

Utilisation de l'intelligence artificielle pour la réduction de l'empreinte temporelle sur les procédures de dosimétrie en radiothérapie interne vectorisée en utilisant le radiopharmaceutique ^{177}Lu – PSMA

Max Celio Nzatsi Nzatsi

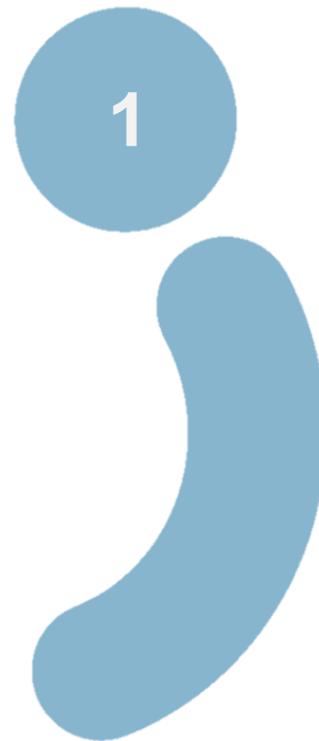
Sous la direction de :

Dr Caroline Rousseau

Sous l'encadrement de :

-Ludovic Ferrer
-Nicolas Varmenot

CONTEXTE



RIV = Radiothérapie Interne Vectorisée : Administration d'un RP (Molécule + radioélément) }

- Thérapeutique (bêta, alpha...)
- Théranostique (diagnostique + thérapie)

Pratiques actuelles

Activité injectée fixe



Exemple de protocole/traitement actuel :
 -¹⁷⁷Lu-DOTATATE : 7.4 GBq/cycle

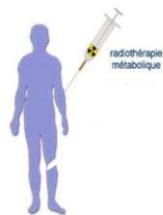
Perspective idéale : schéma thérapeutique à visée d'optimisation :

- Relation Activité injectée au patient et effets cliniques → nécessité de l'imagerie à visée dosimétrique

Imagerie : couteuse en termes de temps

Activité mesurée dans l'image:

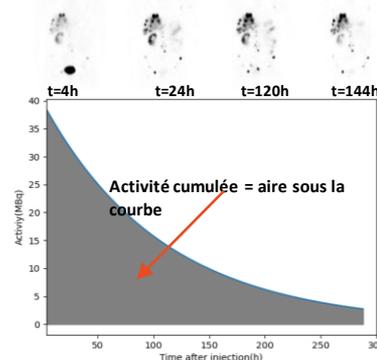
Le patient doit passer assez de temps sous la caméra



~30 min



Activité cumulée : revenir plusieurs fois

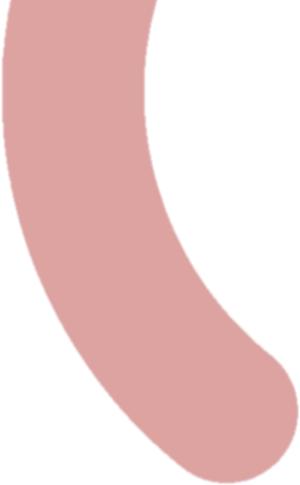


$$\text{Activité cumulée} = \int \text{Activité mesurée} \rightarrow \bar{D}(r_{\text{cible}} \leftarrow r_{\text{sources}}) = \bar{D}_{\text{cible}} = \sum_{\text{sources}} \text{Activité cumulée} \cdot S(r_{\text{cible}} \leftarrow r_{\text{sources}})$$

Objectif :

Réduction de l'empreinte temporelle lors de l'imagerie tomographique par émission monophotonique(TEMP)



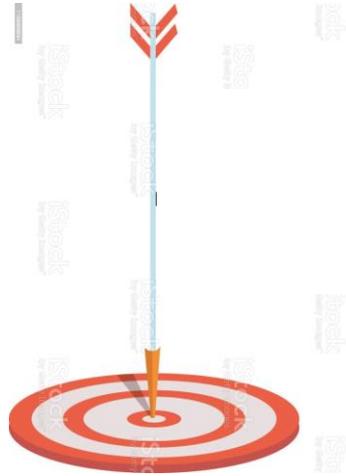


2

MATÉRIELS ET MÉTHODES

FACTEUR DE RÉDUCTION DU TEMPS D'ACQUISITION

Acquisition standard **ICO** → 60 proj. 30s 15min → 2 champs de vue 30 min

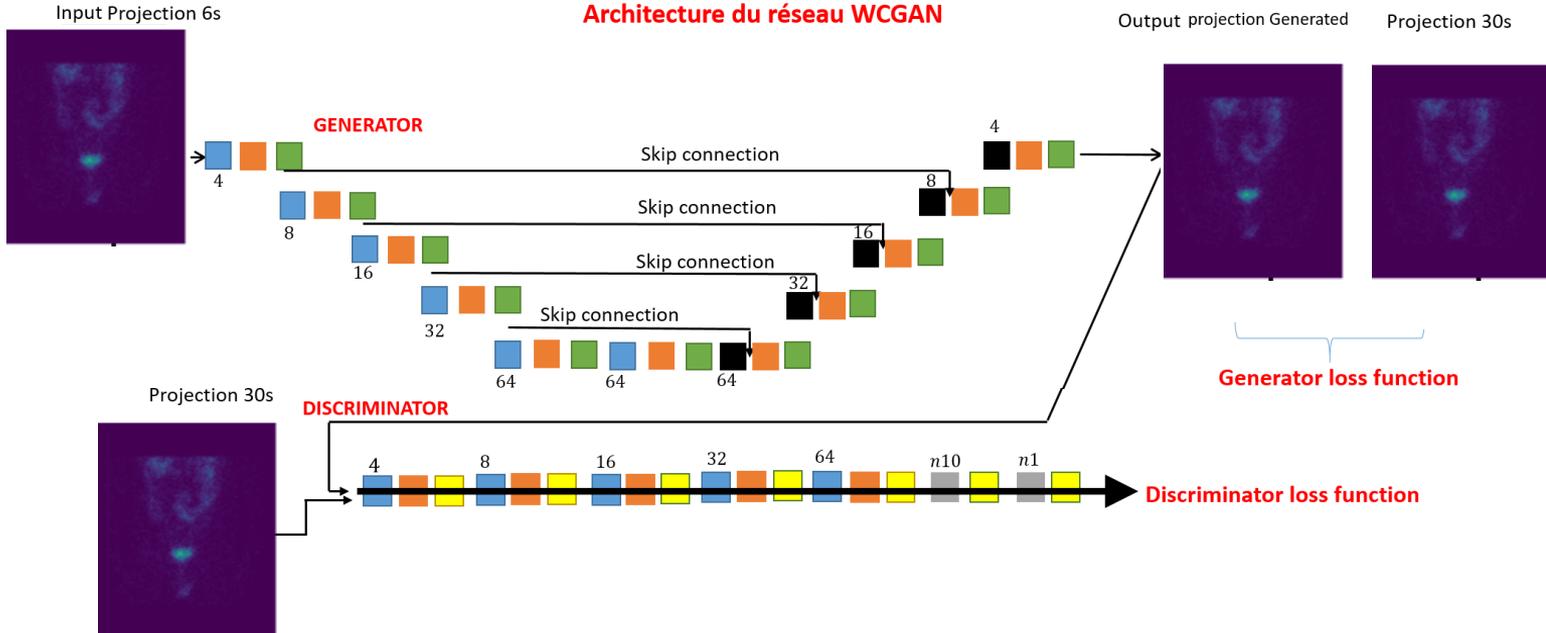


Réduction du temps par projection d'un facteur 5 : 6 s

60 proj. 6s 3 min → 2 champs de vue 6 min

RÉSEAU DE NEURONES WCGAN

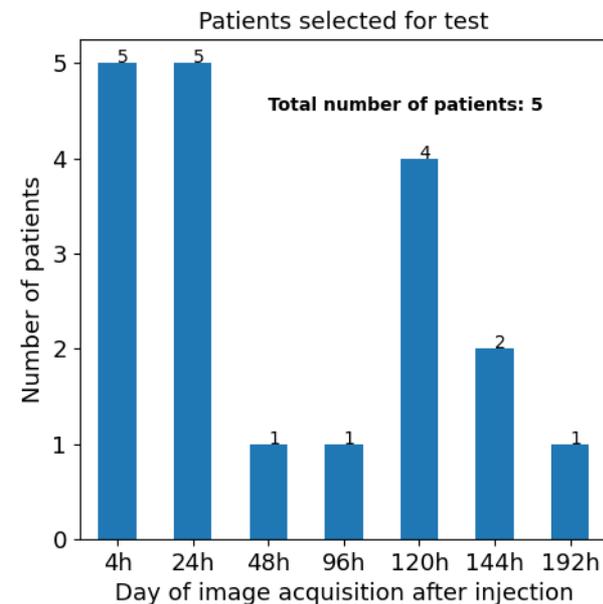
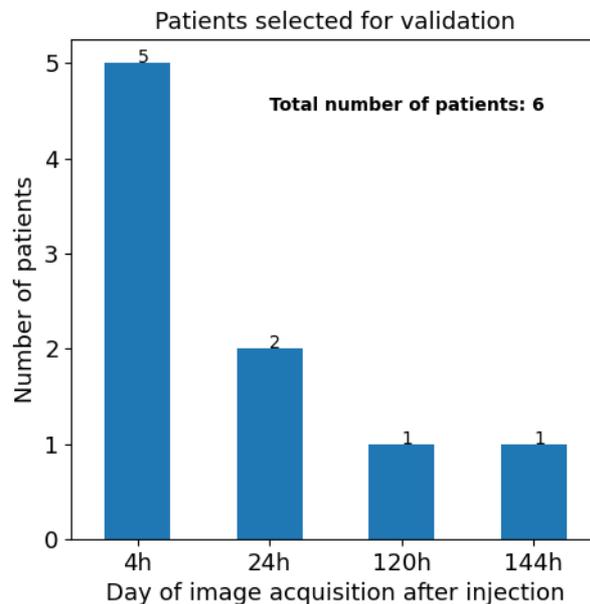
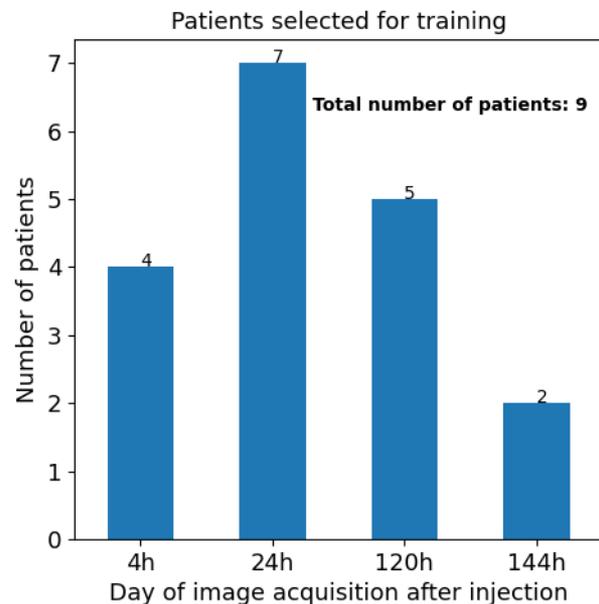
deux structures



- sizes of kernel, conv and deconv = (3, 3)
- Sizes of tride and padding = (1, 1)

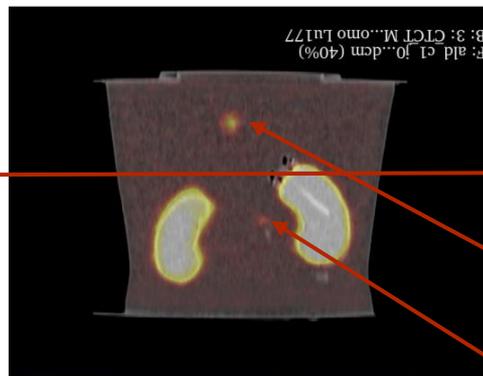
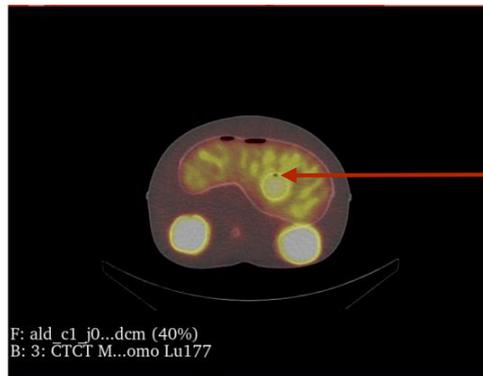
Legende: BatchNorme2D Conv2D ReLU ConvTranspose2D Full connected layer Leaky ReLU

BASE DE DONNÉES : 20 PATIENTS

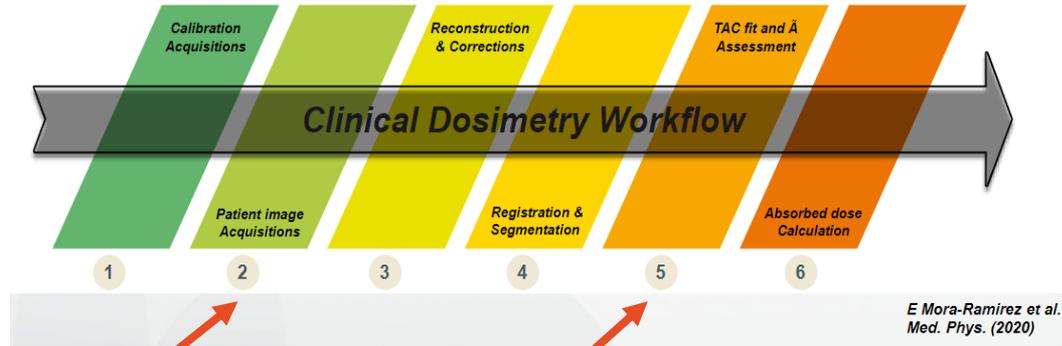


OBJET TEST LIQUIPHIL

organes	activité volumique (MBq/ml)	contraste organes/fond
kidneys	1,02	24
liver	0,25	5,9
sphere_1ml	0,69	16,4
sphere_8ml	0,69	2,76
sphere_22ml	0,69	16,4
fond	0,042	



WORKFLOW DOSIMÉTRIE RIV



Imagerie : couteuse en termes de temps

Comparaison quantitative:

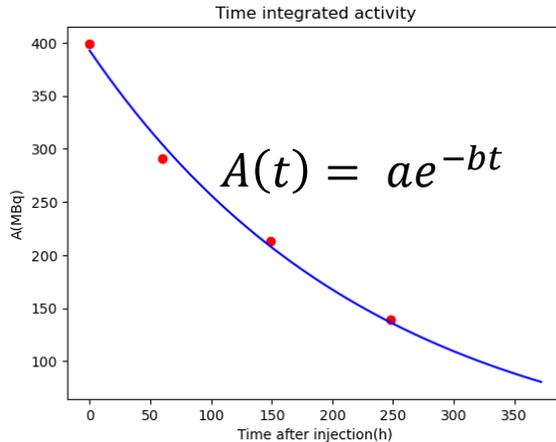
- les images WGAN vs acquisitions standards
- les images 6 s vs acquisitions standards

$$\bar{D}(r_{cible} \leftarrow r_{sources}) = \bar{D}_{cible} = \sum_{sources} \text{Activité cumulée} \cdot S(r_{cible} \leftarrow r_{sources})$$

RECONSTRUCTION ET QUANTIFICATION

- Reconstruction **OSEM** : 8 itérations 4 sous-ensembles (Xeleris 3.14)
- Segmentation et recalage : 3Dslicer
- Evaluation de l'**activité cumulée** au sein des tumeurs et des organes(Reins, foie et glandes salivaires)

Objet test



Fit monoexpo



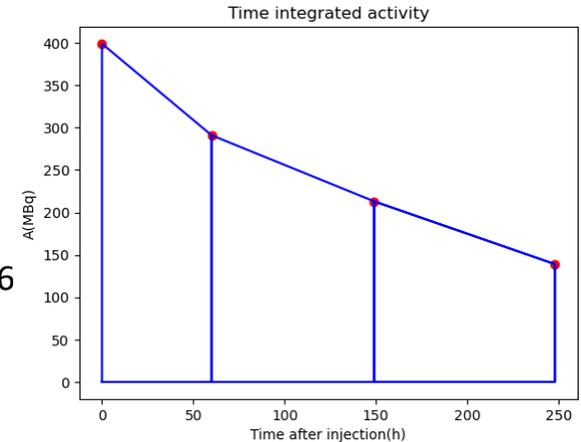
Intégrale 0-> inf.

trapèze

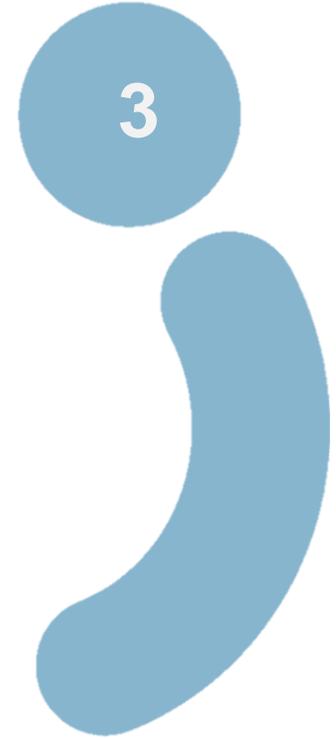


Intégrale J0-> J6

Patients

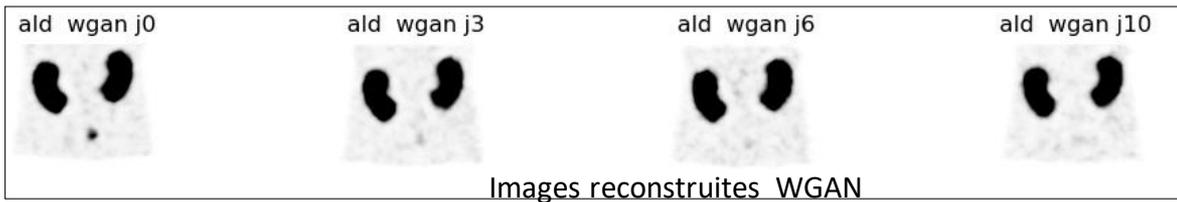
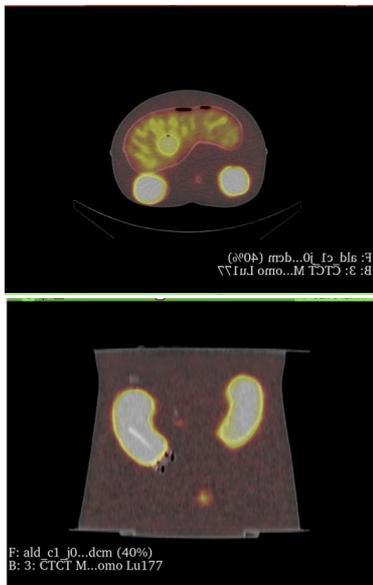


RÉSULTATS



COMPARAISON VISUELLE

OBJET TEST



PATIENTS : ASPECT VISUEL DES PROJECTIONS

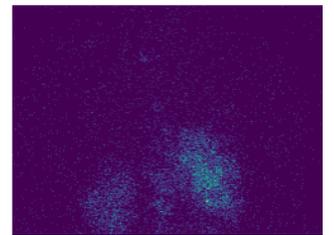
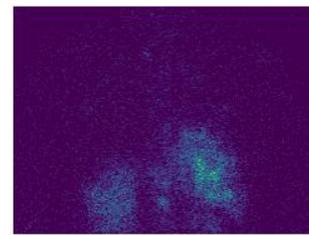
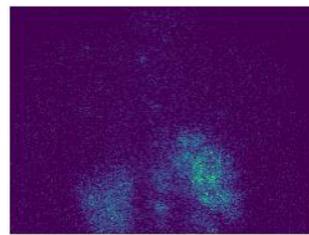
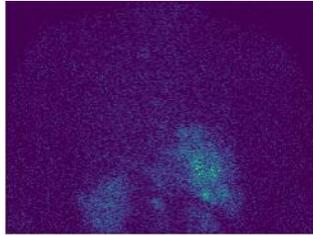
j_0

j_1

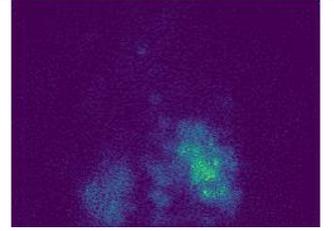
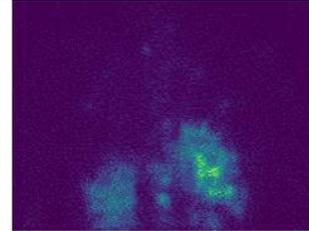
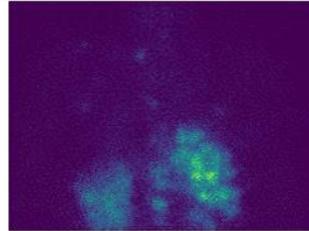
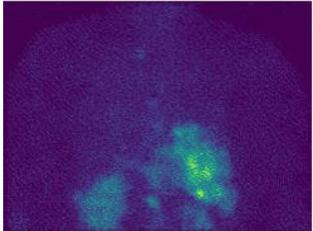
j_2

j_5

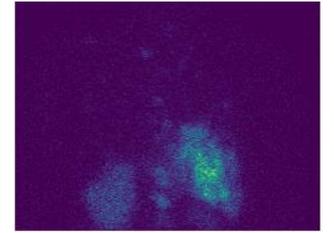
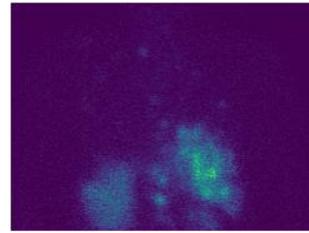
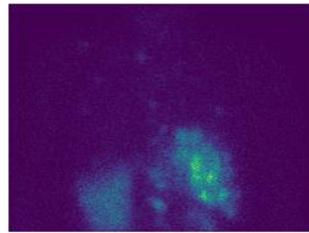
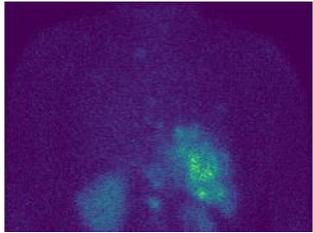
Entrée du réseau :
Projection 6s



Projections WGAN:



Projection 30s:



ASPECT VISUEL DES IMAGES RECONSTRUITES

- Reconstruction **OSEM** :
 - 8 itérations 4 sous-ensembles
 - Corrections :
 - Atténuation
 - Diffusion
 - Résolution spatiale

Image 6s

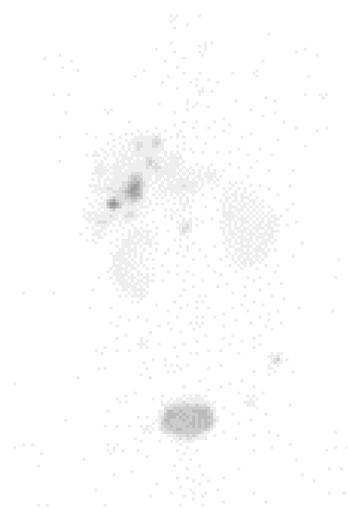


Image wgan

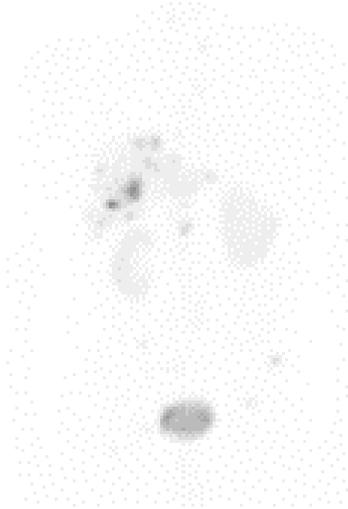
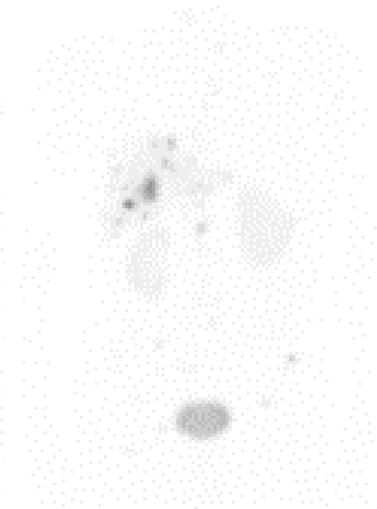


Image 30s



COMPARAISON QUANTITATIVE SUR OBJET TEST

ACTIVITÉS VOLUMIQUES DANS LES SPHÈRES

$$\text{Activité (MBq)} = a_0 e^{-b_0 t} \implies \text{Activité volumique (MBq/ml)} = \frac{a_0}{v}$$

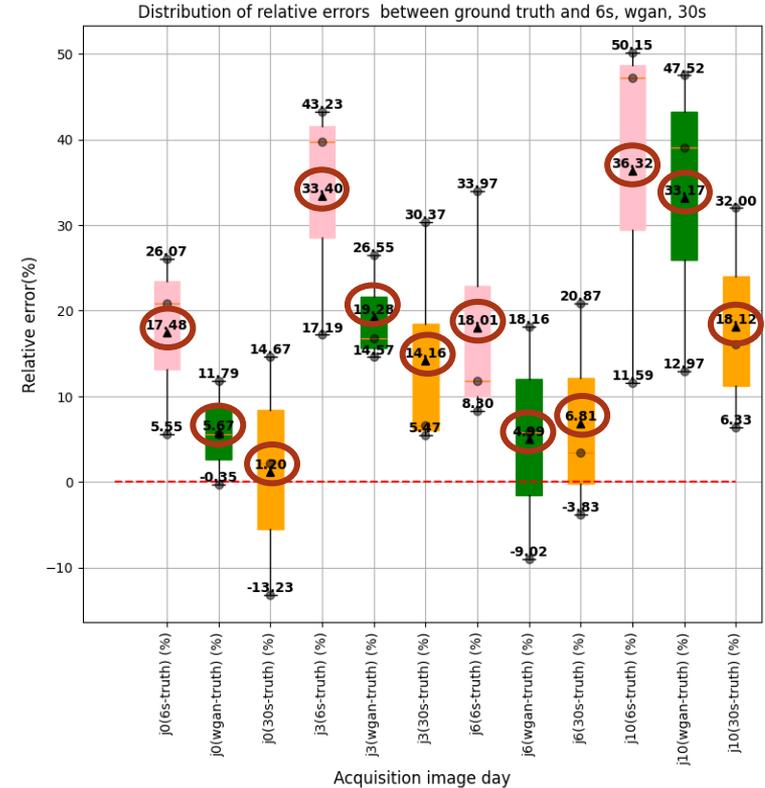
Avec a_0 et b_0 les paramètres des fit 30s, wgan, 6 s et v le volume de l'organe

Test statistique de Kolmogorov-Smirnov sur les activités volumiques:

-30s-6s
-30s - wgan .

-pvalue > 0.05 (seuil de signification)

day	pvalue 30s-6s	pvalue 30s-wgan
j0	0,6	1
j3	0,6	0,6
j6	0,6	1
j10	0,6	0,6



ACTIVITÉS VOLUMIQUES DANS LES REINS

Test statistique de Kolmogorov-Smirnov sur les activités volumiques:

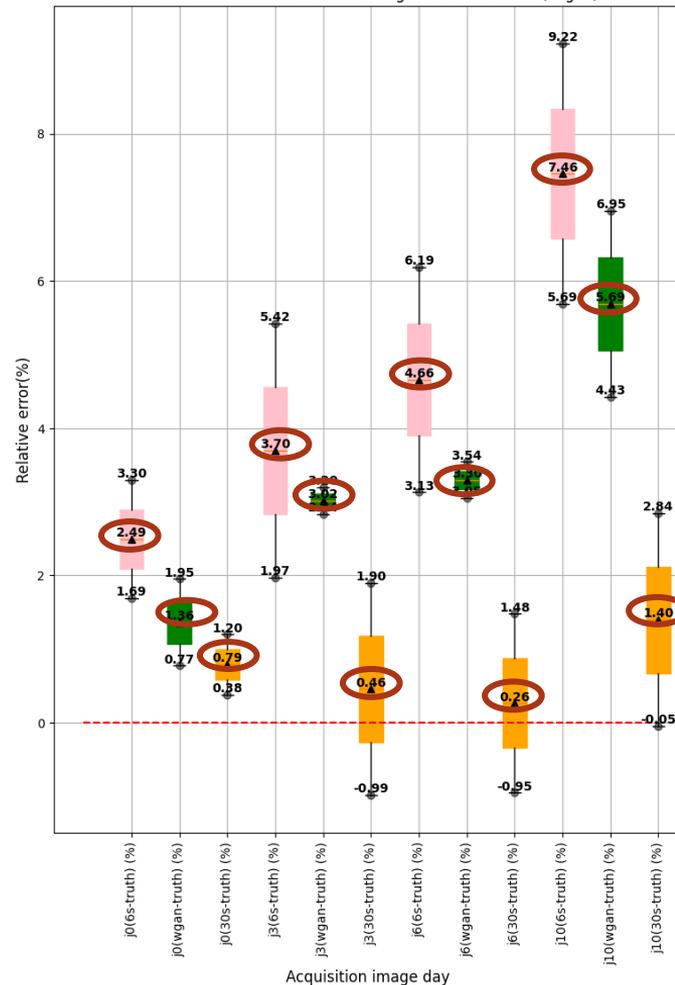
- 30s-6s
- 30s - wgan

-pvalue > 0.05 (seuil de signification)

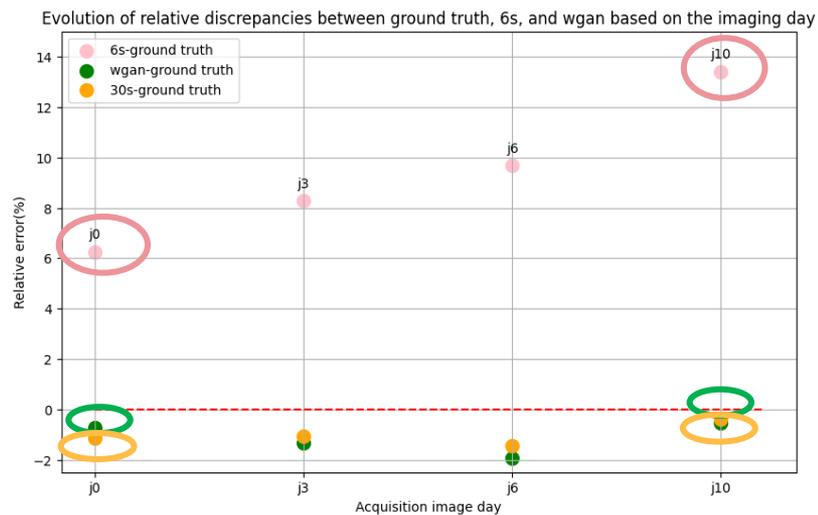
day	pvalue 30s-6s	pvalue 30s-wgan
j0	0,33	1
j3	0,33	0,33
j6	0,33	0,33
j10	0,33	0,33

Test statistique en activités volumiques évaluées dans les 2 reins entre les images 30s et 6s, entre les images 30s et wgan.

Distribution of relative errors between ground truth and 6s, wgan, 30s



ACTIVITÉS VOLUMIQUES DANS LE FOIE

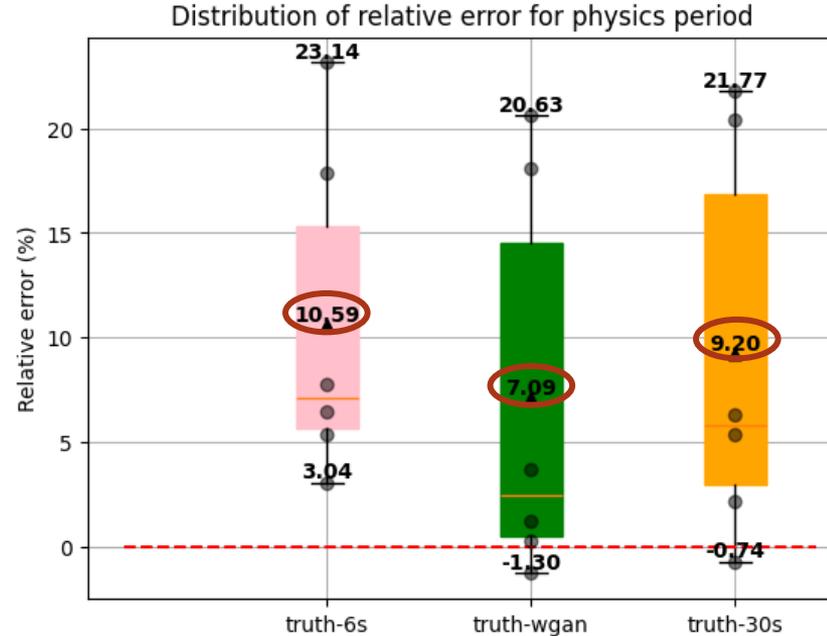


Relative error	6s (%)	wgan (%)	30s (%)
Max	13,42	1,94	1,44
Min	6,25	0,53	0,38

PÉRIODES PHYSIQUES

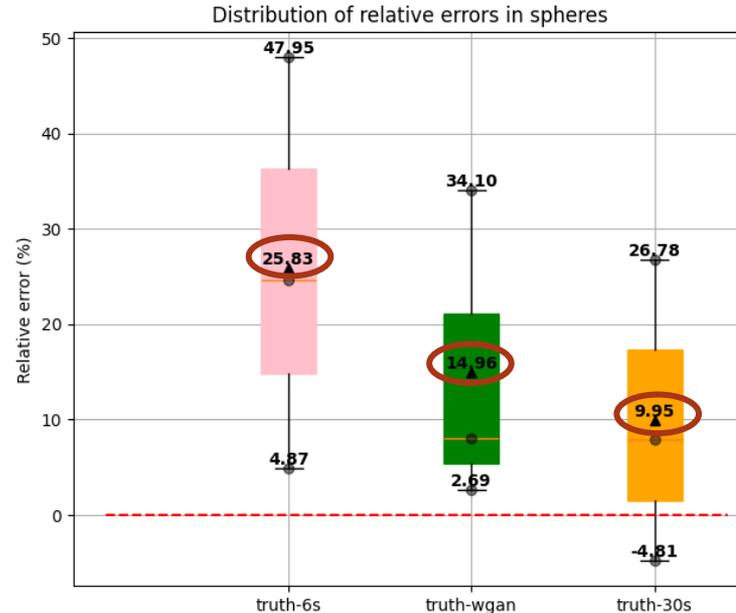
Truth: période physique du ^{177}Lu (6,647j): j → jour

Organs	6s (j)	wgan (j)	30s(j)	truth-6s (%)	truth-wgan (%)	truth-30s (%)
Sphere_1ml	5,46	5,28	5,29	17,84	20,63	20,41
Sphere_8ml	5,11	5,44	5,2	23,14	18,1	21,77
Sphere_20ml	6,13	6,4	6,23	7,75	3,65	6,27
Liver	6,22	6,63	6,7	6,44	0,24	-0,74
Right kidney	6,29	6,57	6,29	5,34	1,2	5,33
Left kidney	6,44	6,73	6,5	3,04	-1,3	2,17



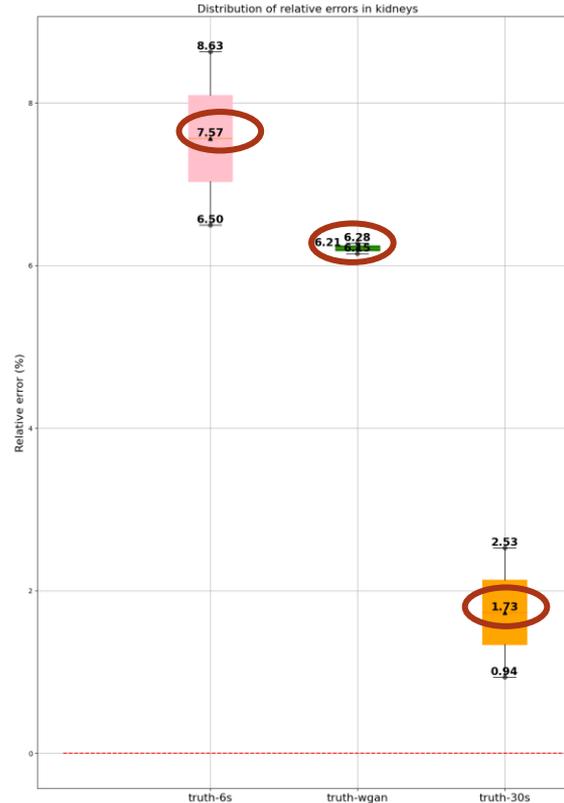
ACTIVITÉS CUMULÉES DANS LES SPHÈRES

organes	Ground truth (MBq.h)	6s (MBq.h)	wgan (MBq.h)	30s (MBq.h)	error truth-6s (%)	error truth-wgan (%)	error truth-30s (%)
sphere_1ml	164,32	85,54	108,28	120,32	47,95	34,1	26,78
sphere_8ml	1278,03	962,93	1174,71	1177,22	24,66	8,08	7,89
sphere_20ml	3183,67	3028,68	3097,88	3336,67	4,87	2,69	-4,81



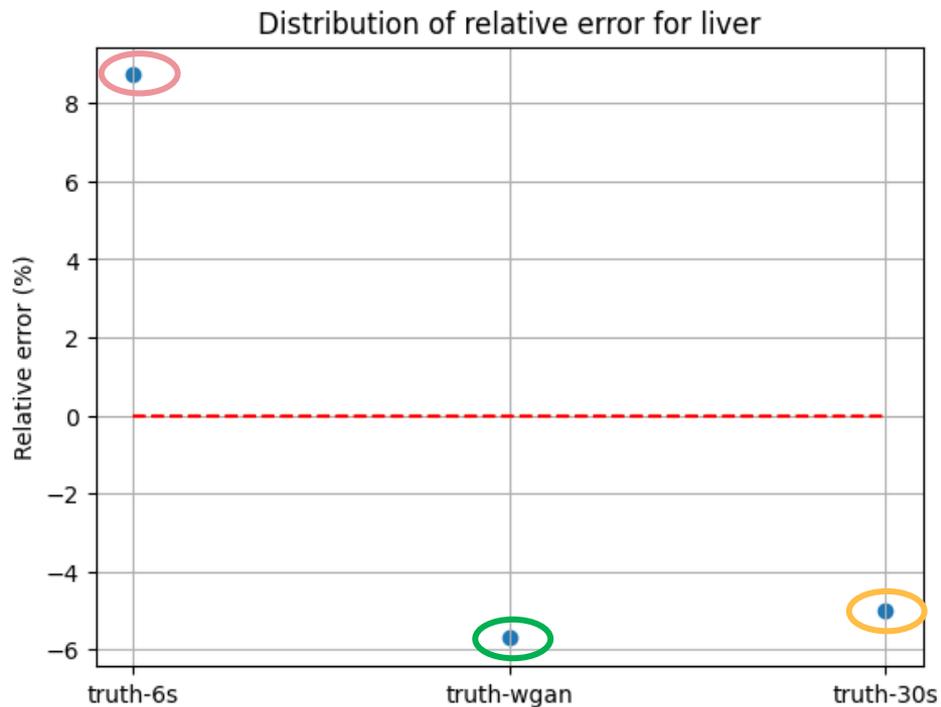
ACTIVITÉS CUMULÉES DANS LES REINS

organes	Ground truth (MBq.h)	6s (MBq.h)	wgan (MBq.h)	30s (MBq.h)	error truth-6s (%)	error truth-wgan (%)	error truth-30s (%)
right kidney	40930,08	37399,28	38360,41	39894,31	2,53	6,28	8,63
left kidney	40930,08	38269,65	38414,67	40543,86	0,94	6,15	6,5



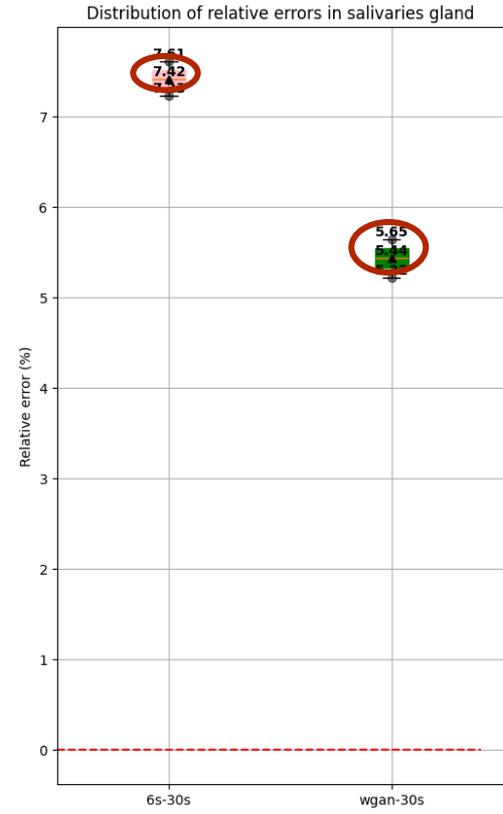
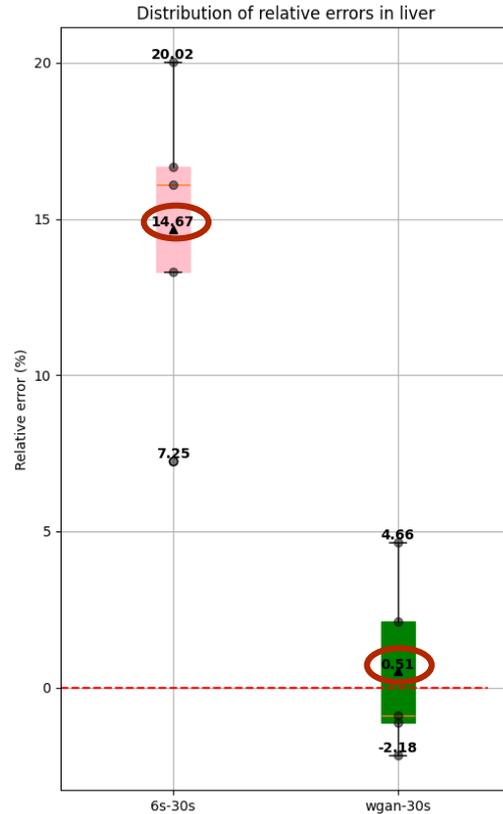
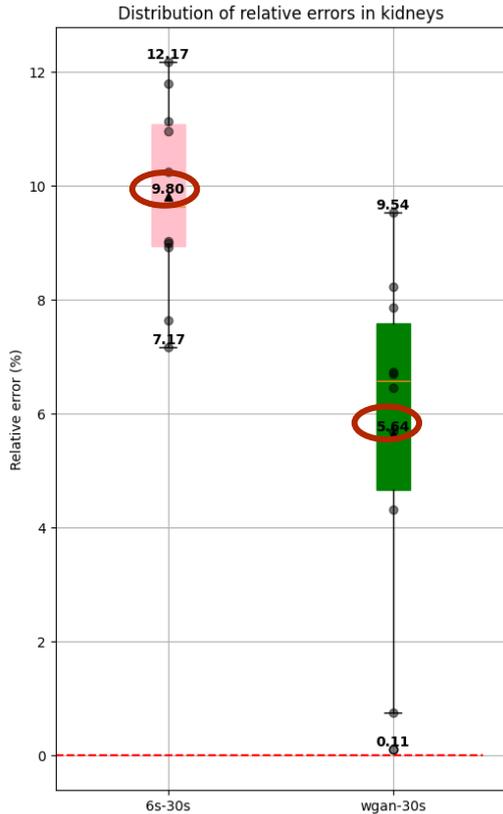
ACTIVITÉS CUMULÉES DANS LE FOIE

organes	Ground truth (MBq.h)	6s (MBq.h)	wgan (MBq.h)	30s (MBq.h)	écart injected-6s (%)	écart injected-wgan (%)	écart injected-30s (%)
liver	87179,96	79581,39	92161,4	91540,43	8,72	-5,71	-5,00



COMPARAISON QUANTITATIVE SUR LES 5 PATIENTS TEST

QUANTIFICATION SUR LES REINS, LE FOIE ET LES GLANDES SALIVAIRES

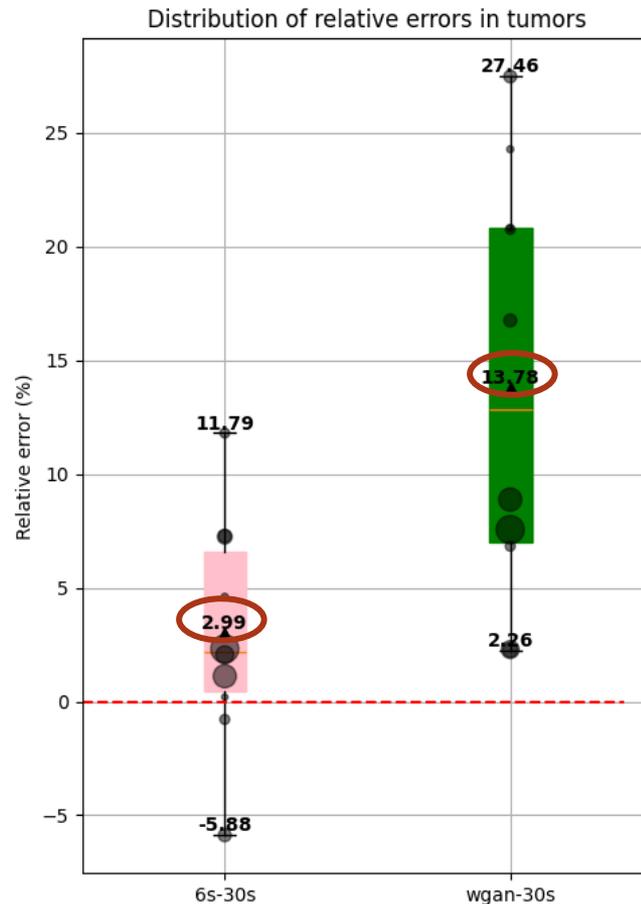


QUANTIFICATION SUR LES LÉSIONS

10 lésions:

- 4 lésions hépatiques
- 2 lésions osseuses
- 2 lésions pulmonaires
- 1 lésion du ganglion lymphatique
- 1 lésion rénale

lésions	volume(ml)
lésion 1	22,12
lésion 2	14,92
lésion 3	8,98
lésion 4	6,14
lésion 5	4,62
lésion 6	4,53
lésion 7	2,72
lésion 8	2,61
lésion 9	1,34
lésion 10	1,12



CONCLUSION

4

LA RÉDUCTION DU TEMPS D'ACQUISITION EN IMAGERIE TEMP

Réduction de l'empreinte temporelle :

- Réduction du **temps par projection** de **30 s à 6 s** → temps d'acquisition de **30 min à 6 min**

	Métriques par rapport à l'image de référence : 60 projections de 30 s	réduction du temps par projection
Organes à risque	Ecart relatif moyen (%)	4,11
	valeurs extrêmes en écarts relatifs (%)	-2% à 9%
Tumeurs	Ecart relatif moyen (%)	13,78
	valeurs extrêmes en écarts relatifs (%)	2% à 27%

- Ouverture à des applications cliniques permettant des acquisitions plus rapides réduisant ainsi l'inconfort du patient avec des écarts quantitatifs max de **9% (OARs)**
- Cependant, il est important de noter que des défis subsistent pour les tumeurs, où l'erreur relative atteint **27%**.
 - Cette différence significative peut être attribuée à des incertitudes liées :
 - A la segmentation pour des tumeurs très petites
 - Aux mouvements morphologiques des tumeurs

MER C I