

# L' intelligence artificielle en radiothérapie

Mardi 08 novembre 2022

---

**Flavien RALITE**

---

Physicien, PhD – Institut Bergonié

**RADIOTHÉRAPIE - QUOI DE NEUF ?**

**ACTUALITÉS DES CONGRÈS SFRO ET ASTRO 2022**

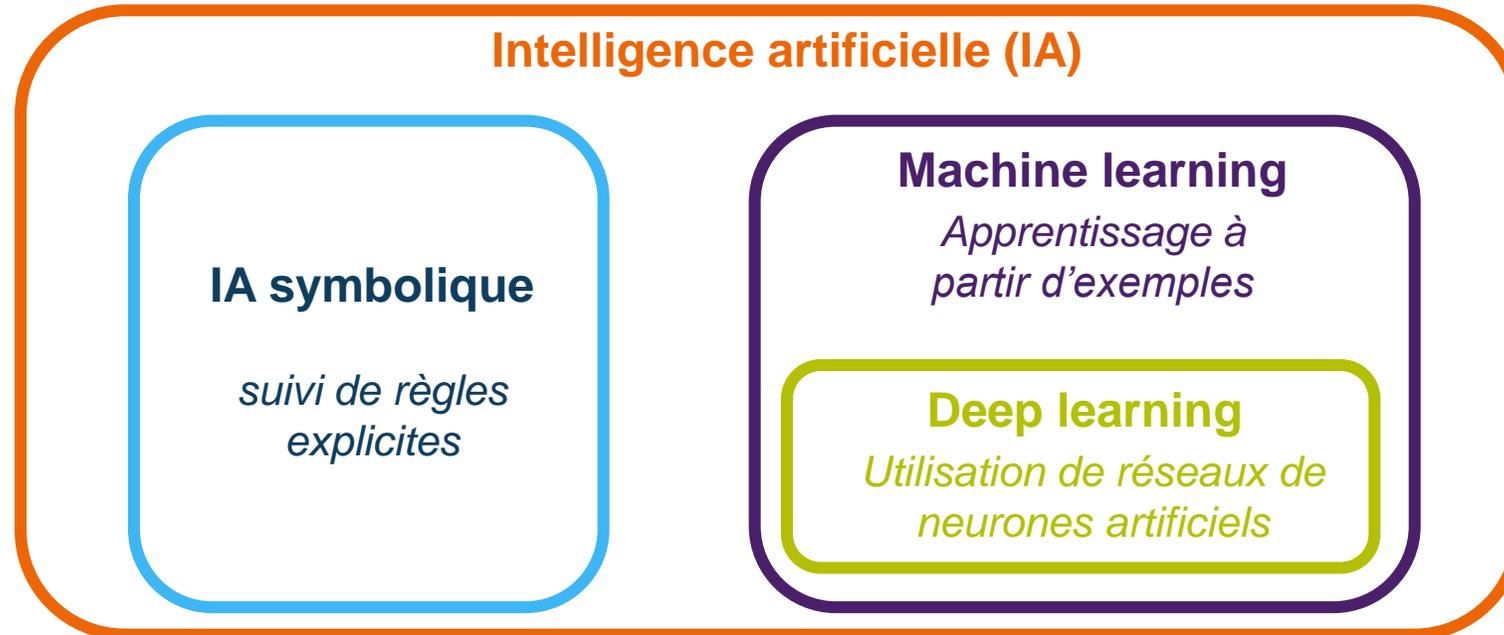


# L'intelligence artificielle (IA), c'est quoi?

## Définition

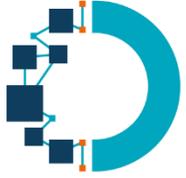
- Terme **vague et subjectif** dont le sens évolue avec les avancées techniques
- L'**IA** fait référence à des **ordinateurs imitant le raisonnement** que peut avoir un être vivant pour **résoudre un problème** jusqu'à un certain degré d'apprentissage
- Repose sur des **méthodes avancées de statistiques**

(Luk, *Clinical Oncology*, 2022)



(Ascoli, *First Editions*, 2020)

Figure 1 : Organigramme des différentes formes d'intelligence artificielle.



# L'apprentissage machine (Machine learning)

## Apprentissage supervisé

Prédire une valeur

Prédire une catégorie

Modèles de régression

Modèles de classification

## Apprentissage non supervisé

Le modèle doit **trouver seul les relations** dans le jeu de données d'entrée

Modèles de réduction de dimension

Modèles de regroupement

## Deep Learning : Apprentissage par renforcement

Le modèle **apprend par lui-même** (Attention à **l'effet boîte noire**)

Réseaux de neurones

### Avantages :

- Entraînement du modèle **plus accessible** que le Deep learning
- **Maîtrise du modèle** (pas d'effet boîte noire)

### Limites :

- **Choix du modèle d'apprentissage** (évaluation de plusieurs modèles souhaitée)
- **Préparation du jeu de données**

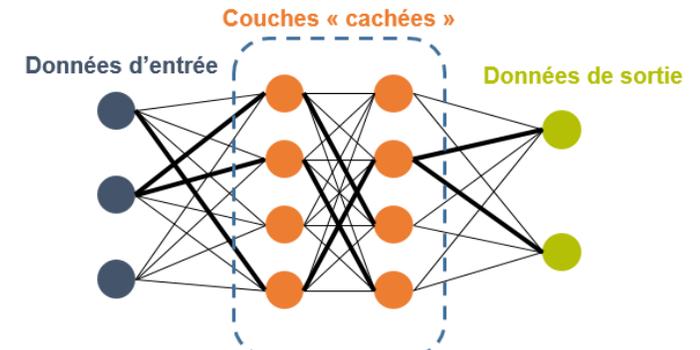
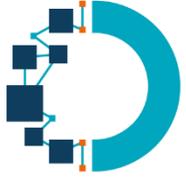


Figure 2 : Schéma d'un réseau de neurones entièrement connectés..

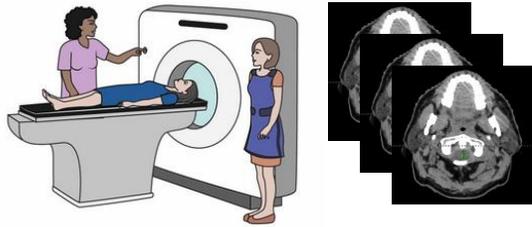


# Intelligence Artificielle et radiothérapie

(Luk, Clinical Oncology, 2022)

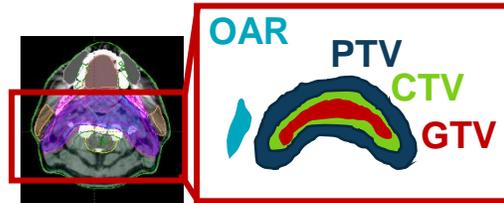
(Vandewinckele, Radiotherapy Oncology, 2020)

## Acquisition de l'image scanner du patient dans la position de traitement



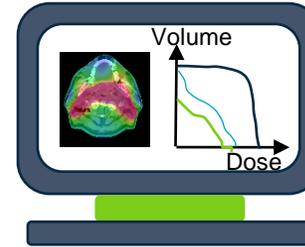
- Réduction des artefacts sur les images acquises
- Détermination de la position optimisée pour le traitement

## Contours des volumes cibles et organes à risques



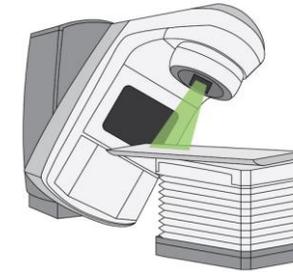
- Délinéation automatique des volumes d'intérêts (cibles et OARs)
- Vérification automatisée des contours

## Planification de plan de traitement



- Planification dosimétrique automatisée
- Revue automatisée de la qualité du plan de traitement

## Assurance qualité (AQ)



- AQ patient
- AQ machine de traitement

## Traitement



- Gestion des mouvements du patient
- RT adaptative :
  - Planification dosimétrique
  - AQ patient

Figure 3 : Processus de la radiothérapie précisant les différentes tâches qui pourraient bénéficier du développement de l'intelligence artificielle.



- **Automatiser les tâches (Contours, Machine QA, Patient QA, etc.)**
- **Améliorer la sécurité des traitements en radiothérapie**



# IA pour les mesures physiques

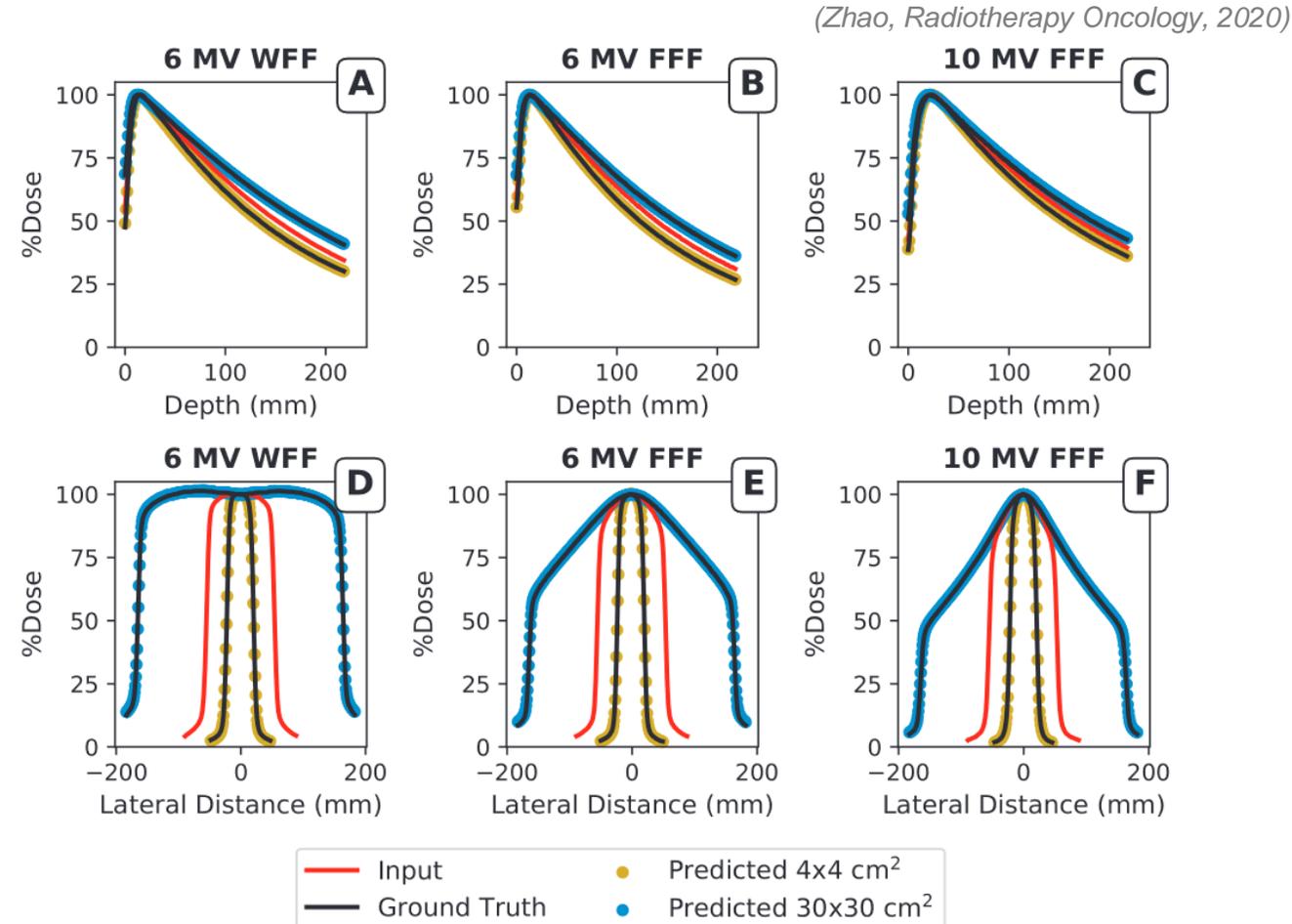
## Recette d'un accélérateur

- Données d'entrainements :
  - 43 jeux de données provenant de 7 centres
  - PDD pour différentes énergies
  - Profils pour différentes tailles de champ
- Modèle : **Régression multi-variables (Ridge)**
  - Donnée d'entrée : champ 10 cm x 10 cm
  - Donnée de sortie : **prédiction de PDD et profils**
- Performance du modèle :
  - PDD : MAE < 1%**
  - Profils : MAE < 4%**



## Apport de l'IA

**Réduction du nombre de mesures lors d'une recette machine**





# IA pour l'assurance qualité machine

(Li and Chan, Annals NY Acad, 2017)

## Contrôle quotidien en dose

- Données d'entrainements :
  - 5 ans de mesures quotidienne
  - Daily QA : Dose, Homogénéité, Symétrie
- Modèle : **Artificial Neural Network (ANN)**
  - Donnée d'entrée : Mesure du Daily QA
  - Donnée de sortie : **Prédiction de la tendance temporelle des mesures quotidienne du Daily QA**
- Performance du modèle :
  - MSE < 0,15**
  - Coefficient de détermination entre les valeurs prédites et mesurés  **$R^2 > 0,9$**



## Apport de l'IA

Avoir une action preventive sur les problèmes machines

Radiothérapie - Quoi de neuf ? (2022)

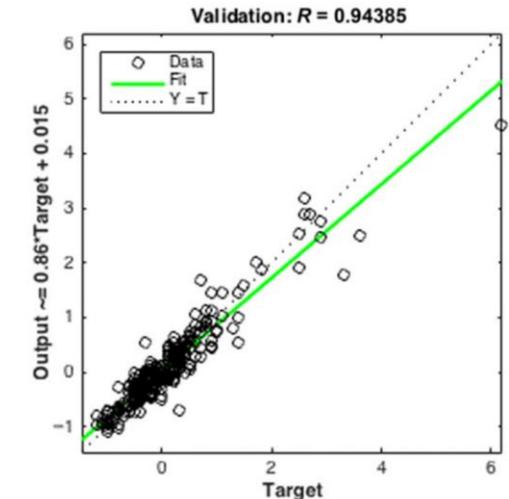
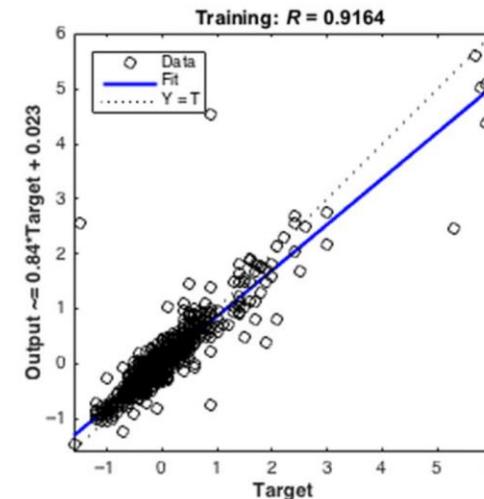
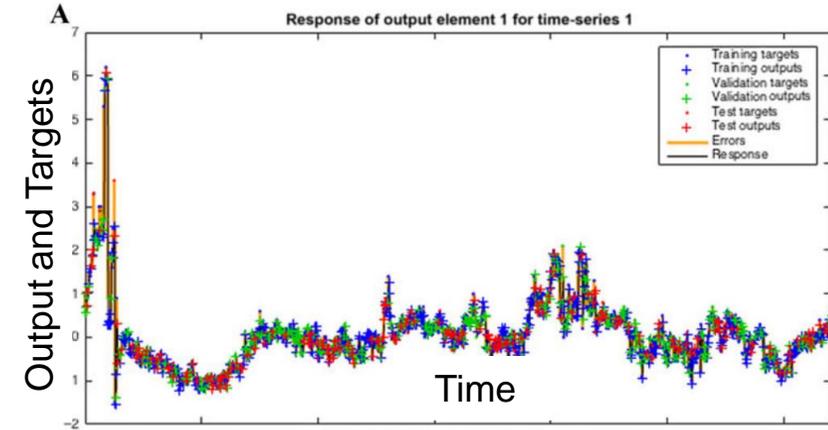


Figure 5 : Allure des données prédites et mesurées de la symétrie sur 5 ans (Haut). Données prédites en fonction des données mesurées (Bas).



# Et en pratique ?

## Recette du modèle

- Entrainement et Validation :
  - Importance de la **qualité du jeu de données d'entraînement**
  - **Représentativité** des données d'entraînement
  - **Division du jeu de données** en deux groupes : Entraînement / Validation
  - Validation du modèle en évaluant sa **performance avec des indices quantitatifs**
  - Cross-validation recommandée
- Test :
  - **Evaluation du modèle avec des données inconnues du modèle**
  - MAJ nécessaire si la phase de test n'est pas concluante

(Vandewinckele, Radiotherapy Oncology, 2020)

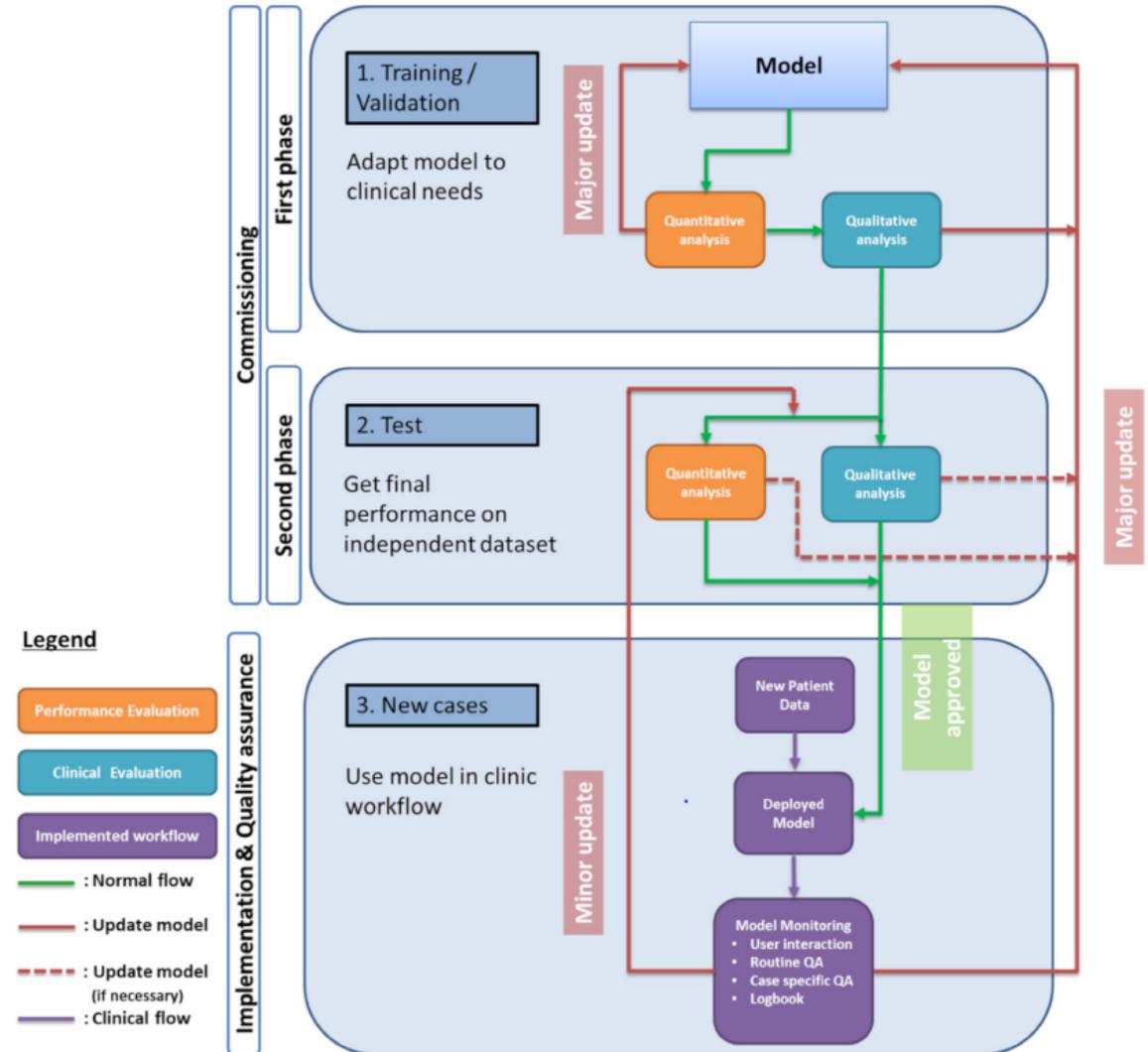


Figure 6 : Schéma de la mise en place d'un modèle d'IA.



# Et en pratique ?

## Implémentation

- Formation de l'équipe médico-technique recommandée
  - **Garder la maîtrise des tâches automatisées**
  - Connaître les avantages et limites du modèle
- Mettre en place une assurance qualité du modèle:
  - Tester le modèle sur des cas particulier afin d'évaluer l'adaptabilité du modèle
  - **Contrôle de la constance du modèle**, en utilisant des données de référence
  - **Permet d'identifier des changements de pratiques** (modèle à réajuster le cas échéant).
  - Tenir un registre des cas pour lesquels le modèle montre ses limites afin de **définir son domaine de validité** et l'optimiser a posteriori

Radiothérapie - Quoi de neuf ? (2022)

(Vandewinckele, Radiotherapy Oncology, 2020)

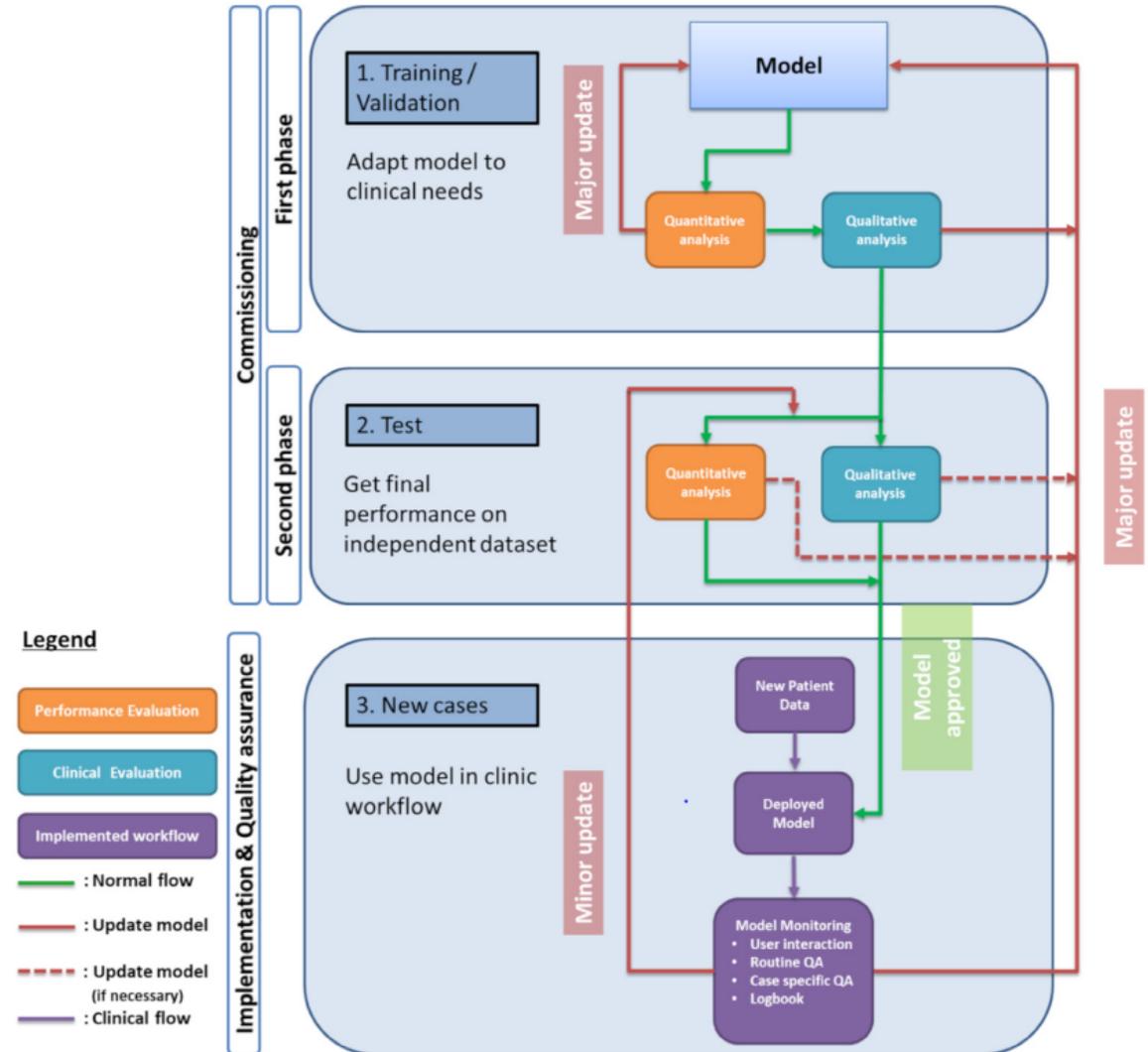
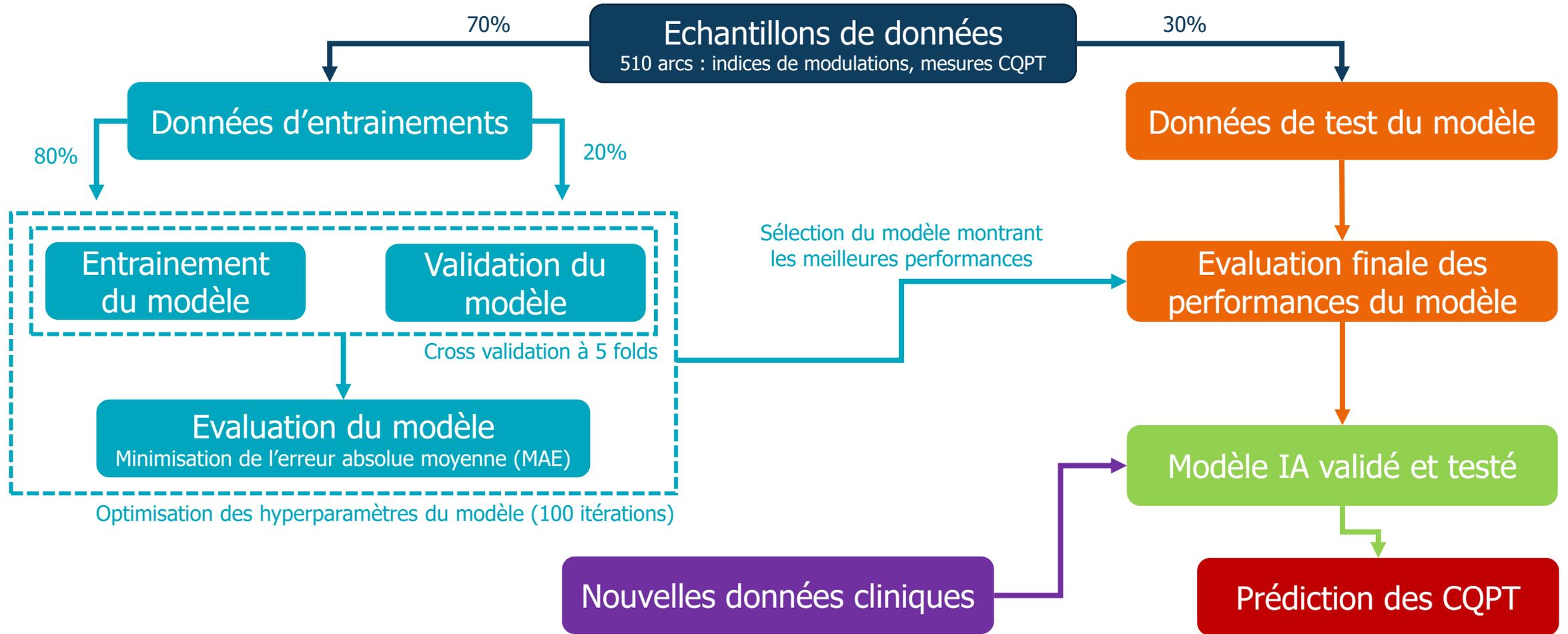


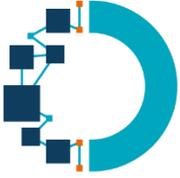
Figure 6 : Schéma de la mise en place d'un modèle d'IA.



# Exemple d'application

## Prédiction des contrôles qualités pré-traitement (CQPT)





# Conclusion

## Avantages :

- IA en radiothérapie
  - **Automatisation / réduction des tâches routinières**
  - **Homogénéisation des pratiques**
  - Outil pour **exploiter davantage les données générées quotidiennement**
- Contrôle qualité patient pré-traitement (CQPT)
  - Outil prometteur pour **réduire le nombre de mesure CQPT**
  - Application pour la **radiothérapie adaptative**
- Outil pour **observer / contrôler des changements de pratiques** dans un centre

## Limites :

- Nécessité de **compétences avancées en mathématiques** / informatiques / sciences des données
- Nécessité de **garder la maîtrise du processus** (effet « boîte noire » pour le deep learning)
- **Pas de solution commerciale encore disponible** pour toutes les étapes du processus de radiothérapie
- CQPT
  - **Difficultés d'obtenir un modèle multi-centrique** dû aux divergences de pratiques
  - Pose la **question de la caractéristique à prédire** (Gamma Pass, Différence Dose, etc.)





# Annexe : IA pour l'assurance qualité machine

## Prédiction d'erreurs sur le traitement

(Carlson, Phys. Med. Biol., 2016)

- Données d'entraînements :
  - 74 plans VMAT
  - Positions planifiées des lames du MLC (DICOM-RP)
  - Positions réelles des lames du MLC (log files)
- Modèle : **Cubist (Random Forest)**
  - Donnée d'entrée : DICOM-RP
  - Donnée de sortie : **Prédiction de la position des lames du MLC**

### Apport de l'IA

**Contrôler la délivrance des traitements**

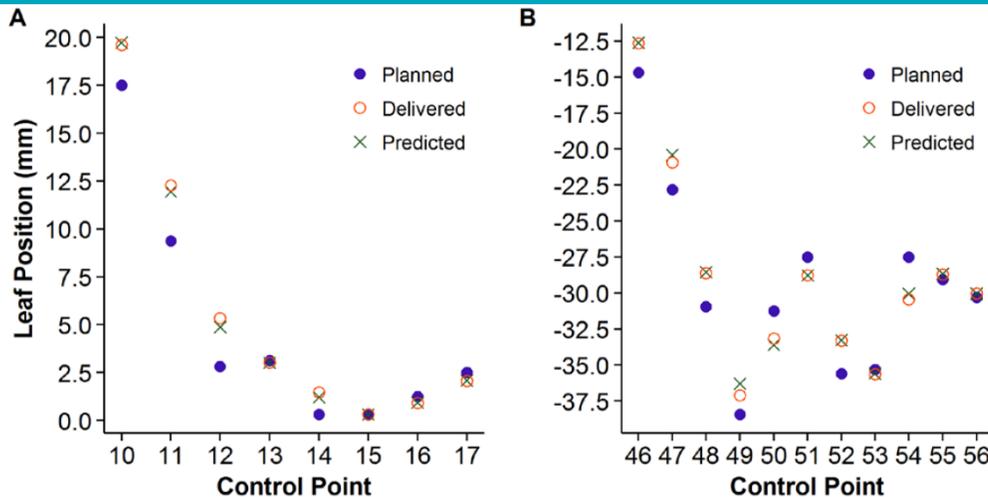


Figure : Positions planifiées, réelles et prédites des lames du MLC pour un plan peu modulé (A) et très modulé (B).  
Radiothérapie - Quoi de neuf ? (2022)

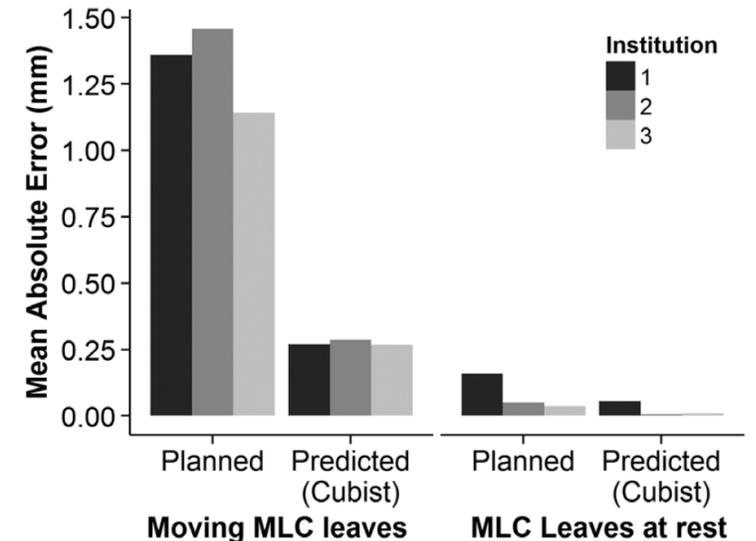


Figure : MAE des positions de lames planifiées et réelles comparées aux valeurs réelles retournées par les log.



# Annexe : IA pour l'assurance pré-traitement

## Prédiction d'erreurs sur le traitement

- Données d'entrainements :
  - 1255 plans VMAT
  - Indice de modulation, Dosiomics, paramètres cliniques
  - Mesures gamma pass 2%/2mm
- Modèle : **XGBoost**
  - Donnée d'entrée : fichier DICOM-RP
  - Donnée de sortie : **Prédiction du gamma pass**
- Performance du modèle :
  - Modèle incluant indices de modulation et de texture plus performant
  - MAE < 5%**
  - AUC = 0,83** (Courbe ROC)

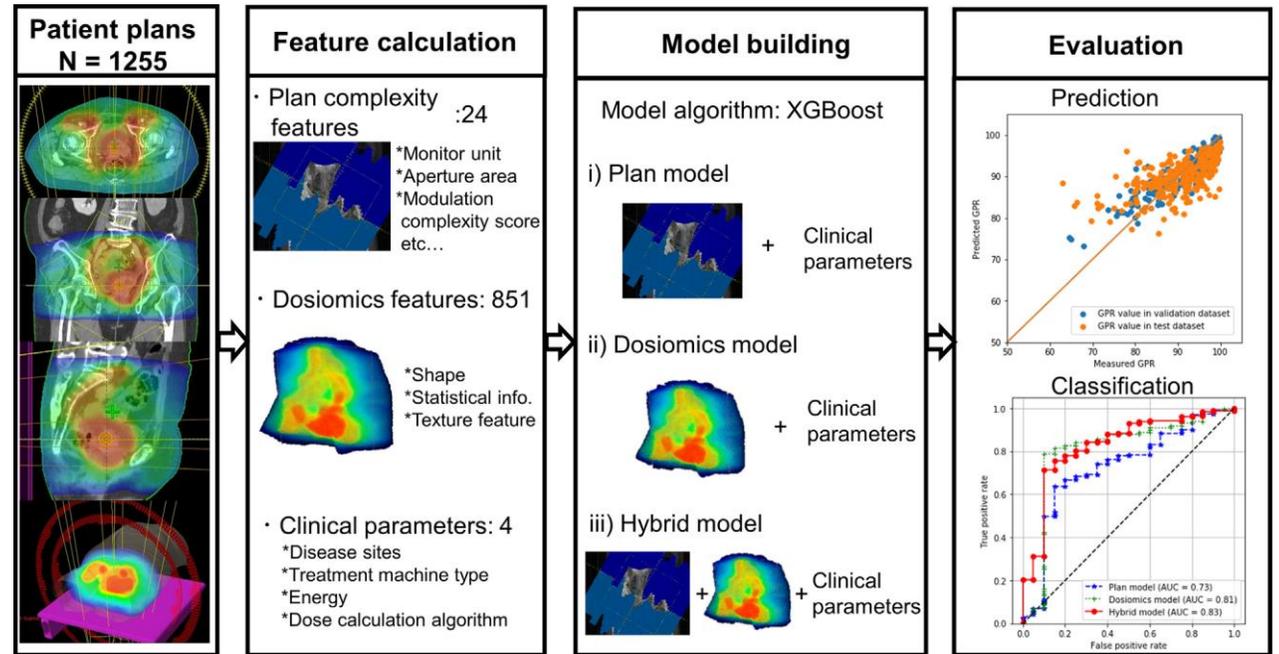
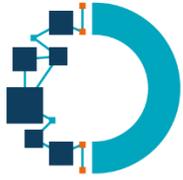


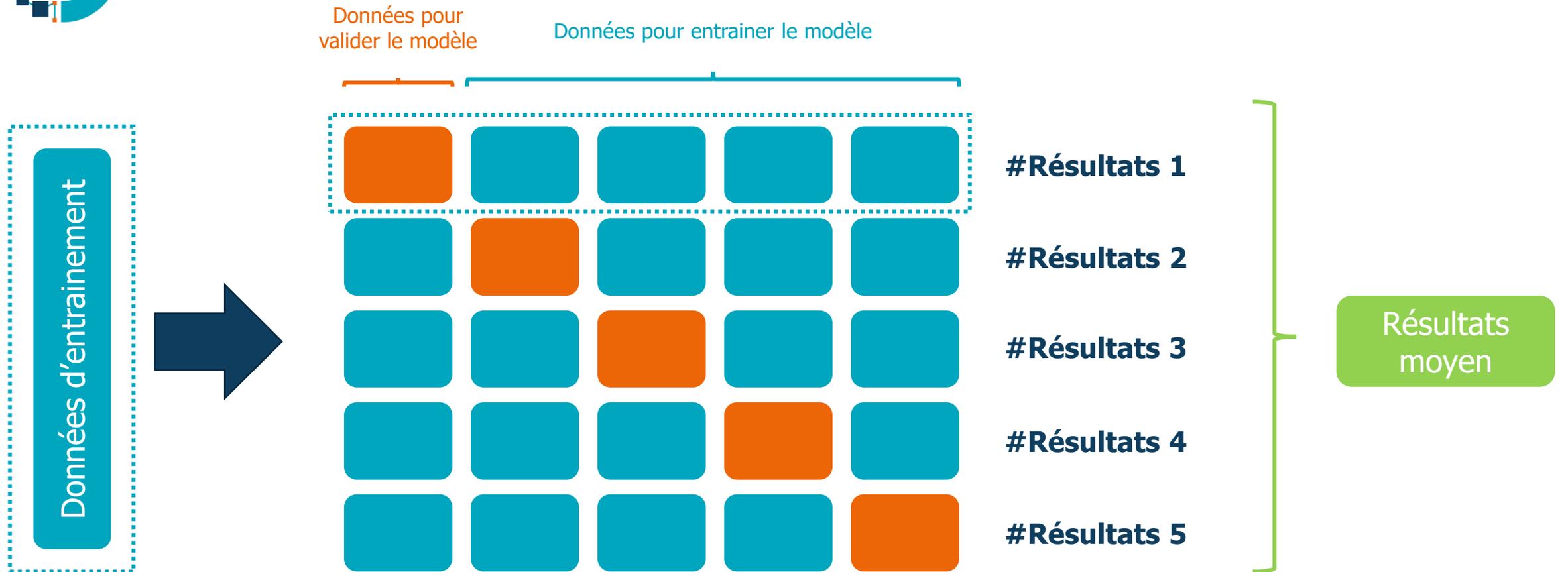
Figure : Schéma de l'étude pour la prédiction du gamma pass à partir d'indices de modulations et de texture de la carte de fluence.

### Apport de l'IA

Réduction du nombre de CQ pré-traitement patient  
Mise en place d'un CQPT virtuel



# Annexe : Cross validation à 5 folds



Les sous-ensembles de données (entraînement et validation) sont sélectionnées 5 fois de manière aléatoire dans le jeu de données d'entraînement.



# Annexe : Evaluation d'un modèle d'IA

- « **Mean Absolute Error** » :

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |\hat{y}_i - y_i|$$

- « **Mean Square Error** » :

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n-1} (\hat{y}_i - y_i)^2$$

- « **Maximum Error** »:

$$MaxError = \max |\hat{y}_i - y_i|$$

- Avec  $\hat{y}$  : Valeur prédite par le modèle et  $y$  : Valeur réelle

- **Plus le modèle est performant plus MAE, MSE et MaxError sont minimisés**



# Annexe : Données d'entraînement

## Prédiction des contrôles qualités pré-traitement (CQPT)

### 510 arcs de plans validés cliniquement

localisations : sein - ORL – poumon – pelvis/prostate

Calculés sur Eclipse v13.7, algorithme AAA ou AXB

#### Mesures

Réalisation des contrôles qualité pré-traitement :

- Accélérateur : Truebeam Novalis STX
- Détecteur : Octavius 4D + matrice 1500 (chambres d'ionisation)

Analyse des CQPT par indice gamma (4 critères) :

- 3% / 3mm, normalisation globale, seuil 10%
- 2% / 2mm, normalisation globale, seuil 10%
- 3% / 3mm, normalisation locale, seuil 10%
- 2% / 2mm, normalisation locale, seuil 10 %

#### Calcul

Export du DICOM RT-plan

Calcul d'indices quantifiant la modulation :

- 23 indices basés sur les degrés de liberté calculés par arc
- 4 indices basés sur la carte de fluence calculés par arc



# Annexe : Résultats des performances

## Prédiction des contrôles qualités pré-traitement (CQPT)

- Construction du modèle ML
  - **4 modèles différents entraînés et testés**
  - Données d'entraînements : 27 indices de complexité VMAT
  - **Cross-validation utilisée pour optimiser les hyper-paramètres de chacun des modèles**
- Performance du modèle
  - Evaluation par MAE
  - **MAE = 1,18 +/- 1,05 pour une analyse globale 3%/3mm**

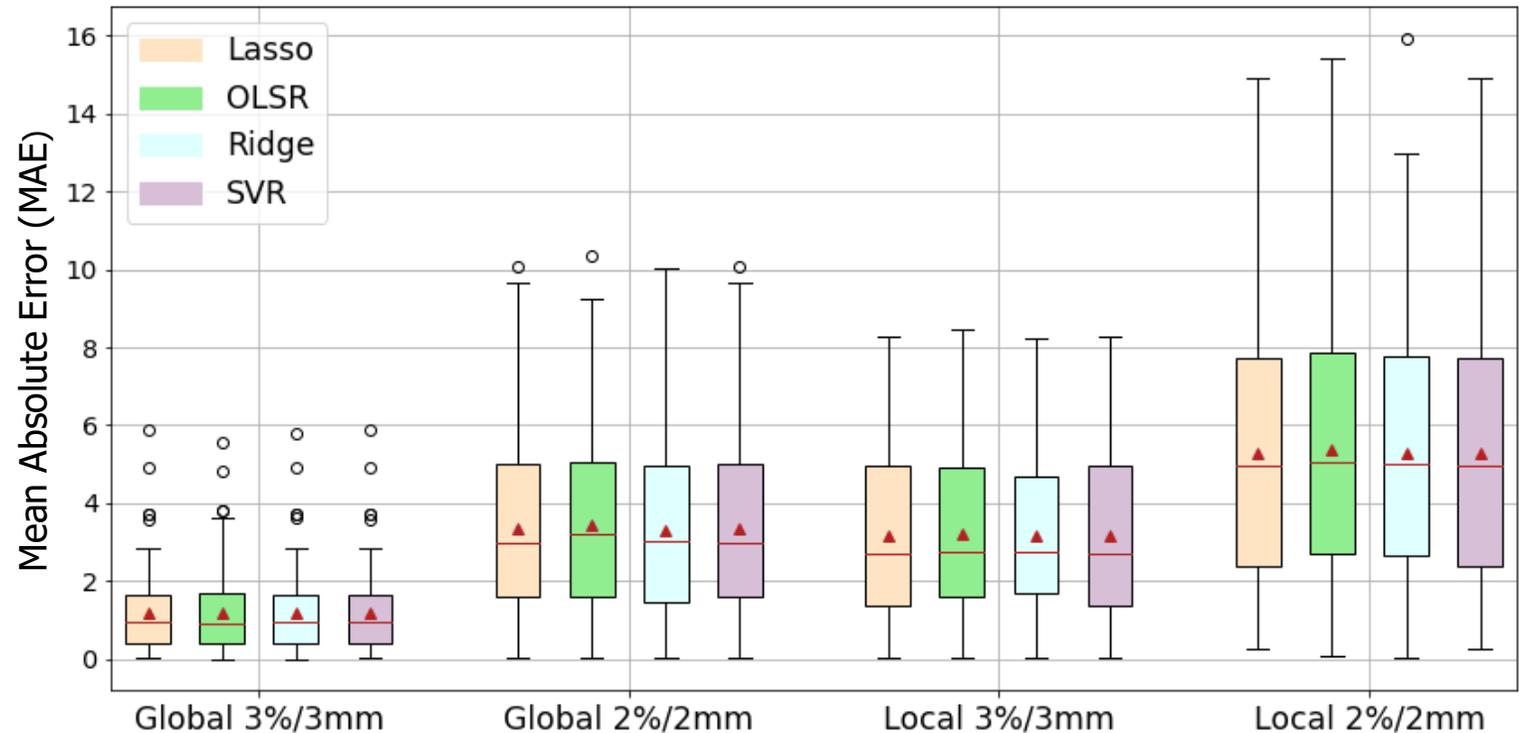


Figure : Résultats de l'erreur absolue moyenne (MAE) pour différents modèles de régression et différents critères d'analyse gamma.