

UE 2 : Biophysique
Pr Frédéric Paycha
Le 03/11/2016
Ronéotypeur : Christophe Grelaud
Ronéoficheur : Paul Galisson

Cours n°10 – UE 2 Imagerie hybride

Le professeur a dit que les cas cliniques n'étaient pas à bien connaître et que les diapos à apprendre étaient celles signalées par un panneau « attention » dans son cours. De plus, le professeur n'a pas mis les diapos en ligne malgré nos nombreux e-mails, je m'inspire en partie du cours d'il y a 3 ans mais de probables mises à jours seront à apporter dès que le prof aura mis le cours en ligne.

Plan du cours

Préambule

I°/- Définition de l'imagerie hybride

II°/- Imagerie hybride en routine clinique

- La TEMP-TDM
- Apport de l'imagerie hybride
- La TEP-TDM
- Dosimétrie
- Comparaison entre TEMP et TEP
- Intérêt du TEP
- Facteurs qui interviennent dans la comparaison TEMP/TEP
- Les gains du mode topographique sur le mode planaire
- Les gains du couplage d'image TEP et TDM
- Correction d'atténuation
- TEMP et scintigraphie osseuse

III°/- Exemples cliniques

IV°/- Imagerie hybride en développement clinique

- Importance des images « clés »
- Echelle de couleurs
- Reconstitution informatique
- La mire de triangulation
- Le MIP
- La technique de rendu volumique (VRT)
- Comparaison MIP-VRT
- Le fused-VRT

Conclusion

Préambule

Ce cours est consacré à l'imagerie hybride, c'est-à-dire l'imagerie couplant technologiquement et informatiquement 2 modalités d'imagerie : l'une métabolique (*analyse des molécules avec des marqueurs*), l'autre morphologique (*analyse des structures*).

Les caméras TEMP et TEP, la TDM, l'IRM et la dosimétrie sont détaillées à part dans d'autres cours et ne sont étudiées dans ce cours que combinées. Le prof conseille donc d'avoir appris les autres cours sur l'imagerie avant.

I°/- Définition de l'imagerie hybride

Les deux modalités d'imagerie appariées sont généralement une modalité d'imagerie métabolique et une modalité d'imagerie morphologique.

Les modalités d'imagerie métaboliques les plus utilisées en imagerie hybride sont :

- la TEMP (SPECT en anglais)
 - la TEP (PET en anglais)
- (Couplé à un scanner le plus souvent)

Les modalités d'imagerie morphologique les plus utilisées en imagerie hybride sont :

- le TDM (ou scanner, CT en anglais)
- l'IRM depuis quelques années

La définition de l'imagerie hybride est une notion à connaître pour l'examen. !

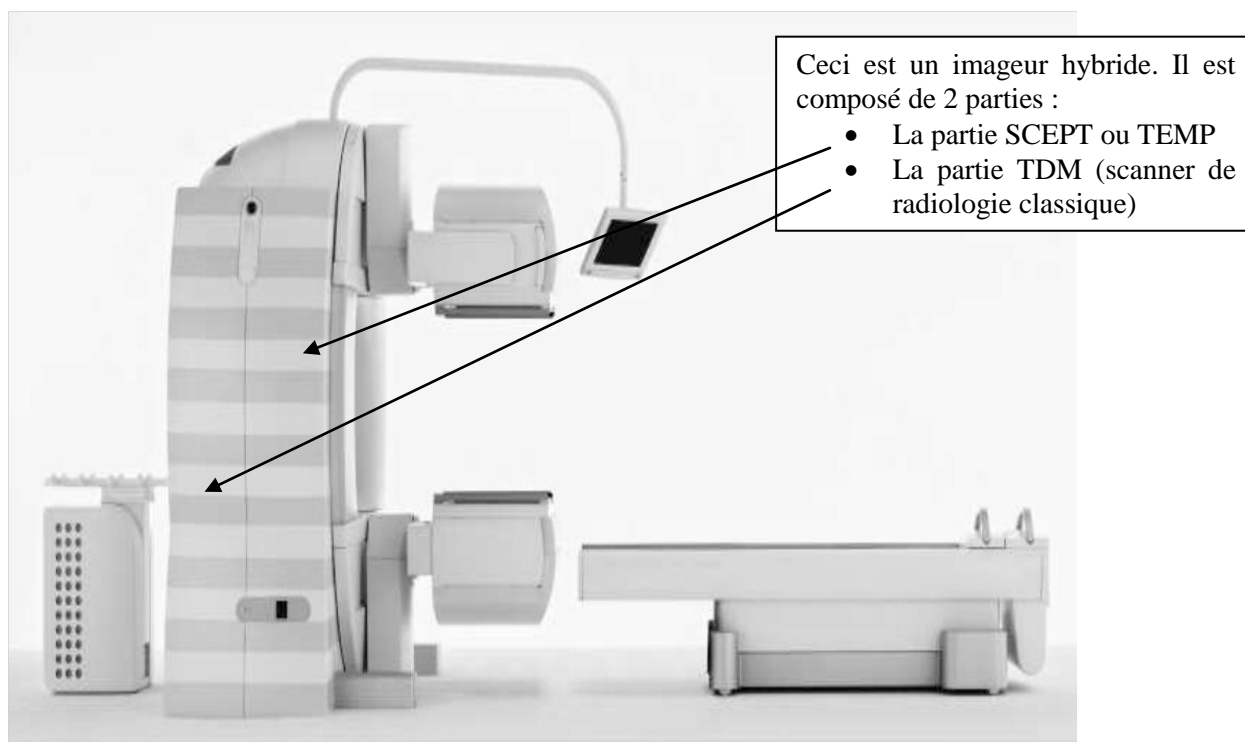
L'imagerie osseuse nécessite l'injection de radiopharmaceutiques. Un radiopharmaceutique, ou traceur, est composé d'un radionucléide émettant des rayons gamma (Tc^{99m} est le plus utilisé dans le monde), greffé à une molécule vectrice qui présente un tropisme pour un organe ou une pathologie. Dans le cas de l'imagerie osseuse, il s'agit des bisphosphonates ayant un tropisme pour les ostéoclastes et donc les os. *Les bisphosphonates sont déjà utilisés en thérapeutique pour lutter contre l'ostéoporose et l'ostéolyse.* Le radiopharmaceutique le plus utilisé pour les TEMP est le Tc^{99m} (technétium 99 métastable) couplé à une molécule de bisphosphonate. Pour le TEP, le radionucléide le plus utilisé est le fluor de sodium $Na-F^{18}$. *Le fluor est plus visible que le Tc car il émet 2 positons plutôt qu'un photon gamma.*

Quelque soit le radiopharmaceutique que l'on injecte, la formation de l'image est tributaire de la vascularisation osseuse. *En effet, contrairement à l'IRM ou au scanner où l'on injecte rien au patient, en TEP ou en TEMP, un traceur est injecté par voie intraveineuse. Donc pour avoir une image, il faut que le traceur arrive jusqu'à l'os, donc que l'os soit bien vascularisé.*

Le deuxième paramètre qui détermine le degré de fixation de ce traceur est le remodelage osseux. *En effet, le bisphosphonate du traceur se fixe sur l'ostéoclaste. Donc pour que le traceur se fixe, il faut des ostéoclastes et donc du remodelage osseux (ou turn-over).*

Enfin, le niveau de captation du F-Na est deux fois plus élevé que celui du Tc^{99m} , ce qui donne 2 fois plus de contraste à l'image. Donc le type de traceur a aussi un impact sur le rendu final de l'image.

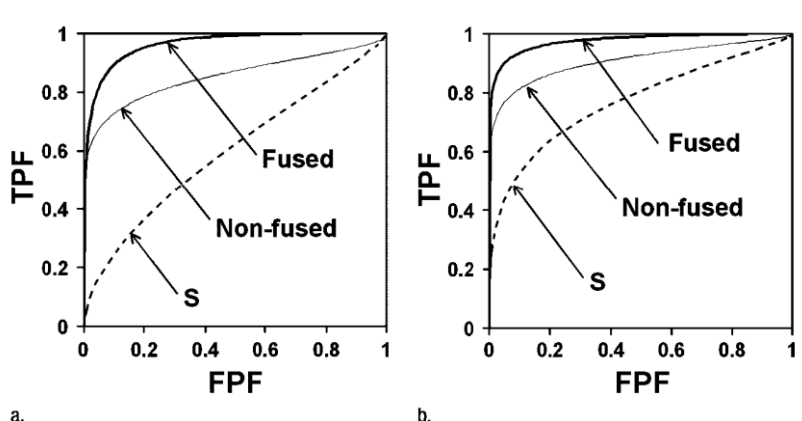
Le TEMP / TDM



L'imagerie hybride n'est pas simultanée : le patient passe d'abord dans la partie TEMP, puis dans le scanner. Seulement ensuite, les 2 informations sont informatiquement superposées. Il y a acquisition de l'information métabolique puis de l'information morphologique. La superposition est possible sous deux conditions :

- que le patient n'ait pas bougé (*ce type d'imagerie peut prendre du temps, le patient peut être algique et chercher une position antalgique, il est important de bien sangler les patients et de bien leur expliquer l'intérêt de ne pas bouger*)
- que la maladie n'ait pas évolué entre la partie TEMP et la partie TDM.

Apport de l'imagerie hybride



- Ces courbes représentent le taux de vrais positifs par rapport au taux de faux positifs. Idéalement, pour que le test ait la sensibilité et la spécificité maximum, il faudrait que la courbe longe l'axe des ordonnées à la verticale et vienne perpendiculairement en haut pour ensuite longer le haut du cadre horizontalement. On voit ici que le test le plus fidèle

correspond à l'imagerie hybride avec fusion informatique (fused). La technique la moins efficace est la tomoscintigraphie seul (S) puisque sa courbe est quasiment en diagonale (*ce qui équivaut à diagnostiquer au pile-ou-face*). La situation intermédiaire correspond au cas où un scanner et une imagerie nucléaire sont faits mais non fusionnés informatiquement, les résultats sont simplement présentés côte à côte sur un négatoscope (non-fused).

L'imagerie hybride augmente donc quasiment par un facteur 2 la sensibilité et la spécificité des testes. (*Valeurs des rapports : fused = 0,9 ; non-fused = 0,8 ; S = 0,5.*)

- Le deuxième apport majeur par rapport aux techniques de tomoscintigraphie et d'imagerie métabolique et morphologique non combinée est celui de la reproductibilité : **l'imagerie hybride augmente par un facteur 2 la reproductibilité du teste.** La reproductibilité d'un teste est définie par la probabilité que deux praticiens, voyant de façon isolée le teste, tirent les mêmes conclusions. L'apprentissage par les praticiens en est également plus facile. (*Valeurs des reproductibilités : fused = 0,7 ; non-fused = 0,6 ; S = 0,3*)

Le prof a précisé que cette diapo était importante mais que les chiffres entre parenthèses n'était pas à apprendre : il veut que l'on se souvienne que la sensibilité, la spécificité et la reproductibilité ont environ été augmenté par un facteur 2.

- L'imagerie hybride permet de relier l'anomalie métabolique au lieu anatomique où se situe le problème. Le TEMP seul donne l'information du problème métabolique mais on ne peut pas le localiser précisément tandis que le scanner ne donne pas d'information métabolique.
- En hybride, il est possible d'utiliser les rayons X émis par le scanner comme outils de correction de l'atténuation et de diffusion des rayonnements gamma émis par le Tc^{99m}.
- Il est également possible d'utiliser l'information scanner pour mieux segmenter les compartiments tissulaires observés en TEMP. En effet la médecine nucléaire a un inconvénient : une résolution spatiale faible. En utilisant le scanner, on obtient de meilleurs contrastes notamment dans la différenciation entre l'os, les tissus mous et l'articulation.
- L'imagerie hybride permet également une quantification
- On a peu à peu utilisé le scanner en soi et non plus comme outils de correction, *ce qui peut paraître étrangement évident mais qui ne l'a pas toujours été pour des raisons historiques sur lesquelles le prof ne s'est pas étendu*

Les images et la diapo sur le recalage informatique ne sont pas à apprendre.

Un tableau nous montre que l'efficacité, la précision et le contraste d'un scanner dépendent du nombre de coupe (slice) qu'il peut faire. Aujourd'hui, le scanner haut de gamme fait 64 coupes en 10 secondes contre 1 coupe en 10 minutes autres fois. En fonction du type d'examen que l'on veut faire on a besoin de plus ou moins de précision et donc de tel ou tel type de scanner au minimum. L'examen requiert :

- Un scanner à 1 coupe ou un scanner « low dose » si on veut utiliser le scanner uniquement à des fins de localisation et de correction de l'atténuation et de la diffusion des rayons gamma
- Un scanner à 2 coupe si on veut faire du diagnostic sur de l'os (*en effet le squelette a l'avantage d'être très contrasté par rapport au reste du corps et donc ne nécessite ni scanner très haut de gamme, ni produit de contraste*)
- Un scanner à 6-16 coupes si on veut faire du diagnostic en viscérale avec injection de produit de contraste (*les viscères étant moins contrastées, le scanner doit être plus performant*)
- Un scanner à 64 coupes si on veut faire du coro-scann (un scanner des artères coronaires) qui nécessite un trait bon contraste et une bonne qualité d'image, même acquise en mode cinétique, de manière à respecter les battements du cœur le plus fidèlement possible. (*ici, non seulement les artères n'ont pas un bon contraste mais le cœur est en perpétuel mouvement. Il faut donc un scanner très performant pour obtenir une image nette malgré le mouvement*)

Doit-on utiliser le TDM topographique (low dose) à des fins de diagnostic ?

- Une TDM (scanner) « low dose » remplace avantageusement un lot de radiographie standard pour une famille d'indications cliniques : fracture ostéoporotique, métastase osseuse, myélome dans une population âgée (>70 ans)
- Il y a un gain de sensibilité et de spécificité pour les lésions osseuses et extra-osseuses, le temps d'examen est divisé par 3 et la dosimétrie est multipliée par 1,5-2.
- La sensibilité de la TDM diagnostic dans la recherche de métastase du rachis est imparfaite (70%-100%), nettement inférieure à celle de l'IRM
- La dosimétrie est un facteur défavorable à la TDM CE

Donc le TDM « low dose » aurait pu être utile en diagnostic à l'époque où il était plus performant que les autres outils (radiographie) pour la même indication, mais aujourd'hui, il est devenu obsolète.

Le TEP / TDM

La machine d'imagerie hybride avec la TEP est montée de la même manière que celle utilisant le TEMP avec le scanner et les caméras TEP montés en série. Les fusions d'images suivent également le même principe.

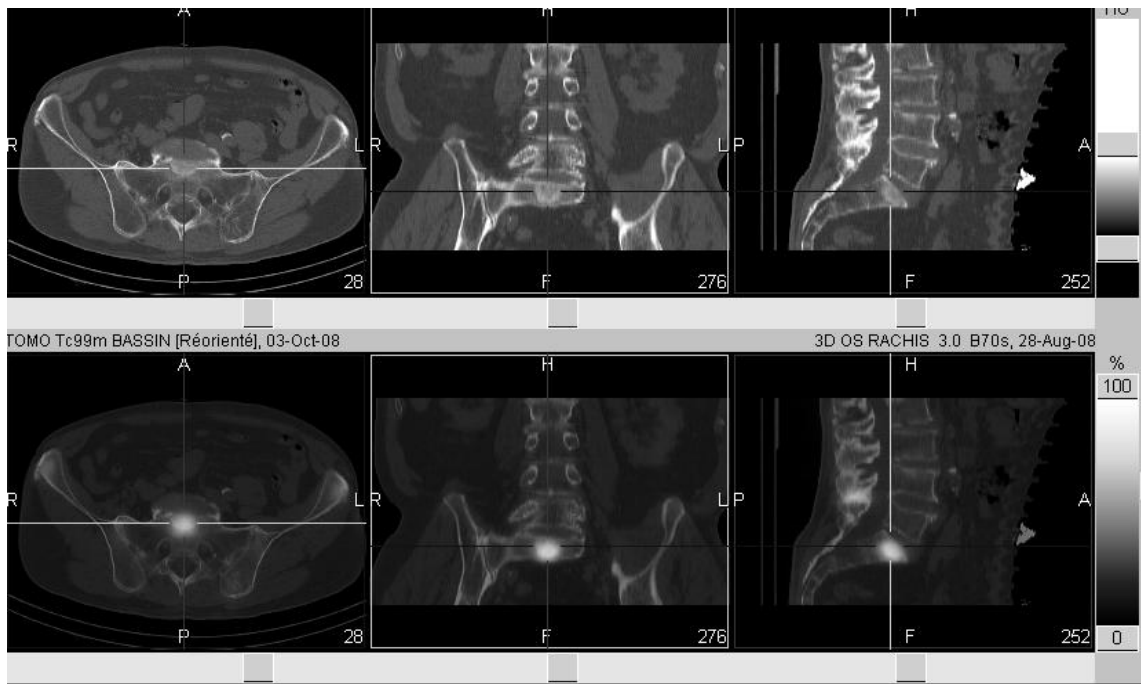
Dosimétrie

La dose efficace injectée à l'époque où l'on ne faisait pas d'imagerie hybride, et même pas de coupe (on injectait le produit de contraste et on effectuait un balayage dit « planaire » ou corps entier) et l'époque actuelle est restée la même. *On n'irradie pas plus les gens.* On injecte 8 à 10 MBq (méga béquerel) par kg de poids corporel. Cette préconisation d'activité pondérale n'a pas varié en passant en imagerie planaire. Le résultat est une dose efficace de quelque mSv (milli sievert).

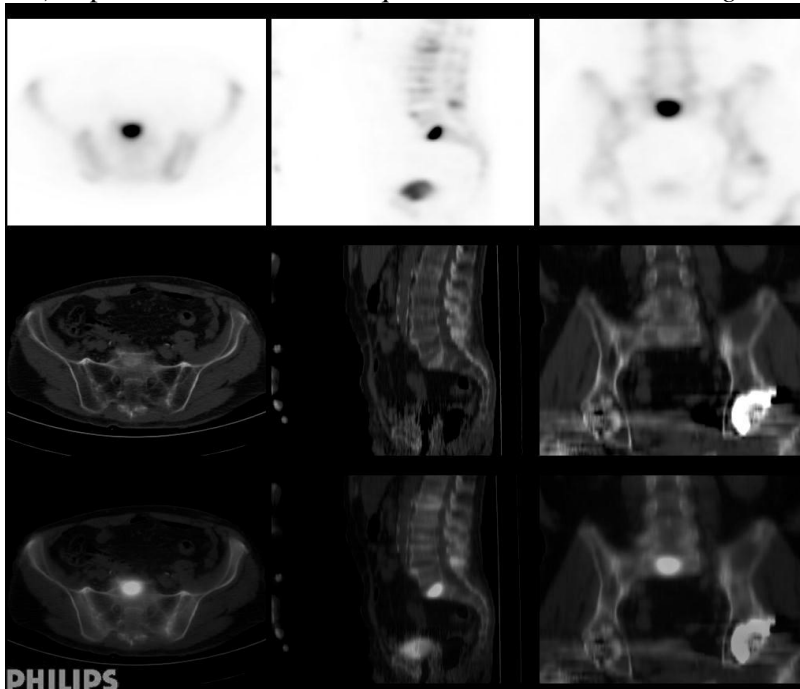
La TEP utilise du fluorure de sodium et non du technétium. Cela permet de diminuer l'activité du traceur pour l'os et ce qui donne une dosimétrie pour le patient identique, voir plus faible qu'en médecine nucléaire conventionnelle, c'est-à-dire qui utilise du Tc^{99m}. Cette faible dosimétrie est liée à des progrès considérable pour les récepteurs de la TEP. *Le paradoxe réside dans le fait que les rayonnements Beta émis par le FNa devraient aboutir à des doses efficaces beaucoup plus élevées que pour le TEMP qui émet des photons gamma mais grâce au progrès des récepteurs TEP, la dose à été diminuée. Les chiffres ne sont pas à apprendre.*

En revanche l'irradiation liée aux rayons X émis par le scanner reste la même entre le TEP et le TEMP hybride. Cependant les derniers modèles de scanner sont plus performant et permettent de diminuer la dose injectée, ce qui a pour conséquence de diminuer la dose efficace par un facteur 2.

Comparaison entre TEMP-TDM au BP-Tc^{99m} et TEP-TDM au F-Na-(F¹⁸)



Il s'agit d'une métastase ostéoblastique condensante en S1 vue au TEMP. Il y a une mire de triangulation qui aide à localiser la métastase. La première ligne est l'image obtenue au scanner, qui est en noir et blanc, la deuxième ligne est l'image obtenue au TEMP, elle est en nuance de jaune plus ou moins orangé. Il est important que l'échelle de couleur soit monochrome et simple (*pas d'arc en ciel*) et pas de la même couleur que le scanner *car nuance de gris sur nuance de gris, on ne voit rien*.



Il s'agit de la même chose mais vue au TEP. Ici, la deuxième ligne est la vue scanner et la troisième est la vue TEP. Le scanner donne toujours une image en noir et blanc et le TEP donne une image avec la même échelle de couleur que le TEMP. On note plus d'intensité mais moins de contraste pour le TEP par rapport au TEMP. Dans cet exemple, le TEP ne semble pas présenter d'avantage par rapport au TEMP mais il s'agit en vérité d'un TEP d'ancienne génération face à un modèle de TEMP dernière génération.

Intérêt du TEP par rapport à d'autre machine d'imagerie

- TEP/TDM au FNa-(18F): spécificité supérieure à la scintigraphie osseuse planaire aux BP-(99mTc): démontrée
- TEP/TDM au FNa-(18F): sensibilité supérieure à la scintigraphie osseuse planaire aux BP-(99mTc): démontrée
- TEP/TDM au FNa-(18F): sensibilité supérieure à la SPECT/CT aux BP-(99mTc): probable, non démontrée
- TEP/TDM au FNa-(18F): spécificité supérieure à la SPECT/CT aux BP-(99mTc): possible, non démontrée (notamment dans la détection des métastases osseuses)

Les facteurs qui interviennent dans la comparaison entre TEP et TEMP /!

- Il faut que les générations des caméras soient identiques
- Il faut que le paramétrage des caméras soit optimal
- Il faut faire attention aux propriétés des images de coupe obtenues par émission de photon (TEMP) qui sont différentes de celles des images de coupe obtenue par émission de positon (TEP).
- Il faut tenir compte de la biodistribution des bisphosphonates et du fluorure de sodium
- Il faut tenir compte du phénotype des métastases osseuses (aspect, comportement à l'image). On distingue 3 phénotypes de métastases osseuses : le phénotype condensant (occupe l'os, l'obstrue), le phénotype ostéolytique pure (détruit l'os, y fait des trous) et le phénotype mixte qui associe en proportions variables des propriétés ostéolytiques et condensantes.
- Il faut tenir compte de l'effet des thérapies systémiques, notamment des chimiothérapies, qui auront un impact sur les métastases osseuses.

Un autre avantage non négligeable est le temps que prends l'obtention de l'image : un TEP-TDM (ou PET scann) peut être réalisé sur tout individu en moins de 15 minutes pour le corps entier. Un TEMP corps entier prend environ 45 minutes malgré des progrès technologique. Cela constitue un facteur limitant dans la réalisation du teste (le patient qui souffre probablement doit rester immobile pendant 45 minutes) et dans le nombre d'image que l'on peut faire dans la journée.

Les gains du mode tomographique sur le mode planaire

- Recours à un traceur ostéotrope (fluorure de sodium-(18F)) proche de la molécule tracée (cristal d'hydroxyapatite) explorant le turn-over (métabolisme) osseux et/ou à un traceur reflétant le métabolisme cellulaire (FDG-(18F))
- Amélioration de la résolution spatiale
- Amélioration du rapport signal/bruit (niveau de fixation du squelette/niveau de fixation des tissus mous)
- Amélioration du contraste lésionnel (niveau de fixation d'une lésion osseuse/niveau de fixation du squelette normal)
- Possibilité de quantification des lésions (exemple : SUV)
- Amélioration de la localisation anatomique (exemple : distinction des éléments osseux constitutifs de l'arche postérieure d'une vertèbre : pédicule, lame, articulation interapophysaire postérieure, isthme)
-

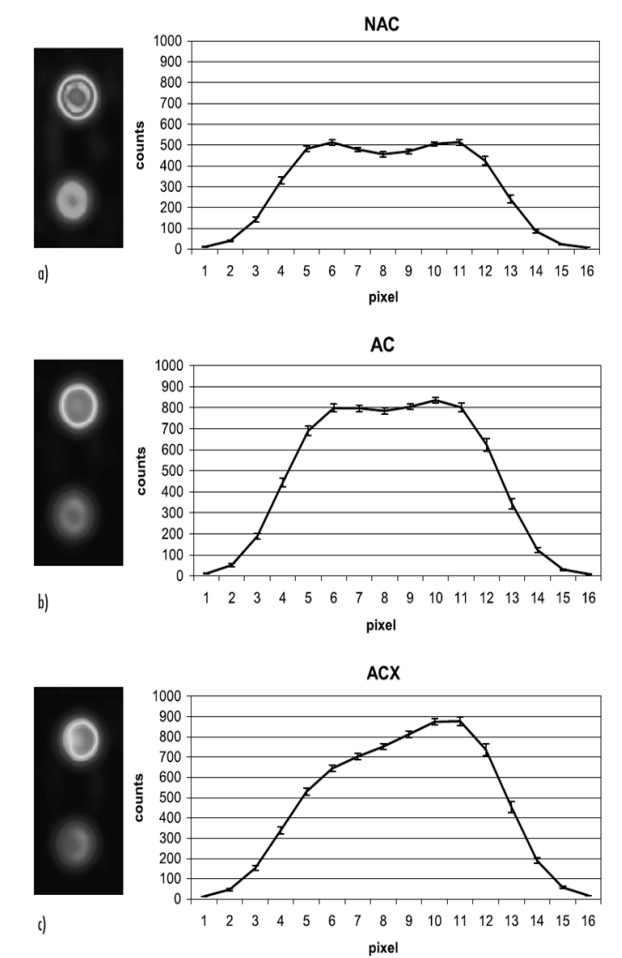
Les gains du couplage d'image TEP et TDM /!

- Amélioration de la localisation anatomique du foyer hypermétabolique (plus généralement de l'anomalie métabolique) par les coupes TDM de repérage
- Correction d'atténuation des photons gamma des images TEMP ou des photons de coïncidence de 511 keV des images TEP en utilisant la carte d'atténuation des rayons X du scanner
- Evaluation quantitative de l'évolutivité (ou activité) métabolique des atteintes osseuses par les coupes TEMP ou TEP, visibles en coupes TDM et dont l'information est aussi morphologique (ou anatomique).

- Amélioration de la sensibilité diagnostique par l'interprétation des foyers hypermétaboliques à TDM normale (précocité de l'imagerie métabolique de coupe)
- Amélioration de la spécificité diagnostique par l'interprétation des foyers hypermétaboliques osseux en prenant en compte l'aspect des structures anatomiques et des lésions en TDM correspondants en topographie à ces foyers
- Facilitation d'une lecture de synthèse par la fusion des images orientées selon les 3 plans de l'espace (coupes axiales, coronales, sagittales) issues des 2 modalités d'imagerie de coupe
- Optimisation de la lecture de la fusion des images issues des 2 modalités d'imagerie de coupe avec réduction des données à l'aide d'algorithmes standardisés de rendu volumique (exemples : MIP+triangulation, fused VRT)

Correction d'atténuation

Il faut interpréter à la fois la coupe scanner et la coupe TEMP pour poser un diagnostic. La correction d'atténuation peut aider à interpréter de manière synthétique les 2 en même temps.



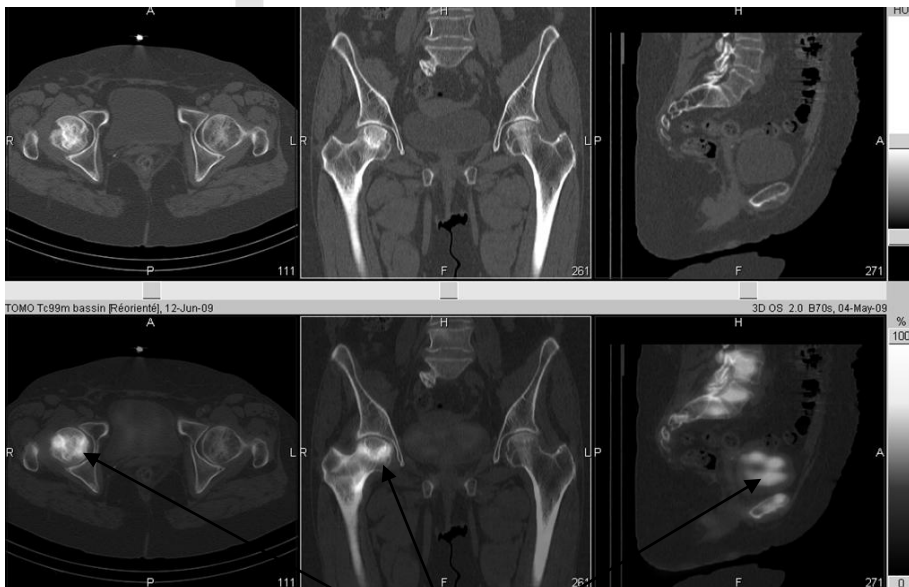
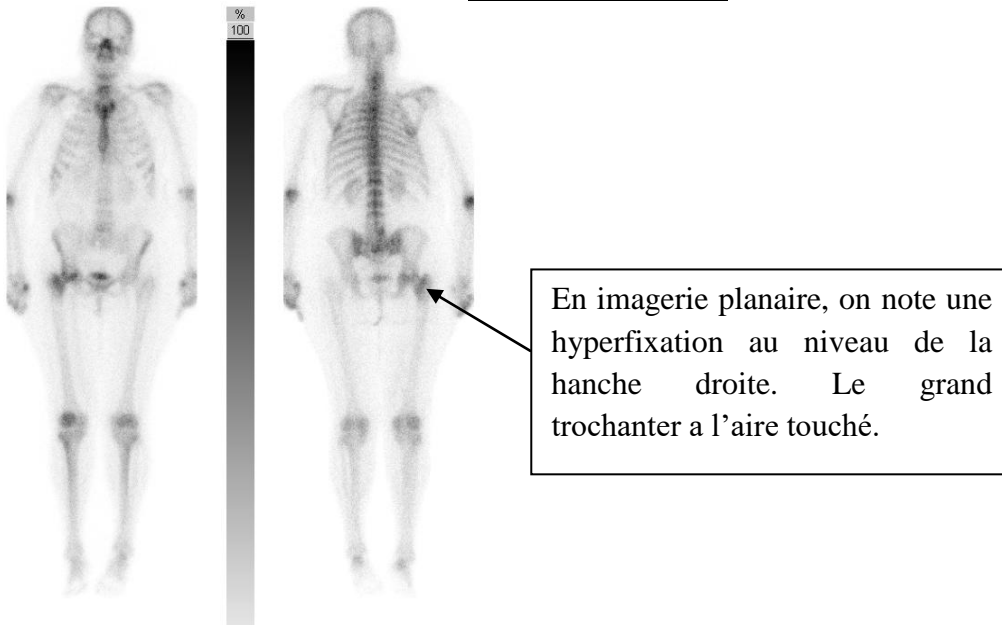
- La première coupe représente les résultats que l'on peut obtenir sans correction d'atténuation
- La deuxième courbe montre de meilleurs résultats en présence d'une correction
- La troisième courbe montre qu'il y a bien eu une correction d'atténuation mais qu'il y a eu un décalage entre l'image TDM et l'image TEMP

TEMP et scintigraphie osseuse

La TEMP augmente la spécificité de la scintigraphie osseuse. En TEMP, on trouve environ 70% de lésion bénigne, 30% de lésions maligne et il reste moins de 1% de lésion qui reste indéterminées contre 100% de lésions indéterminée pour la scintigraphie osseuse

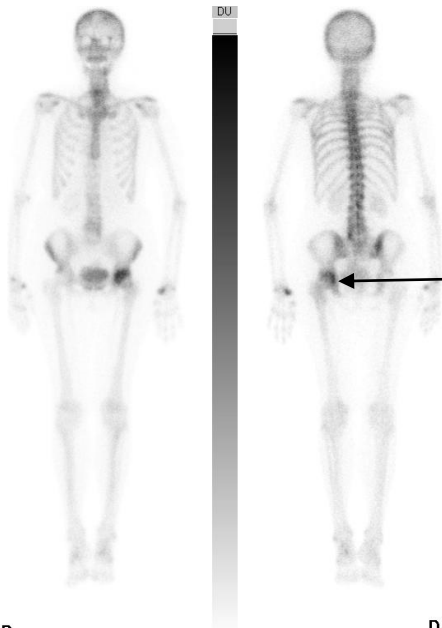
II°/- Exemples cliniques

Cas clinique n°1



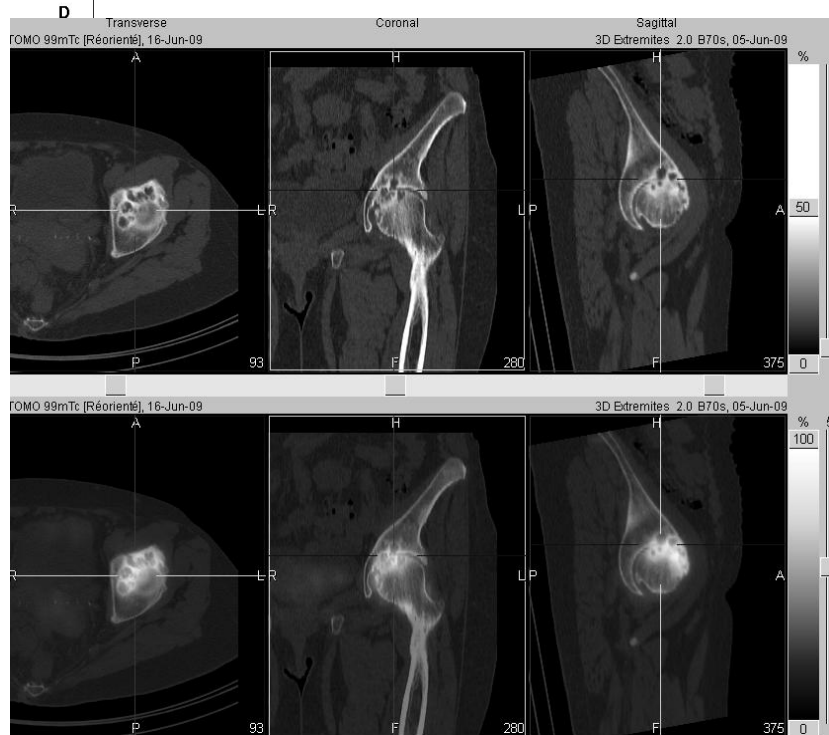
On remarque en imagerie hybride qu'il y a une condensation au niveau de la hanche droite. Il y a une hyperfixation « en croissant » qui est caractéristique d'une nécrose de la tête fémorale ce qui est cohérent avec l'antécédent de cirrhose éthylique.

Cas clinique n°2

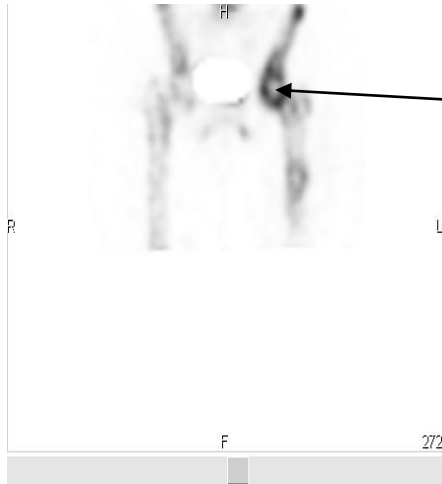


Imagerie planaire : on constate un espèce de « pâte » apposé sur la hanche gauche sans que l'on puisse être orienté vers une pathologie précise.

Il y a une hyperfixation qui intéresse les berges fémorales et acétabulaires mais qui reste à la surface de la corticale et qui ne se propage pas dans l'os. Le TEMP révèle que le maximum d'hyperfixation (vue métabolique) est à un endroit où se mêlent condensation et jéole (trou, aspect en gryère). Ce problème réduit l'interligne entre le fémur et le cotyle au point que l'on ne puisse même plus le voir. Elle a presque une fusion ainsi que de l'arthrose de roche.



Cas clinique n°3

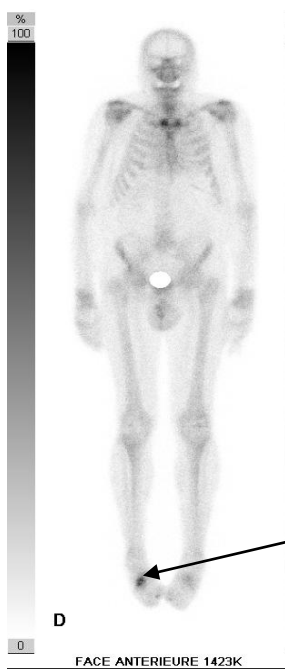


Ici on note un trou de fixation au niveau de la hanche gauche qui est cerné par un liserai d'hyperfixation. C'est un aspect en halo.

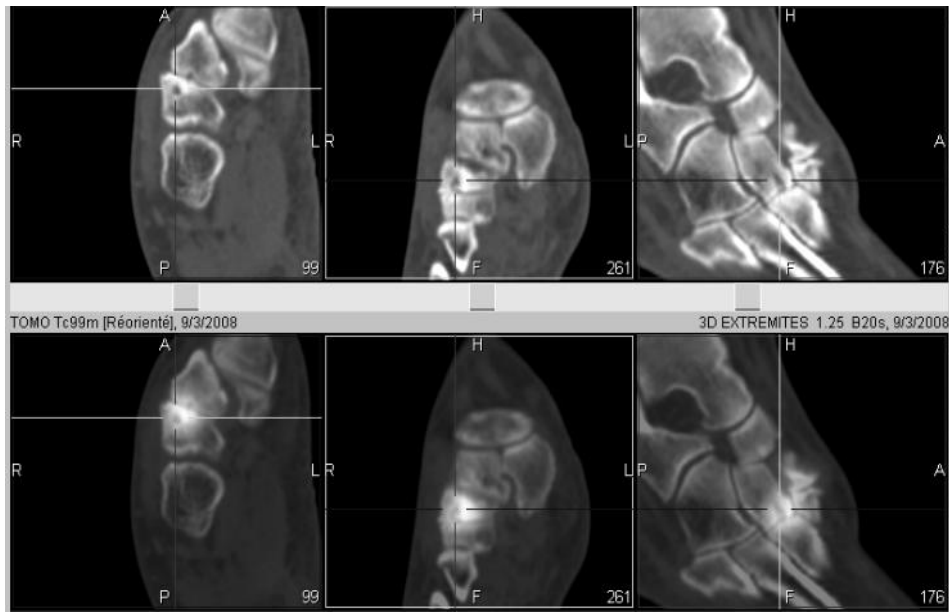


Au scanner on s'aperçoit que la hanche est trouée par une ostéolyse caractérisée par l'aspect en halo. Il s'agit d'une métastase ostéolytique.

Cas clinique n°4

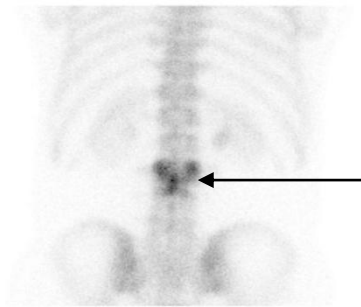


Le patient est une personne âgée ce plaignant de douleur au pied. On ne peut pas trancher en imagerie planaire entre une pathologie ou une autre mais l'imagerie corps entier nous montre une tâche sombre au niveau du pied.



En regardant à la TEMP-TDM, on remarque de l'arthrose dans l'interligne cunéo-métatarsienne. Les signes de l'arthrose sont ici : le foyer d'hyperfixation est concentré sur les 2 berges de l'interligne de l'articulation et non pas sur l'os, il y a un pincement de l'interligne donc il s'agit bien d'une pathologie articulaire et la présence de jéole qui sont des marqueurs de la dégénérescence liée à l'arthrose.

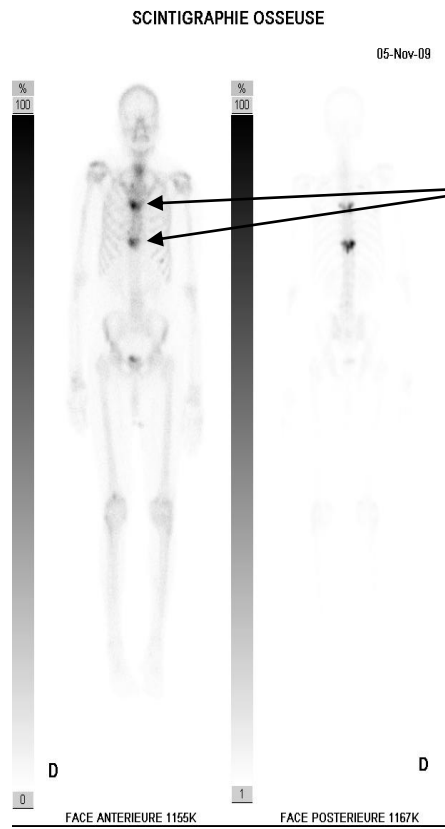
Cas clinique n°5



Rachis lombaire: face post.
 Patient de 63 ans
 Lombalgie inflammatoire
 ADK prostatique opere 7 mois avt
 PSA non communique
 Hyperfixation solitaire de L3
 Signe de Mickey Mouse
MALADIE DE PAGET UNIFOCALE

Ici sur l'imagerie planaire on note la présence du signe de « Mickey Mouse » caractéristique de la maladie de Paget. Ce foyer étant strictement solitaire, le diagnostic des métastases est éliminé rapidement.

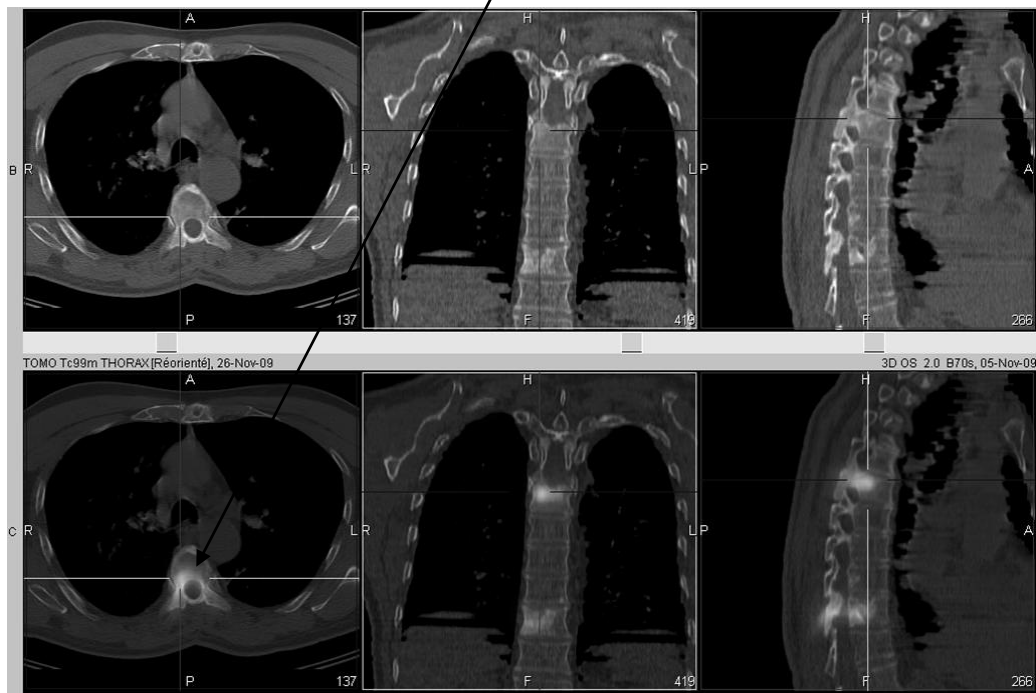
Cas clinique n°6



Ici on note la présence de 2 foyers d'hyperfixation en T6 et en T10. Plusieurs diagnostics sont crédibles :

- Métastase en T6+Paget en T10
- Paget en T6+métastase en T10
- Paget en T6 et en T10
- Métastases en T6 et en T10

Une fois en imagerie hybride, il n'y a plus de doute, il s'agit de métastases en T6 et en T10 de phénotype mixte (condensantes et lytiques)



Piège en imagerie 2D d'anomalies de fixation d'os courts (vertèbres):

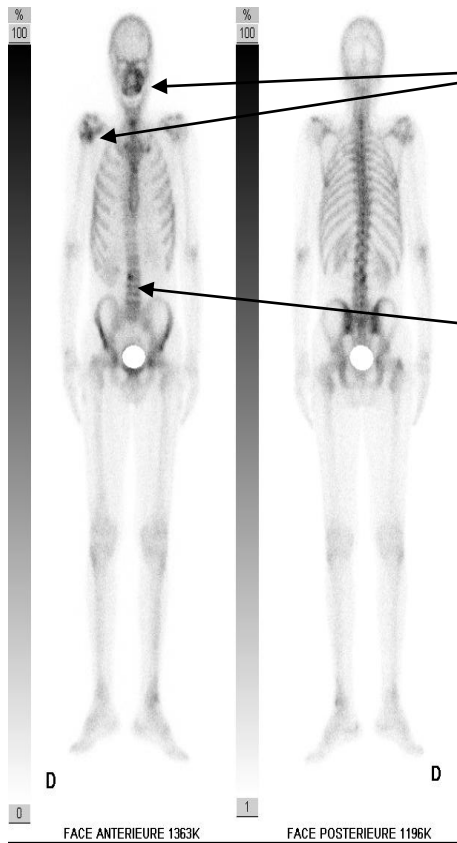
- Amalgame des plages d'hypo- et d'hyperfixation donnant un aspect global erroné d'hyperfixation diffuse

Avantage en imagerie hybride 3 D d'anomalies de fixation d'os courts (vertèbres):

- Description correcte des contingents hypo- et hyperfixants

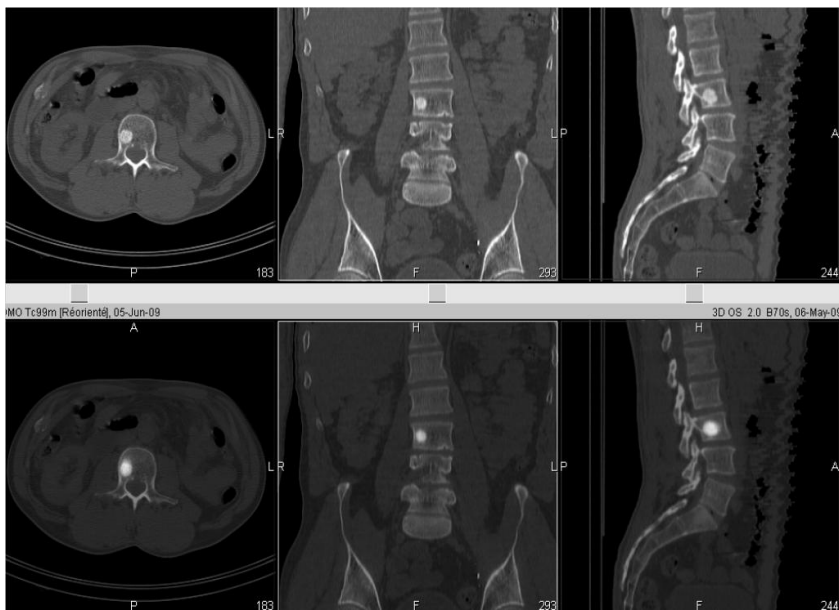
Corrélation TDM aux plages hypodenses et hyperdenses

Quantification : cas clinique n°7



Légère fixation au niveau de l'épaule et du visage, lié à des chutes, le patient est coursier de profession

Foyer d'hyperfixation isolé et arrondi en L3. Cet homme a un cancer de la prostate. Hors, les cancers de la prostate sont connu pour générer des métastases ostéocondensantes. C'est un problème extrêmement fréquent. Et le TEMP-TDM est quasiment toujours demandé par l'urologue.



Ici l'enjeu est important : si le diagnostic de métastase est approuvé, la chirurgie est impossible et cet homme est condamné. Il est important de ne pas se tromper. Ici le foyer d'hyperfixation est une boule très dense et qui n'a pas augmenté de volume en 6 mois.

Pour tester l'évolution du volume, on a pris un volume d'intérêt sur cette « boule » dans l'imagerie TDM. On a calculé les densités Hounsfield (densité de radioactivité, plus la radioactivité est élevée et plus cette densité est élevée) sur les images TEMP. On a introduit une boule témoin dans le corps de cet homme et ensuite, on a fait le rapport des radioactivités entre les zones témoins et la zone d'hyperfixation. On a fait le rapport des rapports pour suivre l'évolution de cette « boule ». Les métastases sont des pathologies très évolutives, le turn over osseux est donc très élevé et donc la fixation est très intense, la densité Hounsfield est élevée. En revanche la densité des métastases n'est pas si élevée au scanner. Ici on voit que la densité au scanner est élevée. Il s'agit donc d'une dysplasie, d'un ilot condensant bénin malgré ce que l'on pensait, cet homme n'est plus condamné. *C'est de l'os normal mais au mauvaise endroit et cette anomalie peut ne rien produire de pathologique et touche 10% de la population, il est donc important de ne pas diagnostiquer des métastases à 1 personnes/10 malgré les ressemblances en image TEMP.*

D'où l'intérêt de la quantification qui est possible en imagerie hybride que l'on ne pouvait pas faire en imagerie planaire !

Importance des « images clés »

Il est important de donner au clinicien 1 image clé de la pathologie : la coupe d'intérêt ne mesure que 1 ou 2 mm alors que certaine structure comme le rachis mesure 70cm. On ne peut pas remettre au clinicien 5000 coupes axiales, 5000 coronales et 5000 sagittales sur feuille format A4, autrement le clinicien ne peut rien voir et tous les résultats finissent directement à la poubelle. Donc il est primordial de trouver 1 image clé, éventuellement les quelques images autour de cette image clé et le CD qui conserve toute les images du TEMP-TDM. *Donner des liasses de documents papier illisibles est appelé par le prof « le syndrome des timbres postes ».*

Les seules images obtenues directement au TEP, au TEMP et au TDM sont les coupes axiales (coupe saucisson). Les coupes sagittales et coronales sont obtenues par reconstitution informatique. Les images clés pour étudier le rachis sont clairement les coupes sagittales, d'où l'importance de l'informatique pour trouver des images clés.

Echelle de couleurs

Il est important d'avoir une échelle de couleurs continue : il faut que les nuances soient dans la même couleur pour rester objectif. Si l'échelle est discontinue, en arc en ciel, le praticien peut être « leurré » : au moment où la couleur passe du bleu au jaune par exemple, cela ne veut pas dire que la densité augmente plus, elle augmente progressivement mais le changement de couleur peut faire croire à une variation brutale de densité. Une échelle en arc en ciel produit nécessairement des changements de couleur qui peuvent tromper l'œil du praticien. D'où l'importance d'une échelle monochrome et continue. Exemple : nuance de gris, nuance « hot métal ».

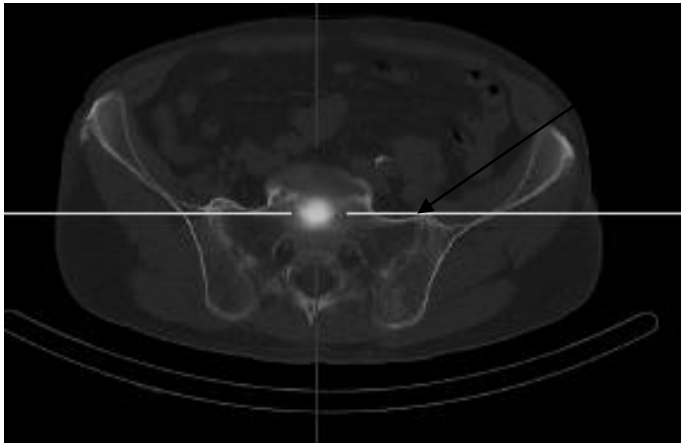
Reconstitution informatique

Les coupes standards que fournit l'algorithme ne sont pas suffisante pour étudier les os car certaines structures osseuses complexes ne rentrent pas dans les coupes qu'elles soient axiales, sagittales ou coronales. Exemple : le sternum est oblique, le fémur est oblique, le sacrum décrit une forme de crochet. Un des travaux importants du praticien est de réorienter les images et les structures dans le même axe pour obtenir des images convenables.

La mire de triangulation

Sert à se repérer dans une coupe. La mire se pose automatiquement sur les foyers où la fixation est la plus importante et permet un repérage rapide du problème sur l'image (ce qui n'est pas toujours aisé).

Mire de triangulation



Le MIP (maximum d'intensité de projection)



Le MIP est une technique qui fait ressortir les maximums de fixation et qui augmente énormément les contrastes. Cette technique fait ressortir à chaque coupe le pixel le plus « chaud ». Il faut donc utiliser la méthode de triangulation avec la mire de triangulation pour repérer la structure pathologique. Le MIP s'applique au scanner. Son équivalent en médecine nucléaire sera décrit plus tard.

Technique de rendu volumique (VRT)

Exemple de l'angio-scann : donne un rendu tridimensionnel sur une seule image en 2D.

Le terme générique de « rendu de volume » désigne un processus qui produit une image 2D à partir d'un modèle 3D. L'image résultante est formée à partir de tous les pixels de l'objet que traverse le rayon virtuel depuis l'œil de l'observateur. La contribution de tous les pixels à l'image est pondérée par l'attribution d'un degré d'opacité d'une part, et par une couleur ou une teinte de gris attribuée à chaque valeur de pixel d'autre part. Ainsi, les tissus superficiels peuvent être rendus totalement transparents, les vaisseaux opaques et l'os encore plus opaque. Un ombrage génère l'impression tridimensionnelle à l'ensemble.

Le VRT permet une segmentation simple de plusieurs tissus de densité ou de signal différents. Cette technique s'applique à la TDM et à l'IRM. Contrairement aux représentations 3D surfaciques où la définition d'un seuil de densité entraîne une réponse binaire (représentation ou absence de représentation du voxel), la méthode de segmentation utilisée pour le VRT est une classification par pourcentage qui évalue la probabilité pour un tissu d'être présent.



TDM thoraco-abdomino-pelvien
en technique de rendu volumique.

Etape 1: Choisir un point de vue

Etape 2: Créer un histogramme de distribution des densités TDM

Etape 3: A partir de l'histogramme, fixer l'intervalle d'unités Hounsfield (HU) pour les tissus d'intérêt

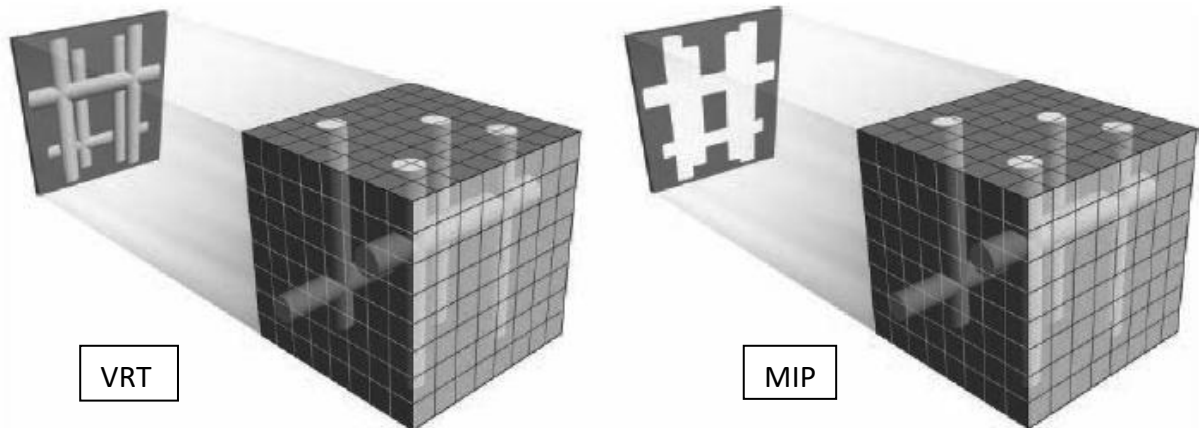
Etape 4: Assigner des valeurs d'opacité aux tissus d'intérêt (de 0% (transparent) à 100% (opaque))

Etape 5: Lancer de rayons depuis le point de vue à chaque point du volume

Etape 6: Déterminer la valeur d'opacité de tous les voxels sur le chemin de chaque rayon

Etape 7: Placer la somme des valeurs d'opacité pour chaque rayon dans l'image finale

Comparaison MIP et VRT



a. La technique MIP consiste à projeter sur un plan les voxels d'intensité maximale. Cependant, cette approche ne permet pas de déterminer la topographie des structures sur une seule projection. Étant toutes projetées sur un plan, les structures antérieures ne se différencient pas de celles qui sont plus postérieures. De plus, une structure très dense va oblitérer la vision des autres structures traversées par les mêmes raies de projection.

Lacune du MIP en cas de lésions lytique : par définition, le MIP ne transmet que les point les plus chauds et on perd donc les points qui ne sont pas très dense, par exempl les points des lésions lytique.



Le Fused VRT

Le fused VRT est l'équivalent du MIP pour la médecine nucléaire. De même que le MIP, le fused VRT permet d'amplifier les contrastes en lisant les pixels les plus chauds.

Utilisation du fused VRT :

- Dans des régions anatomiques complexes où il y a beaucoup de structures superposées qui nécessitent une vision globale (scapulo-humérale, coxo-fémorale, pied)
- Quand il y a un foyer arthrosique avec suspicion d'une nouvelle pathologie métastatique, il faut nécessairement une vision 3D, car l'arthrose risque de masquer l'intensité, l'étendue ou le caractère malin des métastases
- Quand il y a une imbrication de plusieurs pathologies aiguës, dans des pathologies traumatiques (ex : fractures + entorses + algodystrophie), en particulier au niveau du pied
- Région anatomique directement exposée (contre-exemple: rachis masqué par gril)
- Evaluation appropriée d'une pathologie multi-focale (beaucoup de métastases)
- Etude des parties molles

Conclusion

La structure sans la fonction, c'est un cadavre. La fonction sans la structure, c'est un fantôme.

Je vous invite à aller voir les diapos du cours qui sont en couleurs et qui n'ont rien à voir avec les images noir et blanc de la ronéo.