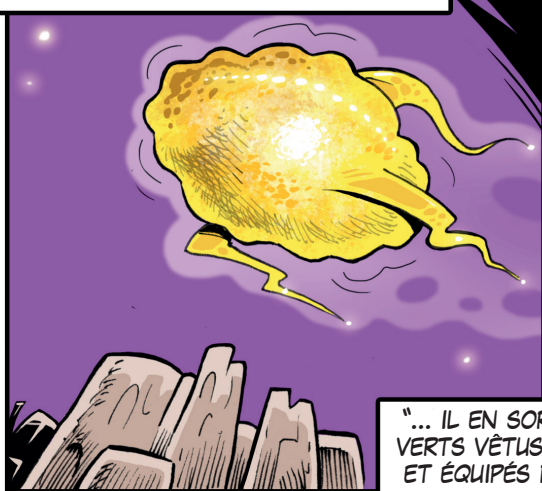
"JE M'APPROCHE DE PLUS EN PLUS DE L'UNE D'ENTRE ELLES, JE LA SUIS..."

"... MAIS, TOUT À COUP, ELLE SE BRISE ET DES ÉCLATS VOLENT TOUT AUTOUR. JE VOIS AUSSI TOURNOYER DES SPHÈRES ROUGES ET BLEUES..."



"AUXQUELLES S'AJOUTENT DES POINTS VIBRANT DE LUMIÈRE..."

"... PUIS TOUT DISPARÂIT. IL NE RESTE QU'É LA BRANCHE CASSÉE, SUR LAQUELLE ATTERRIT UNE ESPÈCE DE VAISSEAU SPATIAL JAUNÂTRE ET SPONGIEUX..."



IL NOUS FAUT DES CYTOKINES ET DES FACTEURS DE CROISSANCE POUR NOUS AIDER DANS LE TRAVAIL DE RECONSTRUCTION DE L'OS!



"... IL EN SORT DE PETITS HOMMES VERTS VÊTUS D'UN BLEU DE TRAVAIL ET ÉQUIPÉS D'OUTILS DE MAÇON..."



"... ET ILS COMMencent À S'AFFAIRER AUTOUR DE LA BRANCHE CASSÉE, EN TENTANT DE LA RÉPARER..."

NICOLE... NICOLE?  
C'EST FINI!

JE ME SUIS ENDORMIE...  
C'EST DONC QUE LES PINK FLOYD ME  
FONT VRAIMENT CET EFFET!

ALLONS VOIR LES  
RÉSULTATS!

GRÂCE À L'IRM, IL N'Y A AUCUN DOUTE...  
IL S'AGIT D'UNE PETITE FRACTURE AU BRAS  
DROIT, ET C'EST TOUT. POUR LE RESTE, TOUT  
EST EN ORDRE. UNE BELLE ATTELLE, ET ON  
N'EN PARLE PLUS. MAIS PAR SÉCURITÉ, TU VAS  
RESTER ICI EN OBSERVATION PENDANT  
UN JOUR OU DEUX...

UNE ATTELLE  
ORANGE?

OUI, MAMAN! JE L'AI CHOISIE DE  
LA MÊME COULEUR QUE MA ROBE  
DE SCÈNE, PUISQUE JE NE VAIS PAS  
POUVOIR LA METTRE PENDANT UN  
CERTAIN TEMPS!

TU VAS  
BIEN?

OUI, TOUT  
VA BIEN,  
MERCII...

IL N'Y A PAS À DIRE.  
TU ES UN SACRÉ  
NUMÉRO!

"LE JEUNE HOMME QUI A PRIS LA PHOTO  
EST RESTÉ LÀ TOUT LE TEMPS... JE CROIS  
QU'IL NE PLAISANTE PAS!"

ALORS, ÇA  
SE VOIT QU'IL  
ME PLAÎT?

TELVE

FIN



## GLOSSAIRE

**Acide désoxyribonucléique (ADN)** Acide nucléique contenant les informations génétiques nécessaires au développement et au bon fonctionnement de la plupart des organismes vivants.

---

**Aimant** Corps qui, par magnétisme propre ou induit, est à même d'attirer des objets ferromagnétiques.

---

**ALARA** (as low as reasonably achievable) Principe qui prévoit l'application d'une série de procédures permettant d'exécuter des examens avec des rayonnements ionisants dans l'intention de diminuer le plus possible la dose reçue par le patient, sans compromettre la qualité de l'image produite.

---

**Angiographie** Examen radiologique qui, par l'injection d'un produit de contraste hydrosoluble, permet la représentation des vaisseaux du corps humain à des fins de diagnostic.

---

**Apoptose** Mort cellulaire programmée. Il s'agit d'un mécanisme fondamental au maintien et au développement correct des cellules de l'organisme.

---

**Caméra d'Anger (gamma-caméra)** Appareil utilisé en médecine nucléaire pour l'acquisition, après l'administration d'un radionucléide, des images scintigraphiques statiques, dynamiques et tomographiques.

---

**Champ électromagnétique** Il est constitué de la combinaison du champ électrique et du champ magnétique, et est généré localement par toute distribution de charge électrique et de courant électrique variables dans le temps, en se propageant dans l'espace sous forme d'ondes électromagnétiques.

---

<b>Dosimètre</b>	Grâce au dosimètre, la radiation représentative de la dose efficace rapportée au corps entier est surveillée pendant un certain temps. La dose efficace, exprimée en sievert, est un indicateur du risque biologique.
<b>Effets déterministes des rayonnements</b>	Les effets déterministes apparaissent généralement immédiatement après l'exposition au rayonnement ionisant. Une fois la valeur limite dépassée, plus la dose absorbée par l'individu est importante, plus les dommages sont sévères.
<b>Effets stochastiques des rayonnements</b>	Les effets stochastiques ou à caractère probabiliste sont dus à des mutations produites au niveau cellulaire. Plus la dose de rayonnement ionisant auquel est exposé l'individu au cours de sa vie est importante, plus la probabilité d'apparition d'un cancer ou de malformations chez ses descendants est élevée.
<b>Fluoroscopie (radioscopie)</b>	Technique permettant d'obtenir des images en temps réel de l'anatomie interne de l'être humain; on utilise pour cette méthode les rayons X.
<b>Gauss (G)</b>	Unité de mesure de l'induction magnétique. Elle porte le nom du scientifique Karl Friedrich Gauss (1777-1855).
<b>Gray (Gy)</b>	Unité de mesure de la dose absorbée de radiation. Un Gy correspond à l'absorption de 1 joule d'énergie par kilogramme de matière $1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/kg}$ .
<b>Longueur d'onde</b>	En physique, la longueur d'onde est représentée par la distance entre deux crêtes ou deux creux d'une onde; elle est généralement désignée par la lettre grecque lambda.
<b>Mammographie</b>	Radiographie du sein exécutée afin de détecter la présence de formations potentiellement tumorales.
<b>Mastectomie</b>	Ablation chirurgicale du sein.
<b>Médicament radiopharmaceutique</b>	Substance radioactive composée d'une partie radioactive et d'une partie pharmacologiquement active. Les médicaments radiopharmaceutiques peuvent être utilisés à des fins de diagnostic ou de thérapie.

---

**Petites Curies** Petits véhicules dotés d'une radiologie mobile utilisés au cours de la Première Guerre mondiale pour les soldats français au front.

---

**Photon** Particule sans masse, à la charge électrique nulle et au spin entier; c'est un constituant élémentaire du rayonnement électromagnétique. Il est aussi appelé quantum d'énergie.

---

**Polonium** Élément chimique de numéro atomique 84 et de symbole Po. C'est un métal pauvre radioactif rare.

---

**Produit de contraste** Les produits de contraste (PDC) ou agents de contraste sont des substances à même de modifier la façon dont une région examinée apparaît dans une image médicale.

---

**Radioactivité** La radioactivité, ou désintégration radioactive, est un ensemble de processus physico-nucléaires à travers lesquels certains noyaux atomiques instables ou radioactifs (radio-nucléides) se désintègrent (se transforment) pendant un intervalle de temps, appelé temps de décroissance.

---

**Radiobiologie** Branche des sciences biologiques qui s'occupe des effets des rayonnements sur la matière vivante.

---

**Radiofréquence** Une radiofréquence, désignée par le sigle RF, indique généralement un signal électrique ou une onde électromagnétique à haute fréquence qui se propage dans l'espace ou dans un câble coaxial.

---

**Radiologie** La radiologie médicale est la branche de la médecine qui s'occupe de la production et de l'interprétation d'images radiologiques à des fins de diagnostic ou de thérapie. Elle est aussi appelée radiologie diagnostique ou radiodiagnostic.

---

**Radiomique** Analyse des images médicales visant à obtenir, grâce à des méthodes mathématiques appropriées et à l'utilisation d'ordinateurs, des informations de type quantitatif. Ces informations ne sont pas détectables par une simple observation visuelle de la part de l'opérateur.

---

---

**Radium** Élément chimique de numéro atomique 88 et de symbole Ra. Le mot radioactivité dérive du nom de cet élément.

---

**Radionucléide** Nucléide instable qui se décompose en émettant de l'énergie sous forme de rayonnement, d'où son nom. Les radioisotopes sont des isotopes radioactifs, c'est-à-dire des radionucléides d'un même élément chimique.

---

**Radio-protection** Discipline née comme champ d'application de la radiobiologie; s'occupe de la protection de l'individu, de sa descendance, de la population en général et de l'environnement contre les effets néfastes des rayonnements ionisants.

---

**Rayonnement ionisant** Rayonnement électromagnétique ou corpusculaire doté d'une énergie suffisante pour "ioniser" la matière qu'il traverse.

---

**Rayonnement non ionisant** Tout type de rayonnement électromagnétique dont l'énergie transportée est insuffisante pour ioniser la matière qu'il traverse.

---

**Rayons X** Appelés aussi rayons Röntgen, les rayons X sont des rayonnements électromagnétiques de haute énergie. Ils sont principalement utilisés à des fins médicales, dans les analyses biochimiques et pour l'étude de la structure des matériaux.

---

**Sievert (Sv)** Unité de mesure de la dose équivalente et de la dose efficace de radiation. Le sievert (Sv), qui doit son nom au scientifique suédois Rolf Sievert, est une mesure représentative des effets et des dégâts provoqués sur l'individu.

---

**Signal de résonance** Les impulsions des ondes à radiofréquence modifient l'orientation des noyaux qui, lorsque les impulsions cessent, recommencent à s'orienter selon l'axe du champ magnétique. De cette manière, ils résonnent, c'est-à-dire qu'ils émettent un signal très faible appelé signal de résonance.

---

**Spectre électromagnétique** Ensemble des fréquences des ondes électromagnétiques qui, selon leur fréquence et leur longueur d'onde, déterminent le type de rayonnement.

---

---

**Sténose** Rétrécissement pathologique d'un canal, d'un orifice, d'un organe creux ou d'un vaisseau.

---

**Tesla (T)** Unité de mesure du Système international (SI). Elle est utilisée pour mesurer l'induction magnétique, c'est-à-dire la densité du flux magnétique.

---

**Tomographie axiale calculée par ordinateur (TACO ou scanner)** Acronyme de tomographie axiale calculée par ordinateur, la TACO (généralement appelée scanner) est une méthode de diagnostic qui utilise le rayonnement ionisant (rayons X) pour obtenir des images détaillées, en version 3D, de régions anatomiques spécifiques du corps humain.

---

**Tomographie par émission monophotonique (TEMP ou SPECT)** La tomographie par émission monophotonique, mieux connue sous l'acronyme SPECT, est une technique tomographique d'imagerie médicale de la médecine nucléaire qui se sert du rayonnement ionisant, les rayons gamma.

---

**Tomographie par émission de positons (TEP ou PET)** La tomographie par émission de positons (TEP ou PET, de l'anglais *Positron Emission Tomography*), est une technique de diagnostic médical de médecine nucléaire utilisée pour la production d'imagerie biologique.

---

**Tomosynthèse** Technique qui permet d'obtenir des images tridimensionnelles (3D) du sein et de réduire et/ou éliminer l'effet de superposition des tissus typique des radiographies. Elle est généralement exécutée en complément de la mammographie standard.

---

**Tube radiogène** Ampoule de verre sous vide, contenant une cathode et une anode à haute tension. Il est utilisé pour la production des rayons X.

---

**Ultrasons** Ondes mécaniques sonores. Les fréquences des ultrasons ne sont pas audibles par l'oreille humaine.

---



Pendant des siècles, la seule façon d'observer l'intérieur du corps humain consistait à le disséquer et à effectuer une autopsie. Aujourd'hui, avec l'aide de l'imagerie médicale, il est désormais possible d'explorer depuis l'extérieur les organes et les appareils de corps vivants.

Dans ce volume, l'auteur nous accompagne dans un surprenant voyage, en illustrant les découvertes, les machines et les technologies qui ont marqué et révolutionné l'histoire de la médecine.

Le tableau qui en ressort évoque toute la complexité de cet univers en perpétuelle évolution, en présentant la grande variété de méthodes qui nous permettent d'évaluer au mieux chaque structure anatomique du corps humain et de surveiller, et donc de soigner, un nombre considérable de maladies.

**Francesco Mascaro**, Institut d'imagerie de la Suisse italienne, Établissement Hospitalier Cantonal, Bellinzona.

À l'intérieur, la BD:

*Une chute qui finit bien*

Textes rédigés par les élèves de la classe 3B de l'école secondaire Acquarossa, Tessin, Suisse.

Dessins réalisés par Alessandro Telve, pour la Scuola Romana dei Fumetti.