

REPUBLIQUE DU CAMEROUN

\*\*\*\*\*

PAIX - TRAVAIL - PATRIE

\*\*\*\*\*

UNIVERSITÉ DE YAOUNDE 1

\*\*\*\*\*

FACULTE DES SCIENCES

\*\*\*\*\*

DÉPARTEMENT DE PHYSIQUE

\*\*\*\*\*



REPUBLIC OF CAMEROON

\*\*\*\*\*

PEACE - WORK - FATHERLAND

\*\*\*\*\*

THE UNIVERSITY OF YAOUNDE 1

\*\*\*\*\*

FACULTY OF SCIENCES

\*\*\*\*\*

DEPARTMENT OF PHYSICS

\*\*\*\*\*

# LABORATOIRE DE PHYSIQUE ATOMIQUE, MOLÉCULAIRE ET BIOPHYSIQUE

## PROJET DE MÉMOIRE MASTER 2

**TITRE :** *" Caractérisation des signatures optiques quantiques des dommages cellulaires induits par la radiothérapie du cancer du poumon à l'aide du machine learning ."*

*"Characterization of Quantum Optical Signatures of Cellular Damage Induced by Lung Cancer Radiotherapy Using Machine Learning ."*

**PRÉSENTÉ PAR :** TIDIE NINTEDEM WILFRIED

**MATRICULE :** 20Q2388

**Année académique :** 2025-2026

# CONTEXTE ET MOTIVATION

**La radiothérapie** est un traitement efficace contre le cancer qui consiste à utiliser des rayonnements ionisants pour détruire les cellules tumorales, mais elle peut aussi abîmer des cellules saines, provoquant des effets secondaires. Aujourd'hui, les médecins savent mesurer la dose de rayons envoyée à une tumeur, mais pas précisément ce qui se passe à l'échelle microscopique dans chaque cellule ou molécule. La radiobiologie étudie comment les rayonnements ionisants (rayons X, rayons gamma, particules) interagissent avec la matière vivante, notamment dans des applications médicales comme la radiothérapie. Un enjeu majeur est de mesurer avec précision la dose et les effets des rayonnements à l'échelle microscopique, là où les dommages à l'ADN ou aux cellules apparaissent. Le cancer du poumon représente aujourd'hui l'une des principales causes de mortalité dans le monde, et la radiothérapie demeure un traitement de référence. Cependant, l'efficacité de ce traitement dépend fortement de la capacité à comprendre et à quantifier les dommages cellulaires induits par les rayonnements. Dans ce contexte, les techniques d'**optique quantique** permettent d'accéder à des signatures optiques fines (émission de photons, fluorescence, corrélations quantiques) susceptibles de refléter l'état des cellules (saines ou tumorales) après irradiation. Parallèlement, le **machine learning** s'impose comme un outil puissant pour traiter ces données complexes et détecter des motifs cachés non accessibles par des approches classiques. Ce projet s'inscrit donc dans une démarche de **modélisation numérique** visant à relier les signaux optiques quantiques à l'évolution cellulaire sous radiothérapie, avec un accent particulier sur le cancer du poumon.

# OBJECTIFS DU PROJET

## 1. Caractériser et interpréter les signatures optiques quantiques

- **Identification des signatures** : Utiliser des techniques optiques quantiques pour détecter les changements dans les cellules après radiothérapie. Cela inclut l'analyse des variations dans les propriétés optiques, comme la fluorescence ou la diffusion de la lumière.
- **Analyse des dommages cellulaires** : Étudier comment la radiothérapie affecte les cellules, en observant des marqueurs spécifiques qui indiquent des dommages, tels que des altérations dans la structure cellulaire ou des changements dans la composition chimique.
- **Interprétation des données** : Développer une compréhension des mécanismes biologiques sous-jacents à ces signatures, reliant les observations optiques aux réponses cellulaires et tumorales.

## 2. Mettre en place un modèle d'apprentissage automatique

- **Collecte de données** : Rassembler un ensemble de données robuste à partir des mesures optiques réalisées sur des cellules avant et après radiothérapie.
- **Développement du modèle** : Concevoir et entraîner un modèle d'apprentissage automatique qui peut analyser ces données, identifier des motifs et classer les signatures observées selon différents critères, comme le degré de dommage ou le type cellulaire.
- **Validation du modèle** : Tester et valider la précision du modèle à l'aide de données indépendantes, assurant qu'il peut généraliser ses prédictions à de nouveaux échantillons.

## 3. Optimiser les protocoles de radiothérapie

- **Analyse quantitative** : Utiliser les résultats du modèle pour fournir des analyses quantitatives sur l'efficacité des traitements et la réponse des cellules tumorales aux irradiations.
- **Prédictions personnalisées** : Développer des outils de prédiction qui pourraient aider à personnaliser les protocoles de radiothérapie, en adaptant les doses et les techniques en fonction des signatures optiques spécifiques observées chez chaque patient.
- **Amélioration des traitements** : À terme, l'objectif est d'optimiser les protocoles de radiothérapie pour réduire les effets secondaires, maximiser l'efficacité du traitement et améliorer la qualité de vie des patients atteints de cancer du poumon.

## Résumé

En somme, ce projet vise à combiner des techniques avancées d'imagerie optique et des méthodes d'apprentissage automatique pour mieux comprendre et améliorer les traitements par radiothérapie, offrant ainsi des perspectives prometteuses pour le traitement du cancer du poumon.

# MÉTHODOLOGIE

Le projet repose sur une approche entièrement numérique, basée sur la modélisation, la simulation et l'apprentissage automatique sous Python. Les principales étapes méthodologiques sont :

## a) Modélisation de l'échantillon biologique virtuel

**Objectif: représenter mathématiquement les cellules et leurs paramètres biologiques/physiques.**

- Les cellules pulmonaires (saines et tumorales) seront **représentées sous forme de modèles simplifiés** (par ex. matrices ou graphes décrivant leurs propriétés optiques et biologiques).
- Chaque cellule simulée sera caractérisée par des **paramètres physiques et biologiques** (taux d'absorption, diffusion de la lumière, émission de fluorescence, probabilité de dommages à l'ADN).
- Ces paramètres serviront de base pour générer des **signatures optiques virtuelles** comparables à celles que des capteurs optiques quantiques pourraient mesurer.

Ici, Python sera utilisé pour **créer un modèle mathématique simplifié de l'échantillon biologique** et générer des données simulées (Numpy , Scipy...)

## b) Intégration des effets de la radiothérapie

**Objectif : traduire la dose de rayonnement en dommages cellulaires simulés.**

- La radiothérapie sera simulée comme un **paramètre de dose de rayonnement appliqué au modèle cellulaire**.
- Chaque dose modifie la probabilité de dommages biologiques, donc modifie indirectement la signature optique.
- On obtiendra ainsi un **jeu de données dose ↔ dommages ↔ signaux optiques simulés**.

À ce stade, Python sera utilisé pour **calculer et stocker ces jeux de données simulées** par exemple sous forme de DataFrames Pandas (NumPy / SciPy, Matplotlib, Panda) : Exemple : une fonction Python qui prend la dose (Gy) en entrée et renvoie une probabilité de dommages + le spectre optique associé.

## d) Simulation des signatures optiques quantiques

**Objectif : générer des signaux optiques en fonction des états cellulaires.**

- Les capteurs optiques quantiques seront représentés par des **fonctions de détection simulées** (par ex. spectres de photons, intensité lumineuse, corrélations temporelles).
- Différents niveaux de dommages (aucun, faible, modéré, sévère) seront traduits en **variations simulées de ces signaux optiques**.

- Cela revient à **coder un générateur de données artificielles**, où chaque état cellulaire correspond à un profil optique distinct.

Python servira ici à **implémenter les équations ou règles de génération des signaux** en fonction des dommages cellulaires simulés (Matplotlib / Seaborn, Numpy , Qutip,Sympy).

#### **d) Application des techniques de Machine Learning**

**Objectif : entraîner un modèle pour prédire les dommages cellulaires à partir des signatures optiques.**

- Les données simulées (signatures optiques et niveaux de dommages) seront utilisées comme **jeu d'entraînement** pour des modèles de machine learning (par ex. SVM, Random Forest, Réseaux de neurones).
- L'objectif est que le modèle apprenne à **prédire le niveau de dommages cellulaires** à partir des signatures optiques générées.
- Le modèle sera ensuite évalué sur des données de test simulées pour vérifier sa capacité de généralisation.

Python (scikit-learn, TensorFlow ou PyTorch) sera utilisé pour **entraîner, tester et optimiser les algorithmes de machine learning**.

#### **e) Validation conceptuelle et perspectives**

**Objectif : analyser et présenter les résultats.**

- Les résultats obtenus seront interprétés en termes de **faisabilité d'une détection optique des dommages cellulaires induits par la radiothérapie**.
- Bien que purement simulées, ces données permettront de dégager des tendances générales et de proposer des **pistes de validation expérimentale future**.

**En résumé**, la méthodologie repose sur :

1. **Modélisation numérique** des cellules et des signaux optiques.
2. **Simulation Python** de l'impact de la radiothérapie.
3. **Génération de données artificielles** représentant les mesures de capteurs quantiques.
4. **Application du machine learning** pour prédire et classifier les dommages.

# **ORIGINALITÉ , APPORTS SCIENTIFIQUES ET SOCIÉTAUX**

## **Originalité scientifique**

Ce projet se distingue par son approche novatrice qui intègre l'optique quantique et le machine learning pour la première fois dans le contexte de la caractérisation des dommages cellulaires résultant de la radiothérapie du cancer du poumon. Cette combinaison offre une perspective unique pour analyser les effets de la radiothérapie à un niveau microscopique, permettant une meilleure compréhension des interactions entre la lumière et les tissus biologiques.

## **Apports scientifiques**

### **1. Développement d'une approche numérique innovante :**

- Le projet propose une modélisation avancée des signatures optiques, utilisant des méthodes numériques pour simuler les réponses lumineuses des cellules en fonction des traitements. Cette approche pourrait établir de nouveaux standards dans l'analyse des dommages cellulaires.

### **2. Mise en évidence de marqueurs optiques discriminants :**

- En identifiant des marqueurs optiques spécifiques qui différencient les cellules saines des cellules tumorales après irradiation, le projet pourrait fournir des outils diagnostiques puissants. Ces marqueurs pourraient être utilisés pour évaluer la réponse au traitement et adapter les protocoles en conséquence.

## **Impact sociétal**

### **1. Amélioration de la compréhension des traitements :**

- En contribuant à une meilleure compréhension de l'efficacité des traitements du cancer du poumon, ce projet peut aider à optimiser les stratégies thérapeutiques, réduisant ainsi la morbidité et améliorant la qualité de vie des patients.

### **2. Techniques d'aide au diagnostic :**

- Les résultats du projet pourraient mener à des techniques accessibles pour aider au diagnostic et à la personnalisation des traitements, même dans des environnements à ressources limitées. Cela pourrait être particulièrement bénéfique dans les régions où l'accès à des soins spécialisés est restreint.

# **COMPÉTENCES MOBILISÉ ET DÉVELOPPÉES**

## **Compétences mobilisées**

### **1. Bases en biophysique et radiobiologie :**

- Compréhension des principes fondamentaux qui régissent les interactions entre la radiation et la matière biologique, ainsi que des mécanismes de dommage cellulaire.

### **2. Concepts d'optique quantique et détection photonique :**

- Connaissances sur les phénomènes quantiques qui sous-tendent les signatures optiques, ainsi que sur les techniques de détection avancées.

### **3. Notions de machine learning :**

- Familiarité avec les méthodes d'apprentissage automatique, en particulier celles adaptées à l'analyse de données complexes, permettant de traiter efficacement les résultats expérimentaux.

## **Compétences développées**

### **1. Analyse et modélisation numérique de signaux :**

- Aptitude à développer des modèles mathématiques et numériques pour simuler les réponses optiques, ainsi qu'à analyser des données expérimentales.

### **2. Mise en œuvre d'algorithmes de machine learning :**

- Compétences en programmation et en développement d'algorithmes pour classifier et prédire les résultats basés sur les données, contribuant à l'interprétation des signatures optiques.

### **3. Capacité d'interprétation interdisciplinaire :**

- Développement d'une approche intégrative reliant la physique, la biologie et le traitement des données, permettant une interprétation plus riche des résultats.

### **4. Rédaction scientifique et communication :**

- Amélioration des compétences en rédaction scientifique pour partager les résultats de manière claire et efficace, ainsi que des compétences en communication pour présenter les découvertes à des publics variés.

Ce projet ne se contente pas d'explorer de nouvelles avenues scientifiques, il vise également à avoir un impact significatif sur la pratique clinique et la qualité des soins en oncologie, tout en développant un ensemble de compétences précieuses tant sur le plan scientifique que professionnel.

## **Références**

- **Lapeyre M, Peiffert D, Chargari C.** Radiothérapie : bases physiques, radiobiologie et techniques. Paris : Elsevier Masson, 2016.
- **Lefèvre T, Lévêque P, et al.** Biophotonique : Fondements et applications en sciences du vivant. Dunod, 2019.
- **Boiron P, Bardou F, Croisy A.** Biophysique et radiobiologie : applications médicales. De Boeck Supérieur, 2015.
- **Benchoufi M, Daye M, Rance B.** Intelligence artificielle en santé : promesses et limites. La Revue de Médecine Interne.
- **INCa.** Intelligence artificielle et cancer : état des lieux et perspectives. Rapport scientifique, 2021.