

Dosimétrie *in vivo* en radiothérapie externe avec imagerie portale en condition de transit par réseaux de neurones artificiels

Travail de thèse CIFRE

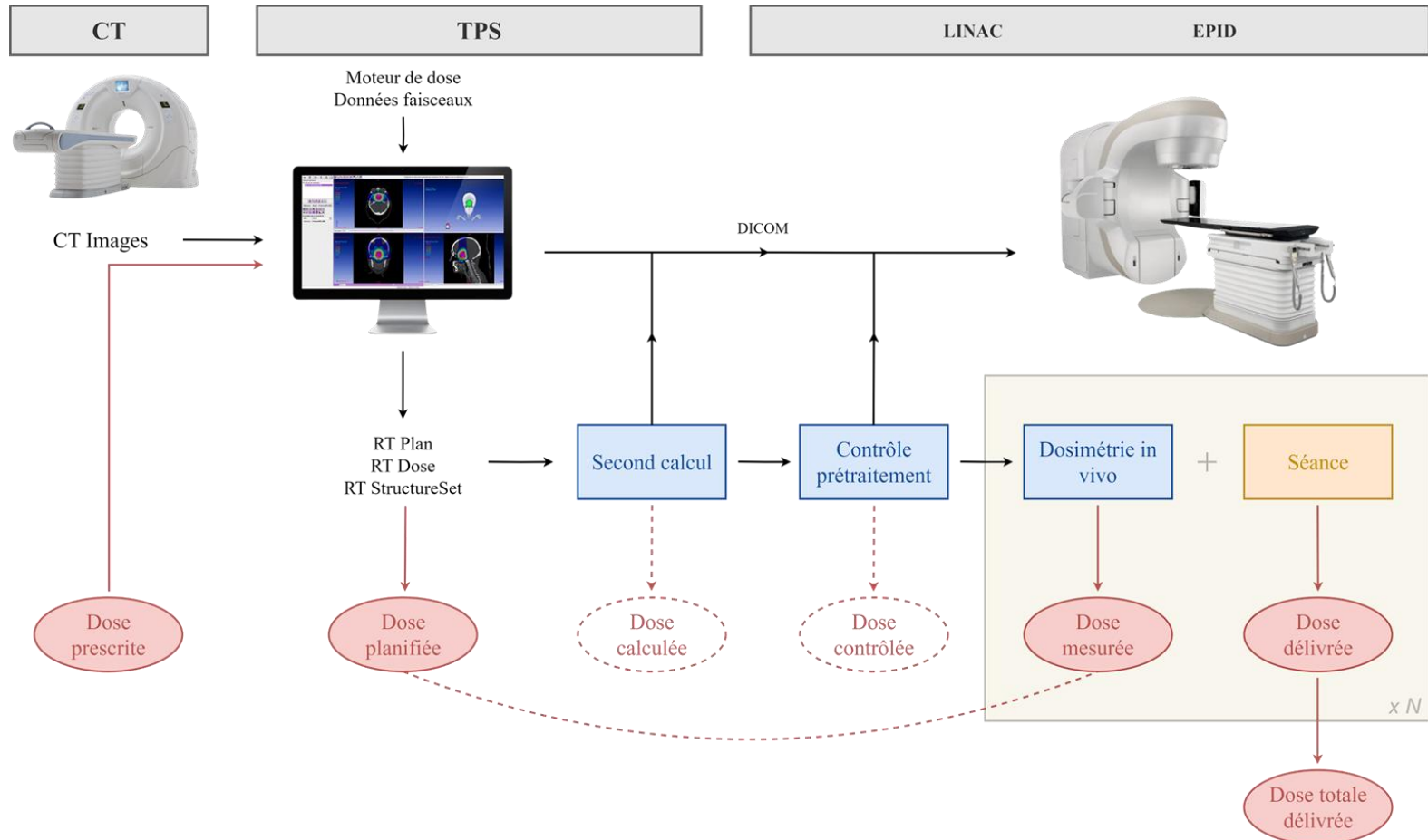
Côme MÉVEL DUTERTRE

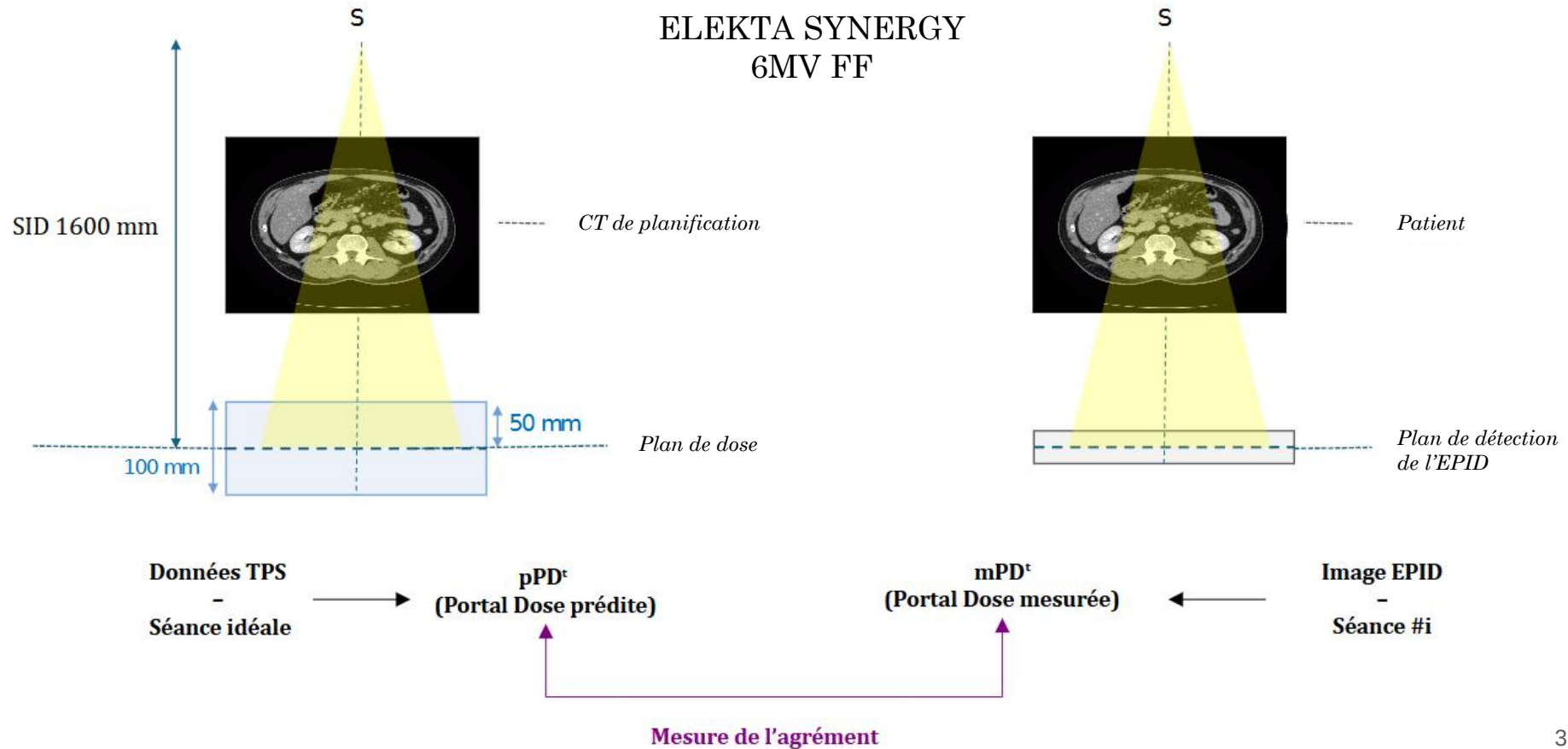
Encadrement

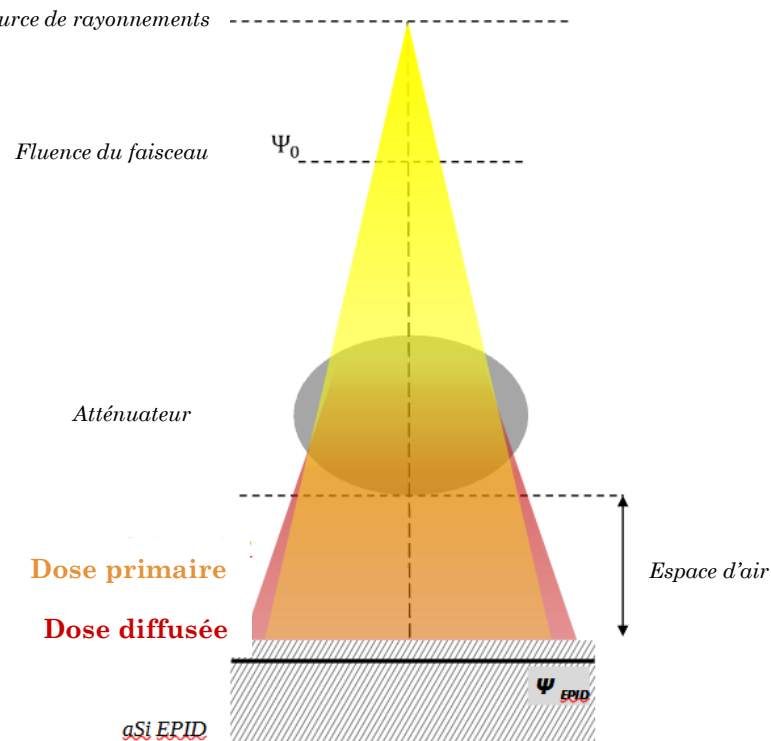
Xavier FRANCERIES et François HUSSON



Assurance Qualité spécifique au patient en radiothérapie externe







Décomposition du problème :

$$DTD = ASD + ATD$$

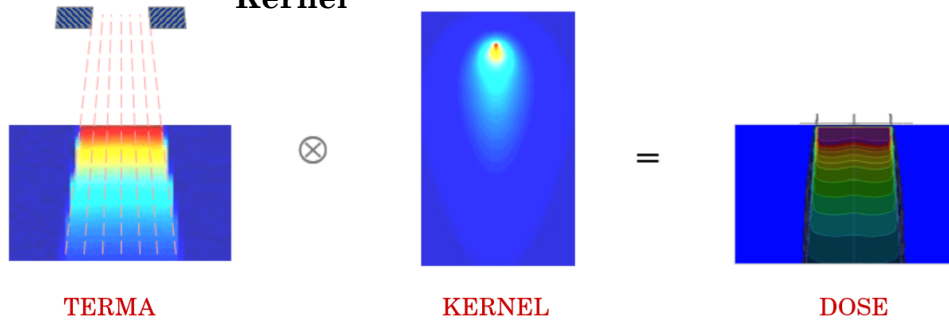
- **DTD** (Detector Total Dose) : Dose totale dans le plan de calcul dans l'EPID.
- **ATD** (Attenuator Transmission Dose) : Energie déposée dans le plan de calcul, ne relevant pas de l'interaction du faisceau avec le milieu atténuateur. $\longrightarrow$ 70~95% D
- **ASD** (Attenuator Scattered Dose) : Energie déposée dans le plan de calcul dans l'EPID ayant pour source un point de TERMA dans le milieu atténuateur. $\longrightarrow$ 5~30% DTD

ASD goulet
d'étranglement
algorithmique



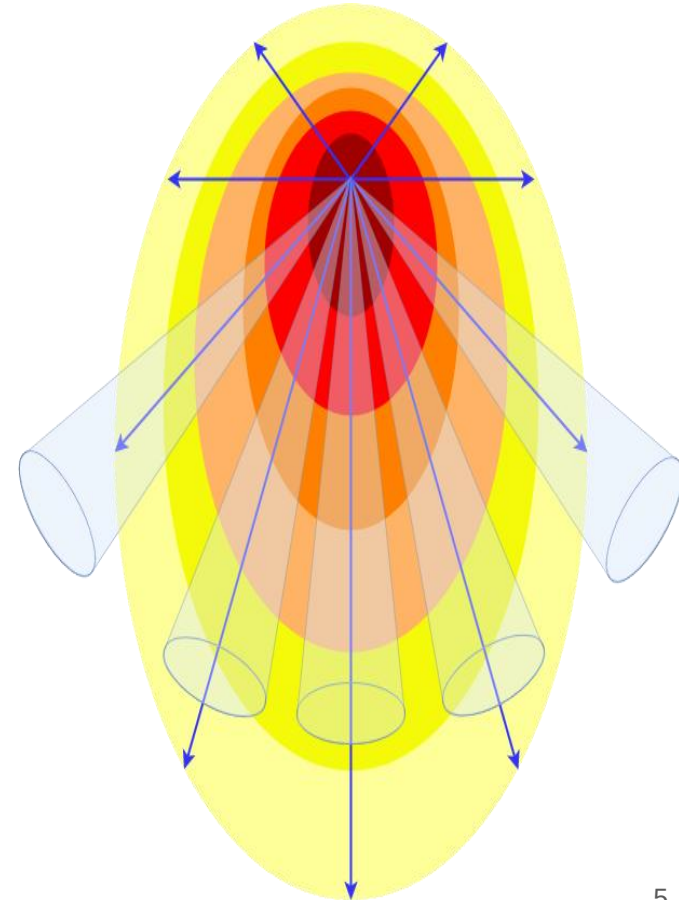
Intérêt du
Machine Learning

Les algorithmes Point Kernel



Intérêts de l'algorithme de Collapsed Cone Convolution

- Disponibilité de l'algorithme
- Adaptée aux conditions de transit
- Permet la séparation des doses ASD et ATD
- Méthode adaptée à la création d'une base de données pour l'entraînement d'un réseau de neurones
 - Vitesse de production
 - Précision



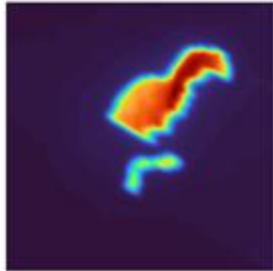
Inputs

Modélisation
faisceau

*DICOM
RT Plan
+
Résultat
PK*



Dose ATD

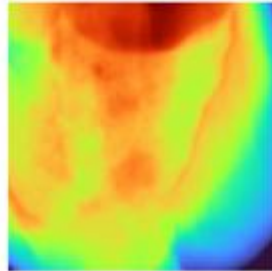


Modélisation
anatomie patient

*CT
patient*



Epaisseur
radiologique
traversée

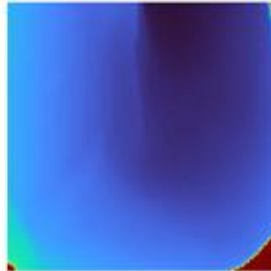


Modélisation
positionnement patient

*CT patient
+
Géométrie machine de
traitement*



Espaces d'air avant et après patient



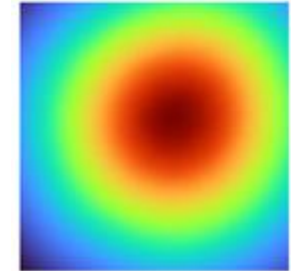
Vérité terrain

Dose calculée par méthode
Point Kernel adapté au transit

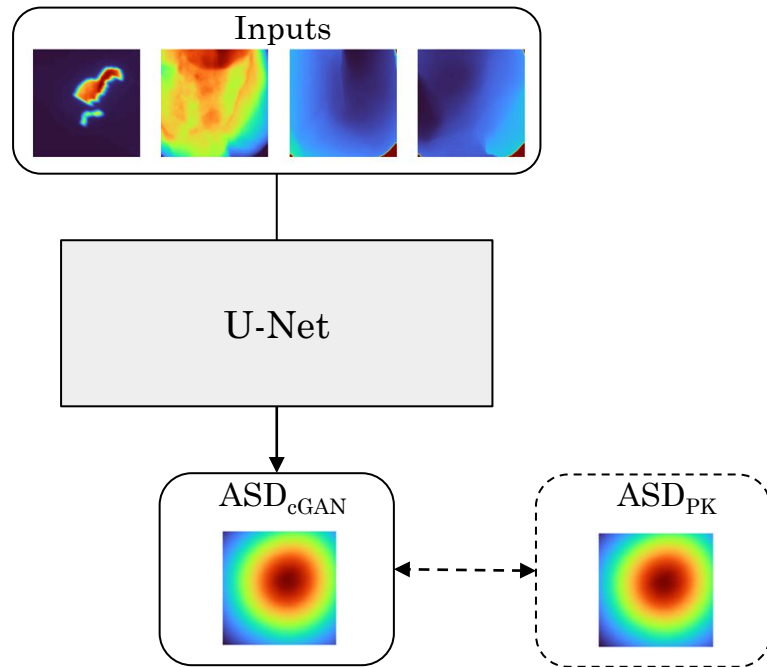
*Algorithme
CCC*



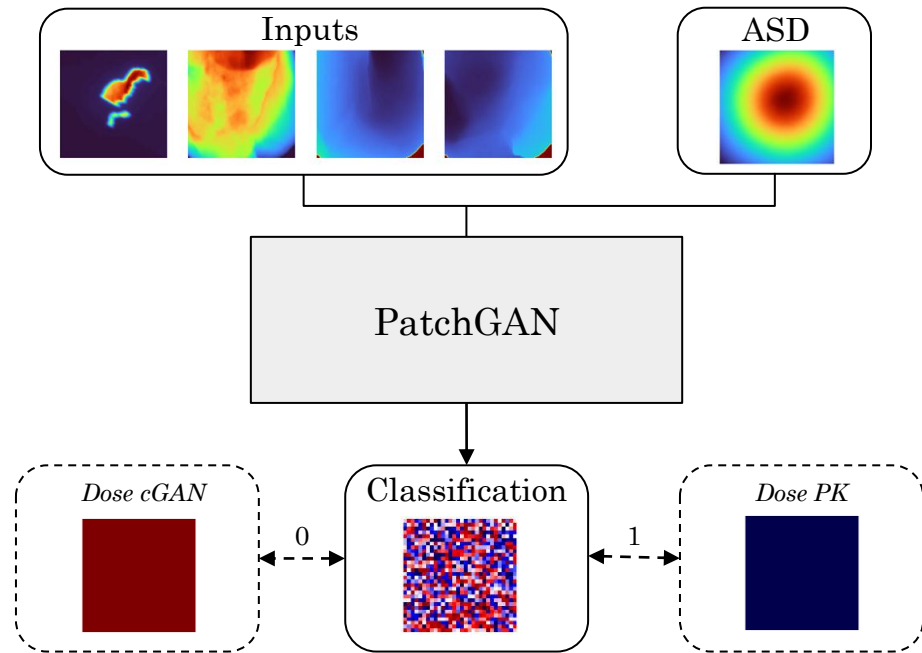
ASD

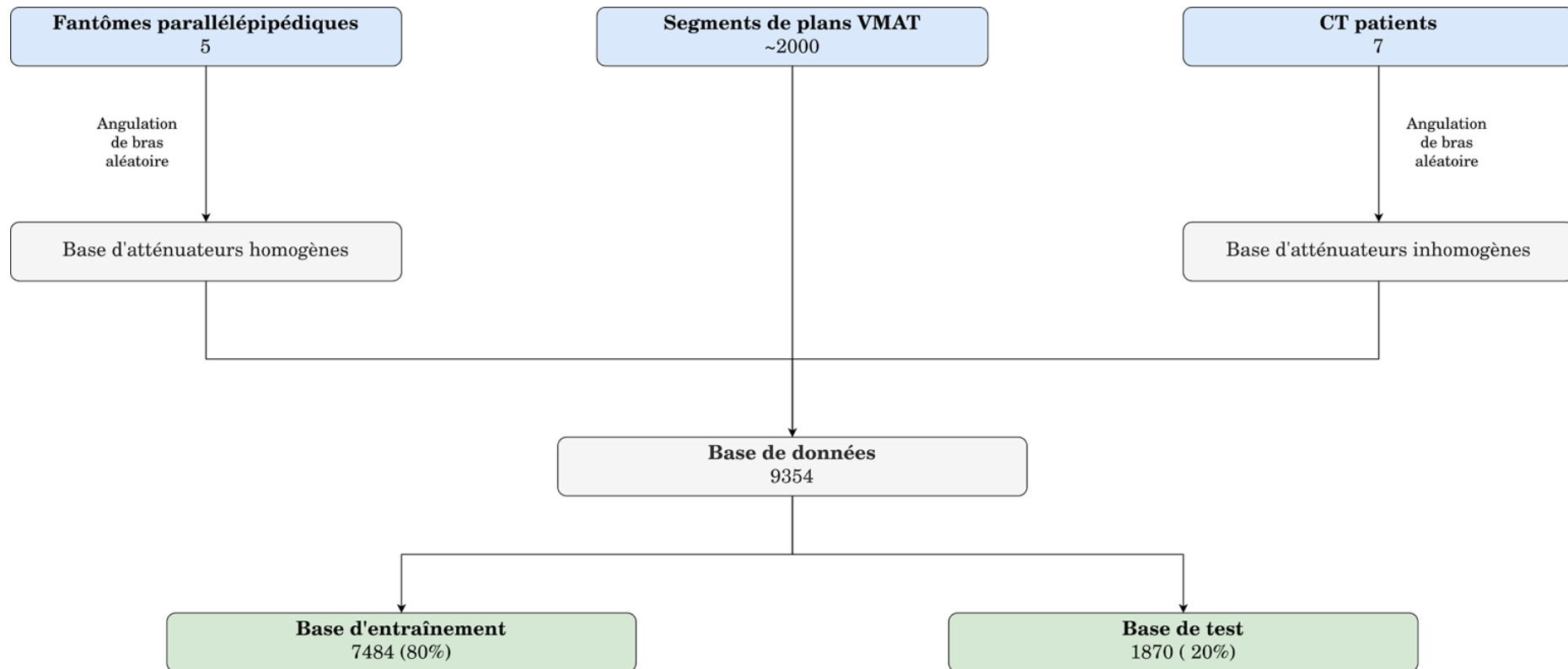


Générateur



Discriminateur





Évaluation par Gamma Index 2D : 2% (global), 2mm

$$\Gamma_a = \min_b \sqrt{\frac{(D_b - D_a)^2}{\delta D^2} + \frac{(d_b - d_a)^2}{\delta d^2}}$$

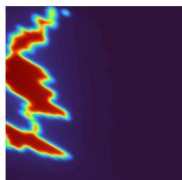
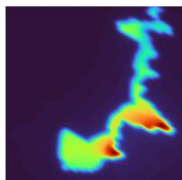
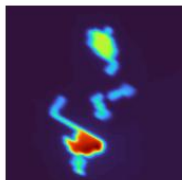
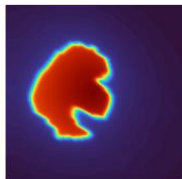
- ASD_{cGAN} vs ASD_{PK}

Evaluation sur un set de situations élémentaires

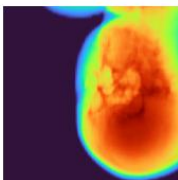
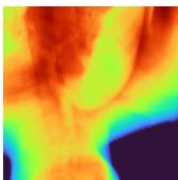
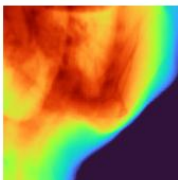
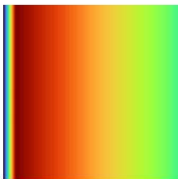
- Faisceaux carrés
- Fantômes parallélépipédiques équivalent-eau

→ Evaluation de la restitution des phénomènes physiques en prédiction d'ASD

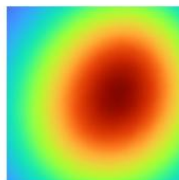
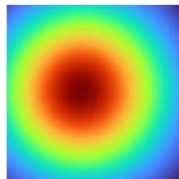
ATD



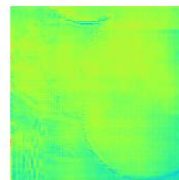
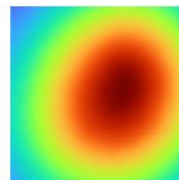
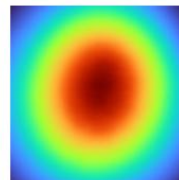
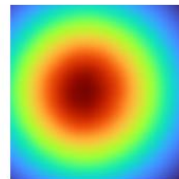
Radlen



ASD_{PK}

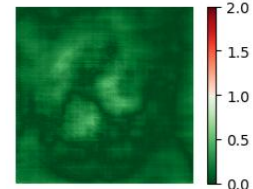


ASD

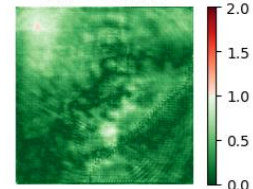


Gamma

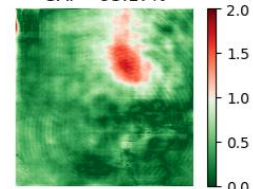
GAI = 100.00%



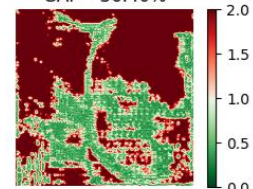
GAI = 99.87%



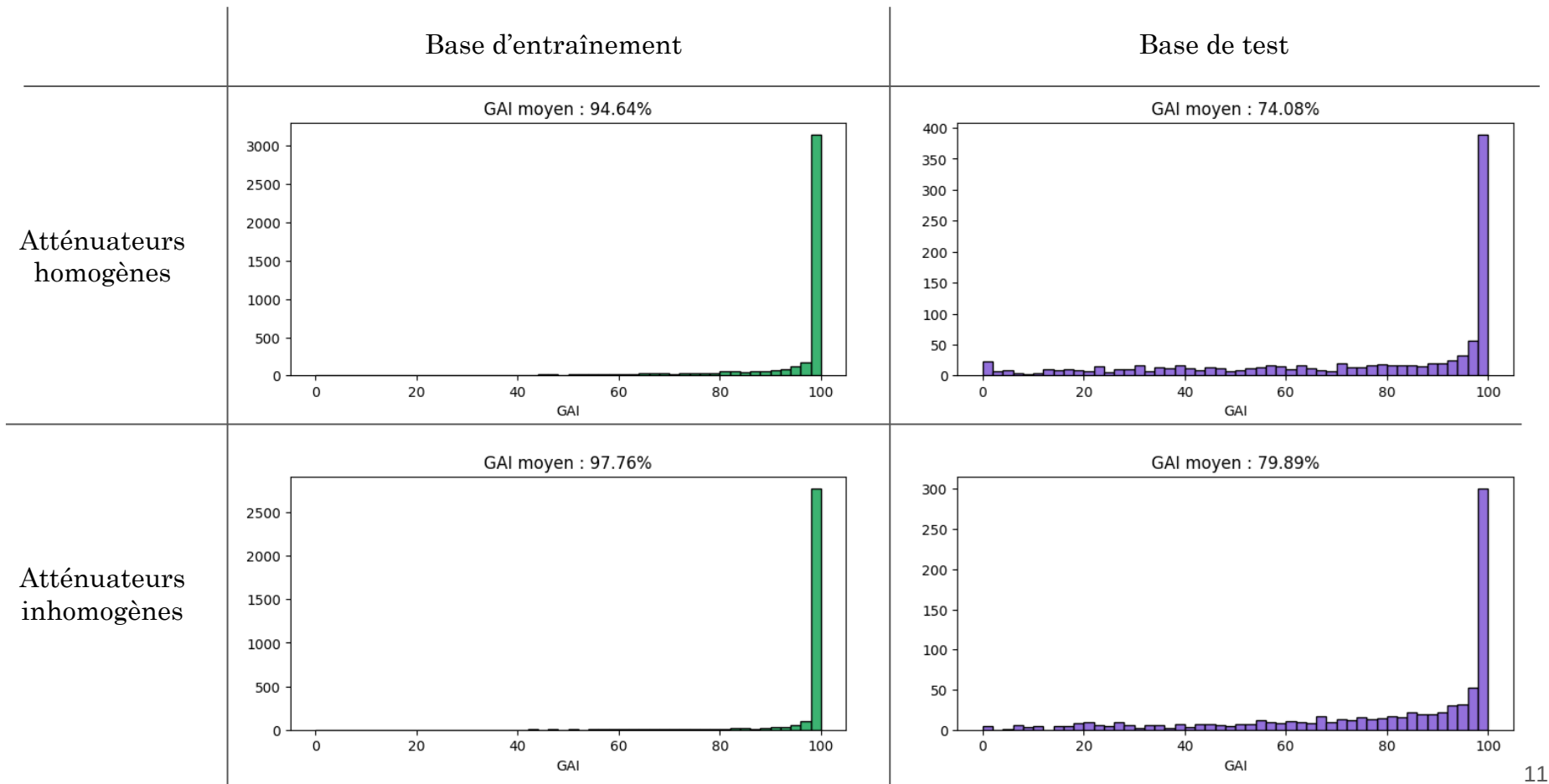
GAI = 93.17%



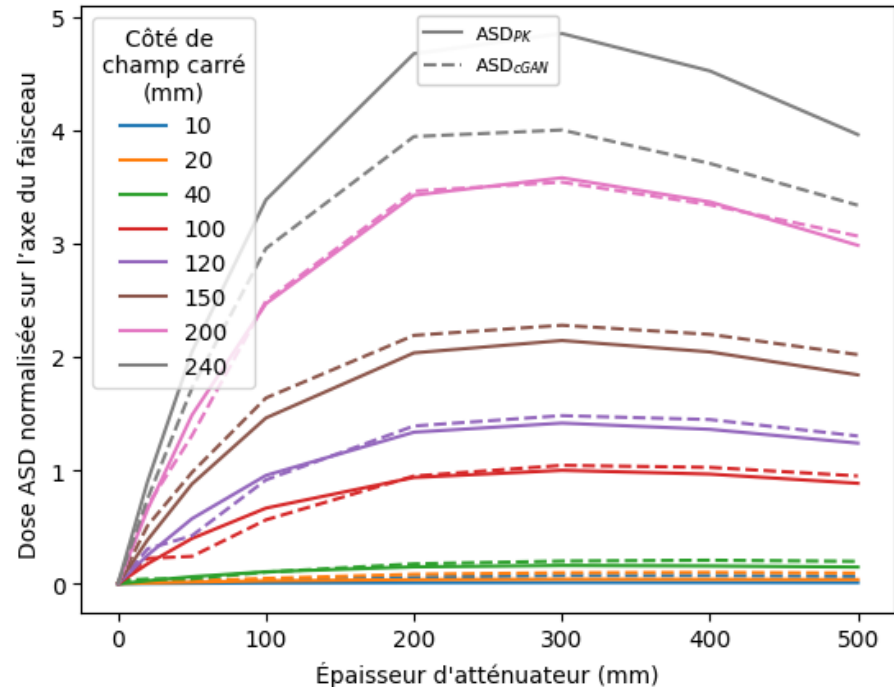
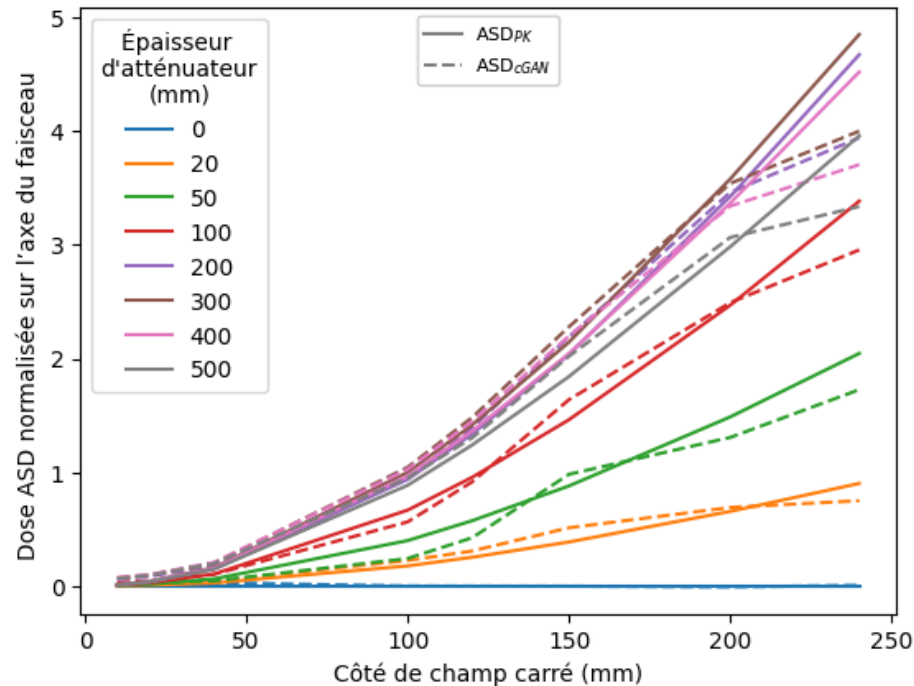
GAI = 36.40%



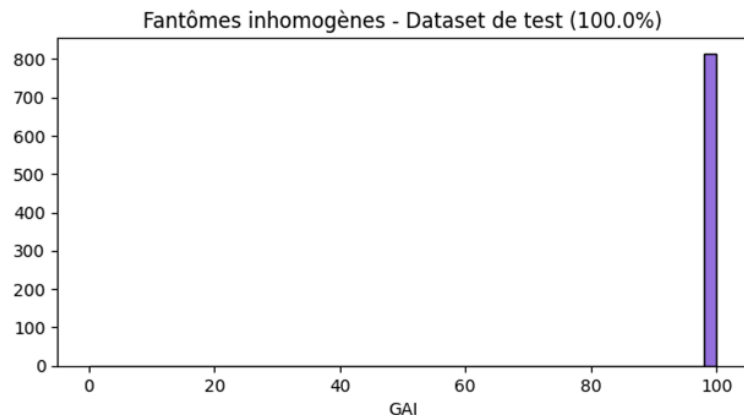
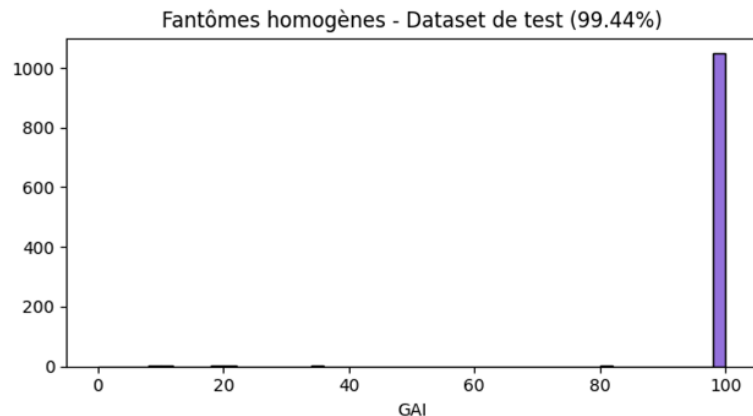
Prédiction d'ASD - Évaluation par indice gamma 2D - ASD_{eGAN} vs ASD_{PK}



Le modèle reproduit les variations d'ASD sur l'axe du faisceau en fonction de la taille de champ et de l'épaisseur de l'atténuateur



Evaluation par indice gamma 2D
($ASD_{cGAN} + ATD_{PK}$) vs DTD_{PK}



Conclusion

- Restitution des phénomènes physiques
- Résultats dans les limites de tolérance en dose totale



Machine Learning adapté à la
prédiction de la dose diffusée
en conditions transit

Base de données

- Cas de configurations identiques
- Répartition train/test identique
- Changement des inputs : ATD → Fluence depuis le RT Plan

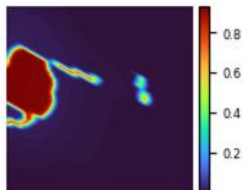
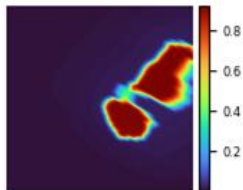
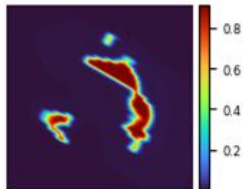
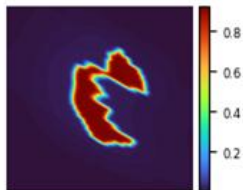
Entraînement

- Architecture du générateur identique
- Hyper-paramètres identiques
- Changement du mode d'entraînement : cGAN → CNN

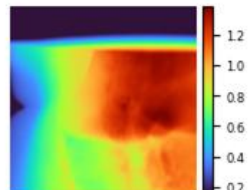
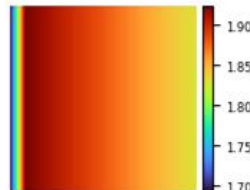
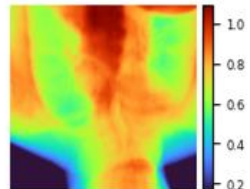
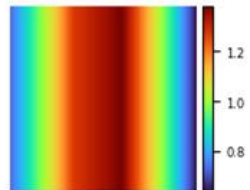
Evaluation des résultats

- Evaluation par Gamma Index
- Pas de dataset de référence physique/clinique pour le moment

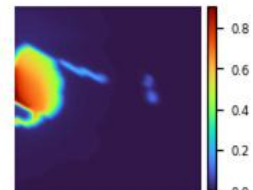
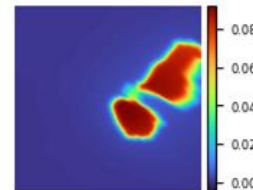
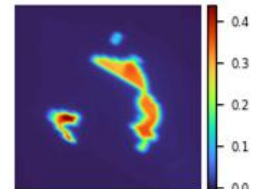
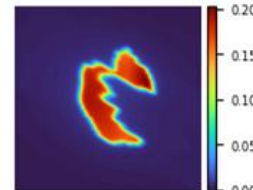
Fluence



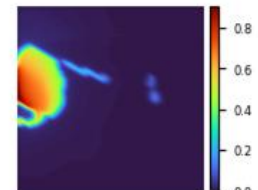
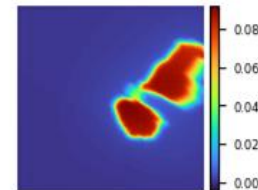
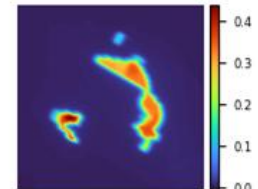
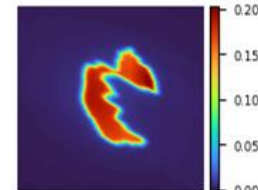
Radlen



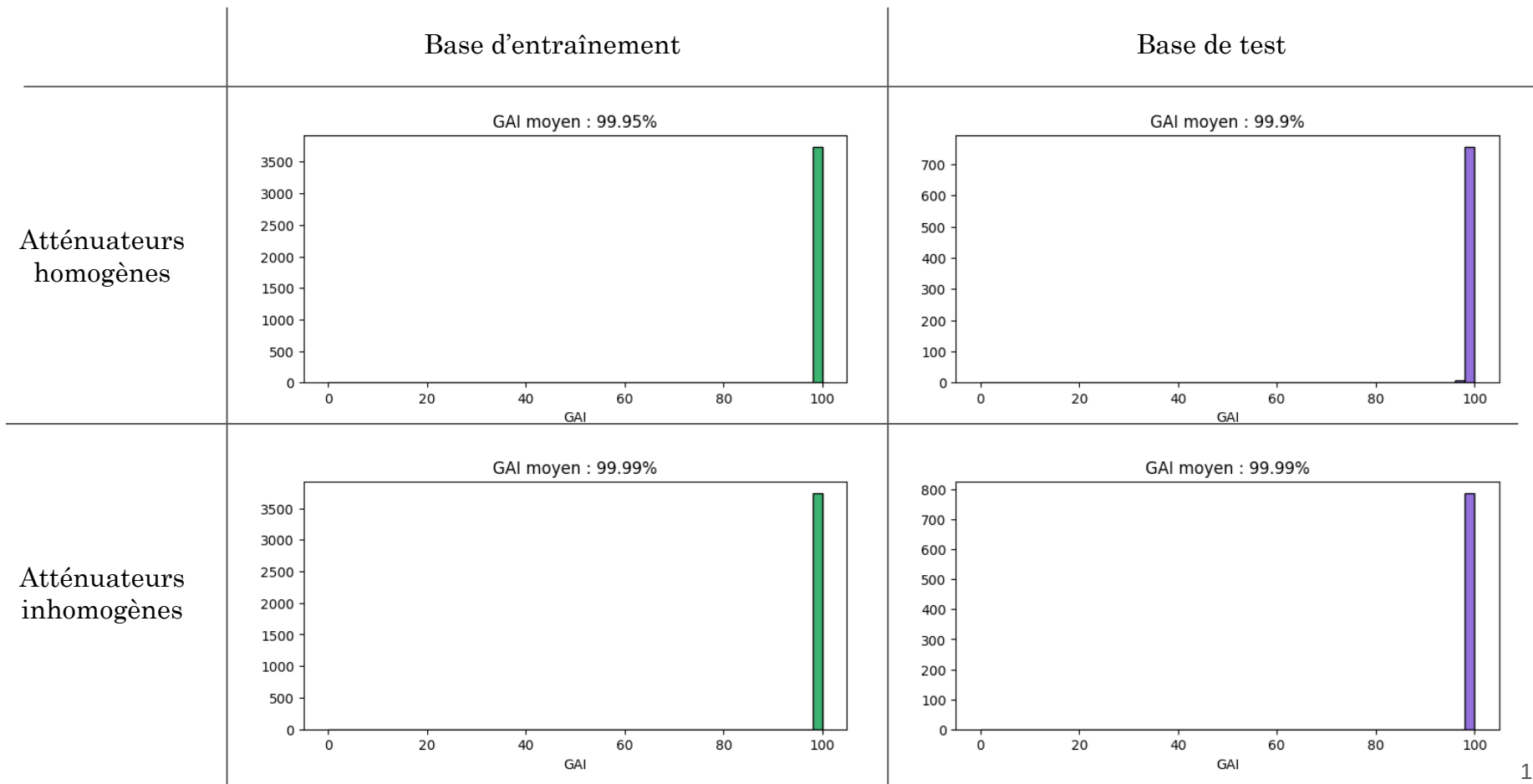
ATD_{PK}



ATD



Prédiction d'ASD - Évaluation par indice gamma 2D - ASD_{cGAN} vs ASD_{PK}



Résultats en prédiction d'ASD

- Résultats GAI nuancés mais noyés par la part minoritaire d'ASD dans la dose totale
- Restitution correcte des phénomènes physiques en présence

Résultats en prédiction d'ATD satisfaisants en terme de GAI

- Validation physique
- Validation clinique
- Identification des mauvais cas

Résultats optimaux à date avec la même architecture

- Entraînement simultané avec une architecture unique
- Générateur non optimisé pour la prédiction d'ASD

Merci pour votre attention !