

REPUBLIQUE DU CAMEROUN

\*\*\*\*\*

PAIX-TRAVAIL-PATRIE

\*\*\*\*\*

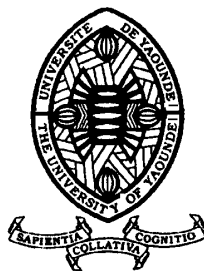
UNIVERSITE DE YAOUNDE I

\*\*\*\*\*

FACULTE DES SCIENCES

\*\*\*\*\*

DÉPARTEMENT DE PHYSIQUE



REPUBLIC OF CAMEROON

\*\*\*\*\*

PEACE-WORK-FATHERLAND

\*\*\*\*\*

UNIVERSITY OF YAOUNDE I

\*\*\*\*\*

FACULTY OF SCIENCES

\*\*\*\*\*

DEPARTMENT OF PHYSICS

## Stage M2 2024

# INTRODUCTION À LA PHYSIQUE MÉDICALE

PRESENTÉE PAR FENGA FRANKLIN MARSHALL

MATRICULE : 20O2735

FILIÈRE : PHYSIQUE

OPTION : PHYSIQUE ATOMIQUE, MOLECULAIRE ET  
BIOPHYSIQUE

SUPERVISEUR : PROFESSEUR NANA ENGO

ANNÉE ACADÉMIQUE 2023-2024

# Table des matières

<b>INTRODUCTION</b>	<b>1</b>
<b>1 GENÈSE ET ÉVOLUTION DE LA PHYSIQUE MÉDICALE</b>	<b>3</b>
<b>2 PRINCIPES DE BASE DE LA PHYSIQUE MÉDICALE</b>	<b>5</b>
<b>3 APPLICATIONS DE LA PHYSIQUE MÉDICALE</b>	<b>7</b>
3.1 RADIOTHÉRAPIE . . . . .	7
3.2 L'IMAGERIE MÉDICALE . . . . .	8
3.3 MÉDECINE NUCLÉAIRE . . . . .	13
3.4 RADIOPROTECTION . . . . .	14
<b>4 DÉFIS ET ÉVOLUTIONS FUTURES</b>	<b>15</b>
4.1 DÉFIS . . . . .	15
4.2 ÉVOLUTIONS . . . . .	15
<b>CONCLUSION</b>	<b>17</b>
<b>REFERENCES</b>	<b>18</b>

## INTRODUCTION

La physique médicale est une branche de la physique appliquée qui utilise les principes et les techniques de la physique pour résoudre des problèmes médicaux. Elle englobe des domaines tels que la radiothérapie, l'imagerie médicale, la médecine nucléaire et la radioprotection. Depuis ses débuts avec les travaux de Wilhelm Röntgen sur les rayons X en 1895, la physique médicale a évolué grâce à des découvertes majeures comme la radioactivité par Henri Becquerel et les recherches de Marie Curie. Aujourd'hui, elle continue de jouer un rôle crucial dans le diagnostic et le traitement des maladies, tout en faisant face à des défis technologiques et en intégrant des innovations comme l'intelligence artificielle pour améliorer les soins aux patients.

## 1 GENÈSE ET ÉVOLUTION DE LA PHYSIQUE MÉDICALE

La terminologie « physique médicale » apparaît en 1779 grâce à Félix Vicq d'Azyr, secrétaire de l'Académie royale de médecine, dans une revue intitulée « Les Mémoires de Médecine et de Physique Médicale »[1].

Les débuts de la physique médicale sont la conséquence des travaux de Wilhelm Röntgen sur les rayons X. En 1895, il étudie les rayons cathodiques découverts par Johann Wilhelm Hittorf en 1869. Au cours de ses différents essais, en déchargeant le courant d'une bobine de Ruhmkorff dans un tube à vide placé dans une boîte en carton, il parvient à observer la fluorescence d'un écran de platinocyanure de baryum situé à l'extérieur de celle-ci. Il remarque ainsi que ces rayonnements sont capables de traverser la matière. Il renouvelle l'expérience avec plusieurs matériaux dont du papier, du caoutchouc, du verre ou du bois puis observe des différences de densité sur l'écran lorsqu'il place sa main devant le tube. Cette observation des « ombres plus sombres de l'os sur l'image que les ombres de la main » va devenir le principe de la radiographie. D'autres essais le conduisent à l'utilisation de films photographiques dont les premiers clichés anatomiques radiographiques sur sa femme Anna Berthe Roentgen le 22 décembre 1895 (voir figure 1). Wilhelm Röntgen reçoit le premier prix Nobel de physique en 1901[1].



FIGURE 1 – Premier cliché anatomique radiographique par Wilhelm Röntgen.

À la suite de la découverte de Wilhelm Röntgen, Henri Poincaré communique les résultats à l'Académie des sciences lors d'une séance hebdomadaire. Étant présent, Henri Becquerel décide de chercher un lien entre les rayons X et le phénomène de fluorescence. Il utilise pour cela des sels d'uranium préalablement exposés à la

lumière du soleil puis placé contre des plaques photographiques recouverts d'un carton noir. L'impression de ces dernières lui permet de conclure que les sels sont émetteur de rayons X. La semaine suivante, à cause de conditions météorologiques défavorables, Henri Becquerel ne peut renouveler son expérience d'expositions des sels au soleil. Il les range avec les plaques photographiques dans un tiroir. Décidant de développer les plaques non utilisées, il découvre leur impression malgré le fait que les sels d'uranium non exposés au soleil n'étaient pas fluorescent. Il en conclut que le rayonnement émis par l'uranium n'est pas lié à sa fluorescence. Ce rayonnement est historiquement baptisé « rayonnement uranique » ou « rayon U » avant d'être appelé radioactivité. Marie Curie, jeune épouse de Pierre Curie soutient une thèse sur les recherches d'Henri Becquerel, et démontre la radioactivité d'autres éléments comme le thorium, le polonium en 1898 ou encore le radium. Tous ces travaux, à l'origine de la découverte de la radioactivité, ont été récompensés du prix Nobel de physique en 1903 « en témoignage des services extraordinaires rendus par sa découverte de la radioactivité spontanée » pour Henri Becquerel et « en témoignage des services extraordinaires rendus par leurs recherches conjointes sur les phénomènes radiatifs découverts par le Professeur Henri Becquerel » pour Pierre et Marie Curie[1]. Ces découvertes ont fait évoluer la physique nucléaire et atomique. Leurs applications à la médecine vont rapidement se développer en commençant par l'imagerie médicale dont les premières radiographies sont largement reprises dans la presse et attire un large public.

La naissance de la physique médicale est le fruit de plusieurs découvertes et innovations majeures dans le domaine de la physique, qui ont permis d'appliquer ces connaissances à la médecine pour améliorer le diagnostic et le traitement des maladies. Aujourd'hui, la physique médicale continue d'évoluer et de contribuer à l'avancement de la médecine.

## 2 PRINCIPES DE BASE DE LA PHYSIQUE MÉDICALE

La physique médicale repose sur plusieurs principes fondamentaux qui permettent de comprendre et d'appliquer les concepts physiques en médecine a savoir :

- **Interaction des rayonnements avec la matière biologique :** elle implique des processus comme l'ionisation et l'excitation. Les rayonnements ionisants, tels que les rayons X et gamma, peuvent casser les liaisons chimiques dans les molécules biologiques, endommageant l'ADN et provoquant des mutations ou la mort cellulaire. Ces interactions sont cruciales en radiothérapie pour traiter le cancer, mais nécessitent une gestion précise pour minimiser les effets secondaires sur les tissus sains[2].
- **Radioactivité et décroissance :** la radioactivité est la propriété des noyaux atomiques instables de se désintégrer spontanément, émettant des particules (comme les rayons alpha, bêta et gamma) pour atteindre la stabilité. La décroissance radioactive réduit le nombre de noyaux radioactifs dans un échantillon jusqu'à ce qu'ils deviennent stables. Cette loi statistique permet de calculer la période radioactive, soit le temps nécessaire pour que la moitié des noyaux se désintègre. Elle est essentielle en gestion des déchets nucléaires et en radioprotection[2].
- **Physique de la détection des rayonnements :** la détection des rayonnements ionisants repose sur des phénomènes fondamentaux. Dans les gaz ou les solides, l'ionisation se produit lorsque la différence de potentiel est de 100 à 300 V, permettant l'utilisation de chambres d'ionisation et de compteurs proportionnels. Les cristaux scintillants émettent des photons lumineux lorsqu'ils interagissent avec des particules chargées. Enfin, les semi-conducteurs détectent les photons X et gamma en générant un courant électrique. Ces méthodes sont essentielles pour mesurer et comprendre les rayonnement[2].
- **Principes de radioprotection opérationnelle :** la radioprotection est un aspect crucial de la physique médicale. Elle concerne la protection des patients et du personnel médical contre les effets indésirables des rayonnements[2].

- **Principes de dosimétrie interne :** la dosimétrie est l'étude de la quantité de rayonnement absorbée par le corps humain. Elle est essentielle pour planifier les traitements de radiothérapie et pour évaluer les risques associés à l'exposition aux rayonnements[2]. Ces principes de base de la physique médicale sont essentiels pour comprendre comment la physique peut être appliquée à la médecine pour améliorer le diagnostic et le traitement des maladies.

### 3 APPLICATIONS DE LA PHYSIQUE MÉDICALE

Les principaux domaines d'activité de la physique médicale sont la radiothérapie, l'imagerie médicale, la médecine nucléaire et la radioprotection.

#### 3.1 RADIOTHÉRAPIE

La radiothérapie consiste à administrer des rayonnements ionisants à l'intérieur du corps pour détruire et éliminer les cellules cancéreuses. Pour les tumeurs profondes, des photons de haute énergie sont utilisés. Pour les tumeurs superficielles, des électrons de haute énergie sont utilisés. De plus, les particules chargées, y compris les protons, sont utilisées en radiothérapie. Tout au long de la procédure de traitement, l'imagerie médicale est effectuée pour assurer une administration sûre et ciblée du rayonnement et pour évaluer les changements induits par les radiations dans l'anatomie.[3]

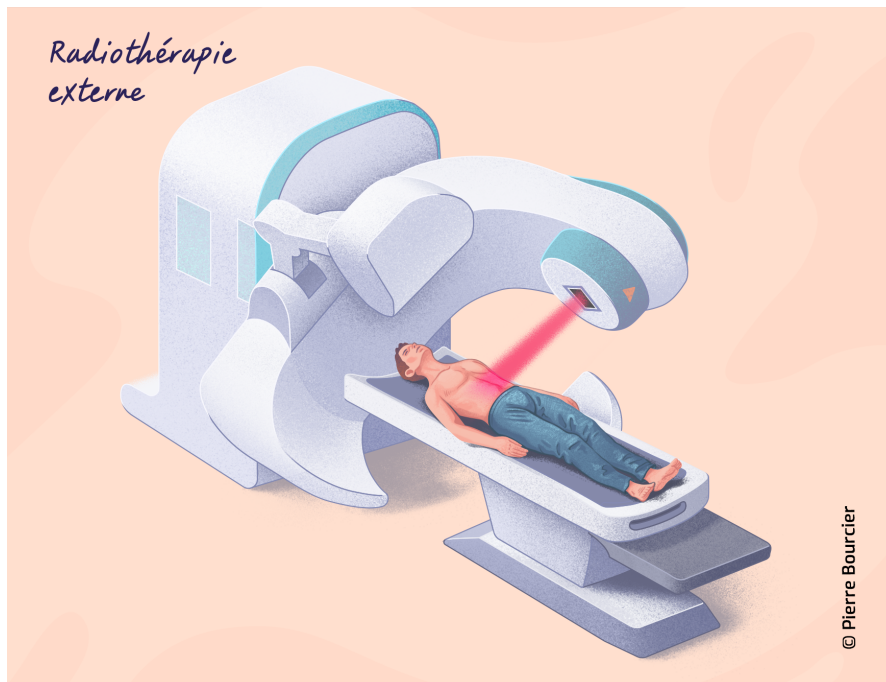


FIGURE 2 – radiothérapie



### 3.2 L'IMAGERIE MÉDICALE

L'imagerie médicale est un domaine qui regroupe les moyens d'acquisition et de restitution d'images du corps humain à partir de différents phénomènes physiques. Les grands domaines d'imagerie médicale sont :

- **Radiographie** : elle repose sur l'utilisation des rayons X qui ont la propriété de traverser les tissus de manière plus ou moins importante selon leur densité. Ainsi, une source émettrice de rayon X est placée devant le corps à radiographier et un détecteur est placé à l'arrière du corps. Les photons émis vont traverser le corps en étant plus ou moins absorbés par les tissus rencontrés sur leur chemin. Cela permet de différencier les os des muscles sur le cliché final.[4]

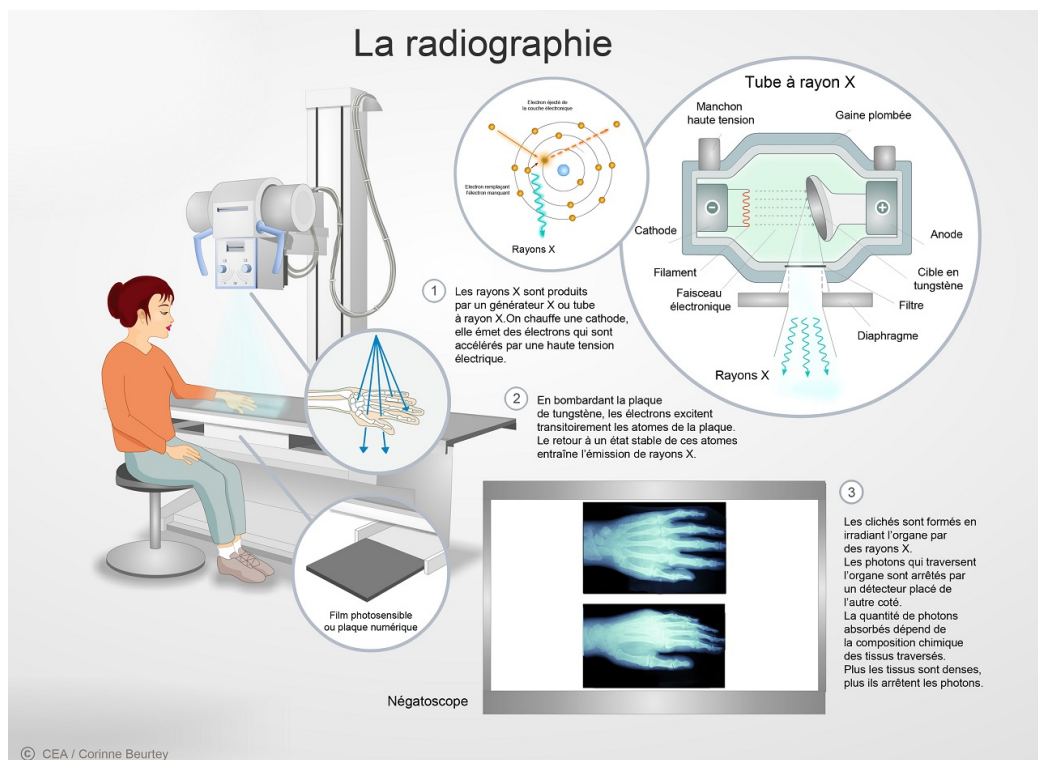


FIGURE 3 – Radiographie

- **Scanner** : repose sur le même principe que la radiologie, c'est-à-dire utilisation d'une source de rayons X et d'un détecteur de part et d'autre du corps étudié.

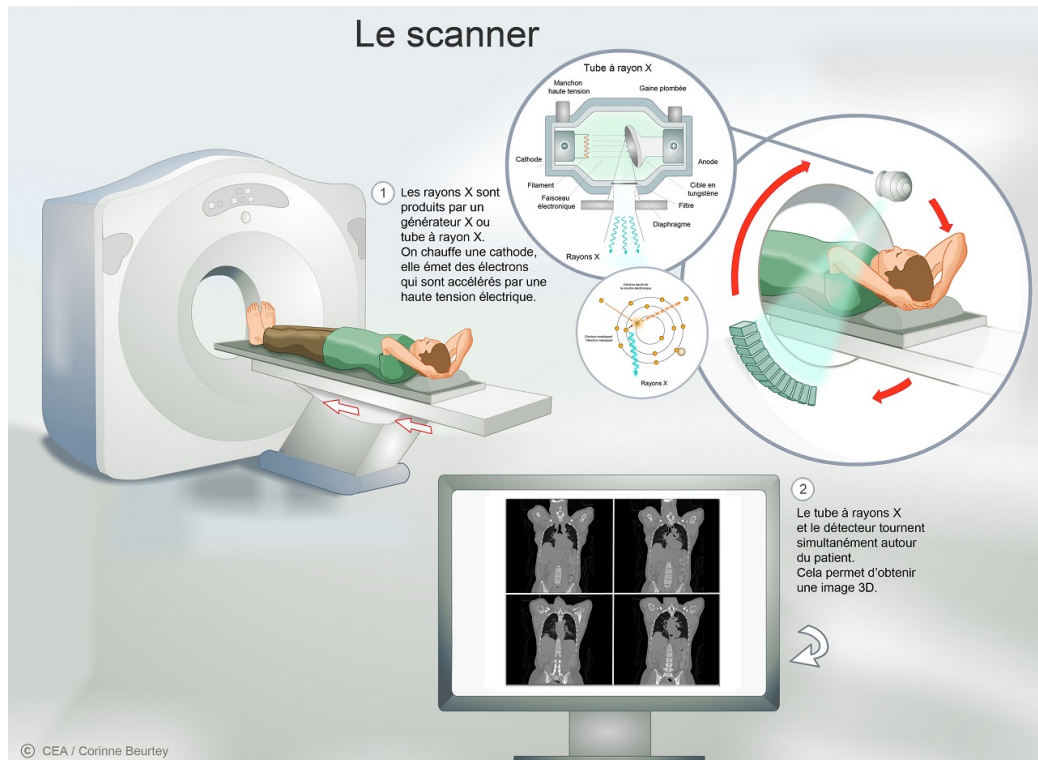


FIGURE 4 – Scanner

- **Scintigraphie** : elle repose sur l'utilisation de deux éléments fondamentaux : un traceur radioactif injecté au patient et une caméra sensible aux rayons gamma. Le traceur, marqué par un atome radioactif qui émet des photons dans toutes les directions, va se fixer spécifiquement sur l'organe à analyser. Les photons émis traversent le corps du patient jusqu'à la gamma caméra. Cette dernière est équipée d'un collimateur qui ne laisse passer que les rayons parallèles aux espaces aménagés à cet effet. Leur rôle est de délimiter les points d'émission des photons. La gamma caméra tourne autour du patient afin d'obtenir, après reconstitution informatique, des images 3D de l'organe étudié. Les atomes radioactifs utilisés pour l'imagerie scintigraphie ont une demi-vie courte (6h pour le Tc l'isotope le plus utilisé) et la radioactivité a disparu au bout de 10 demi-vies.[4]

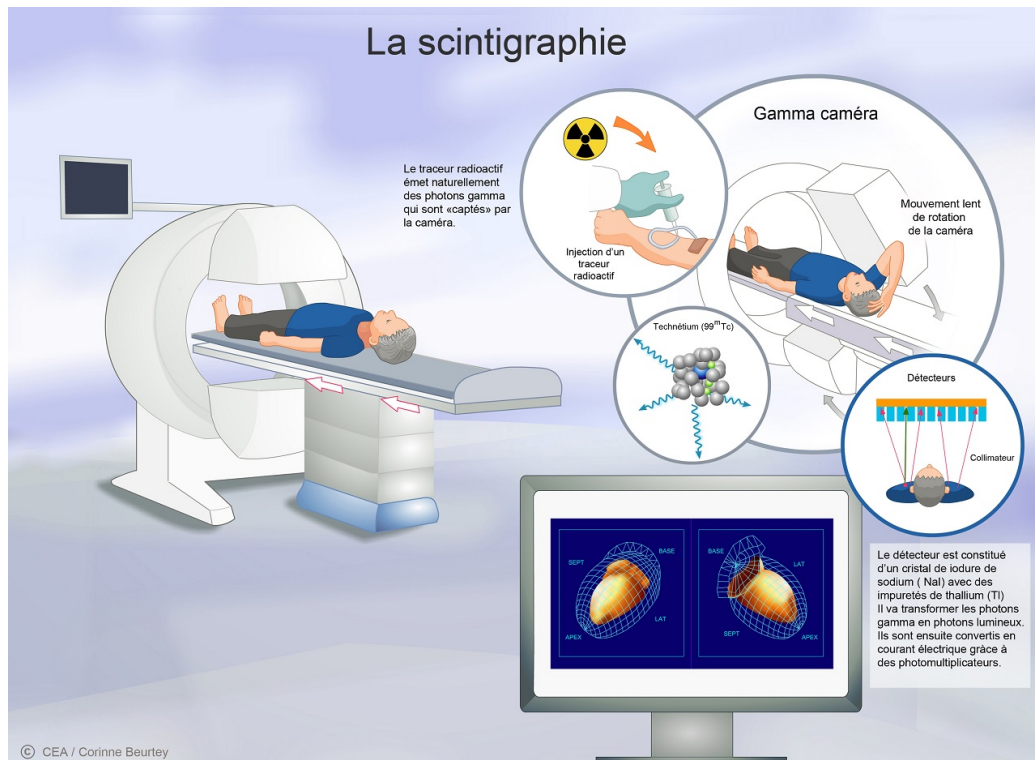


FIGURE 5 – Scintigraphie

- Imagerie par résonance magnétique (IRM) :** l'imagerie par résonance magnétique repose sur les propriétés magnétiques des molécules d'eau qui composent à plus de 80% le corps humain. Les molécules d'eau, plus précisément ses atomes d'hydrogène, possèdent un "moment magnétique", ou spin, qui agit comme un aimant. L'appareil IRM consiste à créer un champ magnétique puissant ( $B_0$ ) grâce à une bobine. Le patient est placé au centre de ce champ magnétique, et toutes les molécules d'eau présentes dans le corps vont s'orienter suivant  $B_0$ . Une antenne placée sur la partie du corps étudiée (ici la tête) va permettre d'émettre et de réceptionner certaines fréquences. A l'émission, la fréquence induite va faire basculer les molécules dans un plan perpendiculaire à  $B_0$ . Lorsque l'antenne arrête d'émettre, les molécules reviennent à leur position d'origine en émettant à leur tour une fréquence captée par l'antenne. Celle-ci est ensuite traitée comme un signal électrique et analysée par des logiciels. Le signal diffère selon que les tissus observés contiennent plus ou moins d'eau.[4]

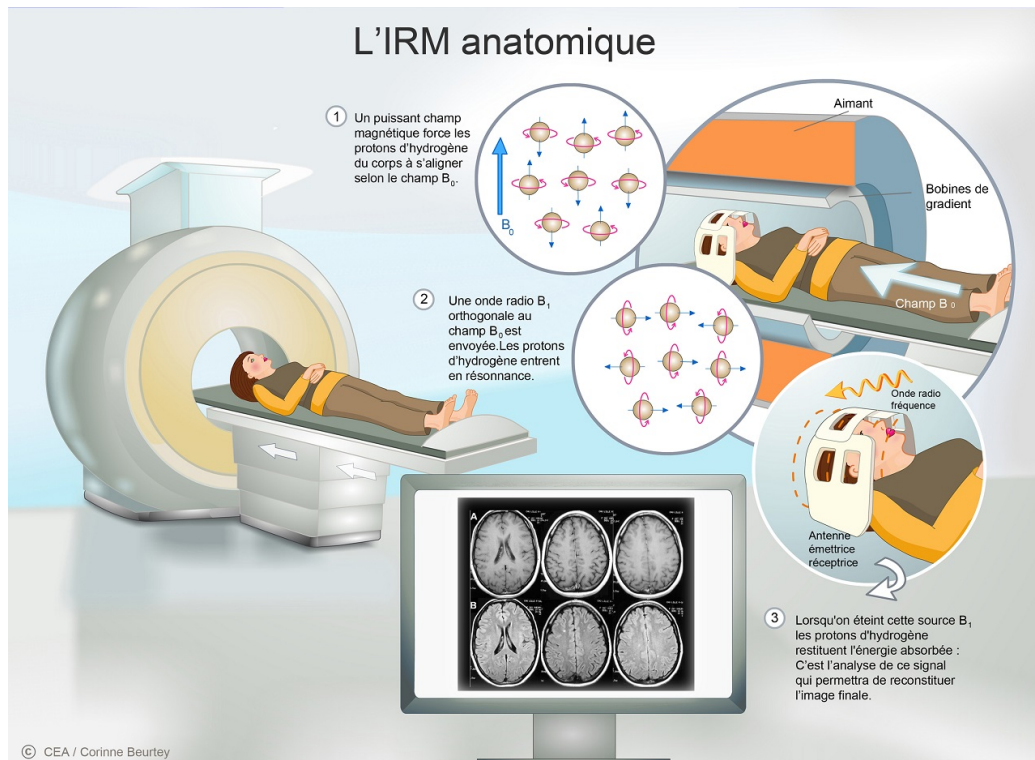


FIGURE 6 – IRM

• **Tomographie par émission de positons (TEP)** : la tomographie par émission de positons (TEP) est basée sur l'utilisation d'un traceur marqué par un atome radioactif, le Fluor 18 ou le Carbone 11, qui émet des positons. Après son injection dans l'organisme par voie intraveineuse, le traceur s'associe à sa cible biologique. Les positons, émis lors de cette association, s'annihilent avec les électrons environnant en émettant deux photons dans des directions diamétralement opposées. Une couronne de détecteurs placée autour du patient va permettre de capter les photons de part et d'autre de la région cible. Le traitement de l'ensemble de ces captures conduira à la reconstitution, au besoin, d'une image 3D de la zone étudiée. Les atomes radioactifs utilisés pour la TEP ont une demi-vie courte (20 min à 2 h environ selon les isotopes) et l'essentiel de la radioactivité disparaît au bout de 10 demi-vies.[4]

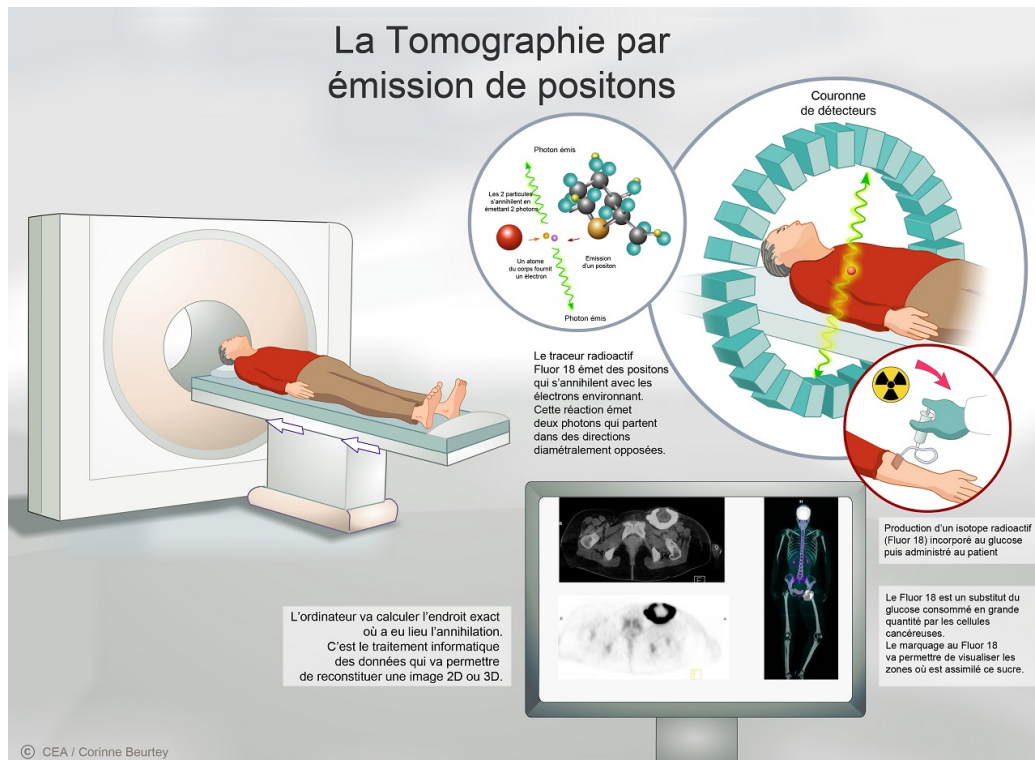


FIGURE 7 – Tomographie par émission de positons (TEP)

- L'échographie ultrasonore** : L'échographie ultrasonore est une modalité d'imagerie médicale qui repose sur l'exposition de tissus à des ondes ultrasonores et sur la réception de leur écho. L'échographe se compose d'un écran et d'une sonde émettrice et réceptrice des ondes (appelée transducteur). Soumises à un courant électrique, les micro-céramiques à la surface de la sonde vibrent et émettent des ondes ultrasonores. Ces ondes traversent les tissus et y font écho différemment selon leur densité : plus un tissu est dense, plus l'écho est important. Les ondes reviennent au niveau de la sonde, font vibrer les céramiques qui induisent un courant électrique traité par informatique. Ainsi, lors d'une échographie réalisée dans le cas d'un suivi de grossesse, il est possible de différencier le squelette du fœtus, de ses organes, du liquide amniotique.[4]



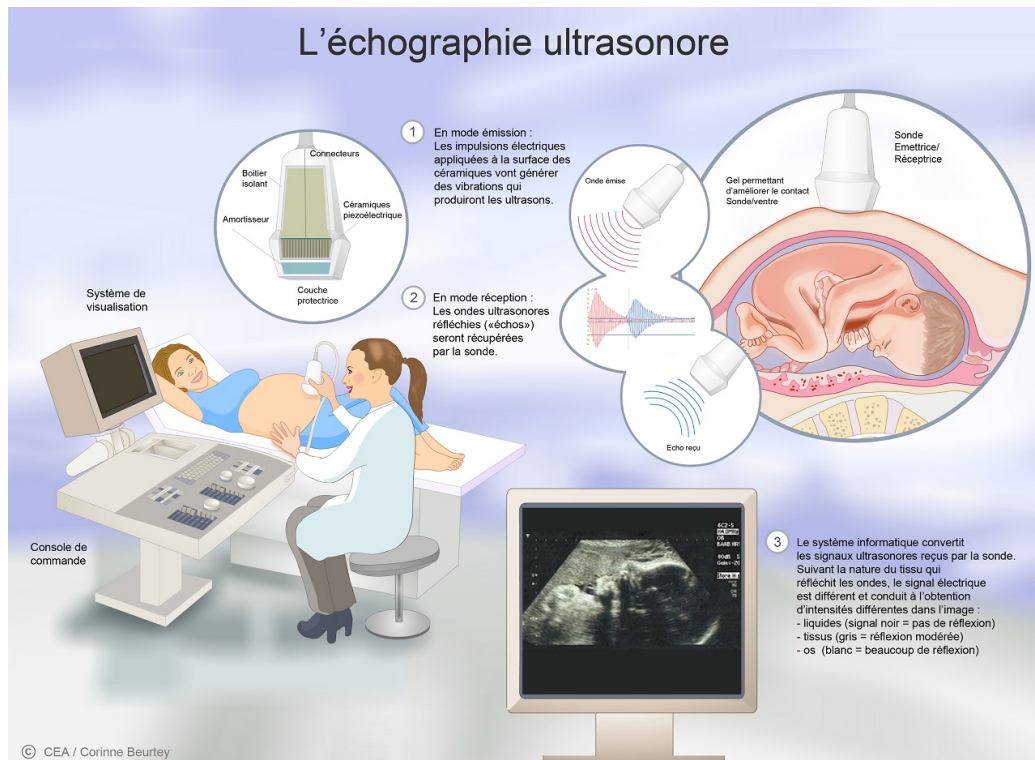


FIGURE 8 – L'échographie ultrasonore

L'imagerie médicale est essentielle non seulement pour diagnostiquer les maladies et suivre leur évolution, mais aussi pour mieux les soigner. Des techniques sont mises au point pour localiser les foyers d'infection, les cibler et activer les principes actifs de médicaments uniquement à l'endroit souhaité. Elle joue également un rôle crucial dans la recherche clinique, l'étude des maladies et la mise au point de nouveaux traitements.

### 3.3 MÉDECINE NUCLÉAIRE

La médecine nucléaire est une spécialité médicale où des spécialistes utilisent de petites quantités de substances radioactives, qu'on appelle des produits radio-pharmaceutiques ou des traceurs radioactifs, pour diagnostiquer et traiter des maladies. Les risques que présentent les substances radioactives utilisées dans ces interventions sont très faibles relativement aux avantages qu'ils procurent. Certaines des interventions en médecine nucléaire sont pratiquées depuis plus de 50 années et ne sont liées à aucun effet indésirable à long terme. Il est toutefois possible, mais extrêmement rare que ces substances produisent de légères réactions allergiques.[5]

### 3.4 RADIOPROTECTION

La radioprotection, également appelée sécurité radioactive, est l'ensemble des mesures prises pour assurer la protection de l'homme et de son environnement contre les effets néfastes des rayonnements ionisants. Elle comporte plusieurs notions importantes à savoir :

**1.Exposition** : tous les êtres humains sur Terre sont en permanence soumis à l'action des rayonnements d'origine naturelle ou artificielle. L'exposition correspond à l'interaction des rayonnements ionisants avec la matière. L'exposition peut être externe ou interne selon que la source des rayonnements est située à l'extérieur ou à l'intérieur du corps[6].

**2.Irradiation** : l'exposition externe provoque une irradiation externe. Elle peut se maîtriser en fonction de la durée d'exposition, de la distance avec la source de rayonnements ainsi que par l'utilisation d'écrans protecteurs[6].

**3.Contamination** : la contamination radioactive est souvent définie comme étant « la présence indésirable de substances radioactives à la surface ou à l'intérieur d'un milieu quelconque, y compris le corps humain »[6].

**4.Principes de précaution** : le principe général de précaution "ALARA", As Low As Reasonably Achievable, signifiant en français « aussi bas que raisonnablement possible », est applicable au risque d'exposition aux rayonnements ionisants. De ce principe en découle trois autres grands principes qui sont la justification, l'optimisation des expositions à ces rayonnements au niveau le plus faible possible, et la limitation[7]. La radioprotection est une discipline essentielle dans de nombreux domaines, notamment la médecine nucléaire, l'industrie nucléaire, la recherche scientifique et la protection de l'environnement.

## 4 DÉFIS ET ÉVOLUTIONS FUTURES

La physique médicale est un domaine en constante évolution, confronté à divers défis et opportunités.

### 4.1 DÉFIS

**1. Technologies en constante évolution** : la rapide évolution des technologies médicales nécessite une adaptation continue des physiciens médicaux pour maintenir leurs compétences à jour.[8]

**2. Sécurité des patients** : garantir une utilisation sûre et efficace des technologies médicales, en particulier en radiothérapie et imagerie, est essentiel pour éviter les erreurs et minimiser les risques pour les patients.[9]

**3. Complexité croissante des équipements** : les équipements médicaux modernes sont de plus en plus complexes, ce qui nécessite une compréhension approfondie de la physique sous-jacente pour assurer leur bon fonctionnement.[10]

**4. Intégration des nouvelles technologies** : intégrer efficacement les nouvelles technologies telles que l'intelligence artificielle et l'apprentissage automatique dans les pratiques médicales pour améliorer les diagnostics et les traitements.[11]

### 4.2 ÉVOLUTIONS

**1. Imagerie médicale avancée** : les progrès en imagerie médicale, tels que l'imagerie par résonance magnétique (IRM) et la tomodensitométrie (TDM), permettent des diagnostics plus précis et non invasifs.[12]

**2. Radiothérapie de précision** : la radiothérapie évolue vers des techniques de plus en plus précises, telles que l'IMRT (radiothérapie conformationnelle avec modulation d'intensité) et la radiothérapie stéréotaxique, améliorant ainsi les résultats pour les patients.[13]

**3. Développement de nouveaux traitements** : la physique médicale contribue au développement de traitements innovants tels que la protonthérapie



et l'hadronthérapie, offrant des options thérapeutiques avancées pour les patients.[14]

**4. Personnalisation des traitements :** grâce à des avancées telles que la dosimétrie adaptative, il est désormais possible d'adapter les traitements de radiothérapie en temps réel en fonction de la réponse individuelle du patient.[15]

## CONCLUSION

La physique médicale, en tant que branche de la physique appliquée, a connu une évolution remarquable depuis les découvertes pionnières de Wilhelm Röntgen et Henri Becquerel. En intégrant des principes fondamentaux tels que l'interaction des rayonnements avec la matière biologique et la radioprotection, elle a révolutionné des domaines clés comme la radiothérapie, l'imagerie médicale et la médecine nucléaire. Cependant, elle fait face à des défis technologiques et de sécurité, tout en offrant des perspectives prometteuses grâce aux avancées en imagerie médicale et en radiothérapie de précision. Elle continue de jouer un rôle crucial dans l'amélioration des diagnostics et des traitements médicaux, tout en s'adaptant aux évolutions technologiques pour répondre aux besoins croissants des soins de santé modernes.

## REFERENCES

- [1] Physique médicale — Wikipédia.
- [2] Principes de base de la physique des radiations - HUG.
- [3] <https://www.news-medical.net/health/The-Role-of-Physics-in-Medicine.aspx>
- [4] [www.cea.fr/comprendre/Pages/sante-sciences-du-vivant/essentiel-sur-imagerie-medicale.aspx](http://www.cea.fr/comprendre/Pages/sante-sciences-du-vivant/essentiel-sur-imagerie-medicale.aspx)
- [5] [www.ottawahospital.on.ca/fr/documents/2017/01/are-nuclear-medicine-procedures-safe-2012-fr.pdf/](http://www.ottawahospital.on.ca/fr/documents/2017/01/are-nuclear-medicine-procedures-safe-2012-fr.pdf/)
- [6] La radioprotection. <https://www.cea.fr/comprendre/Pages/radioactivite/essentiel-sur-la-radioprotection.aspx>.
- [7] Radioprotection — Wikipédia. <https://fr.wikipedia.org/wiki/Radioprotection>.
- [8] A Key Role in Modern Healthcare," Journal of Medical Physics, 2023.
- [9] International Journal of Radiation Oncology, 2022.
- [10] Medical Physics International, 2023.
- [11] Physics in Medicine and Biology, 2023.
- [12] Advances in MRI and CT Imaging, Radiology Today, 2023.
- [13] Precision Radiotherapy Techniques, Journal of Clinical Oncology, 2023.
- [14] Innovative Treatments in Medical Physics, Proton Therapy Review, 2023.
- [15] Adaptive Dosimetry in Radiotherapy, Medical Dosimetry Journal, 2023.