

Apport de l'imagerie hybride TEP-IRM pour la quantification en TEP

Irène Buvat

Imagerie Moléculaire In Vivo (IMIV)

UMR 1023 Inserm / CEA / Université Paris Sud, ERL 9218 CNRS

CEA – Service Hospitalier Frédéric Joliot

Orsay, France

irene.buvat@u-psud.fr

<http://i2bm.cea.fr/dsv/i2bm/shfj/imiv>

<http://www.guillemet.org/irene>

TEP-TDM : les verrous actuels pour la quantification

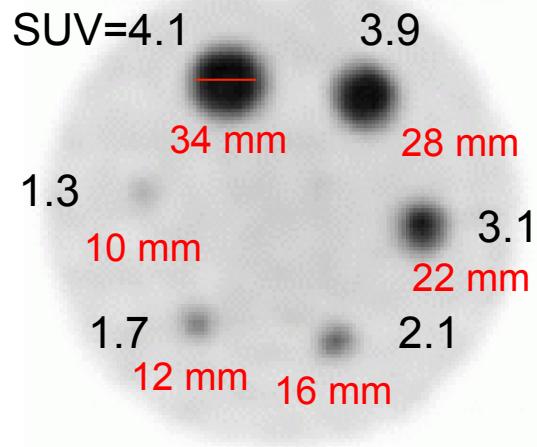
- La résolution spatiale limitée
- Le flou cinétique
- L'estimation de paramètres physiopathologiques



La TEP-IRM apporte des solutions

La résolution spatiale

- La résolution spatiale limitée (6-8 mm) dans les images reconstruites conduit à :
 - des erreurs de quantification liées à l'effet de volume partiel

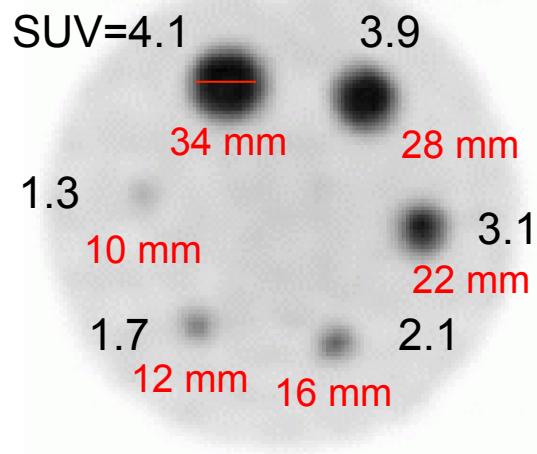


EVP : la mesure dépend de la taille de
la lésion (même concentration
d'activité dans ttes les sphères)

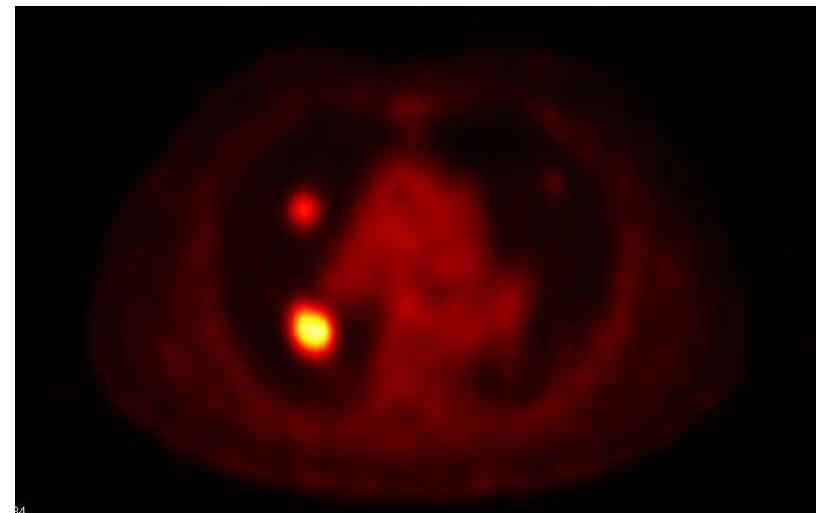
Soret et al J Nucl Med 2007

La résolution spatiale

- La résolution spatiale limitée (6-8 mm) dans les images reconstruites conduit à :
 - des erreurs de quantification liées à l'effet de volume partiel
 - des difficultés d'estimation de volumes métaboliques et de contourage pour la radiothérapie



EVP : la mesure dépend de la taille de la lésion (même concentration d'activité dans ttes les sphères)



Comment segmenter une image floue ?

Soret et al J Nucl Med 2007

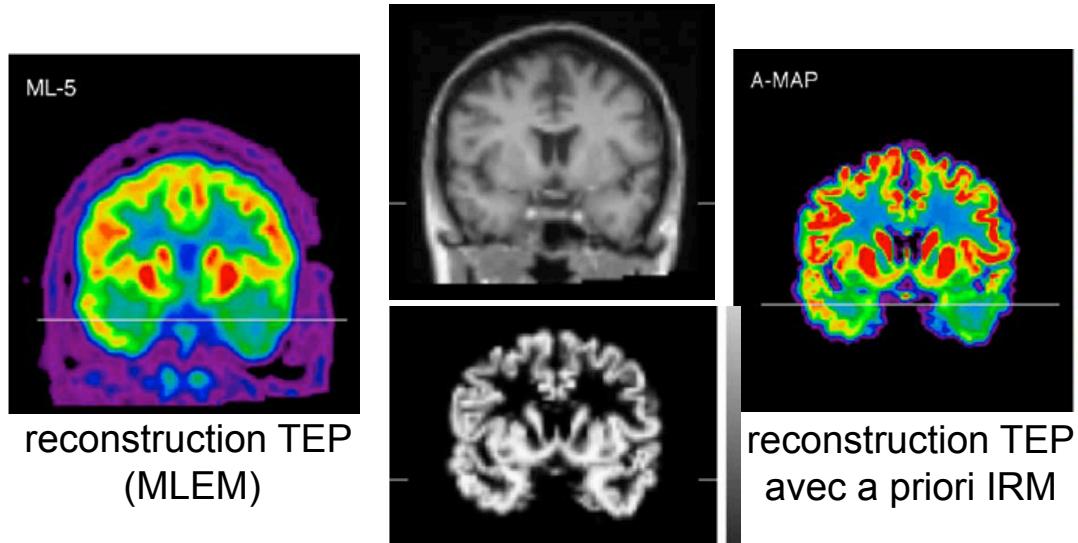
La résolution spatiale



- La TEP-IRM va permettre :
 - d'améliorer la résolution spatiale dans les images TEP
 - de mieux compenser de l'effet de volume partiel résiduel
 - de faciliter la segmentation des structures d'intérêt

TEP-IRM et résolution spatiale (1)

- Prise en compte d'a priori IRM dans la reconstruction tomographique pour **améliorer la résolution spatiale** des images TEP
- Idée ancienne, résultats probants

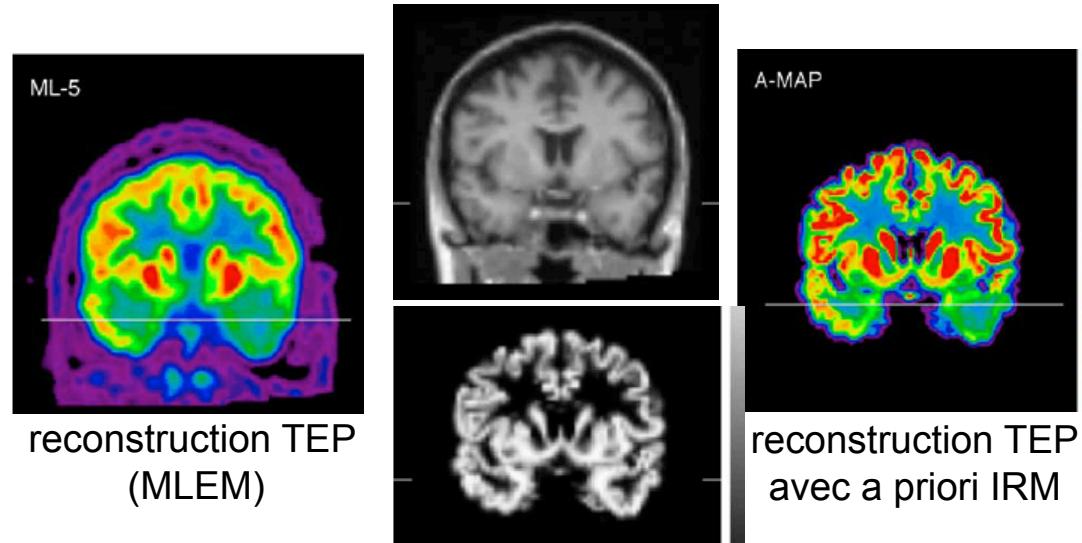


Baete et al Neuroimage 2004

- Complexe à mettre en œuvre du fait de 1) la sensibilité au recalage,
2) la difficulté d'optimisation des paramètres réglant le poids des a priori

TEP-IRM et résolution spatiale (1)

- Prise en compte d'a priori IRM dans la reconstruction tomographique pour **améliorer la résolution spatiale** des images TEP
- Idée ancienne, résultats probants



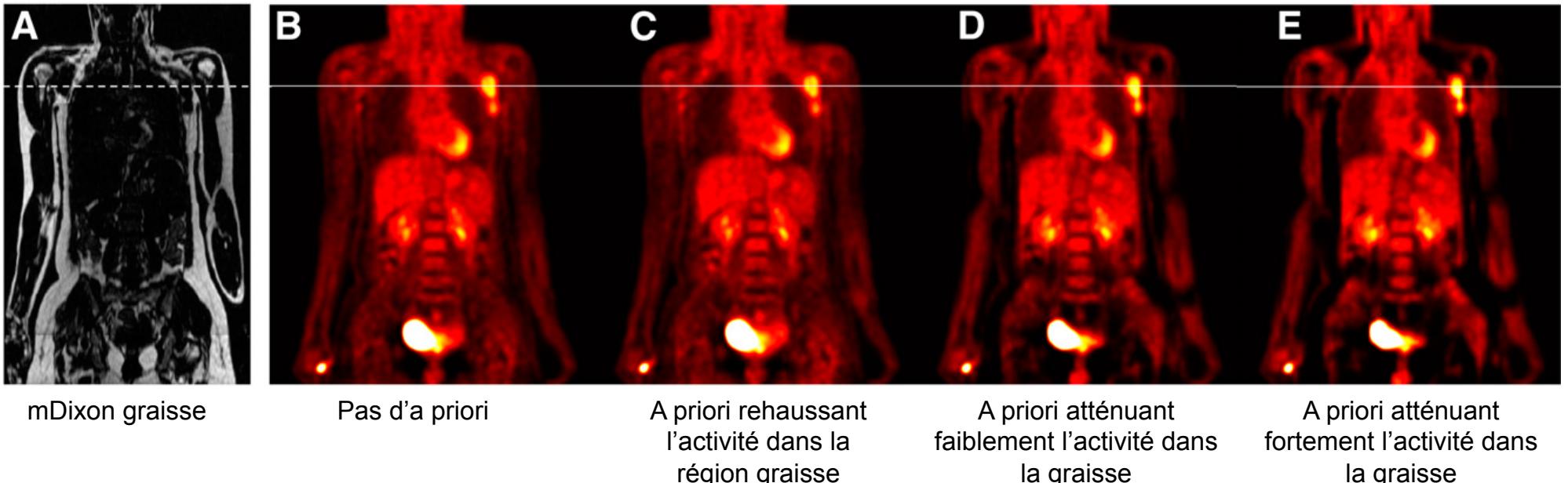
Baete et al Neuroimage 2004

- Complexe à mettre en œuvre du fait de 1) ~~la sensibilité au recalage,~~
2) la difficulté d'optimisation des paramètres réglant le poids des a priori

La disponibilité de la TEP-IRM pourrait rendre la méthode faisable en routine

TEP-IRM et résolution spatiale (1 bis)

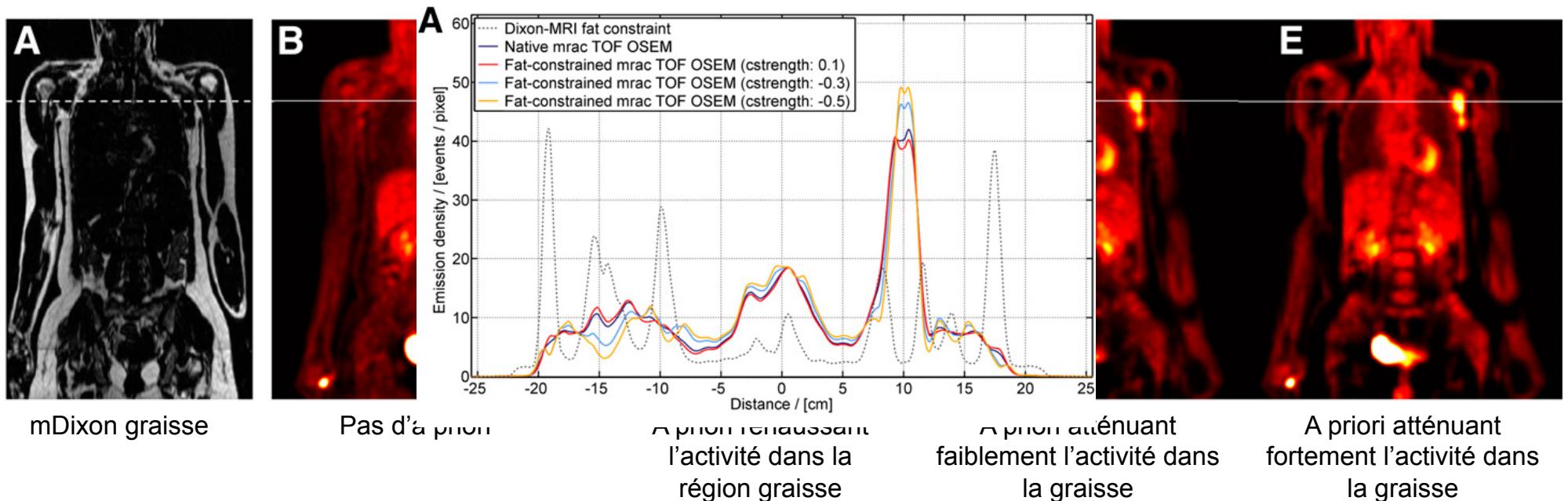
- Faisabilité en TEP/IRM



Prevrhal et al J Nucl Med 2014

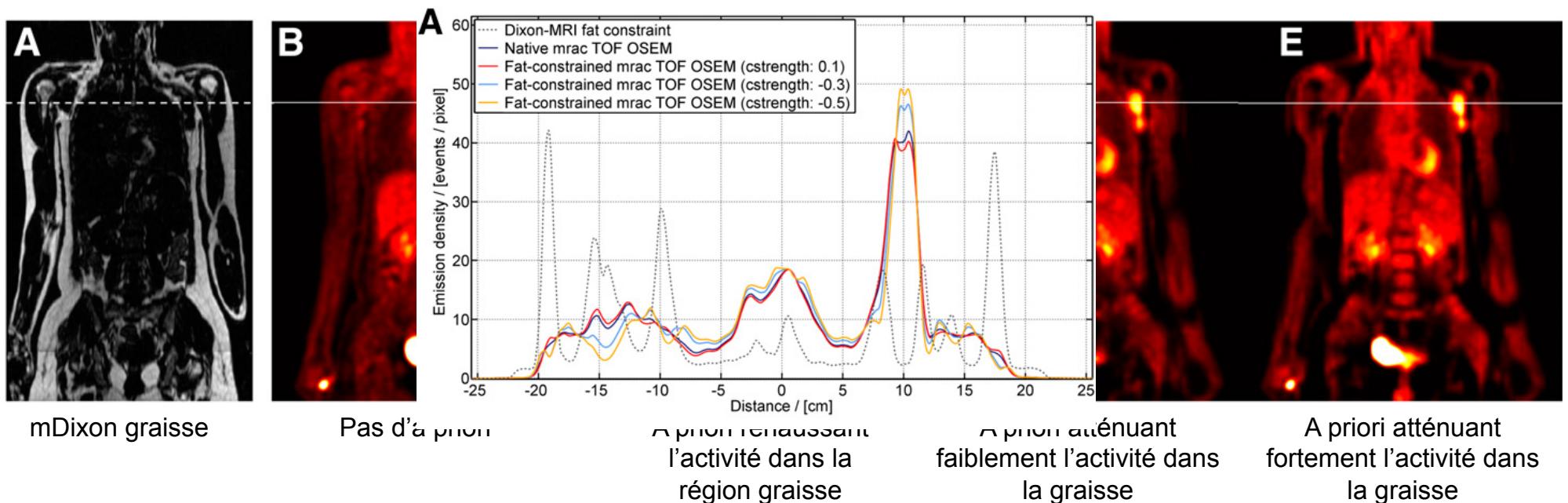
TEP-IRM et résolution spatiale (1 bis)

- Faisabilité en TEP/IRM



TEP-IRM et résolution spatiale (1 bis)

- Faisabilité en TEP/IRM



Prevrhal et al J Nucl Med 2014

- Complexe à mettre en œuvre du fait de 1) la sensibilité au recalage, 2) la difficulté d'optimisation des paramètres réglant le poids des a priori

Meilleure résolution spatiale, EVP moins pénalisant

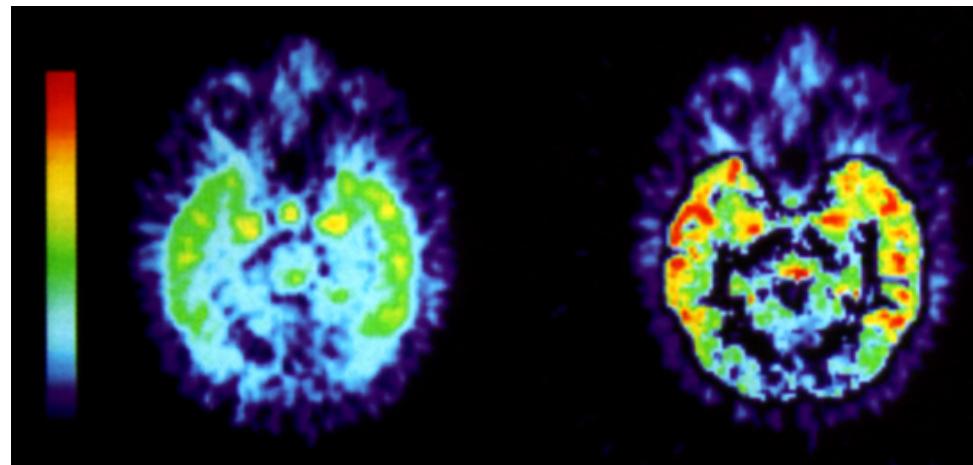


TEP-IRM et résolution spatiale (2)

- Facilite la mise en œuvre d'une **correction de volume partiel**

La correction de volume partiel post-reconstruction nécessite souvent des a priori anatomiques parfaitement recalés avec l'image TEP (anatomies des structures métaboliquement actives)

- Idée ancienne, résultats très encourageants



[¹¹C]carfentanil sans correction d'EVP

Matière grise corrigée de l'EVP
(Müller-Gartner à 3 cpts)

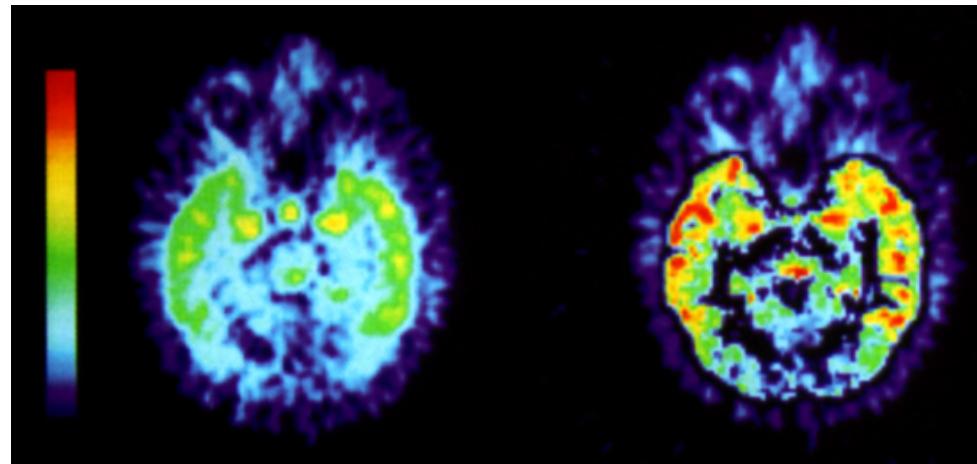
Metlzer et al JCBFM 1996

TEP-IRM et résolution spatiale (2)

- Facilite la mise en œuvre d'une **correction de volume partiel**

La correction de volume partiel post-reconstruction nécessite souvent des a priori anatomiques parfaitement recalés avec l'image TEP (anatomies des structures métaboliquement actives)

- Idée ancienne, résultats très encourageants



[¹¹C]carfentanil sans correction d'EVP

Matière grise corrigée de l'EVP
(Müller-Gartner à 3 cpts)

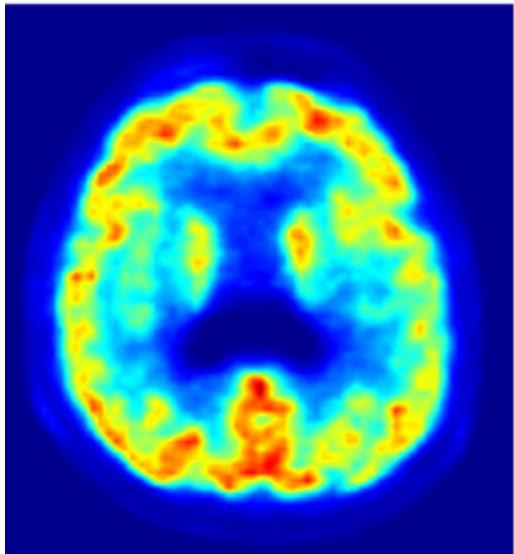
Metlzer et al JCBFM 1996

Le parfait recalage TEP-IRM pourrait rendre les corrections d'EVP utilisables en routine

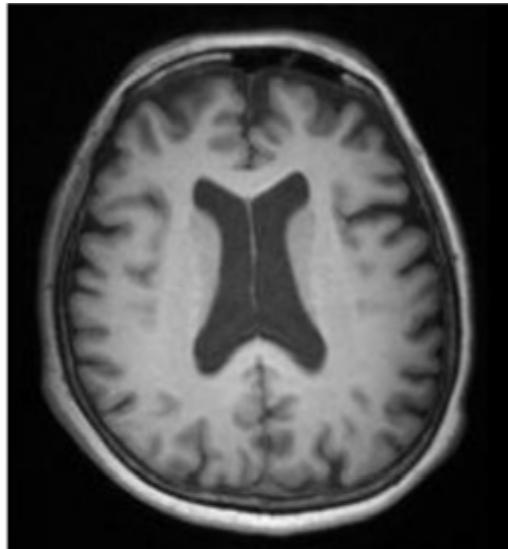
TEP-IRM et résolution spatiale (2 bis)

- Faisabilité en TEP-IRM

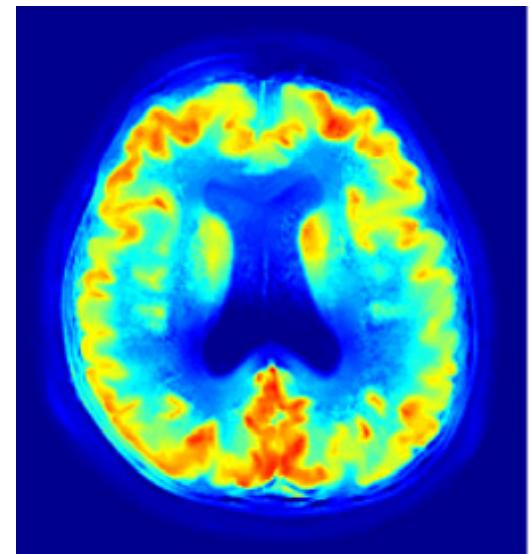
Pas de nécessité de segmenter l'IRM



TEP FDG sans correction d'EVP



MP RAGE pondéré T1



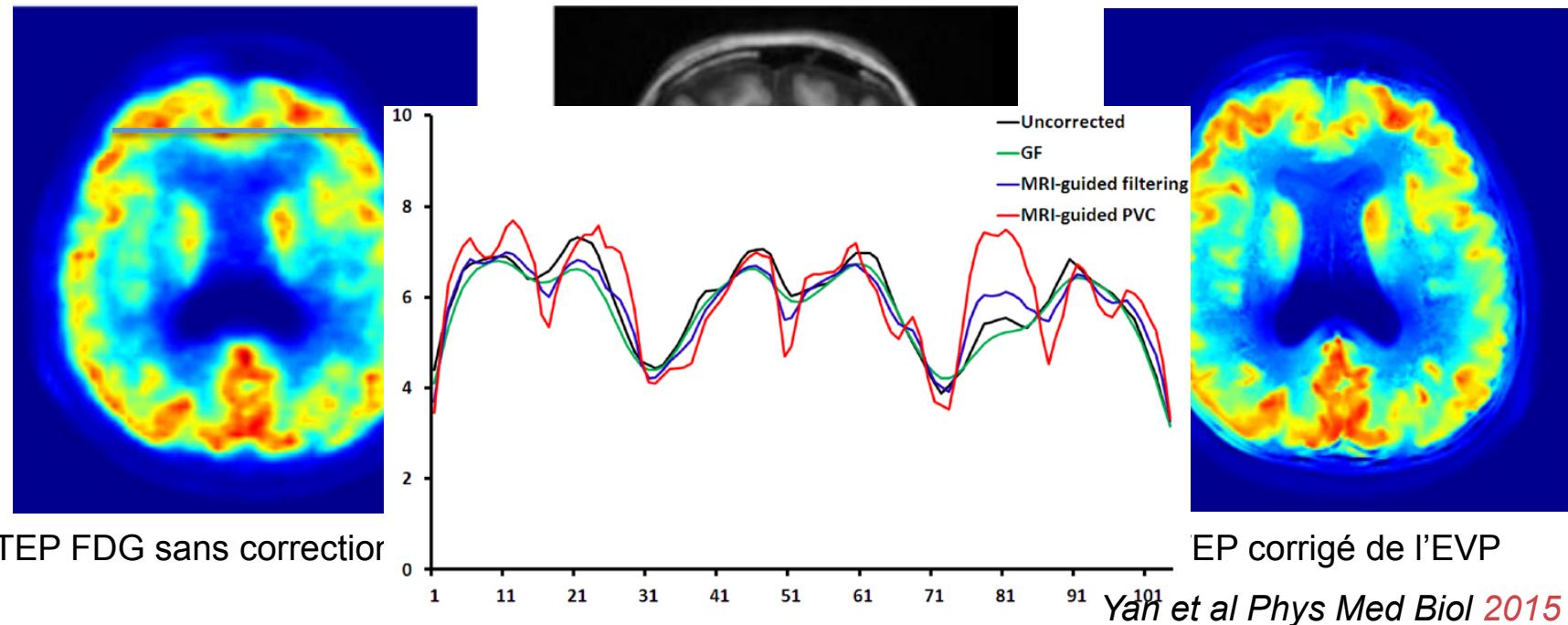
TEP corrigé de l'EVP

Yan et al Phys Med Biol 2015

TEP-IRM et résolution spatiale (2 bis)

- Faisabilité en TEP-IRM

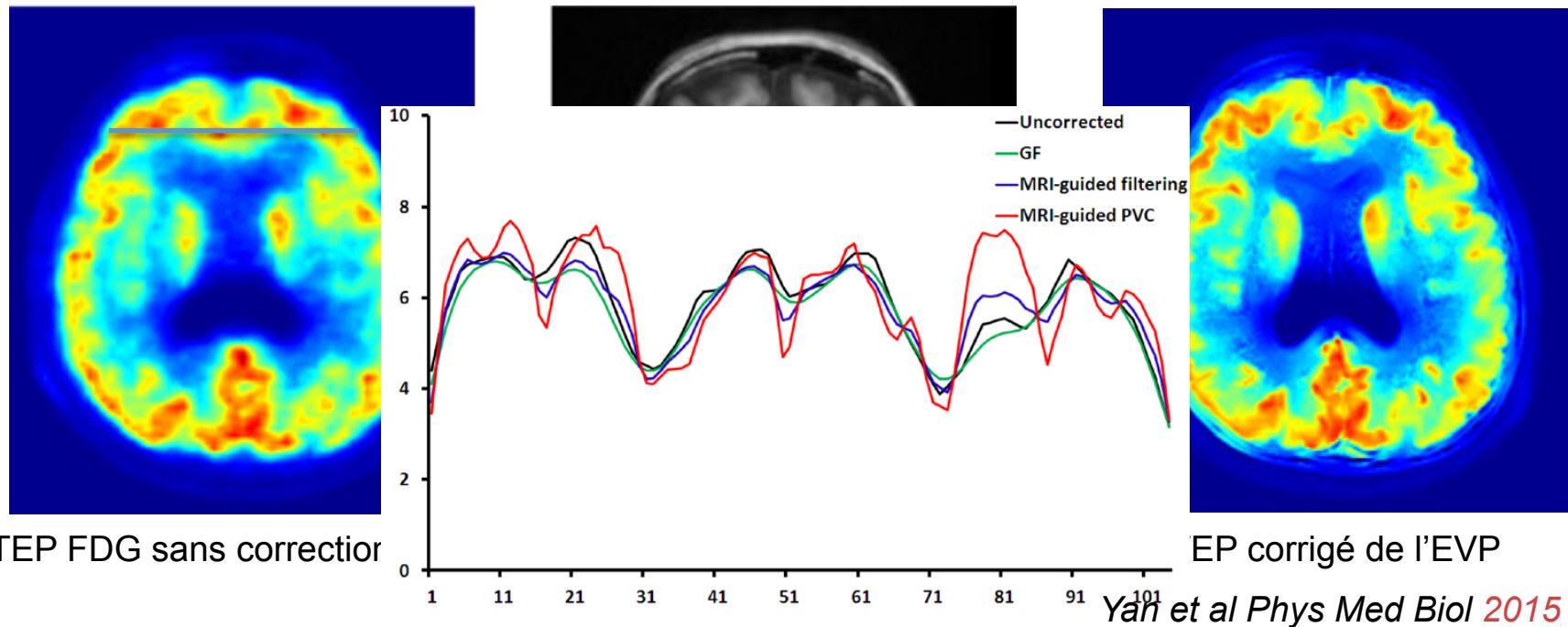
Pas de nécessité de segmenter l'IRM



TEP-IRM et résolution spatiale (2 bis)

- Faisabilité en TEP-IRM

Pas de nécessité de segmenter l'IRM

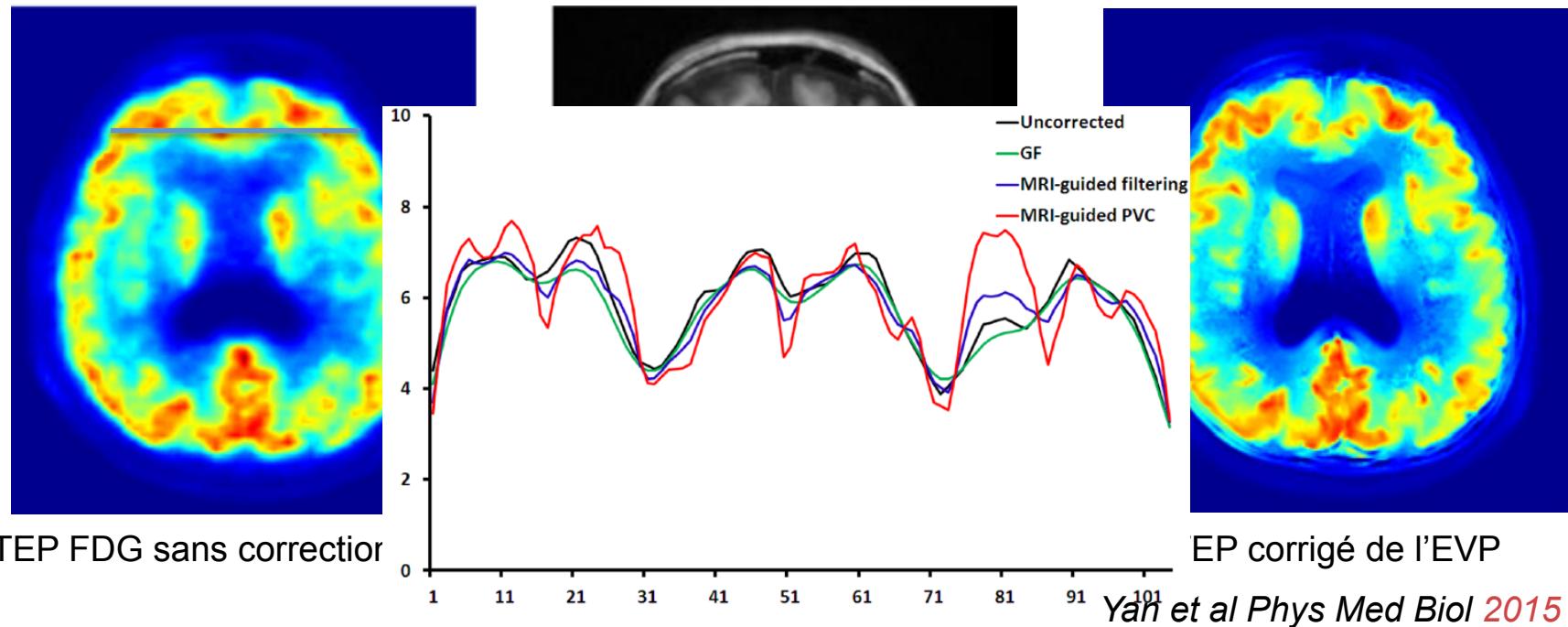


- Difficultés : optimisation des paramètres et gestion des discordances
IRM / TEP

TEP-IRM et résolution spatiale (2 bis)

- Faisabilité en TEP-IRM

Pas de nécessité de segmenter l'IRM



- Difficultés : optimisation des paramètres et gestion des discordances
IRM / TEP

La disponibilité de la TEP-IRM pourrait rendre les corrections d'EVP évaluables en routine

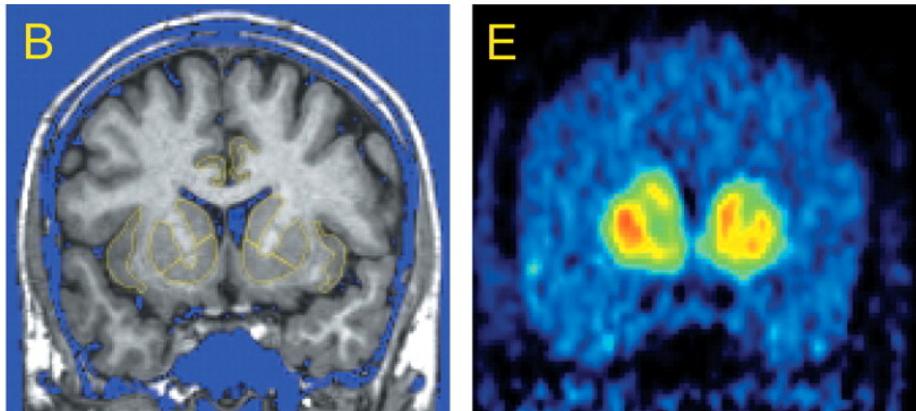


TEP-IRM et résolution spatiale (3)

- Segmentation de structures guidées par l'IRM

Utiliser l'IRM pour **identifier les contours** flous en TEP et définir des régions d'intérêt, ou pour la planification des traitements en radiothérapie

Définition de régions d'intérêt sur l'IRM



Cervenka et al Brain 2006

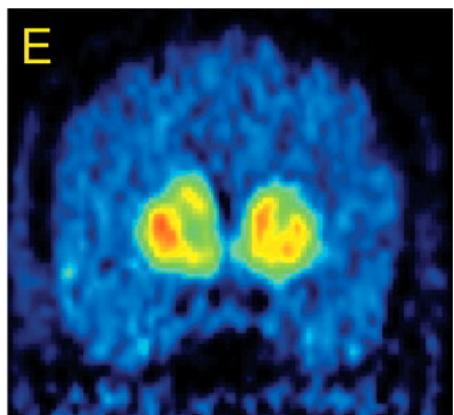
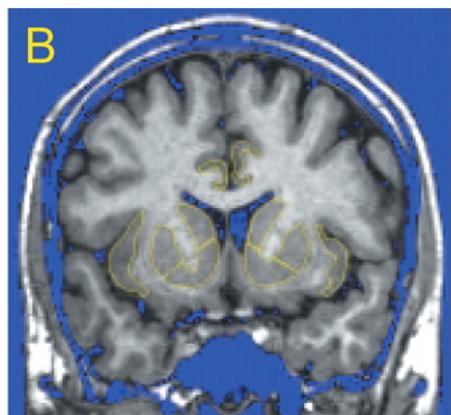
Utilisé depuis longtemps en imagerie cérébrale

TEP-IRM et résolution spatiale (3)

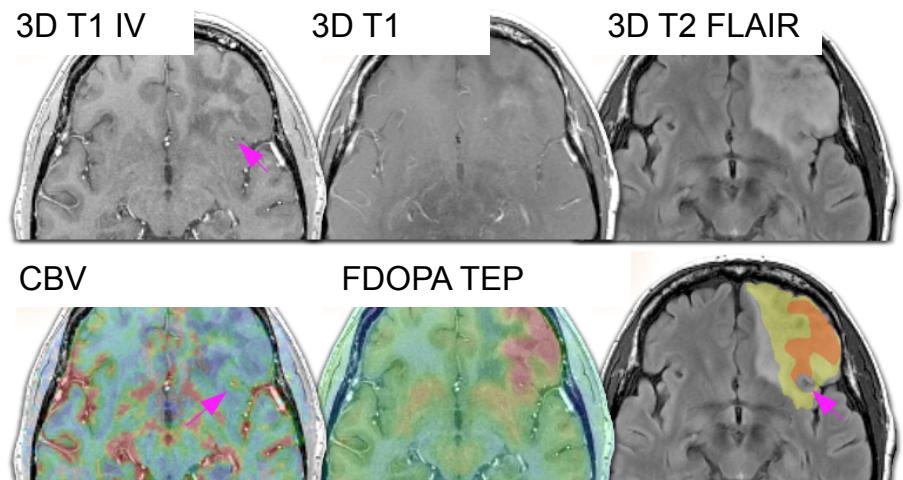
- Segmentation de structures guidées par l'IRM

Utiliser l'IRM pour **identifier les contours** flous en TEP et définir des régions d'intérêt, ou pour la planification des traitements en radiothérapie

Définition de régions d'intérêt sur l'IRM



Cervenka et al Brain 2006



Nioche PhD thesis 2011

Utilisé depuis longtemps en imagerie cérébrale

Maintenant applicable à l'oncologie grâce à la correspondance spatiale optimale en TEP-IRM

Particulièrement pertinent pour étudier l'hétérogénéité tumorale

TEP-IRM et résolution spatiale (3 bis)

- Segmentation de structures guidées par l'IRM

Segmentation jointe : IRM en s'aidant du TEP (a priori)

TEP en s'aidant de l'IRM (a priori)

1 ou 2

segmentations

TEP-IRM et résolution spatiale (3 bis)

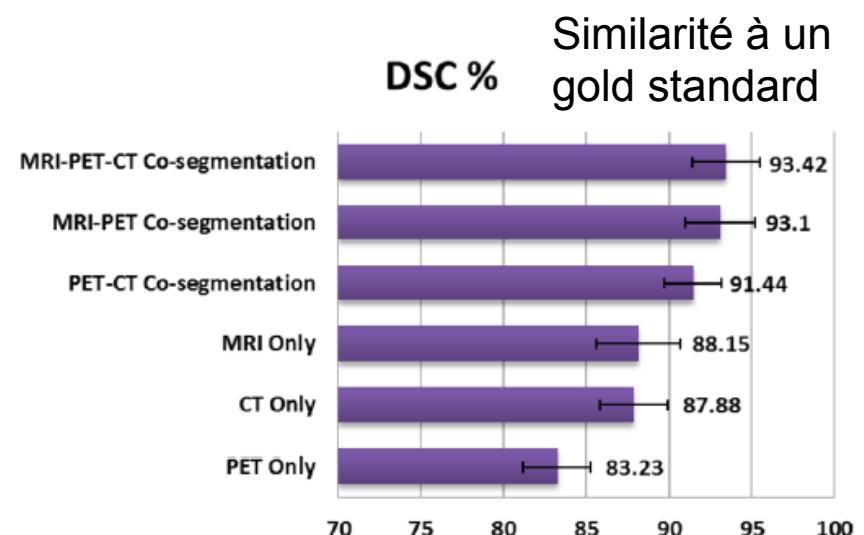
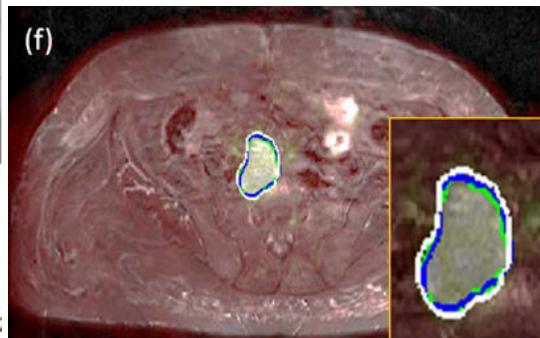
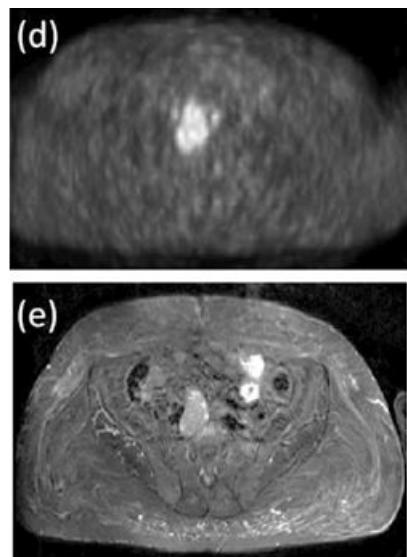
- Segmentation de structures guidées par l'IRM

Segmentation jointe : IRM en s'aidant du TEP (a priori)

TEP en s'aidant de l'IRM (a priori)

1 ou 2
segmentations

Différents algorithmes (eg, Bagci et al *Med Image Anal* 2014, Urien 2015)



TEP-IRM et résolution spatiale (3 bis)

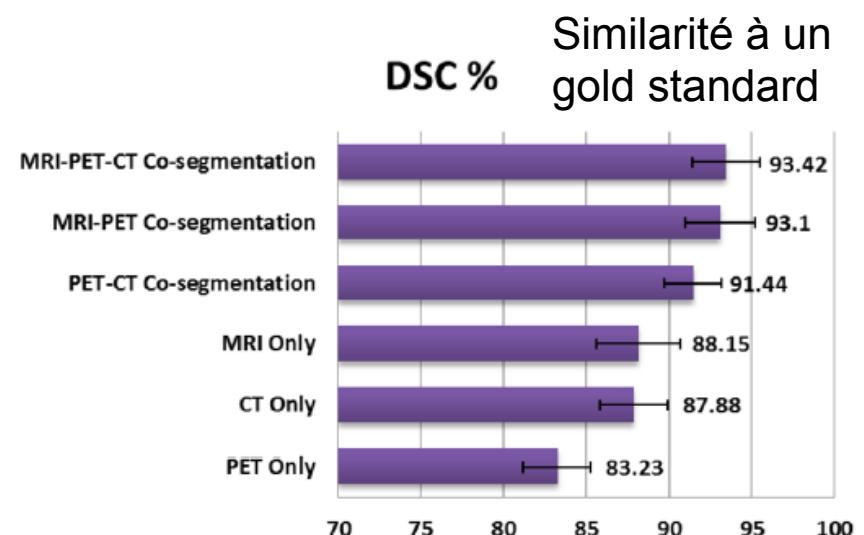
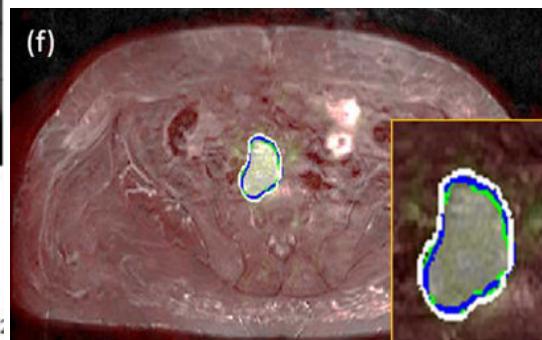
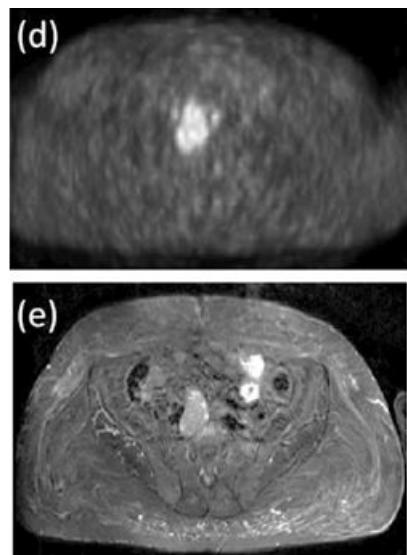
- Segmentation de structures guidées par l'IRM

Segmentation jointe : IRM en s'aidant du TEP (a priori)

TEP en s'aidant de l'IRM (a priori)

1 ou 2
segmentations

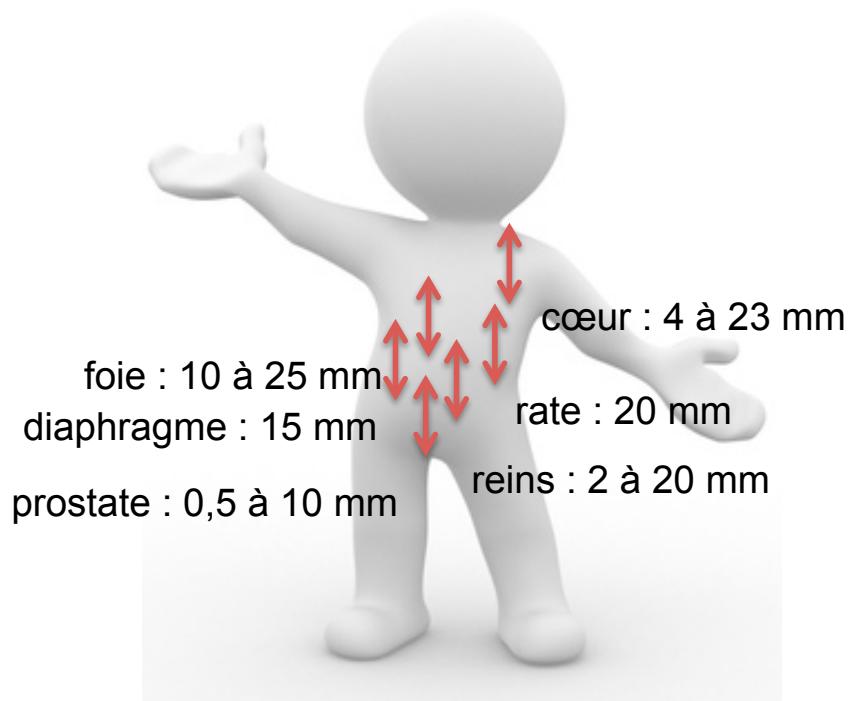
Différents algorithmes (eg, Bagci et al *Med Image Anal* 2014, Urien 2015)



Gestion des discordances
Poids à accorder à chaque modalité
Intégration des informations multimodales

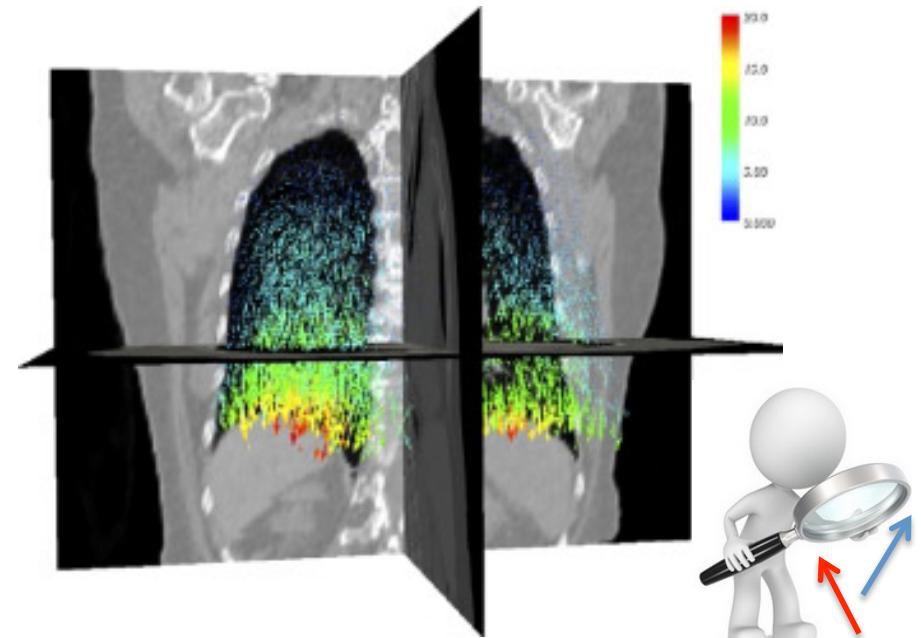
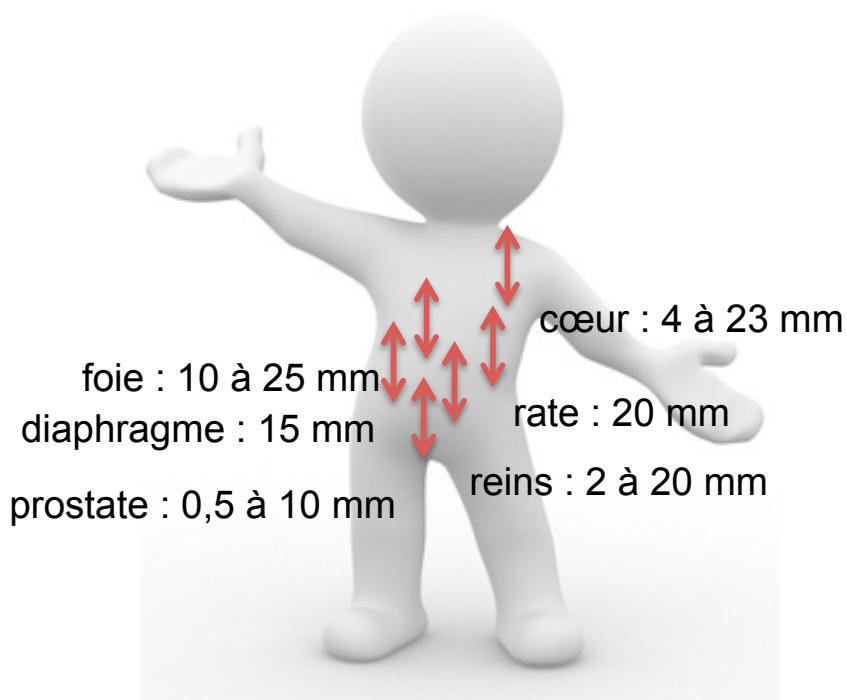
Le flou cinétique en TEP-TDM

- Les images TEP sont affectées par les **mouvements physiologiques** : surestimation des volumes métaboliques de 10 à 30%, sous-estimation des activités de 5 à plus de 100% dans les régions mobiles
- Les techniques de **prise en compte des mouvements dans la reconstruction tomographique TEP** existent (modélisation dans R)
- Verrou : estimer les mouvements internes complexes



Le flou cinétique en TEP-TDM

- Les images TEP sont affectées par les **mouvements physiologiques** : surestimation des volumes métaboliques de 10 à 30%, sous-estimation des activités de 5 à plus de 100% dans les régions mobiles
- Les techniques de **prise en compte des mouvements dans la reconstruction tomographique TEP** existent (modélisation dans R)
- Verrou : estimer les mouvements internes complexes



L'IRM permet d'estimer les champs de déformation

TEP-IRM et compensation de mouvements

- Possibilité de mesurer **le champ de déformation** via l'IRM simultanément à l'acquisition TEP

Plusieurs approches (*Catana Sem Nucl Med 2015*) :

- IRM taggé : marqueurs virtuels internes
- Vélocimétrie IRM de contraste de phase
- Imagerie de marquage tissulaire harmonique de phase
- Approche par gradients de champ pulsé
- Approche GRICS
- etc...

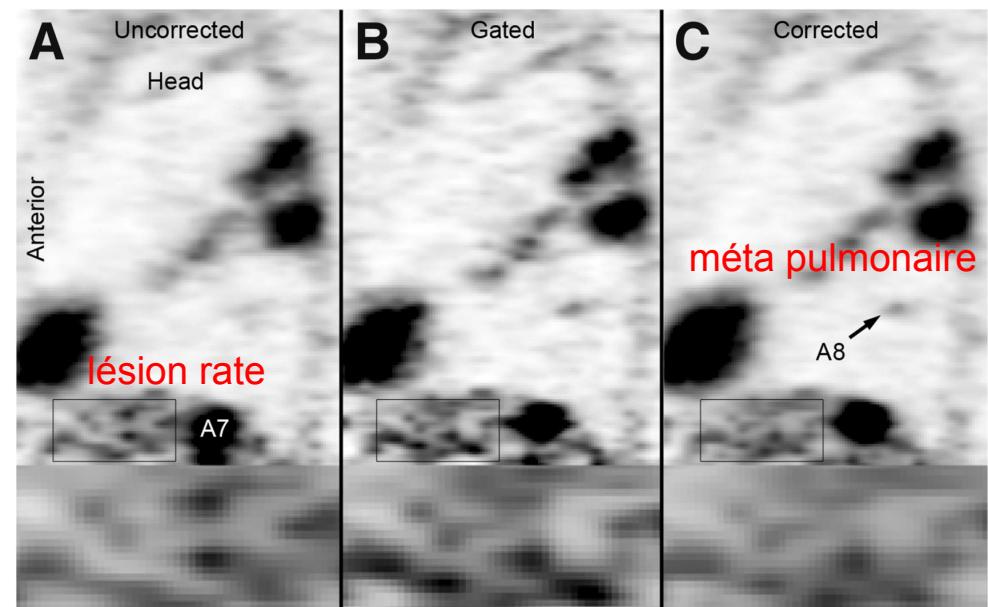


TEP-IRM et compensation de mouvements

- Possibilité de mesurer **le champ de déformation** via l'IRM simultanément à l'acquisition TEP

Plusieurs approches (*Catana Sem Nucl Med 2015*) :

- IRM taggé : marqueurs virtuels internes
- Vélocimétrie IRM de contraste de phase
- Imagerie de marquage tissulaire harmonique de phase
- Approche par gradients de champ pulsé
- Approche GRICS
- etc...



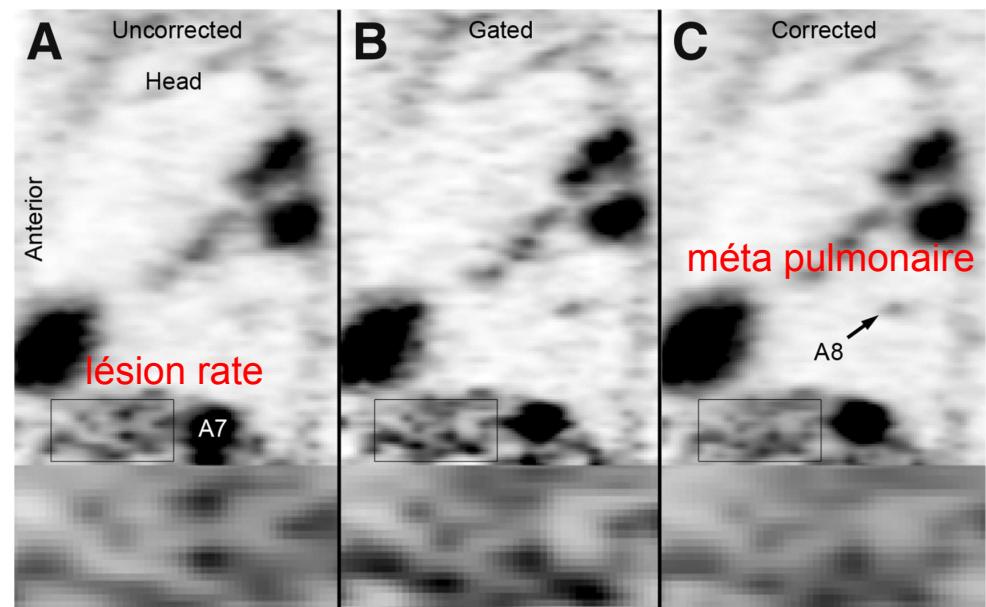
Würslin et al J Nucl Med 2013

TEP-IRM et compensation de mouvements

- Possibilité de mesurer **le champ de déformation** via l'IRM simultanément à l'acquisition TEP

Plusieurs approches (*Catana Sem Nucl Med 2015*) :

- IRM taggé : marqueurs virtuels internes
- Vélocimétrie IRM de contraste de phase
- Imagerie de marquage tissulaire harmonique de phase
- Approche par gradients de champ pulsé
- Approche GRICS
- etc...



Würslin et al J Nucl Med 2013

L'estimation de paramètres physiopathologiques en TEP-TDM

- Actuellement le SUV, estimée approximative du K_i

6 à 67% et potentiellement variable sous traitement*

$$\text{SUV } K_i = \frac{\text{fixation tumorale (t)} - \text{FDG non métabolisé}}{\int_0^t AIF(0) d0} \quad \sim \text{dose injectée / poids du patient}$$

* Freedman et al, Eur J Nucl Med 2003

- Pour être plus précis :
 - Acquisition TEP dynamique
 - Fonction d'entrée artérielle
 - Composante vasculaire

La TEP-IRM peut fournir certaines de ces informations

Le TEP-IRM pour l'estimation de paramètres (1)

- Accès à des informations dynamiques : TEP dynamique (Patlak ?)

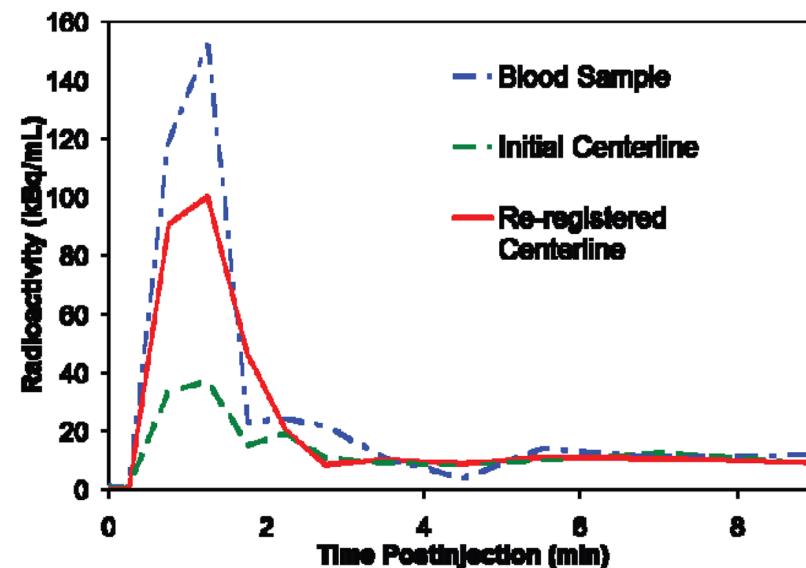
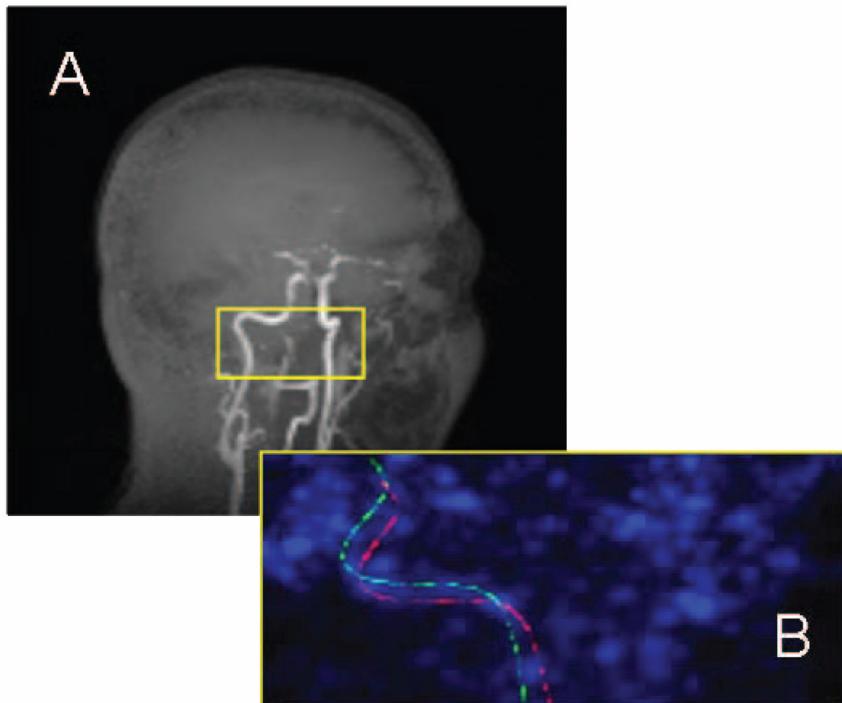
	Whole body MR/PET			Dedicated MR/PET	
2-5 min/bed	PET		AC	Diagnostic MR pulse sequences	
	PET		AC	Diagnostic MR pulse sequences	
	PET		AC	Diagnostic MR pulse sequences	
	PET		AC	Diagnostic MR pulse sequences	PET Anatomic MR sequences Multiparametric MR Other functional MR
	PET		AC	Diagnostic MR pulse sequences	
Time			25-30 min		60 min

* Yoo et al, Kor J Radiol 2015

La TEP-IRM doit permettre d'aller au delà des SUV

Le TEP-IRM pour l'estimation de paramètres (2)

- Estimation de la fonction d'entrée artérielle



Fung et al, IEEE NSS Conf 1997

ou directement à partir de l'IRM ...
ou en combinant TEP et IRM ...



Le TEP-IRM pour l'estimation de paramètres (3)

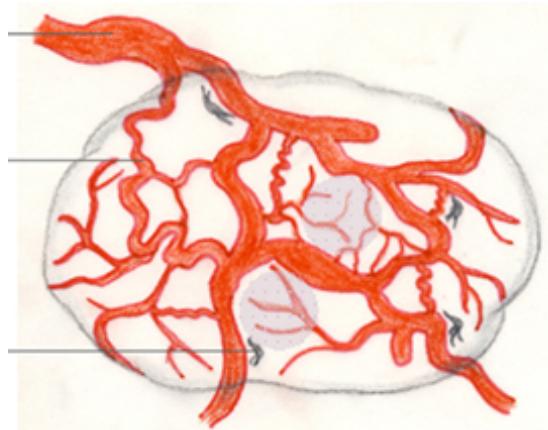
- Estimation de la composante vasculaire tumorale par DCE-MR

IEEE TRANSACTIONS ON MEDICAL IMAGING, VOL. 32, NO. 4, APRIL 2013

699

Calculation of Intravascular Signal in Dynamic Contrast Enhanced-MRI Using Adaptive Complex Independent Component Analysis

Hatef Mehrabian*, Rajiv Chopra, and Anne L. Martel



$$K_i = \frac{\text{fixation tumorale (t)} - \text{FDG non métabolisé}}{\int_0^t AIF(\theta) d\theta}$$

Vers une TEP plus quantitative



Le TEP-IRM pour l'estimation de paramètres (4)

- Définition de nouveaux paramètres multimodaux, combinant des informations TEP et IRM
- Idée ancienne :

absolute whole brain metabolism

$$\text{MR} \quad \text{PET} \quad \text{MR} \\ = \text{atrophy corrected mean CMRGlc} \times \text{brain volume},$$

Alavi et al, J Nucl Med 1993

Calculation of Hepatic Metabolic Volumetric Product (HMVP)

In each subject, the mean SUV of the liver was multiplied by the hepatic volume to calculate the “hepatic metabolic volumetric product”. That is, HMVP=Mean Hepatic SUV (from FDG-PET)× Hepatic Volume (from MRI). The HMVP were then compared between the two study groups.

Bural et al, Mol Imaging Biol 2010

Le TEP-IRM peut permettre de calculer facilement de nouveaux biomarqueurs voire de nouvelles images paramétriques hybrides



Mais ...

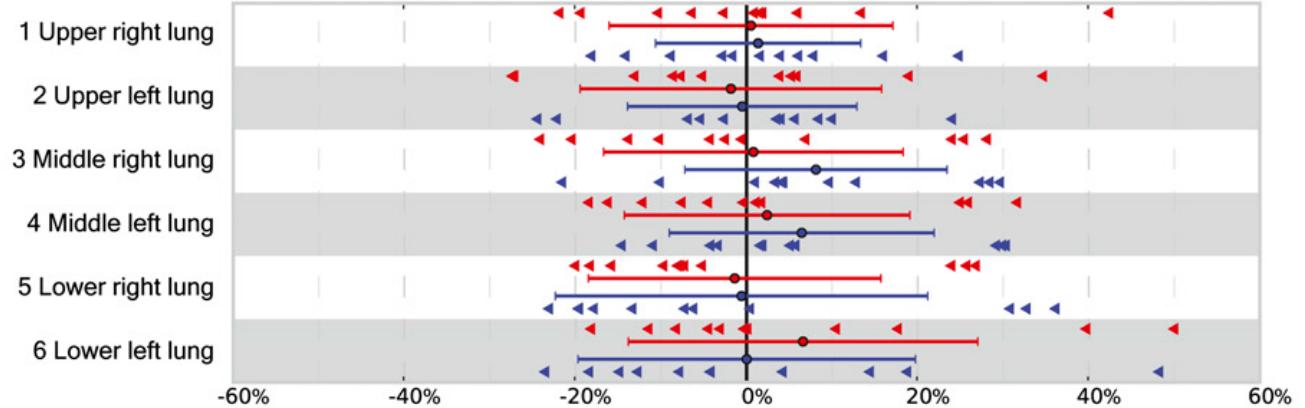
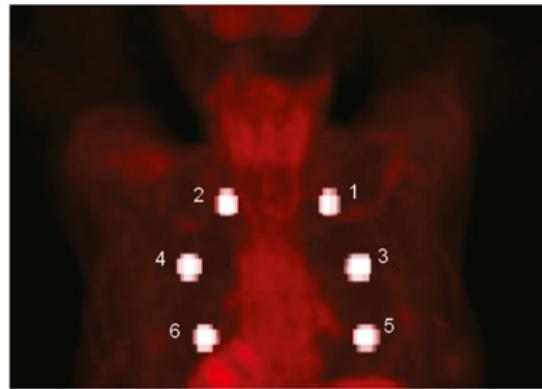
- Il existe aussi des problèmes de quantification spécifiques au TEP/IRM non encore résolus
 - La correction d'atténuation
 - La troncature (champ de vue transaxial < au TEP-TDM)
 - Les difficultés de standardisation des examens (encore plus ardu qu'en TEP-TDM du fait de l'IRM) compliquant les études multicentriques

Les SUV TEP-IRM ne sont pas exactement comparables
aux SUV TEP-TDM

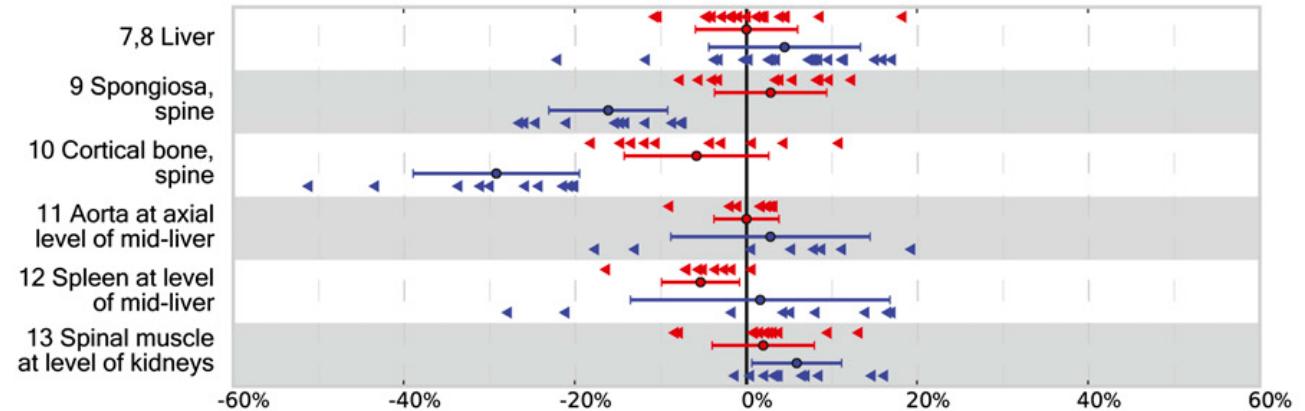
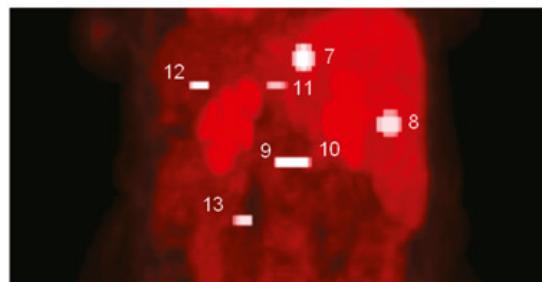
L'équivalence dépend en particulier de la correction
d'atténuation mise en oeuvre

SUV en TEP-IRM...

A Thorax

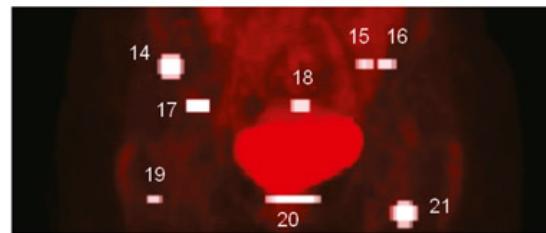


B Abdomen



SUV en TEP-IRM...

C Pelvis



14 Hip muscles
(left)

15 Spongiosa,
pelvic girdle (right)

16 Gluteal muscles

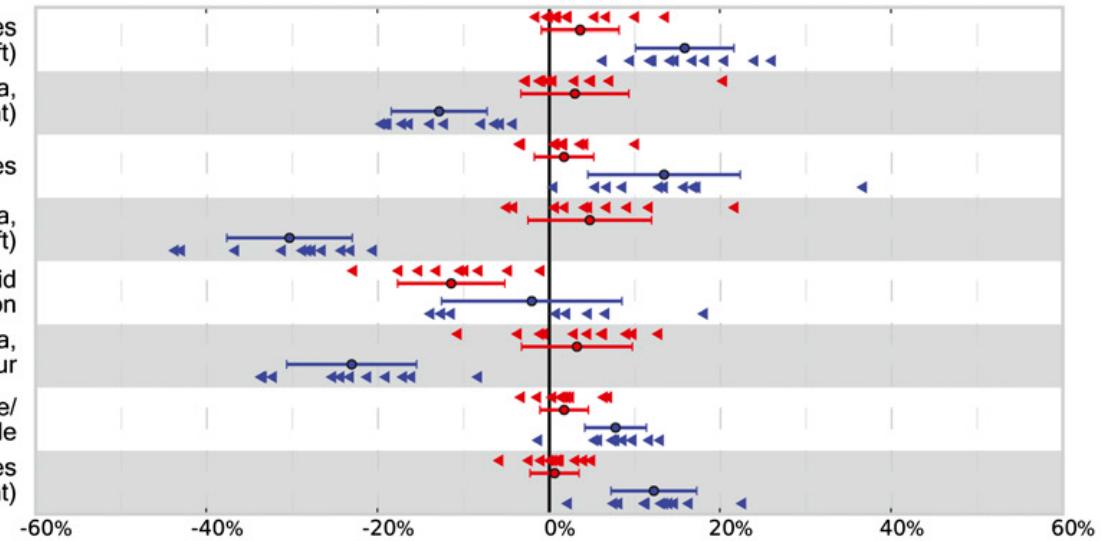
17 Spongiosa,
pelvic girdle (left)

18 Rectosigmoid
colon

19 Spongiosa,
upper femur

20 Prostate/
pelvic muscle

21 Thigh muscles
(right)



D Lesions

- Atlas registration & pattern recognition (AT&PR)
- 5 class MRI segmentation (MRSEG)

Head/neck

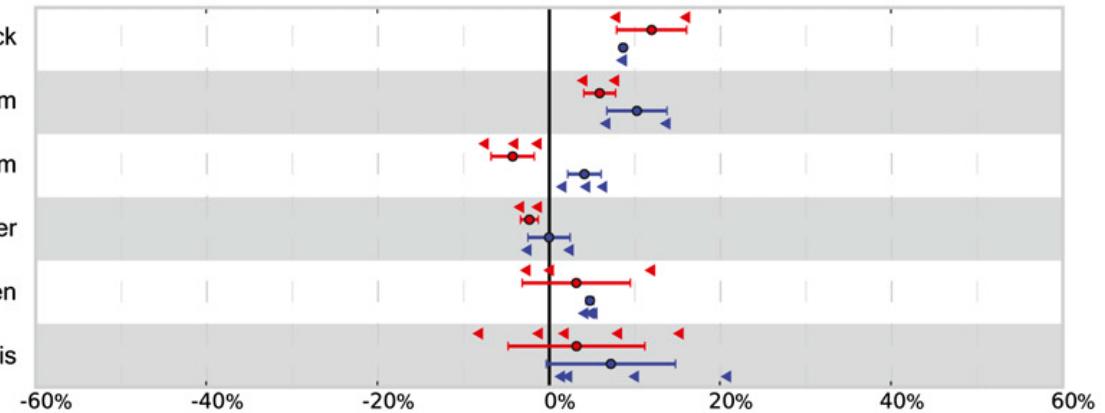
Myocardium

Mediastinum

Liver

Abdomen

Pelvis

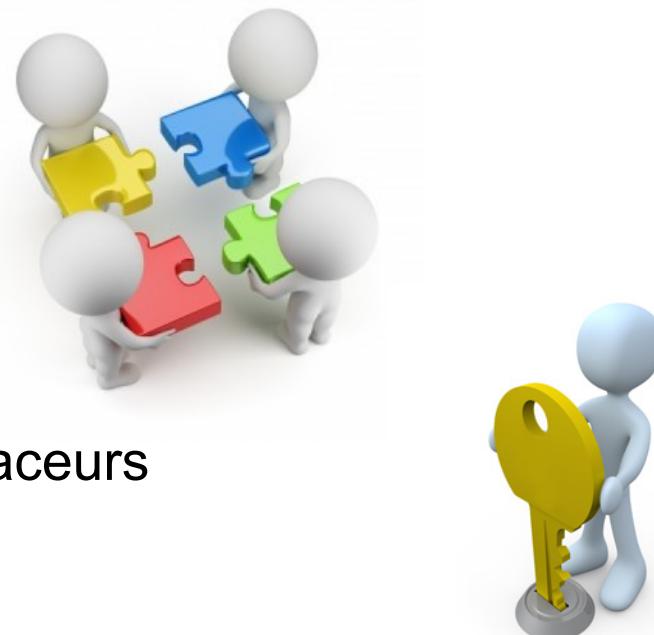


Synthèse

- Des opportunités uniques pour apporter une nouvelle rupture en TEP :
 - l'amélioration significative de la résolution spatiale
 - l'obtention d'images non affectées par le mouvement
 - la définition de nouveaux biomarqueurs



- De nombreux développements méthodologiques encore requis pour tirer le meilleur de la TEP-IRM...



- ... ainsi que de nouveaux traceurs

Apport de l'imagerie hybride TEP-IRM pour la quantification en TEP

Irène Buvat

Imagerie Moléculaire In Vivo (IMIV)

UMR 1023 Inserm / CEA / Université Paris Sud, ERL 9218 CNRS

CEA – Service Hospitalier Frédéric Joliot

Orsay, France

irene.buvat@u-psud.fr

<http://i2bm.cea.fr/dsv/i2bm/shfj/imiv>

<http://www.guillemet.org/irene>