Le TEP à l'ère du numérique et de l'Intelligence Artificielle

Jordane BARBIAUX – Cadre Supérieur de Santé
SCM Hermeugoz – GIE Humanitep

Nos services de médecine nucléaire

Site des Bois Blancs – SCM Hermeugoz

Le plateau technique de médecine nucléaire est complet et comprend

- **Scintigraphie:**
  - 1 Gamma caméra hybride **GE**
  - 1 Gamma caméra **CZT grand champ GE**
  - 1 Gamma caméra **CZT dédiée cœur GE**
- **Tomographie par émission de positons (TEP-TDM) :**
  - 1 TEP-TDM **Siemens Trinion 24**
- **Installations complémentaires :**
  - 2 chambres de Radiopharmacie In Vivo (RIV)

FACULTÉ DE MÉDECINE & MAÏEUTIQUE

IRIS imagerie radiologique interventionnelle et scintigraphique

GROUPEMENT DES HÔPITAUX DE L'INSTITUT CATHOLIQUE DE LILLE SAINT PHILIBERT

AFTMN
Association Française
des Techniciens en Médecine Nucléaire

Nos services de médecine nucléaire

Site de l'hôpital Saint Philibert – GIE Humanitep

Ce site dispose également d'un plateau technique performant avec

- **Scintigraphie :**
  - 1 Gamma caméra **Siemens Intevo Bold**
  - 1 Gamma caméra **CZT dédiée cœur GE**
- **Tomographie par émission de positons (TEP-TDM) :**
  - 1 TEP-TDM **Siemens Vision X**
- **Traitements spécialisés :**
  - Traitement ambulatoire au **Lutétium-177**
  - **Radio-embolisation** des tumeurs hépatiques à l'**Yttrium-90**

FACULTÉ DE MÉDECINE & MAÏEUTIQUE

IRIS imagerie radiologique interventionnelle et scintigraphique

GROUPEMENT DES HÔPITAUX DE L'INSTITUT CATHOLIQUE DE LILLE SAINT PHILIBERT

AFTMN
Association Française
des Techniciens en Médecine Nucléaire

SOMMAIRE

Rappels physiques sur le TEP-TDM et outils de quantification

Le TEP numérique

L'intelligence artificielle en TEP-TDM

Apports et limites

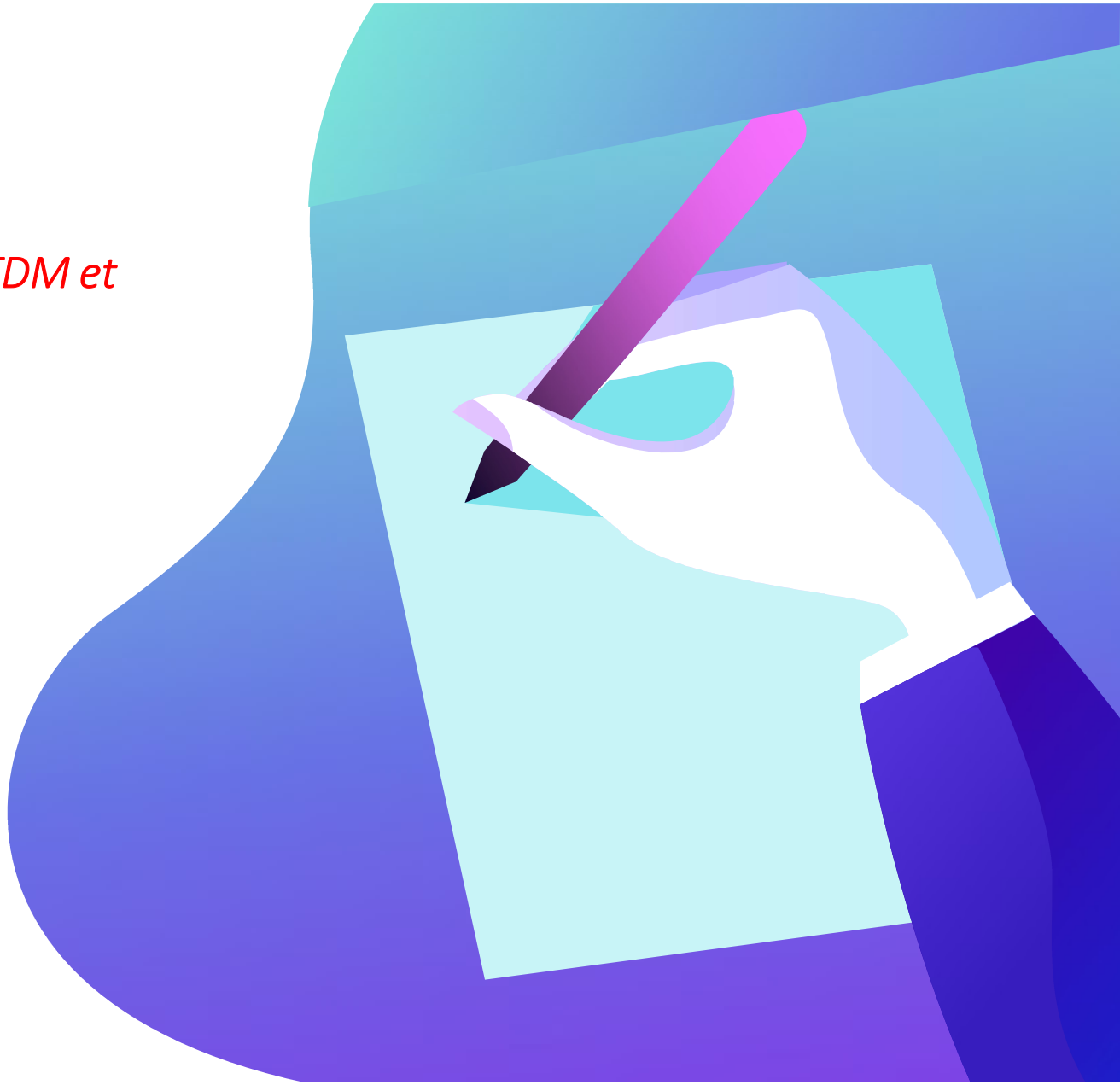
SOMMAIRE

Rappels physiques sur le TEP-TDM et outils de quantification

Le TEP numérique

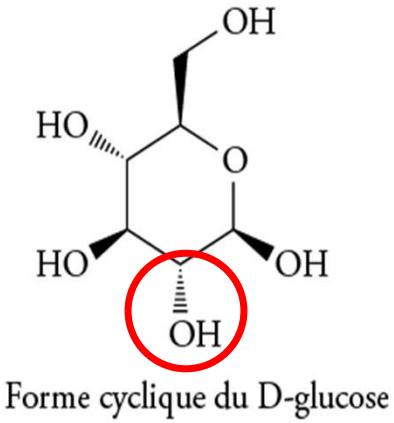
L'intelligence artificielle en TEP-TDM

Apports et limites

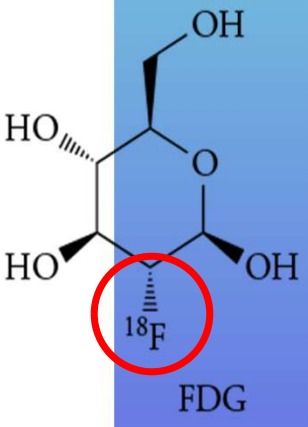


Rappels Physiques

Le ^{18}F-FDG : Fluorodésoxyglucose



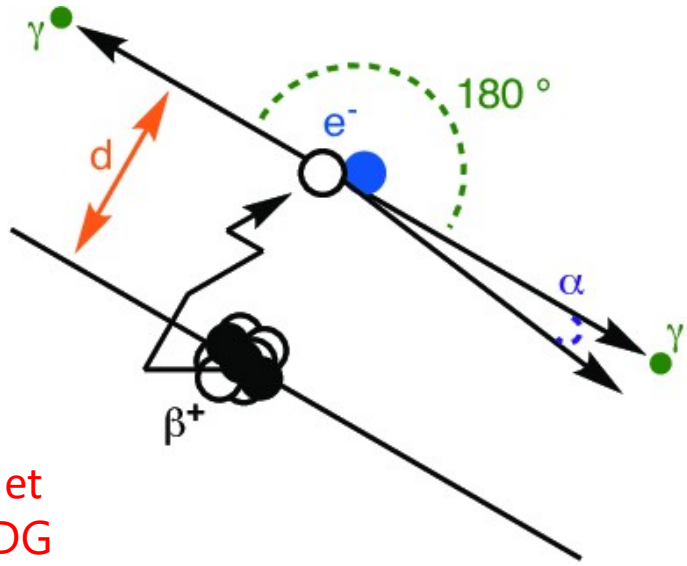
Forme cyclique du D-glucose



FDG

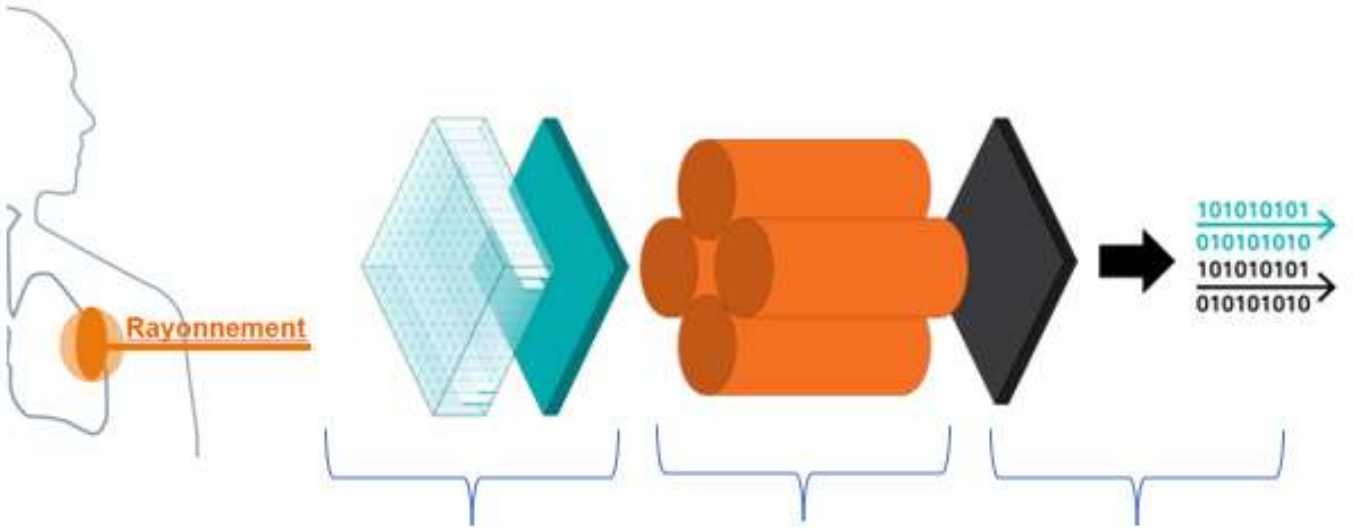
Injection du traceur

Fixation physiologiques et pathologiques du ^{18}F-FDG



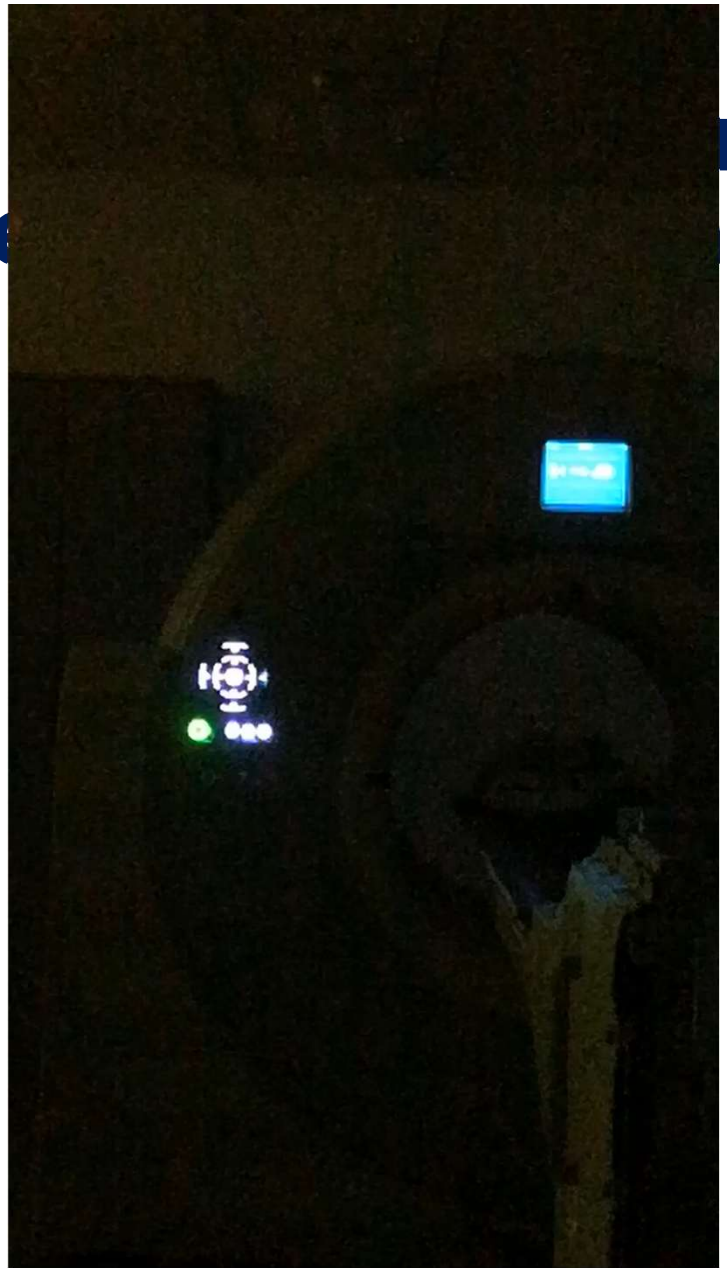
γ = 511 keV
α ~ 0.5 ° pour ^{18}F
d = quelques mm

Rappels Physiques

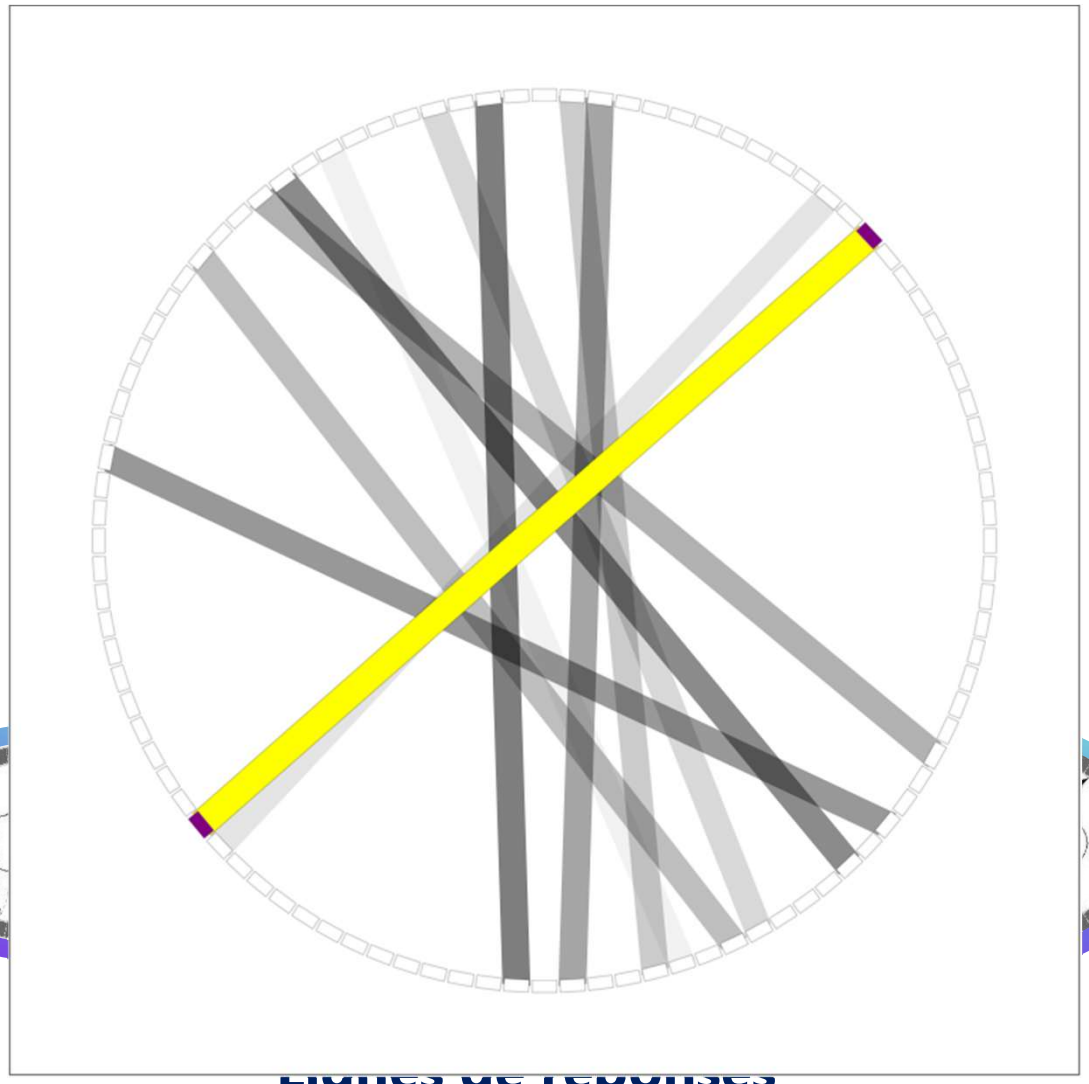


Cristal de 4x4 mm	Photomultiplicateurs	Photosenseurs
Conversion du rayonnement en signal lumineux	Analogiques	Conversion du signal lumineux en signal digital
	Amplifient le signal lumineux	

Les c rment le rayonne l lumineux



*Reproduit avec l’aimable autorisation de Siemens Healthineers



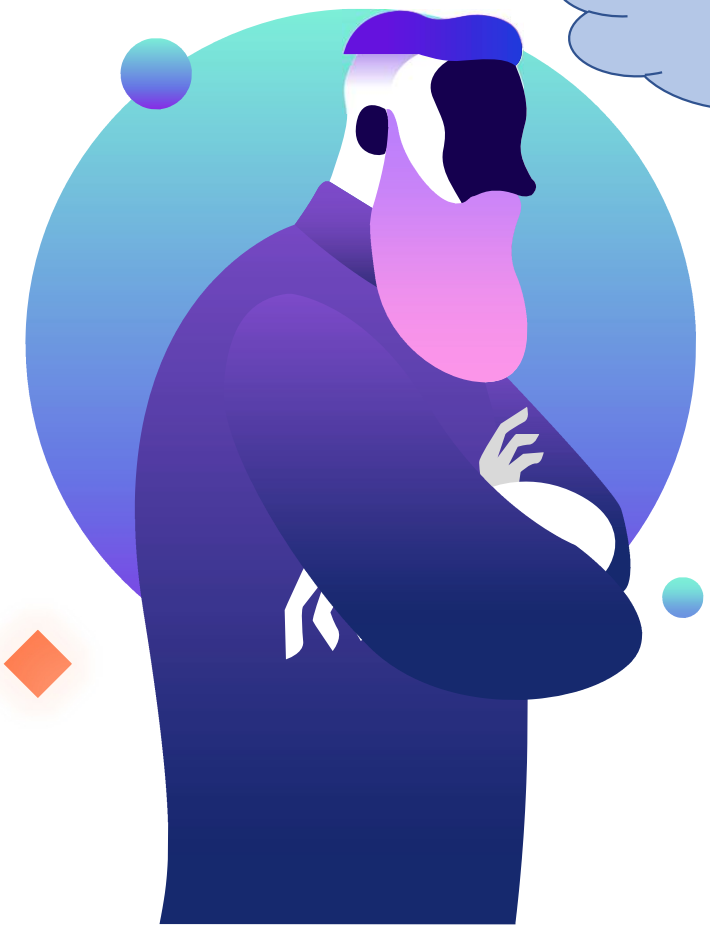
Coïncidence « fortuite »

Coïncidence « diffusée »

Lignes de réponses

*Reproduit avec l'aimable autorisation de Siemens Healthineers

Rappels Physiques



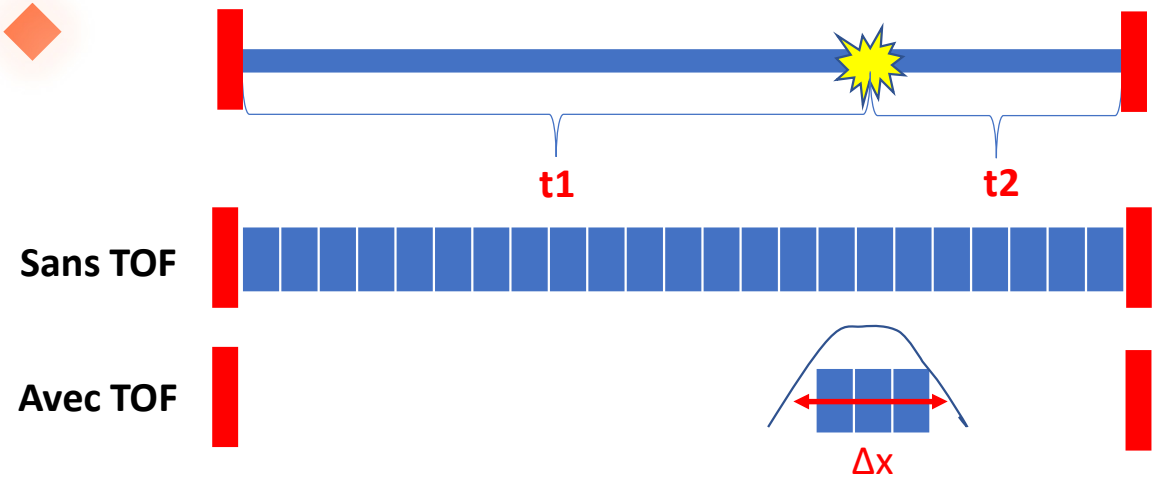
Et le TOF ?
Time Of Flight
(Temps de vol)

Résolution spatiale

$$\Delta x = \frac{\Delta t \times c}{2}$$

Mesure de la différence du temps d'arrivée des deux photons

Meilleure précision pour déterminer le lieu d'annihilation sur la LDR

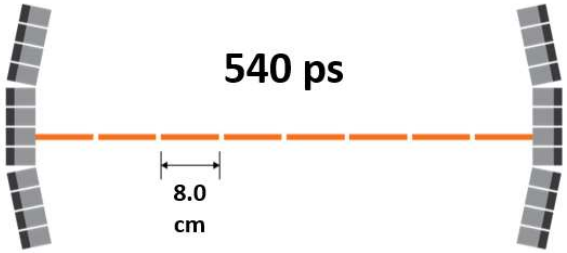


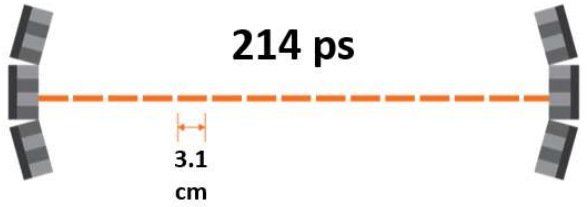
Rappels Physiques

Résolution spatiale

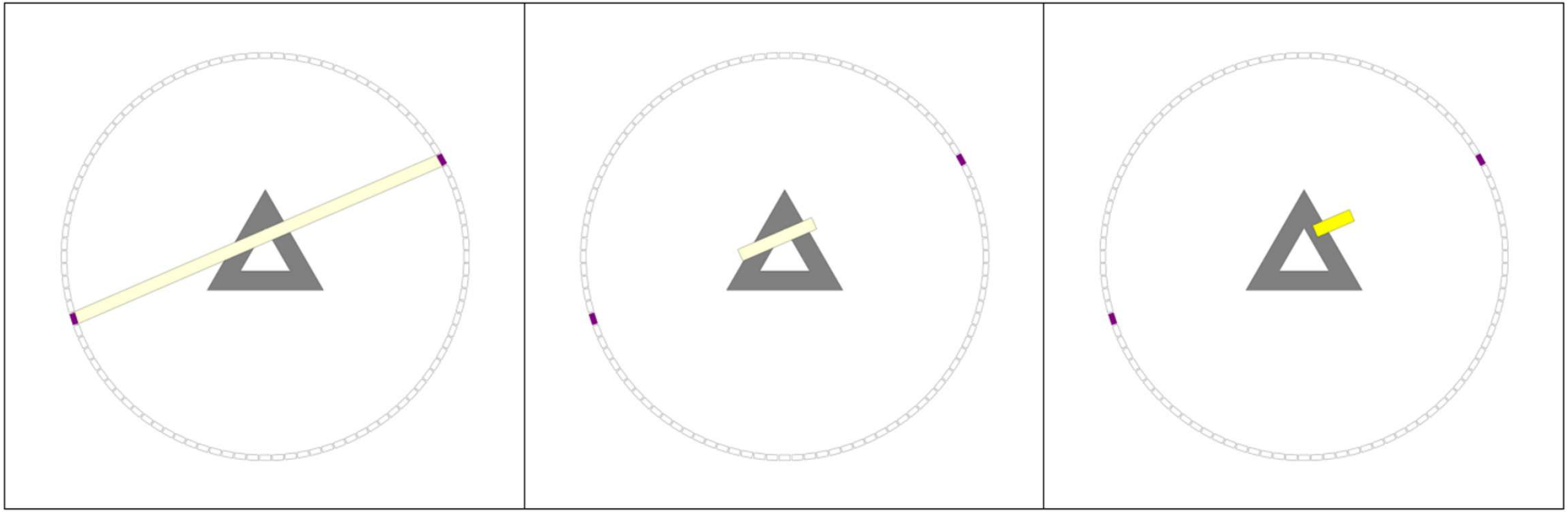
$$\Delta x = \frac{\Delta t \times c}{2}$$

*Reproduit avec l'aimable autorisation de Siemens Healthineers

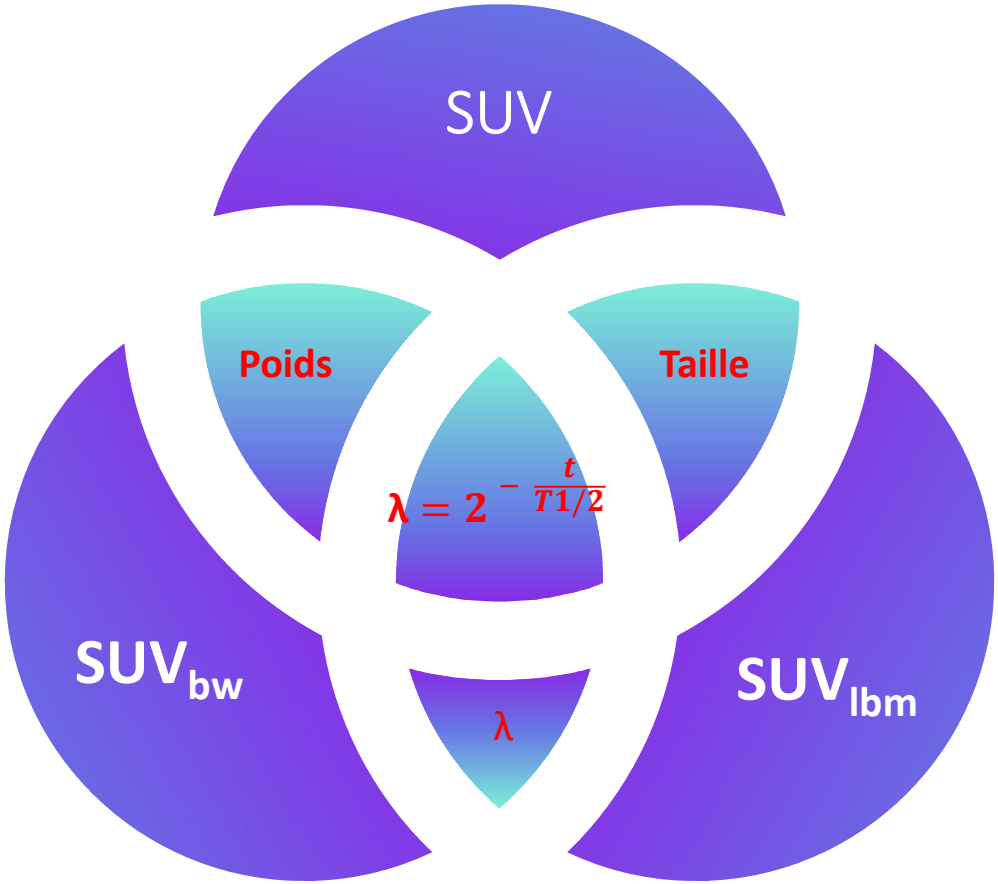




Sans TOF | **Δt = 540 ps** | **Δt = 214 ps**



Outils de quantification



Le SUV : Standard Uptake Value

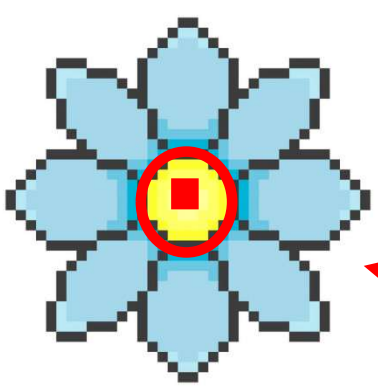
$$SUV_{bw} = \frac{Fixation\ dans\ le\ tissu\ d'intérêt\ \left(\frac{kBq}{mL}\right)}{Activité\ totale\ (kBq)\ x\ \lambda}\ \text{x poids (g)}$$

Discutable à cause de la masse graisseuse

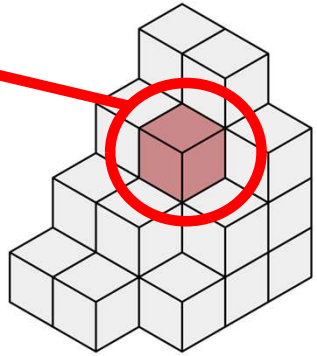
$$SUV_{lbm} = \frac{Fixation\ dans\ le\ tissu\ d'intérêt\ \left(\frac{kBq}{mL}\right)}{Activité\ totale\ (kBq)\ x\ \lambda}\ \text{x LBM (g)}$$

Avec LBM =
Hommes : 1,10 x poids – 120 x (poids/taille)²
Femmes : 1,07 x poids – 148 x (poids/taille)²

Outils de quantification

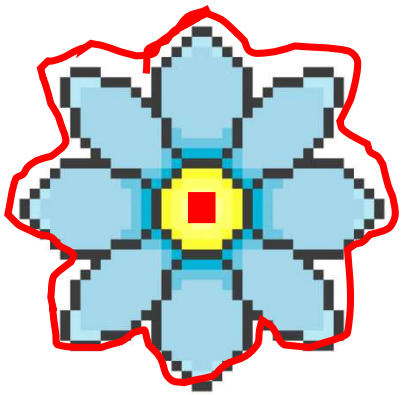


SUV_{Max}



SUV_{Peak}

Quantification sur 1 voxel



SUV_{Mean}

Quantification moyenne sur 1mL

Quantification moyenne la VOI

Les différents types de cristaux

Caractéristique	BGO	LSO
Composition	Bismuth Germanate	Lutetium Oxyorthosilicate
Densité	Élevée (7,13 g/cm³)	Très élevée (7,4 g/cm³)
Rendement lumineux	Faible à modéré	Élevé
Temps de réponse	Lent (~300 ns)	Rapide (~40 ns)
Résolution temporelle	Faible (pas adaptée au TOF*)	Excellente (idéal pour le TOF*)
Avantages	Bonne efficacité de détection	Haute sensibilité et résolution
Inconvénients	Pas de TOF, bruit plus élevé	Coût plus élevé

💡 **En résumé** : BGO est robuste et efficace pour détecter les photons gamma, mais trop lent pour les systèmes TOF. LSO est plus rapide, plus lumineux et adapté au TOF, donc largement utilisé dans les TEP modernes.

La sensibilité

🧪 **Qu’est-ce que la sensibilité effective en TEP ?**
La sensibilité effective d’un TEP correspond à sa capacité à détecter les photons issus des annihilations

🔍 **Concrètement, ça veut dire quoi ?**
Une source de 1MBq au centre du champ de vue

Si le TEP a une bonne sensibilité, il va capter beaucoup de coïncidences vraies → images plus nettes, moins de bruit.

Si la sensibilité est faible, il captera moins d’événements
Il faut injecter plus ou acquérir plus longtemps pour avoir une image correcte.

📐 **Exprimée en quoi ?**
La sensibilité effective s’exprime en cps/kBq

La sensibilité

⚙️ **Ce qui influence la sensibilité**

- ❑ **Le nombre de détecteurs** → plus il y en a, plus on capte de photons.
- ❑ **La géométrie** → TEP à champ de vue long (long FOV) = meilleure sensibilité.
- ❑ **Le type de cristal**
- ❑ **Les coïncidences acceptées** (vraies, aléatoires, diffusées).
- ❑ **La collimation électronique** → précision du système à n'accepter que les vraies coïncidences.

SOMMAIRE

Rappels physiques sur le TEP-TDM et outils de quantification

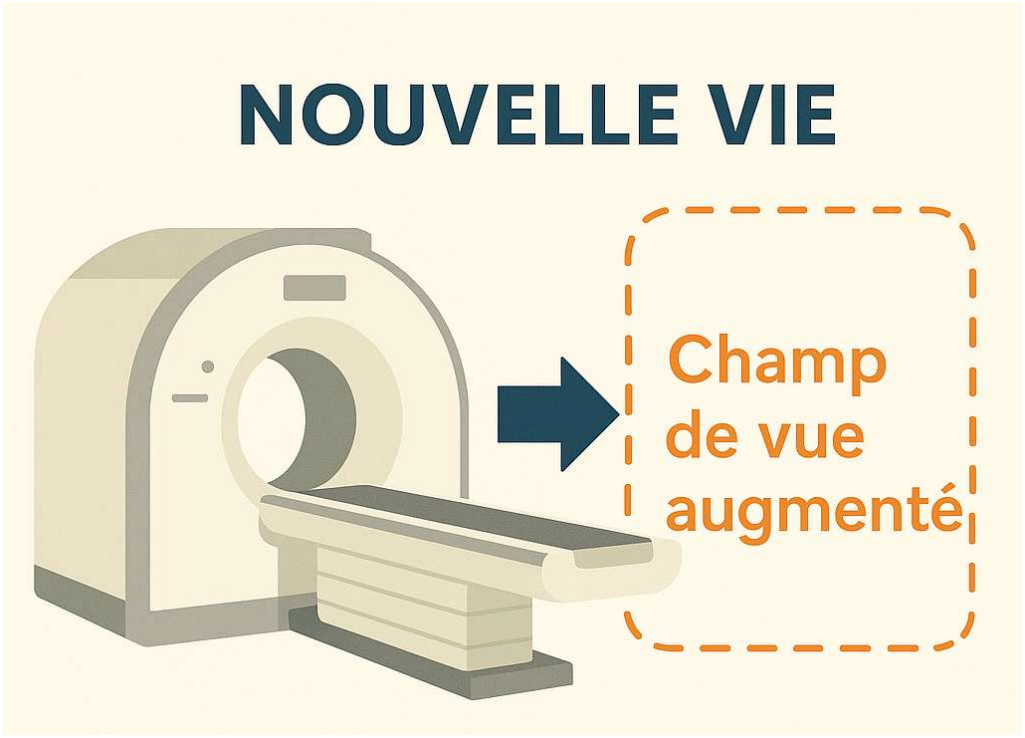
Le TEP numérique

L'intelligence artificielle en TEP-TDM

Apports et limites

Les constructeurs

Les constructeurs



GE HealthCare

Discovery MI Gen 2 — TOF

Discovery IQ Gen 2

Omni Legend

Cristaux BGO
Pas de TOF

UNITED IMAGING

uMi 550

Panvivo 30

Panorama 35

TOF
SiPM
LSO

SIEMENS Healthineers

Biograph Horizon

TOF : 565ps
LDR : 8,47cm
Sensibilité effective : 26,5cps/kBq

Vision 450 (ou 600)

TOF : 214ps
LDR : 3,21cm
Sensibilité effective : 55cps/kBq

Vision X

TOF : 178ps
LDR : 2,67cm
Sensibilité effective : 120cps/kBq

Quadra

TOF : 228ps
LDR : 3,42cm
Sensibilité effective : 1000cps/kBq

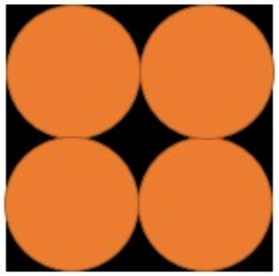
Trinion

TOF : 239ps
LDR : 3,58cm
Sensibilité effective : 73,1cps/kBq

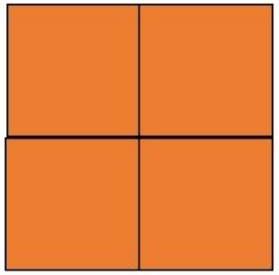
SIEMENS Healthineers

Avantages du nouveau TEP numérique

Avantages du nouveau TEP numérique



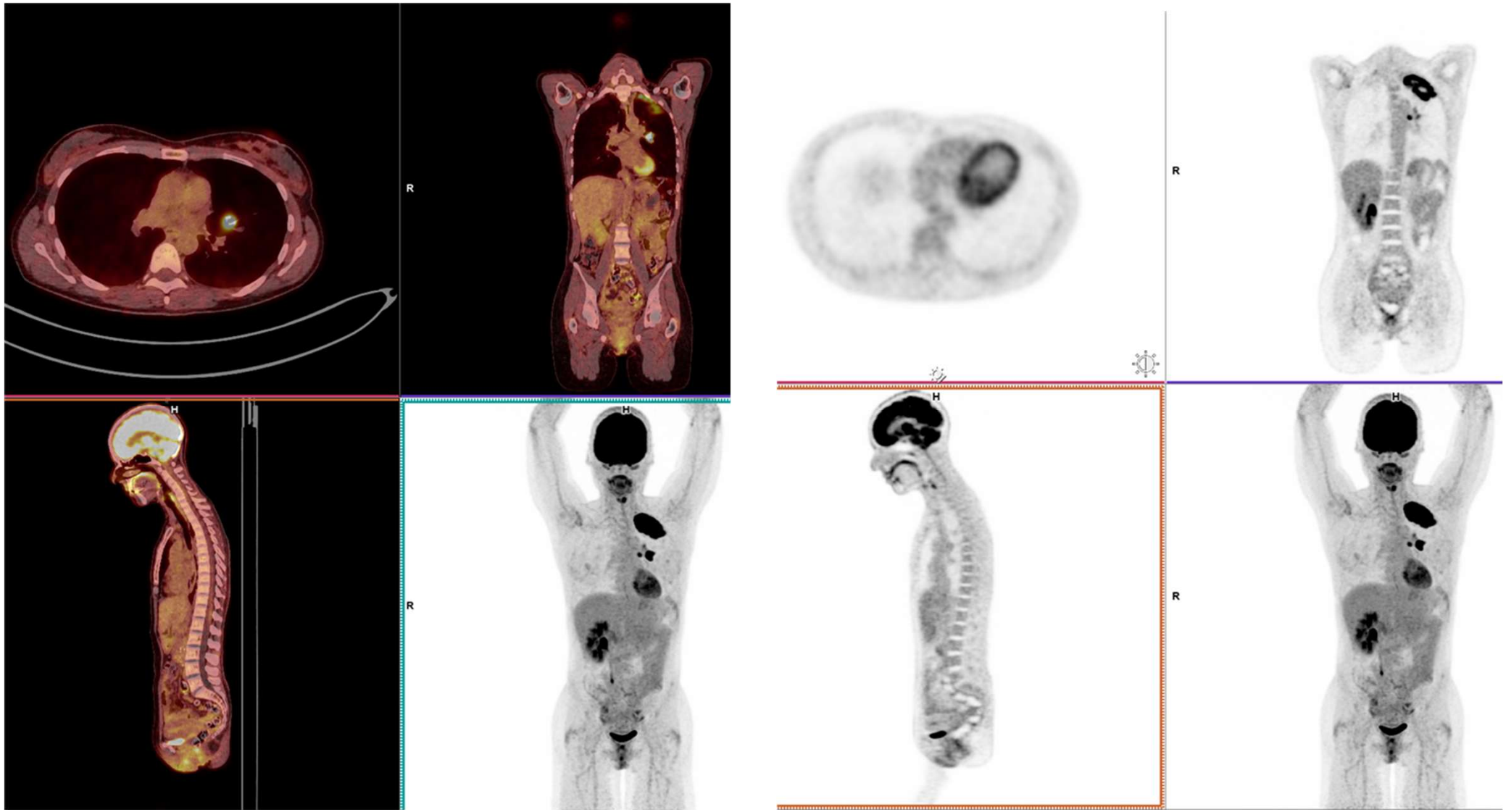
Couverture partielle du photosenseur sur l'ancien système



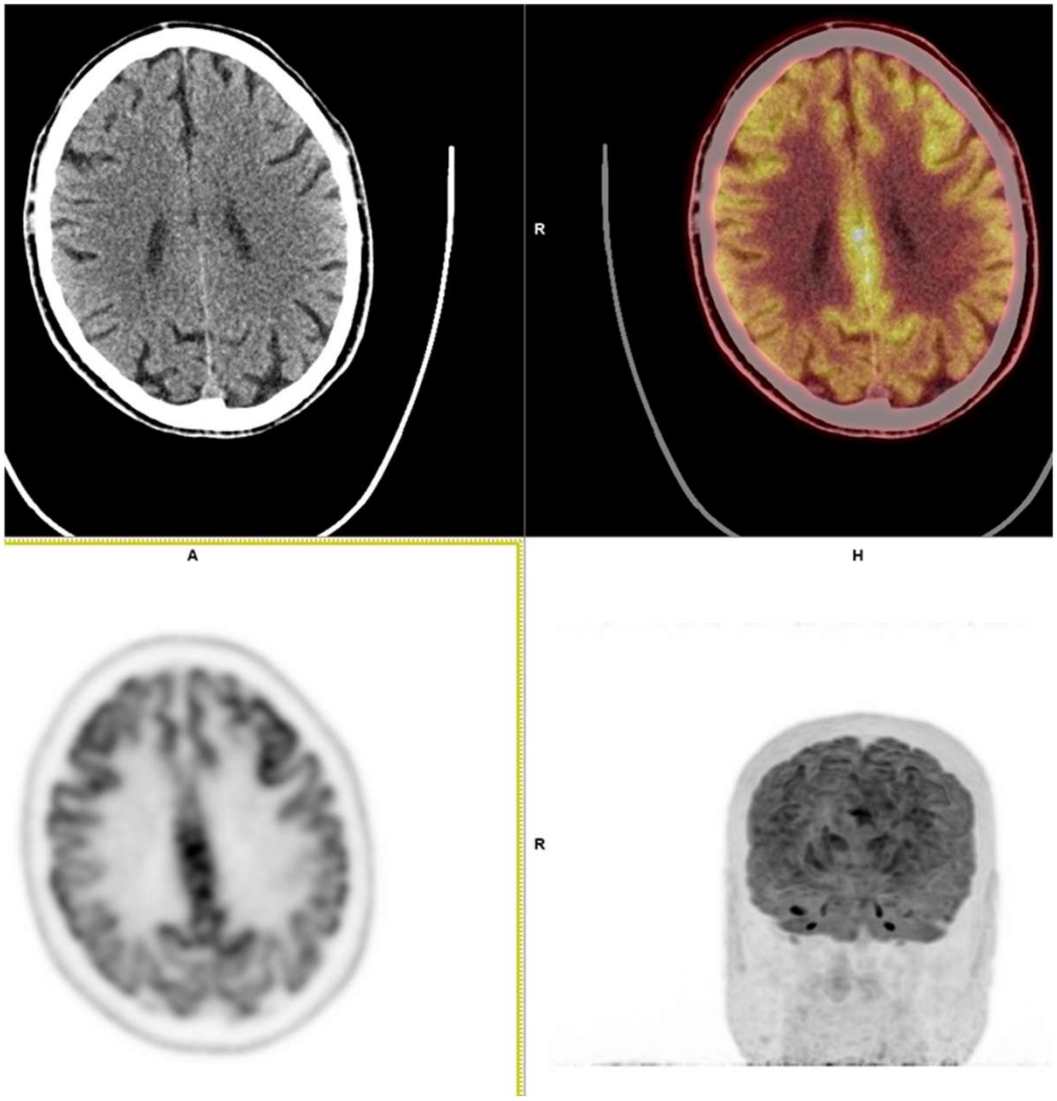
Couverture à 100% du mini bloc

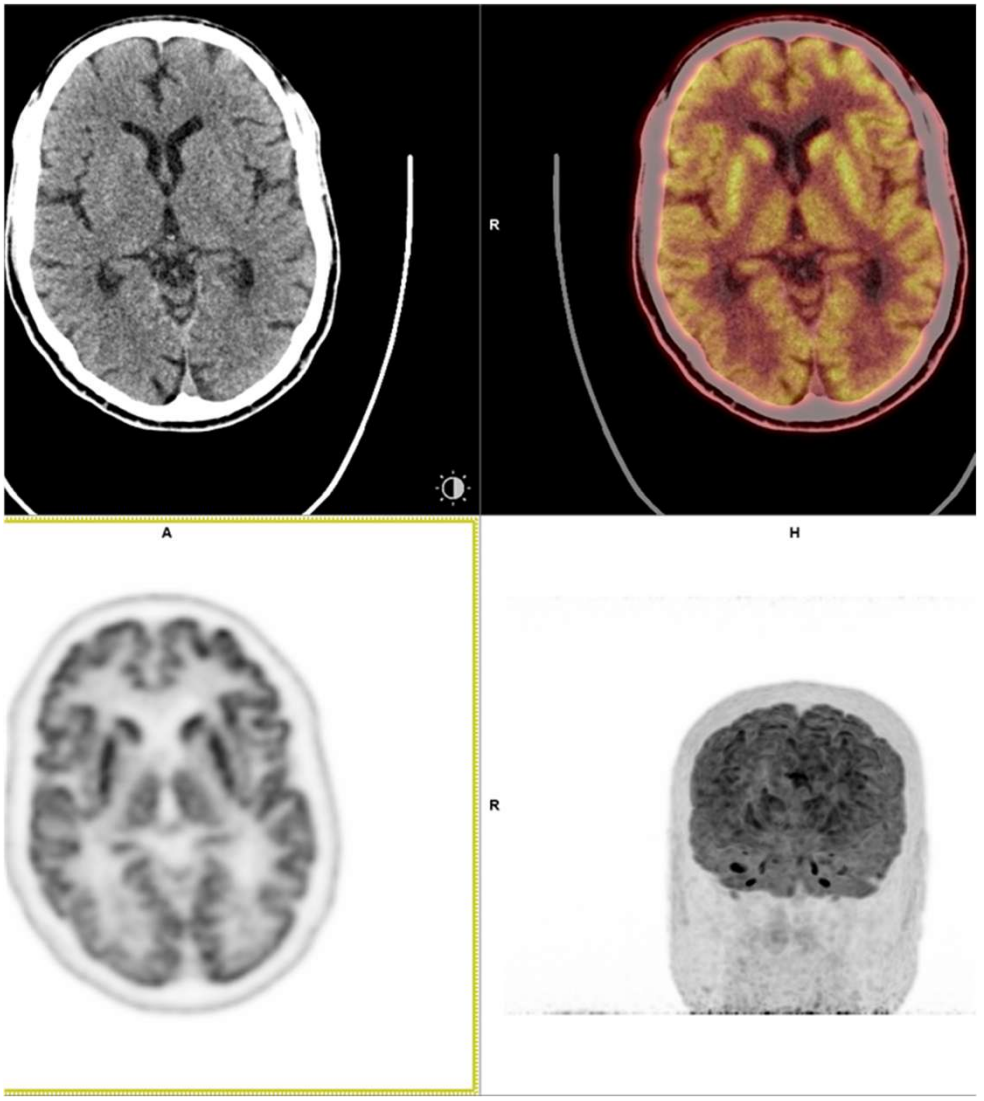
- ✓ Résolution temporelle plus courte : meilleur signal sans augmenter le bruit
- ✓ 100% des photons sont captés
- ✓ Diminution du temps d'examen : diminution du risque de flou cinétique
- ✓ Diminution de l'activité injectée : radioprotection patient et personnel
- ✓ Auto Quality Guard

Siemens Vision X

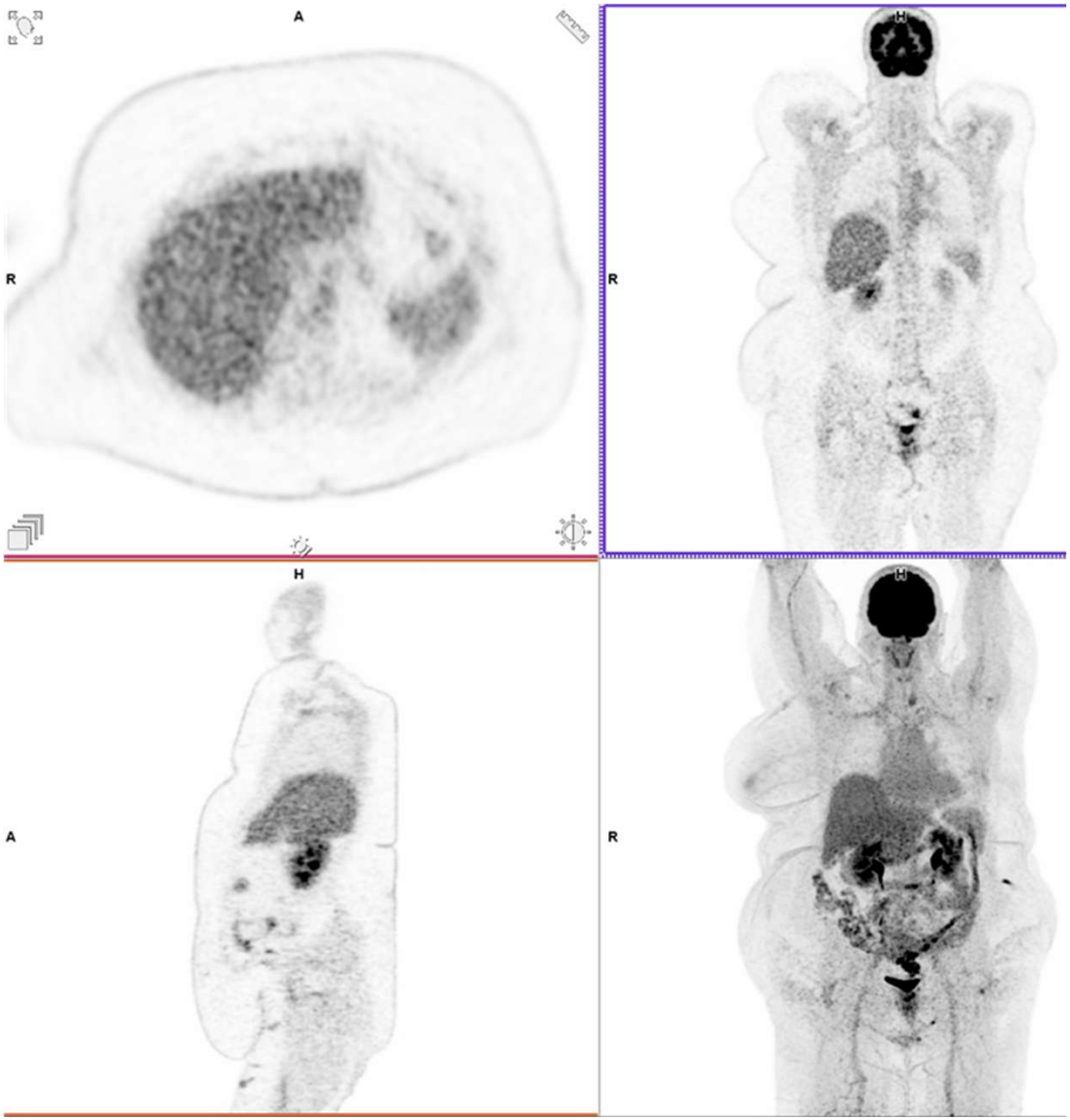


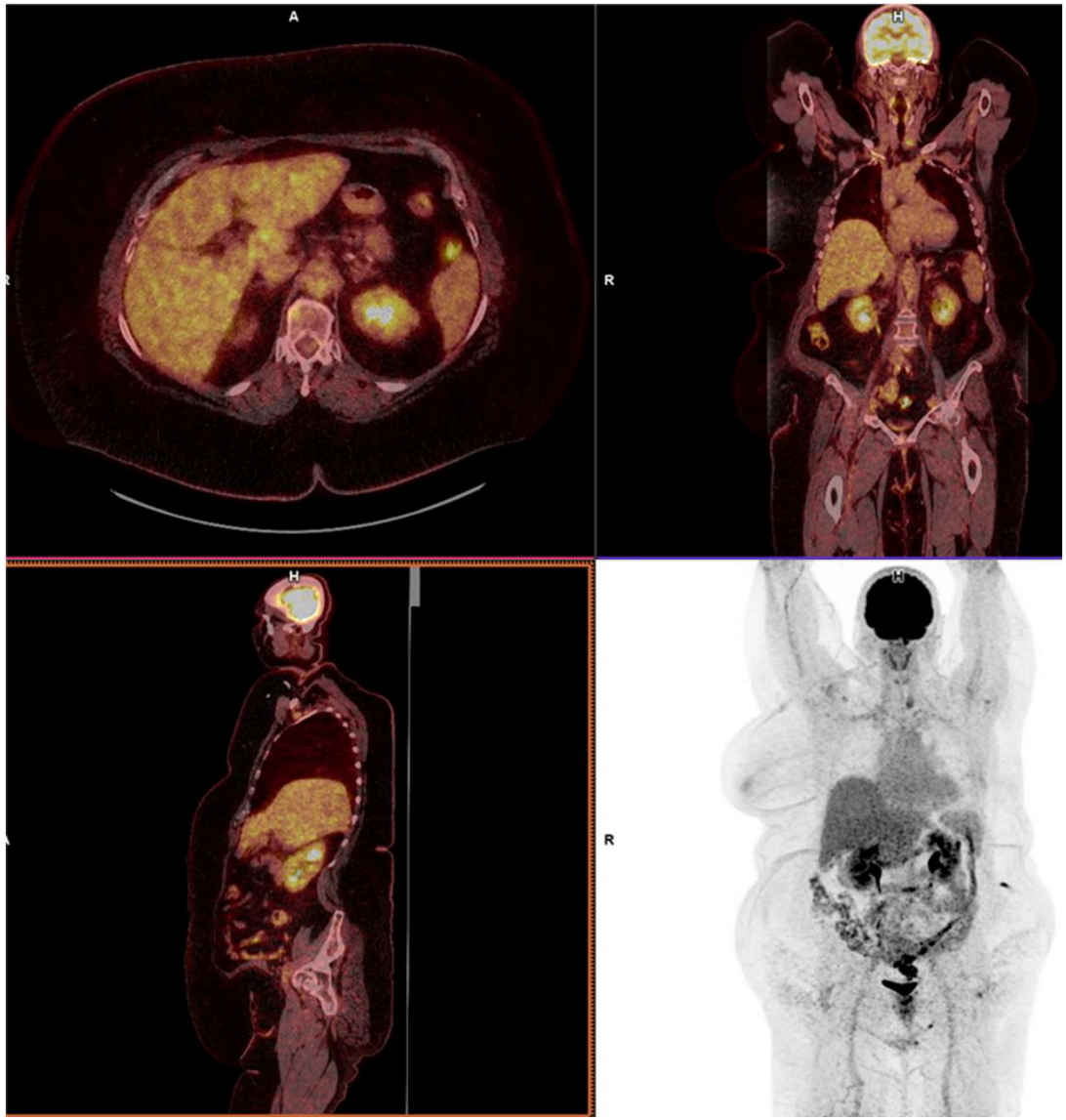
Siemens Vision X - Neurologie



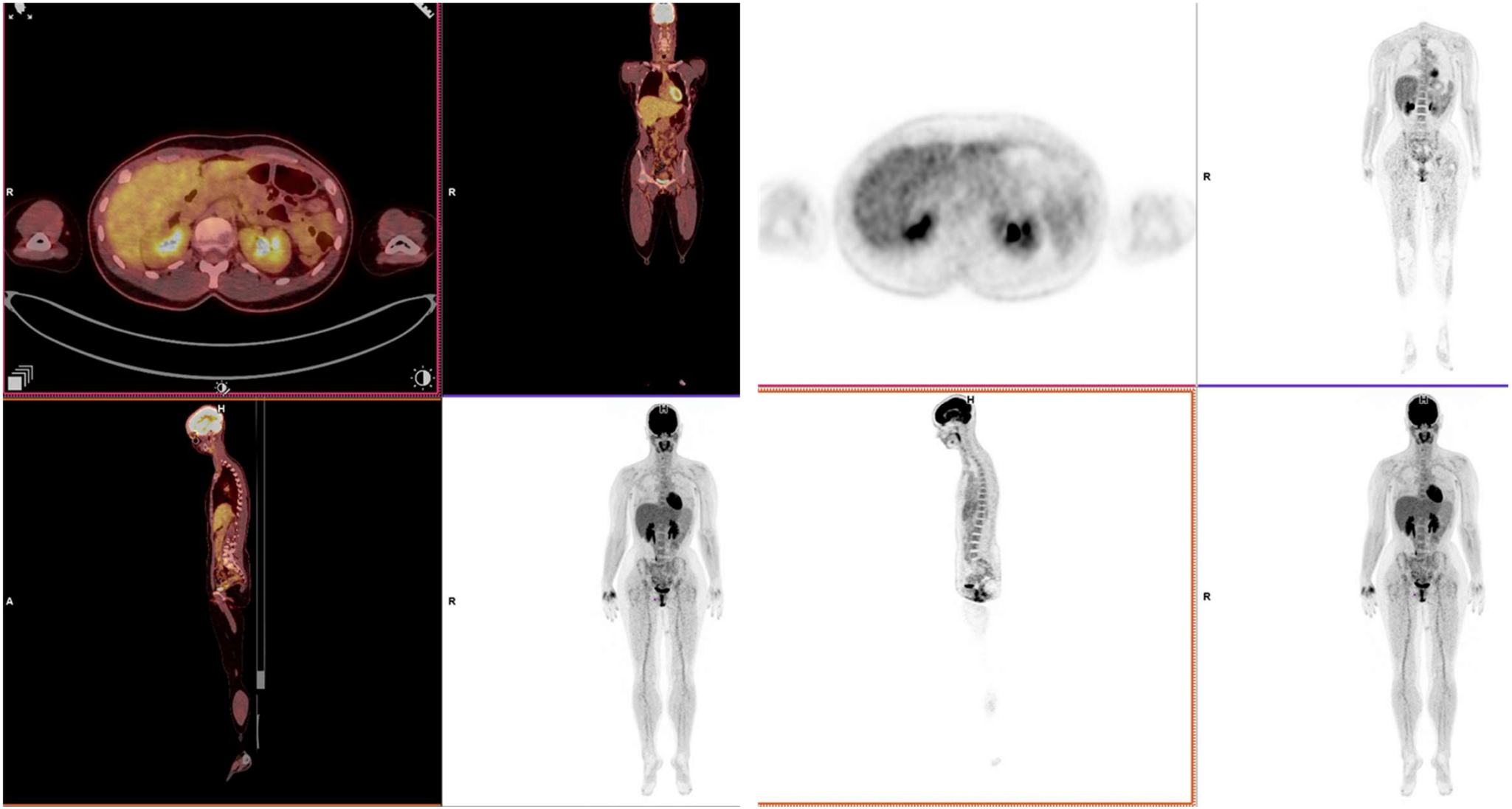


Siemens Vision X - Patiente 160 kg – 8 min d’examen

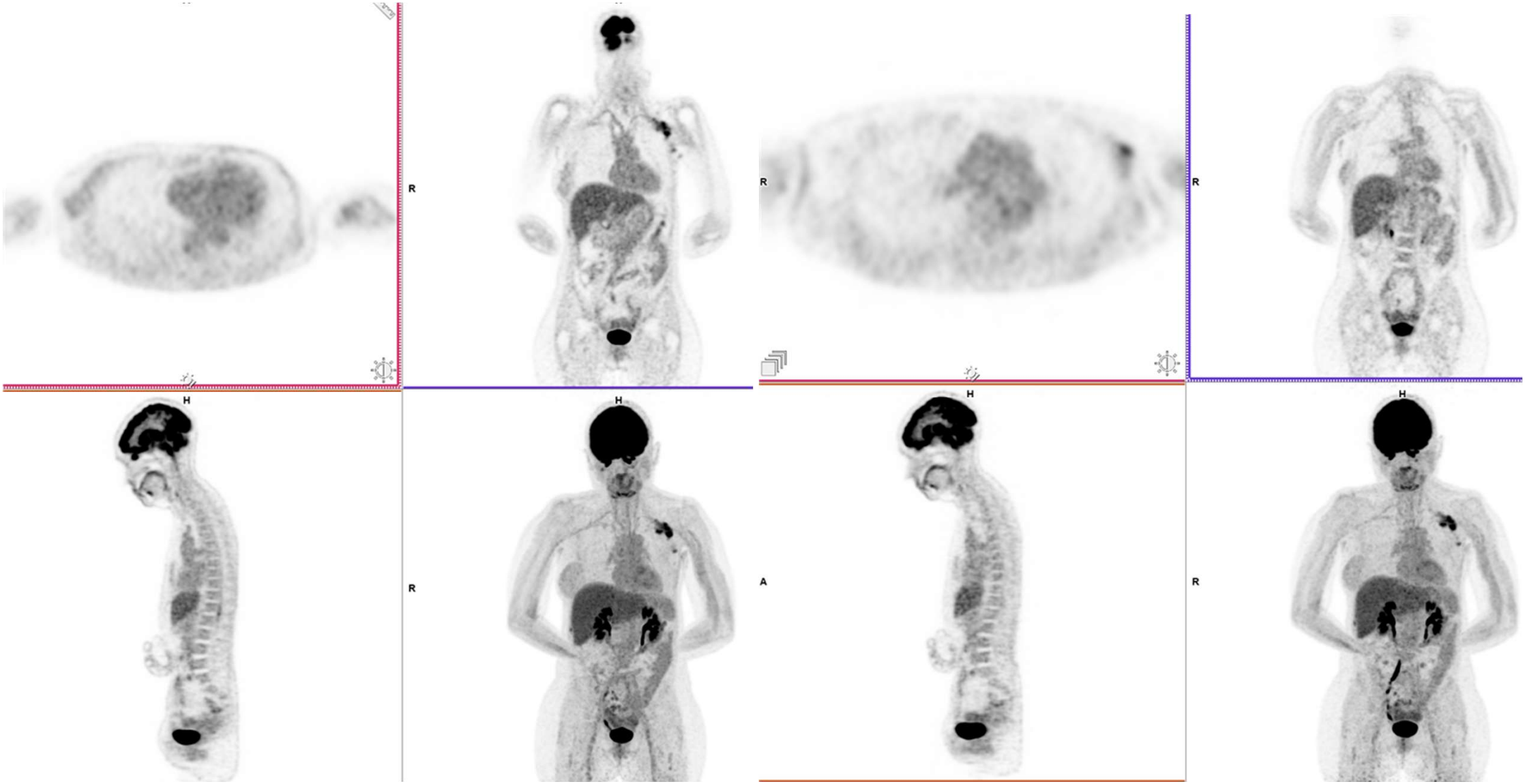




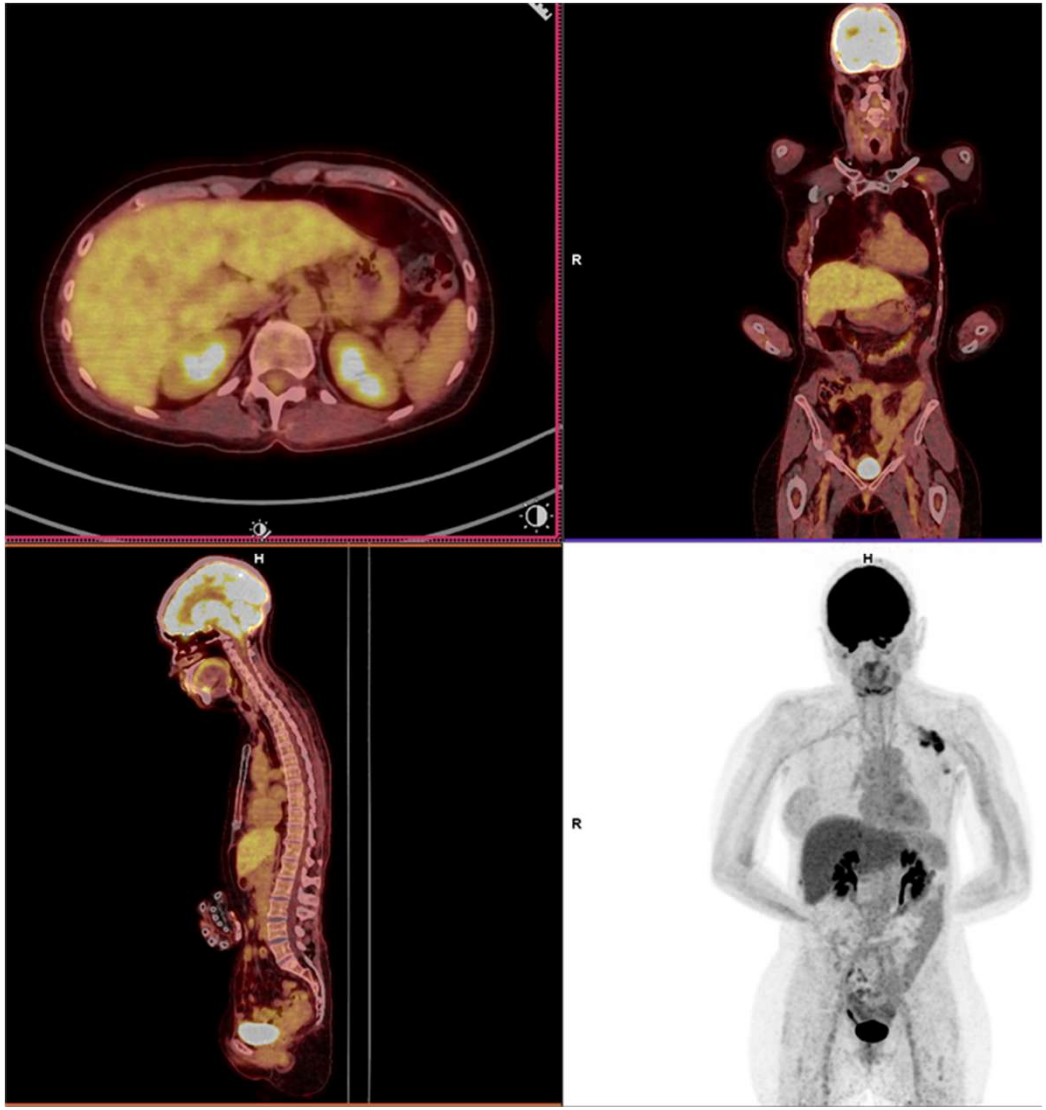
Siemens Vision X – CE – 10 min d'examen

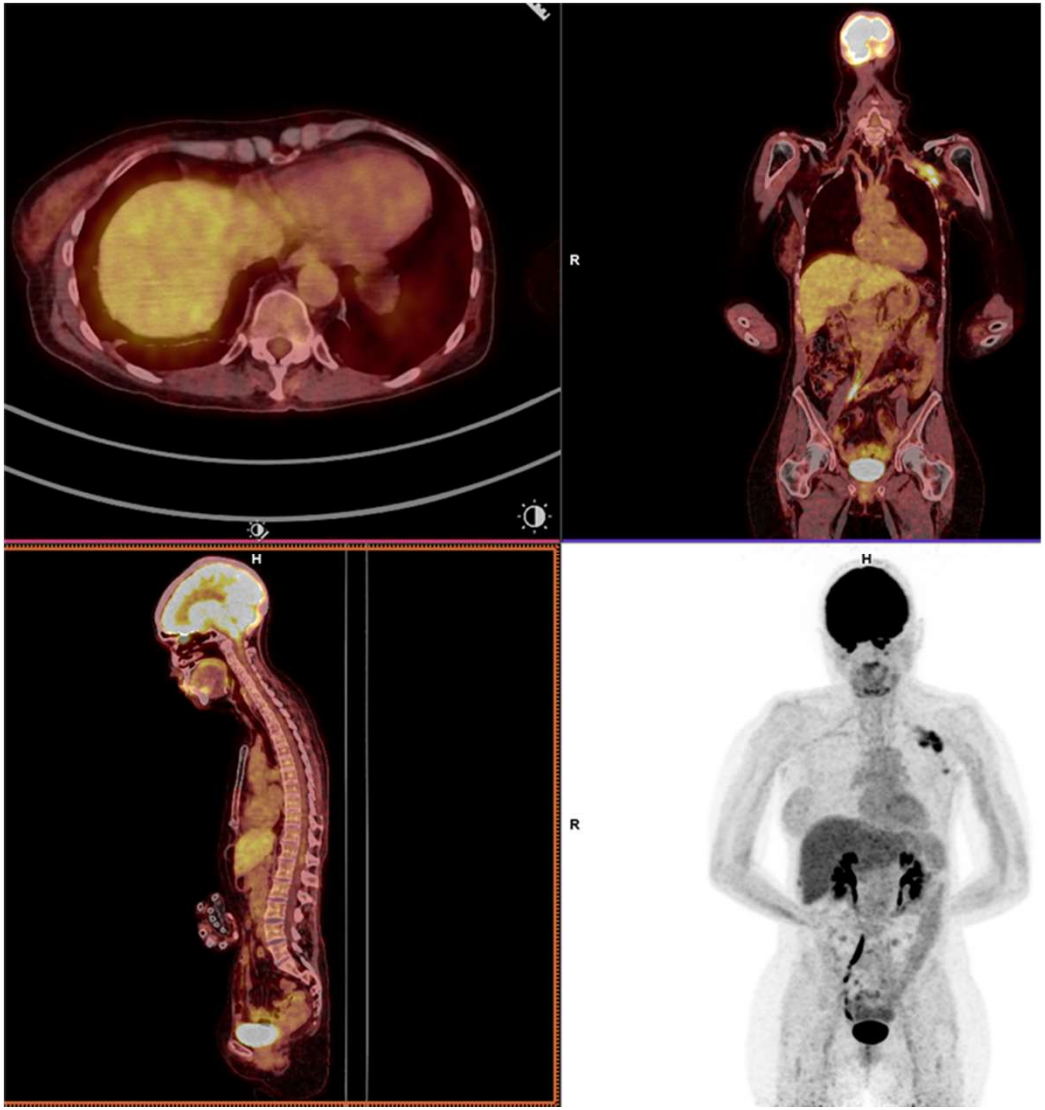


Siemens Trinion – 9 min VS 4 min d'examen



Siemens Trinion – 9 min VS 4 min d'examen





SOMMAIRE

Rappels physiques sur le TEP-TDM et outils de quantification

Le TEP numérique

L'intelligence artificielle en TEP-TDM

Apports et limites

Pas de Deep Learning

L'intelligence Artificielle

Patients intégrés dans la base de données par le constructeur

Hommes

Femmes

100 %

Examens provenant de tous les systèmes d'acquisition

STRATÉGIE :

Rendre opérateur indépendant l'analyse quantitative

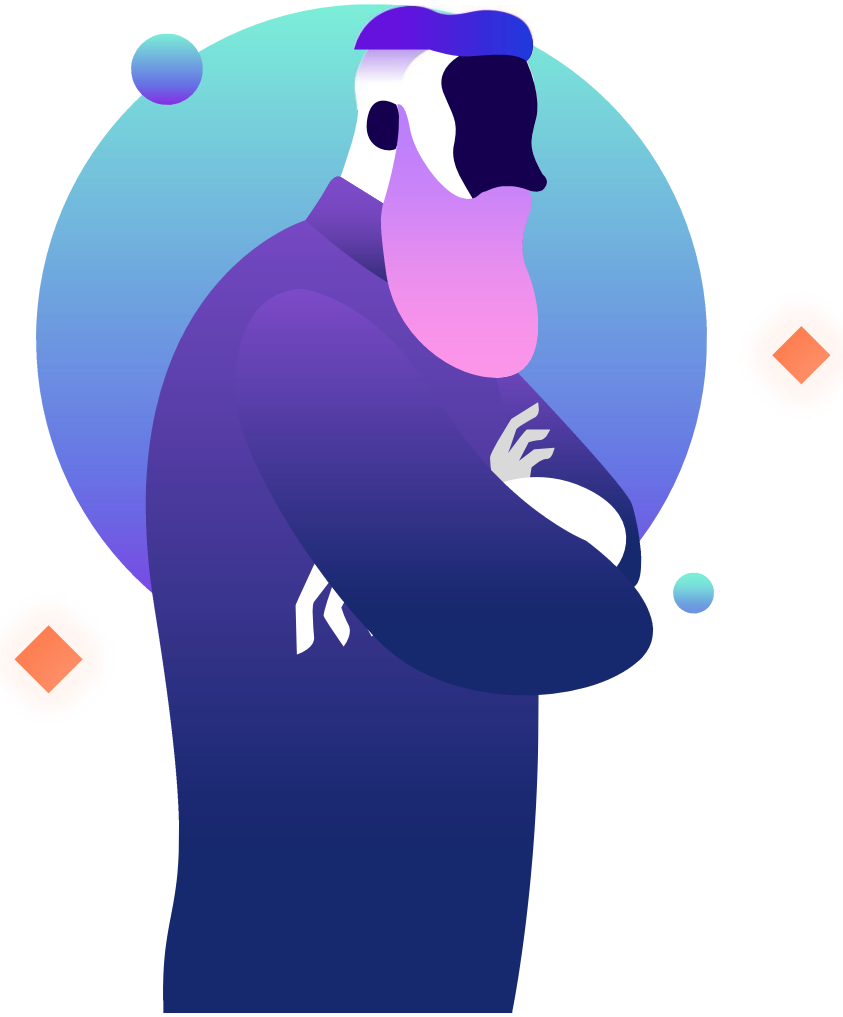
Quantifications nouvelles

VTM : Volume Tumoral Métabolique
GLT : Glycolyse Lésionnelle Totale

PERPECTIVES :

Théranostique
Evaluation thérapeutique

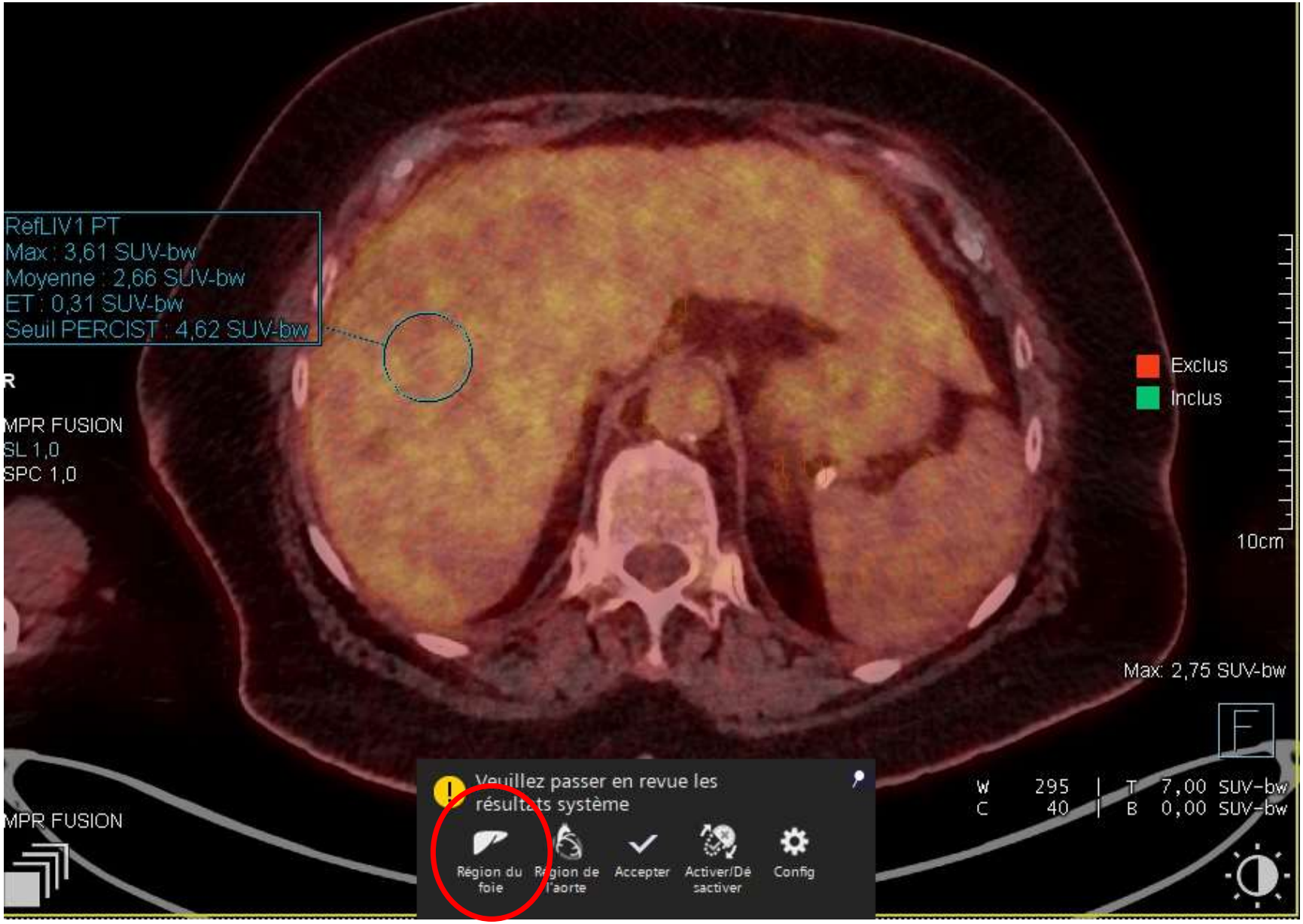
Etape par étape



1. Création automatique de « paquets » de voxels > au seuil PERCIST
2. Prise en compte de ces paquets de voxels si volume > 0,1cm^3
3. Calcul du VTM (Volume Tumoral Métabolique) de chaque paquet de voxel
4. Calcul du GLT (Glycolyse Lésionnelle Total)

GLT = VTM x SUV Mean

Détecteur de lésions
Cercle ROI
Étude sur pixels
Repère
Flèche
Angle
Sphère VOI
Texte
Propager les repères
Segmentation des lésions
Détecteur de lésions
Étiquette rachis/côte

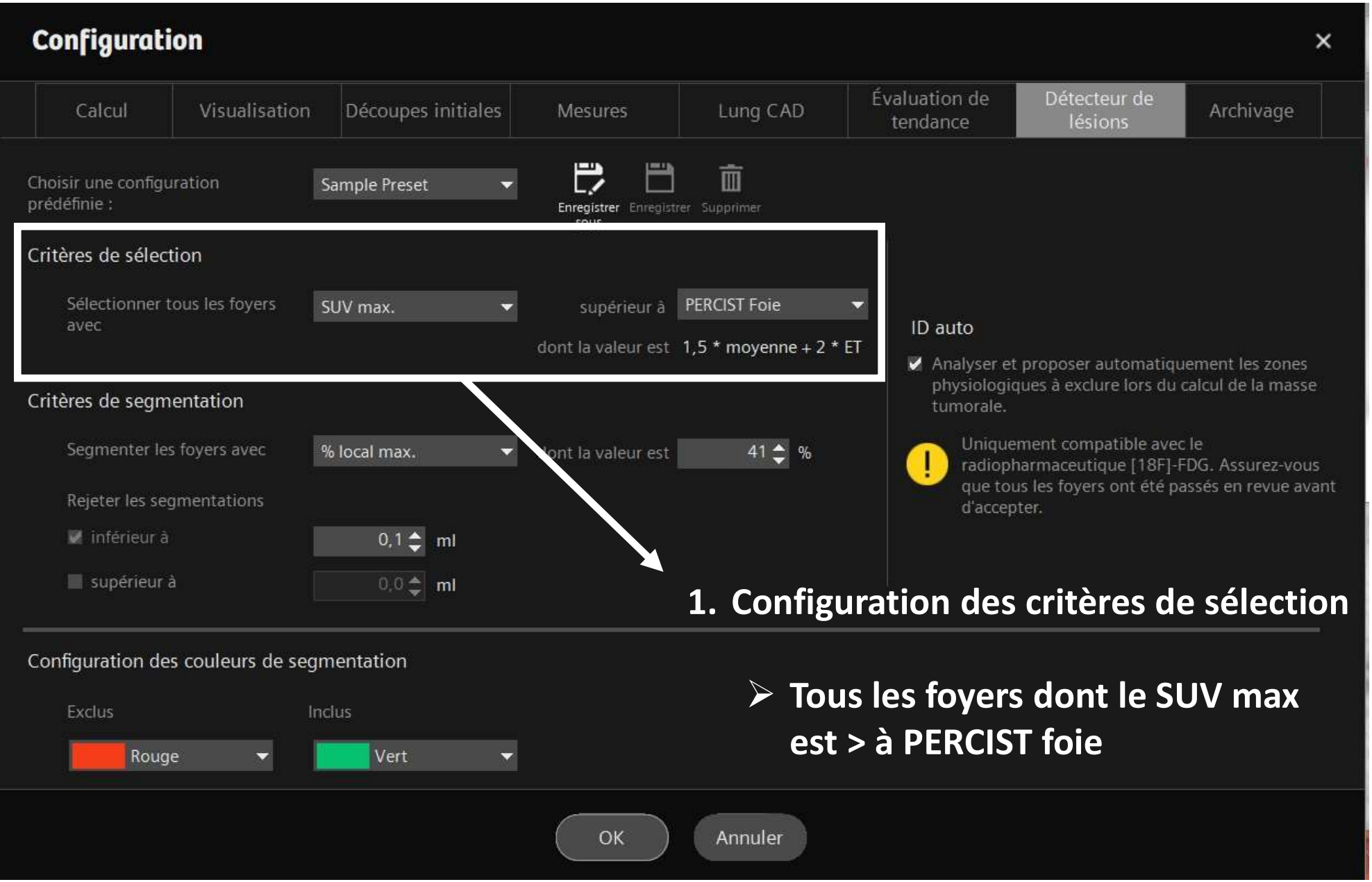


ROI hépatique pour déterminer le seuil PERCIST

PERCIST

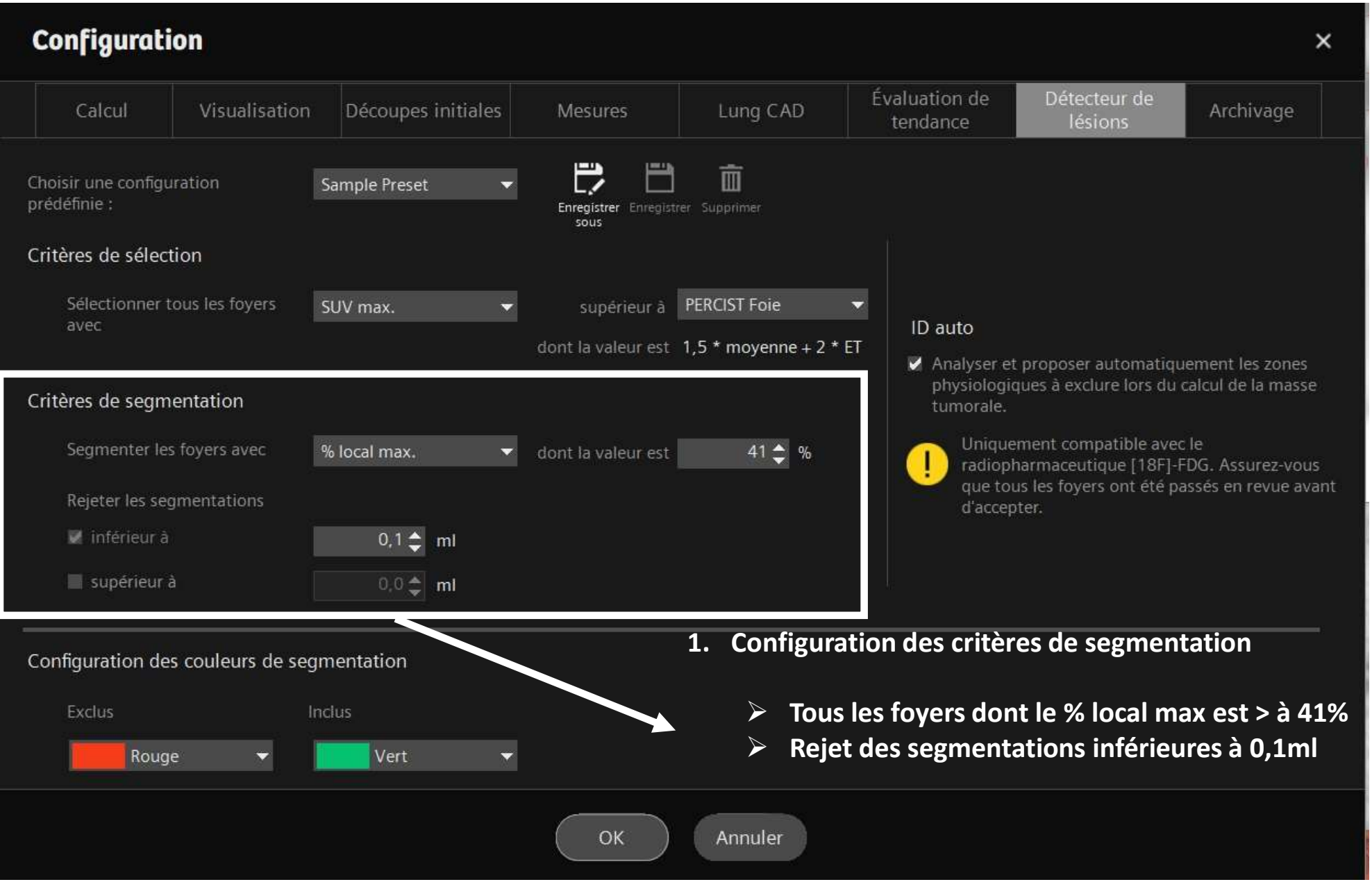
=

1,5*Moyenne + 2*ET



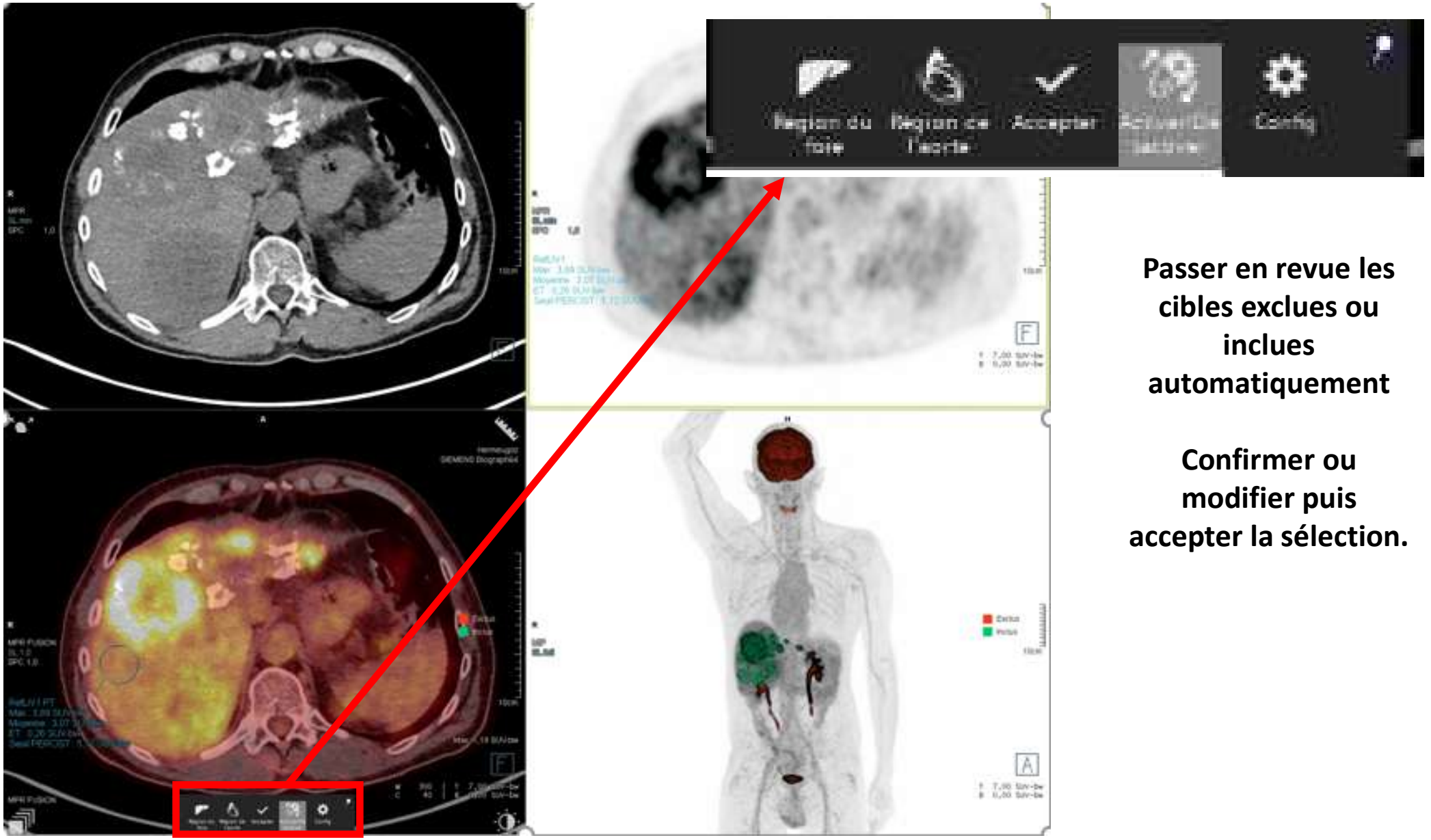
1. **Configuration des critères de sélection**

- **Tous les foyers dont le SUV max est > à PERCIST foie**



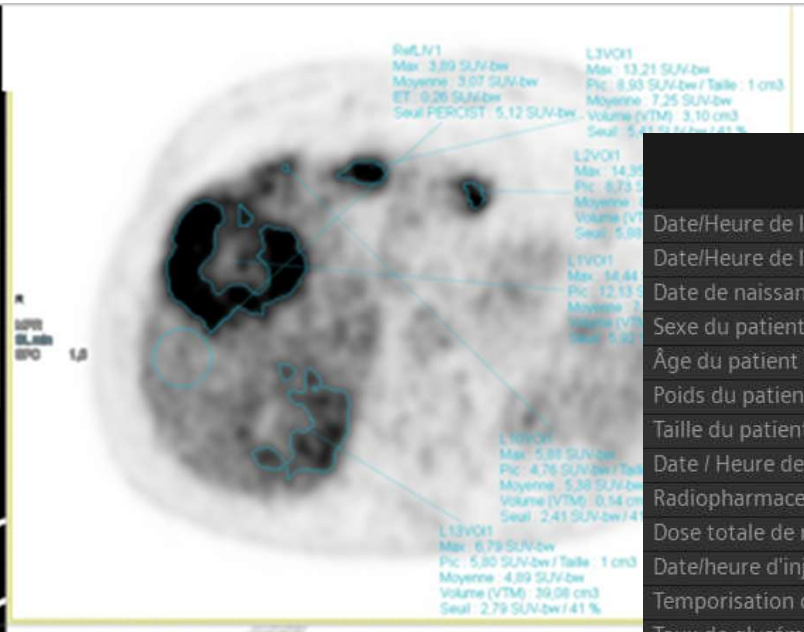
1. **Configuration des critères de segmentation**

- **Tous les foyers dont le % local max est > à 41%**
- **Rejet des segmentations inférieures à 0,1ml**



Passer en revue les cibles exclues ou inclues automatiquement

Confirmer ou modifier puis accepter la sélection.



	TEP TAP CA VIA on....
Date/Heure de l'étude	31/08/2021 12:37:20
Date/Heure de la série	31/08/2021 12:48:27
Date de naissance du patient	30/03/1969
Sexe du patient	M
Âge du patient [y]	52
Poids du patient [kg]	64,00
Taille du patient [cm]	180,00
Date / Heure de l'acquisition	31/08/2021 12:48:27
Radiopharmaceutique	Fluorodeoxyglucose F 18
Dose totale de radionucléide [MBq]	111,00
Date/heure d'injection du radiopharmace...	31/08/2021 11:43:27
Temporisation de l'imagerie	01:05:00
Taux de glycémie	-
Date/heure de la mesure de la glycémie	-
Fabricant	SIEMENS
Nom du modèle du fabricant	Biograph64_Vision 450
Image corrigée	NORM/DTIM/ATTN/SCAT/DECY/RAN
Méthode de reconstruction	PSF+TOF 3i5s
Noyau de convolution	XYZ Gauss4.00
Espacement des pixels / Épaisseur de cou...	1,65/1,65/1,65
Lignes x Colonnes	440 x 440
Durée réelle d'une trame	00:00:39
Région aortique de référence	-
Région hépatique de référence [SUV-bw]	3,07
Masse VTM [cm3]	288,71
Masse GLT [SUV-bw x cm3]	1691,29
Masse d'activité totale	-

SOMMAIRE

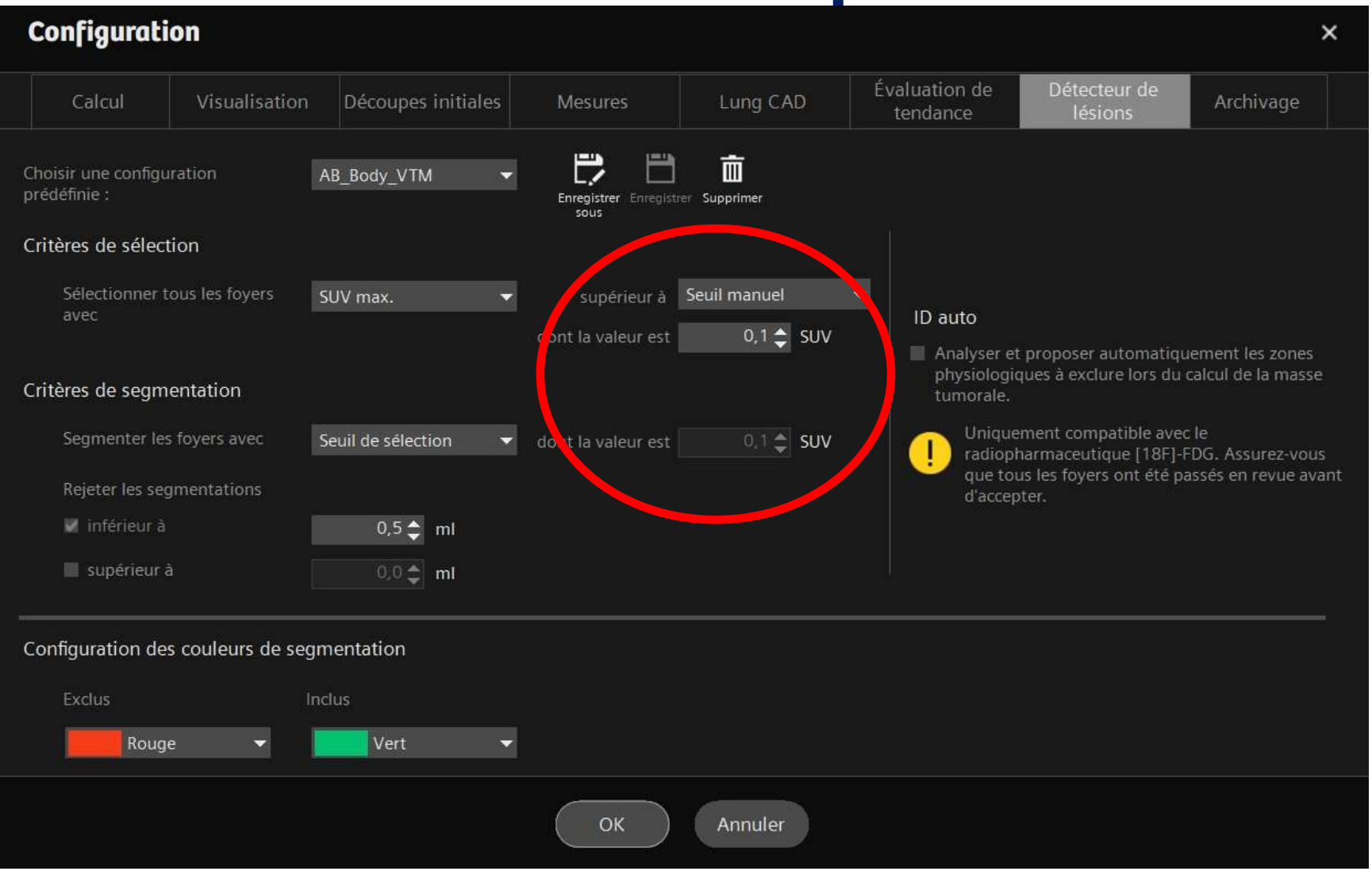
Rappels physiques sur le TEP-TDM et outils de quantification

Le TEP numérique

L'intelligence artificielle en TEP-TDM

Apports et limites

Perspectives

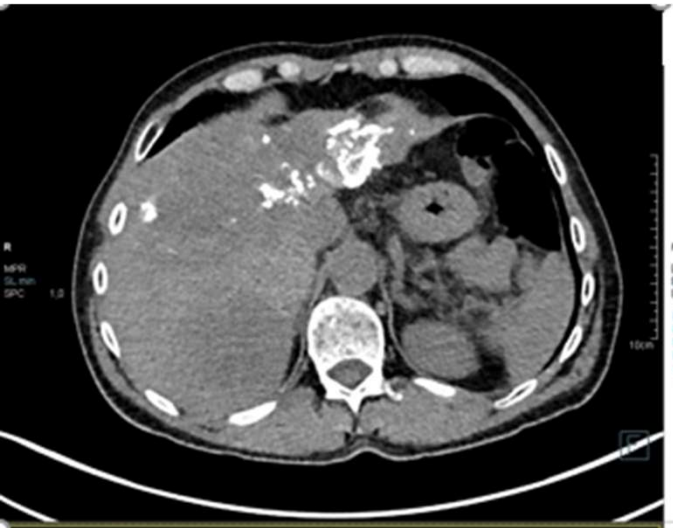


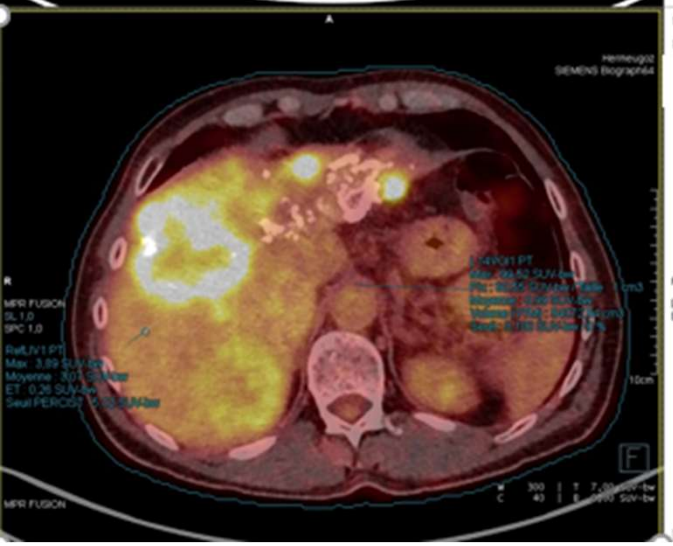
Configuration personnelle possible

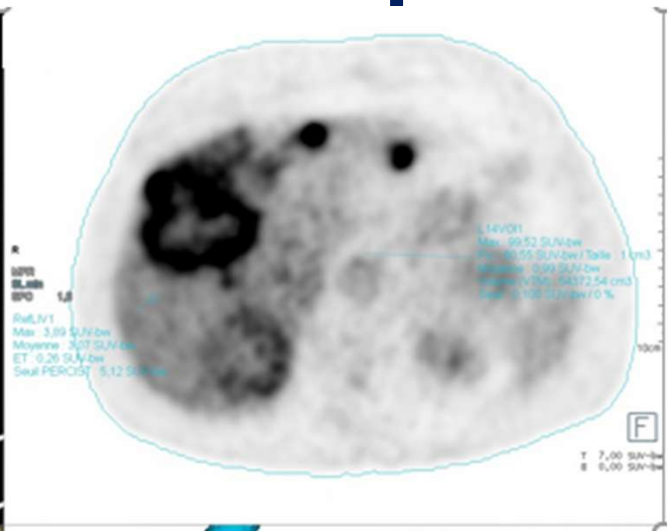
Ex : SUV>0,1

Prise en compte du CE

Perspectives



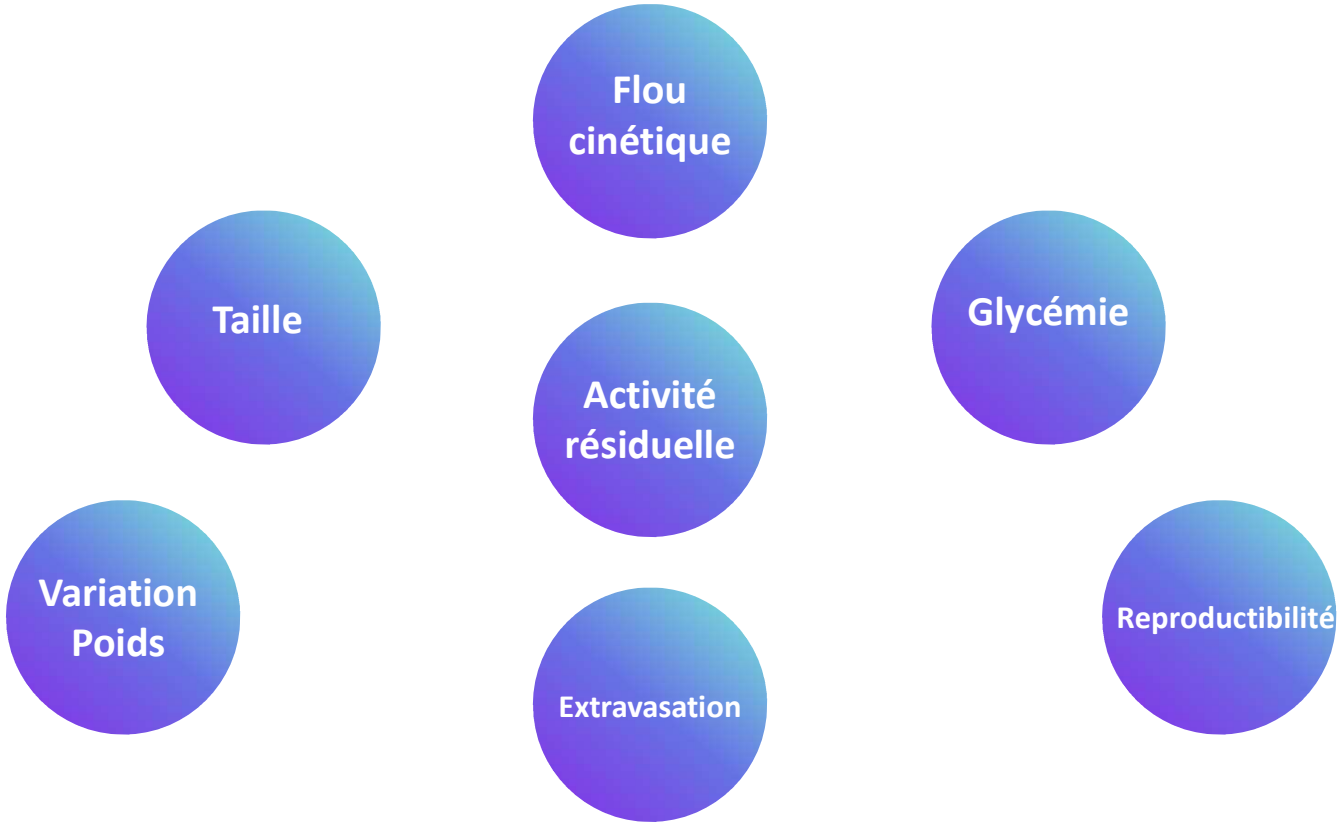




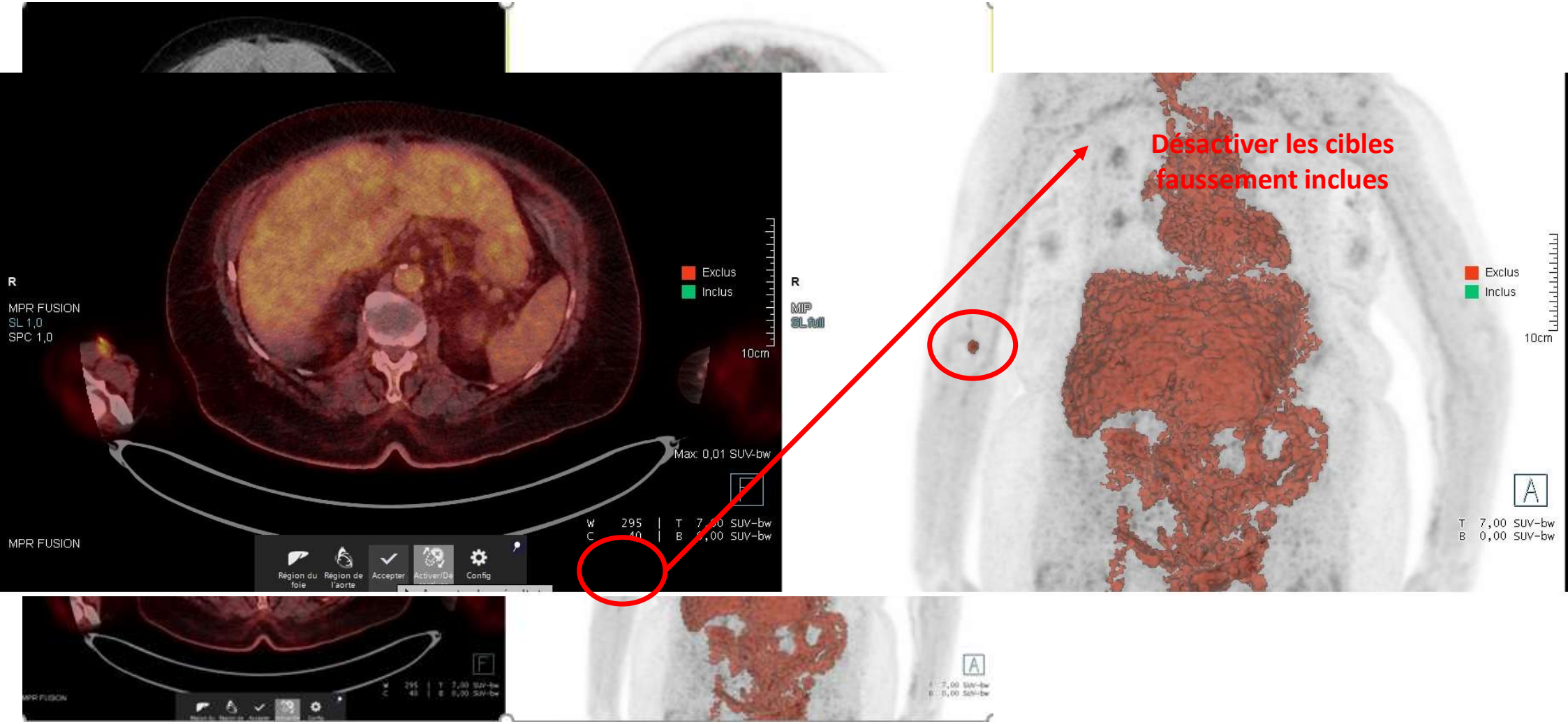
Date/Heure de l'étude	31/08/2021 12:37:20
Date/Heure de la série	31/08/2021 12:48:27
Date de naissance du patient	30/03/1969
Sexe du patient	M
Âge du patient [y]	52
Poids du patient [kg]	64,00
Taille du patient [cm]	180,00
Date / Heure de l'acquisition	31/08/2021 12:48:27
Radiopharmaceutique	Fluorodeoxyglucose F 18
Dose totale de radionucléide [MBq]	111,00
Date/heure d'injection du radiopharmace...	31/08/2021 11:43:27
Temporisation de l'imagerie	01:05:00
Taux de glycémie	-
Date/heure de la mesure de la glycémie	-
Fabricant	SIEMENS
Nom du modèle du fabricant	Biograph64_Vision 450
Image corrigée	NORM/DTIM/ATTN/SCAT/DECY/RAN
Méthode de reconstruction	PSF+TOF 3i5s
Noyau de convolution	XYZ Gauss4.00
Espacement des pixels / Épaisseur de cou...	1,65/1,65/1,65
Lignes x Colonnes	440 x 440
Durée réelle d'une trame	00:00:39
Région aortique de référence	-
Région hépatique de référence [SUV-bw]	3,07
Masse VTM [cm3]	54372,54
Masse GLT [SUV-bw x cm3]	53763,06
Masse d'activité totale	-

Quantifier par exemple le « Volume Global » du patient
Recherche en cours sur un rapport VTM/GLT en comparaison au Body Volume.
Critère d'agressivité et de pronostic?

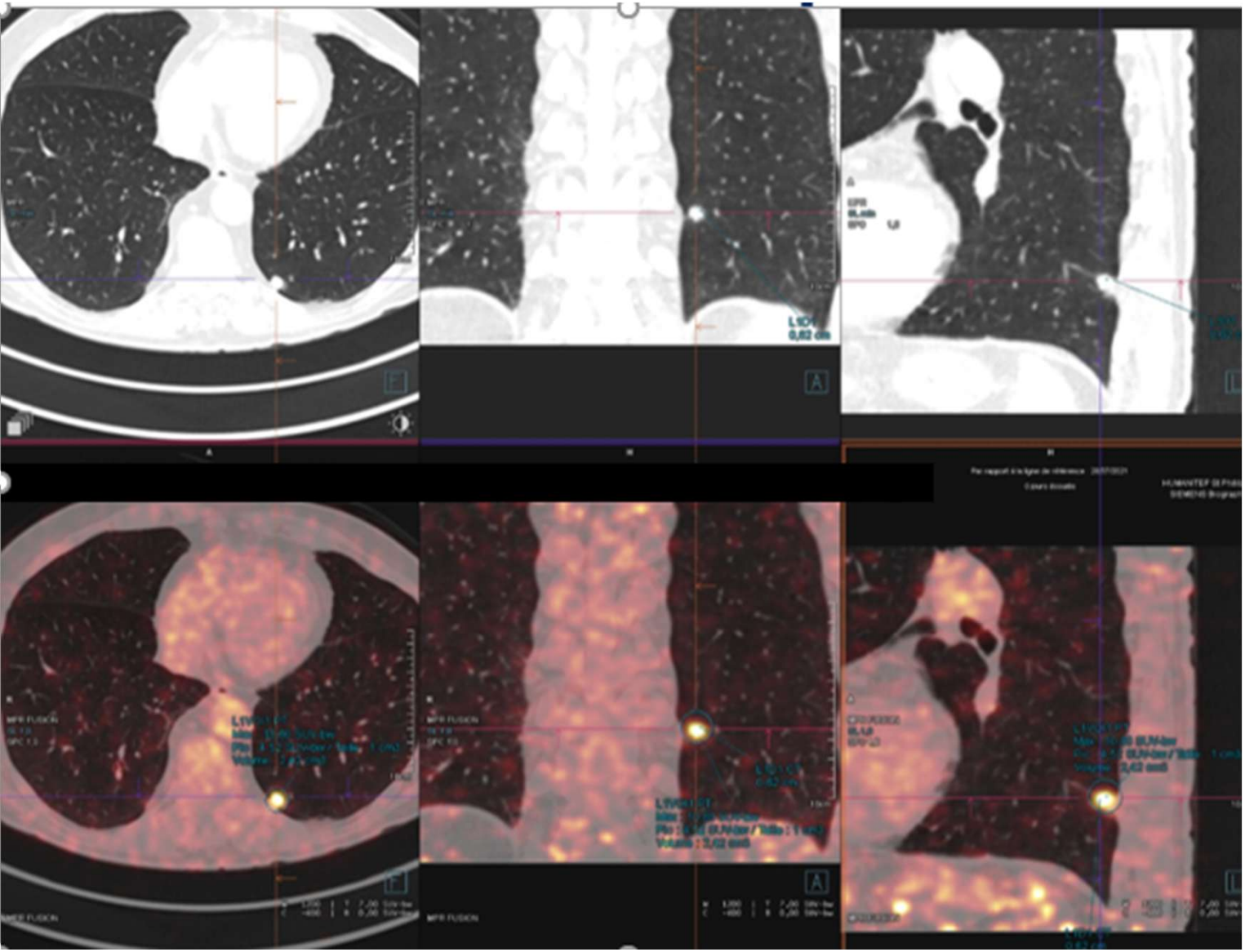
Facteurs influençant la quantification



Point d'injection



Flou cinétique



Nodule dilué par le flou cinétique
SUV max = 3,72

Réalisation d'une apnée de **10 secondes**
Nodule bien délimité
SUV max = 10,8

Sensibilité de la machine permet de s'affranchir de cette incertitude
Comparaison du nodule lors d'un prochain TEP possible

Perspectives

🧪 **1. Imagerie à faible activité (traceurs coûteux)**
➡️ *Exemple : radiopharmaceutiques très chers, ou délivrance limitée.*
👉 **Pourquoi c'est lié à la sensibilité effective :**
Avec une faible activité injectée, **seuls les TEP très sensibles** peuvent obtenir une image de qualité acceptable. Sinon, le bruit domine, ou il faut acquérir très longtemps.

🧬 **2. Immuno-TEP avec le Zirconium-89 (^{89}Zr)**
➡️ *Utilisé en immunothérapie pour tracer des anticorps (Ac monoclonaux).*
🕐 **Spécificité :** images souvent acquises à **4-5 jours après l'injection**, car l'élimination de fond est lente.
👉 **Défis :**
•Activité résiduelle très faible → nécessite **grande sensibilité**.
•Temps de demi-vie long (78h), mais émission β^+ faible → peu de coïncidences.

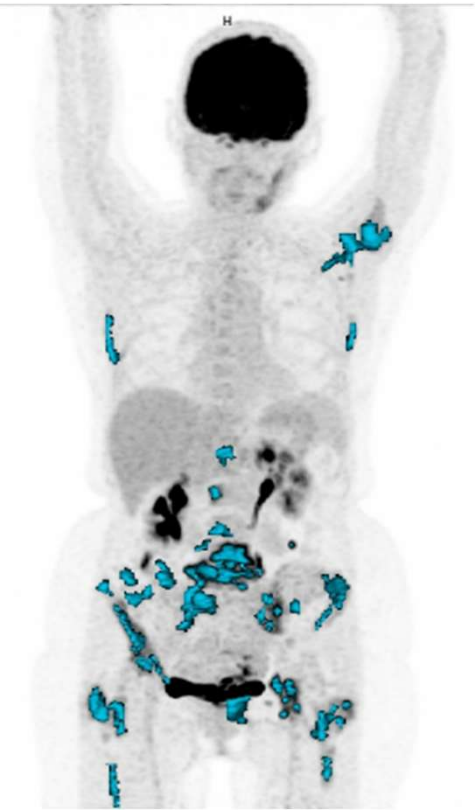
Perspectives

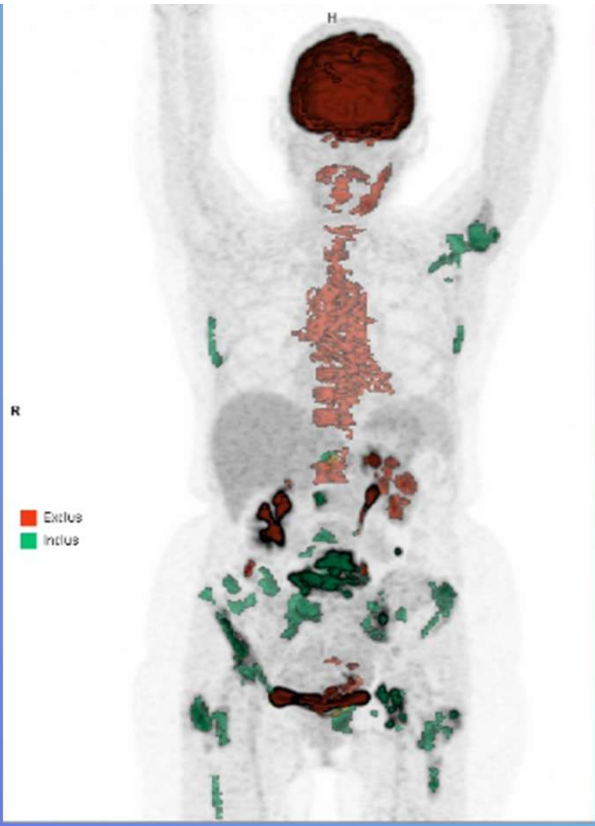
🔍 **3. TEP de dépistage ?**
➡️ *Question ouverte et débattue.*

🕒 **4. « 10 ps Challenge » – Le défi de la TEP temporelle ultraprécise**
➡️ Challenge technologique : atteindre **10 picosecondes** de résolution temporelle dans la détection de coïncidences.
👉 Pourquoi c'est révolutionnaire :
•Permettrait de **localiser la position exacte** de l'annihilation sans reconstruction tomographique
•Grosse réduction du bruit (notamment les coïncidences aléatoires).
•**Sensibilité effective multipliée**, meilleure que toutes les générations actuelles.

🧪 **5. Injection double traceurs en TEP**
L'injection double traceurs en TEP consiste à **injecter deux radiotraceurs différents** (souvent émetteurs positrons différents), pour **étudier deux processus biologiques simultanément ou en comparaison directe.**

Remerciements





Chef de service
Pr Alban BAILLIEZ

Equipe Médicale
Dr Dimitri BELLEVRE
Dr Tanguy BLAIRE
Dr Anne CHAPUT
Dr Alexandre DUBOIS
Dr Mourtaza KARIMDJEE
Dr Mathilde THÉLU

Radiopharmacie
Dr Patrice JOYES

L'ensemble des MERM et secrétaires