

# Tomoscintigraphie pulmonaire de Ventilation/Perfusion

N. Didot - Médecine Nucléaire

# **Embolie pulmonaire**

## **Rappels**

# Embolie pulmonaire - Généralités

## Epidémiologie

3<sup>e</sup> cause la plus fréquente de pathologie cardio-vasculaire aiguë après l'IDM et l'AVC

Prévalence 60/100 000 par an (TVP 183/100 000)

Dans 70% des cas d'EP, une TVP peut être mise en évidence

A l'inverse, en cas de TVP proximale, il existe dans 50% des cas une EP généralement asymptomatique

Mortalité de 7 à 11%

*Pulmonary embolism: what have we learned since Virchow? Natural history, pathophysiology and diagnosis.* Dalen JE et al ; Chest 2002;122:1440-1456

*Frequent asymptomatic pulmonary embolism in patients with deep venous thrombosis.* Moser KM et al ; JAMA 1994;271:223-225

*Estimated case fatality rate of pulmonary embolism, 1979 to 1998.* Stein PD et al ; Am J Cardiol 2004;93:1197-1199

# Embolie pulmonaire - Généralités

## Facteurs favorisants

- âge
- ATCD de maladie thromboembolique
- cancer évolutif
- maladie neurologique avec parésie des extrémités
- alitement prolongé
- insuffisance cardiaque ou respiratoire aiguë
- thrombophilie acquise ou congénitale
- traitement hormonal substitutif
- contraception orale

*Risk factors for venous thromboembolism. Anderson FA Jr et al ; Circulation 2003;vol.107:19-116*

**Table 3** Predisposing factors for venous thromboembolism

| Predisposing factor  | Patient-related | Setting-related |
|--|-----------------|-----------------|
| Strong predisposing factors (odds ratio >10)                 |                 |                 |
| Fracture (hip or leg)  |                 | ✓               |
| Hip or knee replacement                                      |                 | ✓               |
| Major general surgery  |                 | ✓               |
| Major trauma   |                 | ✓               |
| Spinal cord injury   |                 | ✓               |
| Moderate predisposing factors (odds ratio 2–9)               |                 |                 |
| Arthroscopic knee surgery                                    |                 | ✓               |
| Central venous lines   |                 | ✓               |
| Chemotherapy   |                 | ✓               |
| Chronic heart or respiratory failure                         | ✓               |                 |
| Hormone replacement therapy                                  | ✓               |                 |
| Malignancy   | ✓               |                 |
| Oral contraceptive therapy                                   | ✓               |                 |
| Paralytic stroke   | ✓               |                 |
| Pregnancy/postpartum   |                 | ✓               |
| Previous VTE   | ✓               |                 |
| Thrombophilia  | ✓               |                 |
| Weak predisposing factors (odds ratio <2)                    |                 |                 |
| Bed rest >3 days   |                 | ✓               |
| Immobility due to sitting (e.g. prolonged car or air travel) |                 | ✓               |
| Increasing age   | ✓               |                 |
| Laparoscopic surgery (e.g. cholecystectomy)                  |                 | ✓               |
| Obesity  | ✓               |                 |
| Pregnancy/antepartum   | ✓               |                 |
| Varicose veins   | ✓               |                 |

# Embolie pulmonaire - Généralités

## Histoire naturelle

Les thromboses veineuses se résolvent spontanément dans 1/3 des cas et ne s'étendent pas dans 40% des cas.

Dans 25% des cas elles donnent une TVP proximale et une EP

Dans 5 à 10% des EP : choc ou hypotension

Dans 50% des EP : signes de dysfonction VD

Sous traitement anticoagulant, on observe une régression complète des anomalies perfusionnelles dans 2/3 des cas

Moins de 10% de mortalité sous traitement

Une HTAP post embolique se développe chez 0,5 à 5% des patients traités

# Embolie pulmonaire - Généralités

## Physiopathologie

Les conséquences d'une EP aiguë sont hémodynamiques

Lorsque > 30 à 50% du lit artériel pulmonaire est embolisé : augmentation brutale des résistances vasculaires pulmonaires

Quand les capacités d'adaptation du VD sont dépassées : dissociation électromécanique

Si le débit pulmonaire a pu être préservé à la phase aiguë (généralement HTAP de 40 mmHg max), une aggravation survient en l'absence de traitement en 24 à 48h puisque les mécanismes chronotropes et inotropes ne suffisent pas à maintenir la fonction VD au long cours.

L'insuffisance respiratoire est liée à ces désordres hémodynamiques

L'hypoxémie est liée à la baisse du débit cardiaque, à l'augmentation de l'espace mort, à l'apparition d'un shunt droit/gauche par un foramen ovale perméable dans 1/3 des cas.

# Embolie pulmonaire – Diagnostic

## Présentation clinique

**Table 6** Prevalence of symptoms and signs in patients with suspected PE according to final diagnosis

|                                  | PE confirmed<br>(n = 219) | PE excluded<br>(n = 546) |
|----------------------------------|---------------------------|--------------------------|
| <b>Symptoms</b>                  |                           |                          |
| Dyspnoea                         | 80%                       | 59%                      |
| Chest pain (pleuritic)           | 52%                       | 43%                      |
| Chest pain (substernal)          | 12%                       | 8%                       |
| Cough                            | 20%                       | 25%                      |
| Haemoptysis                      | 11%                       | 7%                       |
| Syncope                          | 19%                       | 11%                      |
| <b>Signs</b>                     |                           |                          |
| Tachypnoea ( $\geq 20$ /min)     | 70%                       | 68%                      |
| Tachycardia ( $> 100$ /min)      | 26%                       | 23%                      |
| Signs of DVT                     | 15%                       | 10%                      |
| Fever ( $> 38.5^\circ\text{C}$ ) | 7%                        | 17%                      |
| Cyanosis                         | 11%                       | 9%                       |

Data are from references 53 and 55.  
DVT = deep vein thrombosis.

*Clinical characteristics of patients with acute pulmonary embolism. Stein PD et al ; Am J Cardiol 1991;68:1723-1724*

# Embolie pulmonaire – Diagnostic

## Scores prédictifs

**Table 7** Clinical prediction rules for PE: the Wells score and the revised Geneva score

| Revised Geneva score <sup>64</sup>                              |        | Wells score <sup>65</sup>                 |        |
|---|--------|---|--------|
| Variable  | Points | Variable                                  | Points |
| <b>Predisposing factors</b>                                     |        | <b>Predisposing factors</b>               |        |
| Age >65 years   | +1     | Previous DVT or PE                        | +1.5   |
| Previous DVT or PE  | +3     | Recent surgery or immobilization          | +1.5   |
| Surgery or fracture within 1 month                              | +2     | Cancer                                    | +1     |
| Active malignancy   | +2     | <b>Symptoms</b>                           |        |
| <b>Symptoms</b>   |        | <b>Symptoms</b>                           |        |
| Unilateral lower limb pain                                      | +3     | Haemoptysis                               | +1     |
| Haemoptysis   | +2     | <b>Clinical signs</b>                     |        |
| <b>Clinical signs</b>   |        | <b>Clinical signs</b>                     |        |
| Heart rate  |        | Heart rate                                |        |
| 75–94 beats/min   | +3     | >100 beats/min                            | +1.5   |
| ≥95 beats/min   | +5     | <b>Clinical signs of DVT</b>              |        |
| Pain on lower limb deep vein at palpation and unilateral oedema | +4     | Clinical signs of DVT                     | +3     |
|   |        | <b>Clinical judgement</b>                 |        |
|   |        | Alternative diagnosis less likely than PE | +3     |
| <b>Clinical probability</b>                                     |        | <b>Clinical probability (3 levels)</b>    |        |
| Low   | 0–3    | Low                                       | 0–1    |
| Intermediate  | 4–10   | Intermediate                              | 2–6    |
| High  | ≥11    | High                                      | ≥7     |
|   |        | <b>Clinical probability (2 levels)</b>    |        |
|   |        | PE unlikely                               | 0–4    |
|   |        | PE likely                                 | >4     |

*Derivation of a simple clinical model to categorize patients probability of pulmonary embolism: increasing the models utility with the SimpliRED D-dimer. Wells PS et al ; Thromb Haemost 2000;83:416-420*

# Embolie pulmonaire - Diagnostic

## Examens paracliniques de 1<sup>ère</sup> ligne

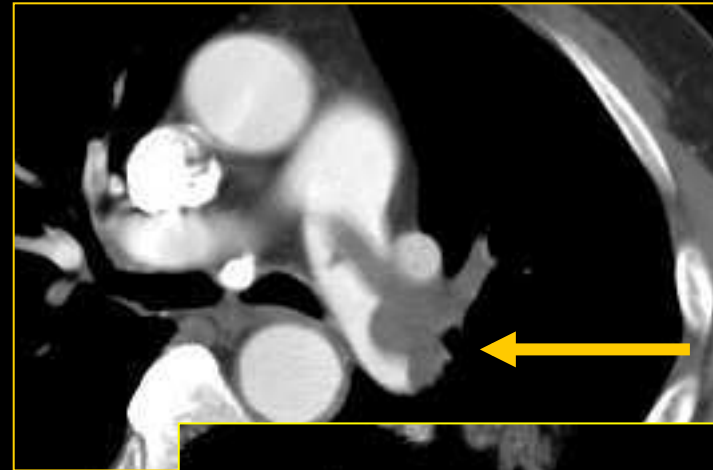
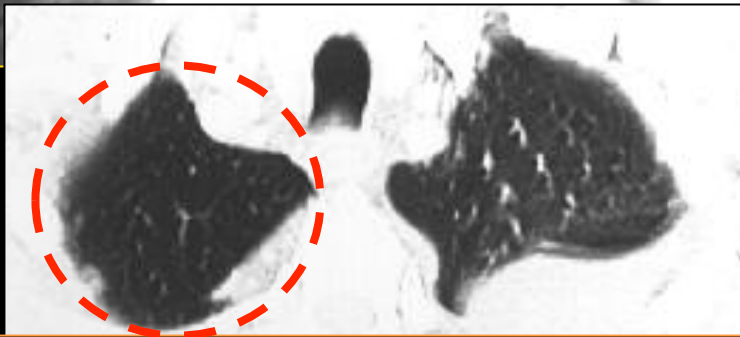
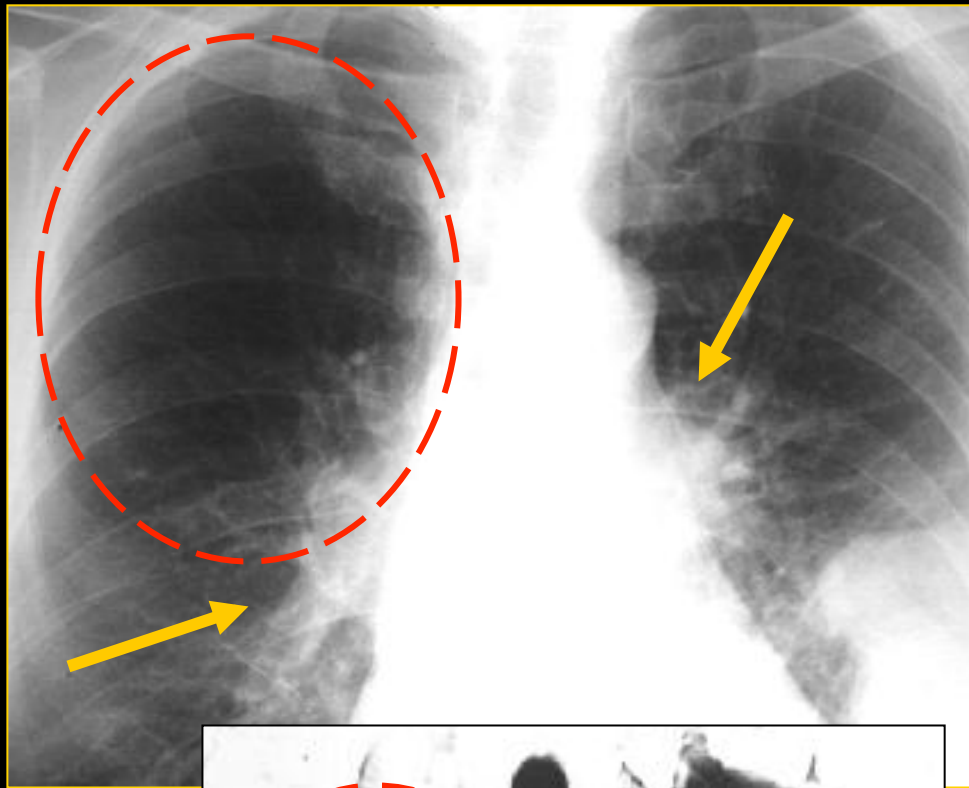
### Radiographie pulmonaire :

souvent normale dans les 24 premières heures

dans les jours suivants : soit la RT reste normale, soit elle montre un foyer de condensation périphérique ou une atélectasie ou un épanchement pleural

4 signes classiquement décrits :

- Signe de Westermarck
- Signe de Fleischner
- Signe de Hampton
- Signe de Zweifel



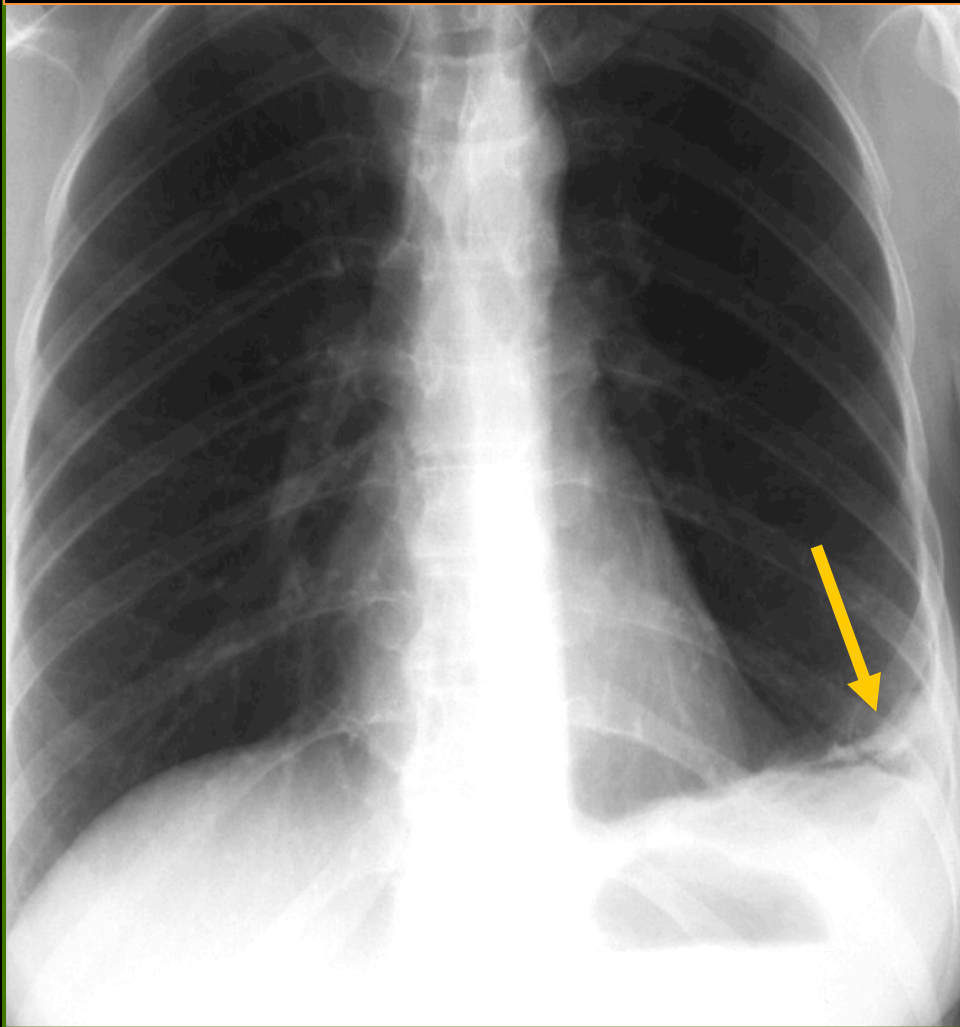
Signe de Westermark (oligémie zonale)  
Signe de Fleischner (AP proéminente)  
→ Signe d'embolie pulmonaire proximale

TISSIER S  
REGENT D  
JFR 2008

**Signe de Hampton** (opacité à base pleurale = infarctus)

**Signe de Zweifel** (ascension diaphragmatique par parésie fonctionnelle liée à une sidération musculaire algique)

→ Signes d'embolie pulmonaire distale avec infarctus au minimum subaigu



TISSIER S  
REGENT D  
JFR 2008

# Embolie pulmonaire - Diagnostic

## Examens paracliniques de 1<sup>ère</sup> ligne

ECG : inversion des ondes T de V1 à V4

R prédominant en V1 voire QR en V1

$S_1Q_{III}T_{III}$  : onde S en DI, une onde Q en DIII et une onde T négative en DIII

Bloc de branche droit incomplet

Gaz du sang : Effet shunt (Hypoxémie – Hypocapnie) mais PaO<sub>2</sub> normale dans 20% des cas

D-Dimères : VPN élevée car Se > 95% et Sp de l'ordre de 40%

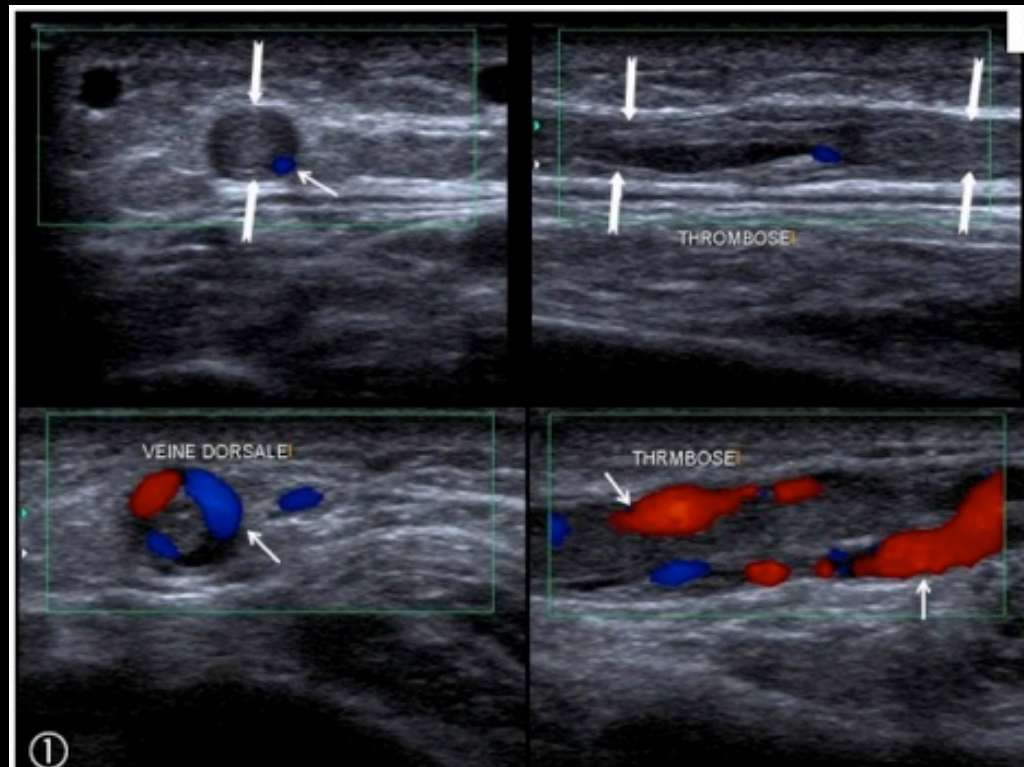
# Embolie pulmonaire - Diagnostic

## Examens diagnostiques :

### Echographie Doppler veineux des membres inférieurs :

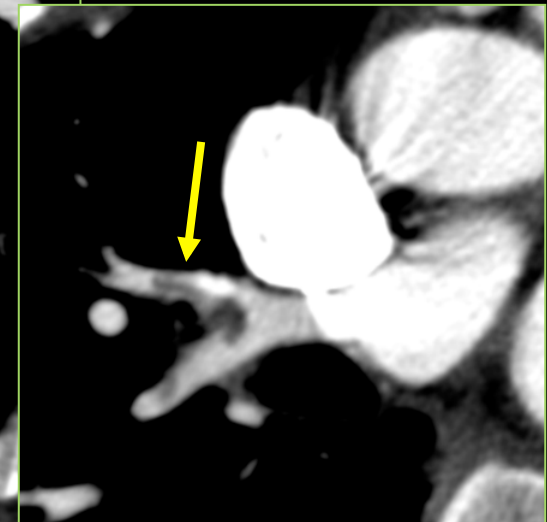
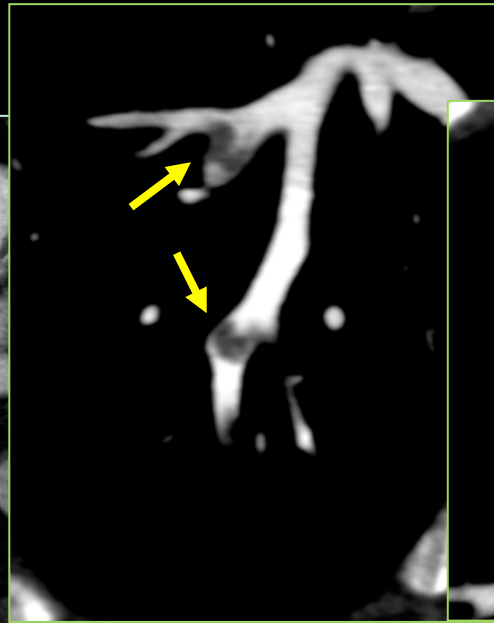
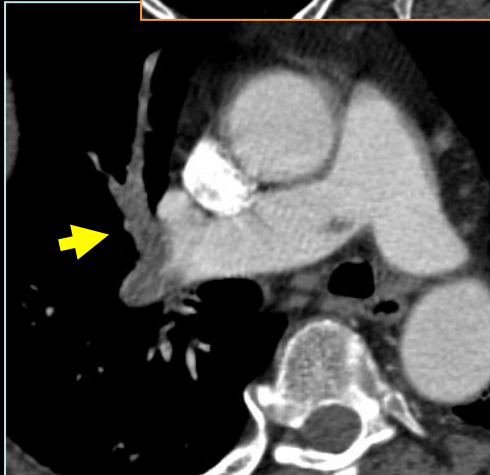
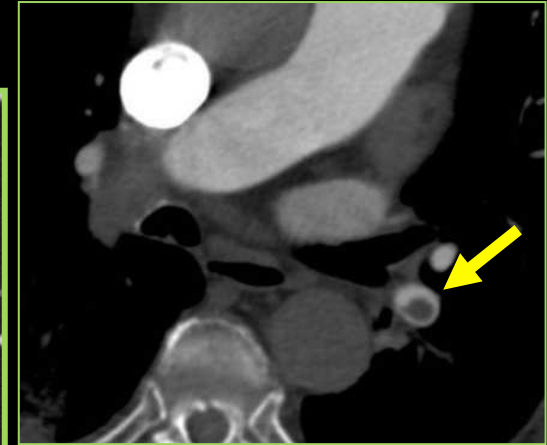
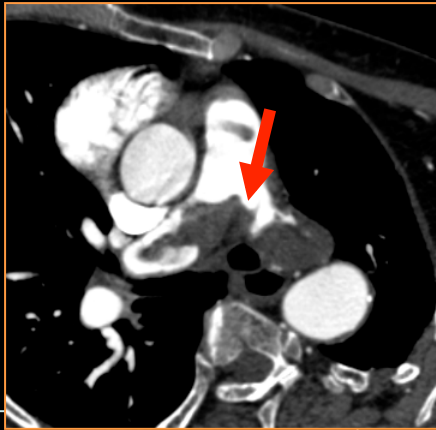
Détection des TVP proximales avec une Se de 90% et une Sp de 95%

Le seul critère diagnostique validé est l'incompressibilité de la veine



# Embolie pulmonaire - Angioscanner

- Occlusion totale ou partielle (centrale ou marginalisée) d'une branche artérielle pulmonaire
- Embolie pulmonaire proximale (tronc de l'AP)



# Tomoscintigraphie pulmonaire de Ventilation/ Perfusion

## Diagnostic d'embolie pulmonaire

**Sensibilité 80 à 97%**

**Spécificité 96%** (contre 80% pour les images planaires réalisées auparavant dans les années 2000)

➔ Alternative à l'angioscanner pulmonaire (embolies distales, embolies chroniques, allergie aux PCI, insuffisance rénale)

*Tomographic imaging in the diagnosis of pulmonary embolism: a comparison between V/Q lung scintigraphy in SPECT technique and multislice spiral CT. Reinartz P et al ; J Nucl Med 2004 Sep;45(9):1501-8*

*Is a lung perfusion scan obtained by using single photon emission computed tomography able to improve the radionuclide diagnosis of pulmonary embolism? Collart JP et al ; Nucl Med Commun 2002;23:1107-13*

# **SPECT-CT pulmonaire de Ventilation/Perfusion**

## **Aspects techniques**

# Traceurs de ventilation

## Aérosols technétiés

**Aérosol caractérisé par sa taille et 2 index :**

- Index de pénétration et Index d'homogénéité

**Mécanismes de dépôts :**

- *Impact par inertie* : particule rencontre un obstacle ou une division bronchique (Respiration lente minimise ce phénomène)
- *Sédimentation* : dépôts dans les zones de respiration quand la vitesse de la particule devient négligeable (une apnée en fin d'inspiration favorise la sédimentation)
- *Diffusion* : dépôts dans les alvéoles par diffusion et mouvement brownien pour des particules  $< 5 \mu\text{m}$  (une apnée en fin d'inspiration favorise la diffusion) Technegas  $0,14 \mu\text{m}$

# Traceurs de ventilation

## Aérosols technétiés

### Élimination des aérosols technétiés :

- Aérosols de colloïdes et de carbone : élimination par drainage lymphatique (alvéoles) et clairance mucociliaire (dépôts bronchiques)
- Aérosols de DTPA : passage alvéolo capillaire et élimination rénale en plus des phénomènes précédents

# Traceurs de ventilation

## Aérosols technétiés

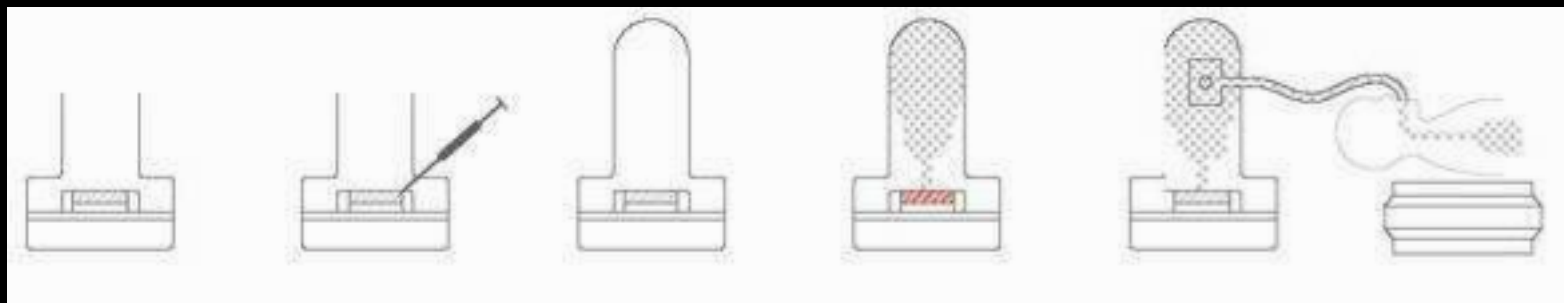
### Aérosols de Technegas®

Appareil spécifique chargé avec 370 MBq de  $^{99m}\text{Tc}$  ds 0,1mL

Réduction de l'ion  $\text{TcO}_4^-$  dans un creuset en graphite à 2500°C dans l'argon

Production d'un aérosol de microparticules de  $^{99m}\text{Tc}$

Durée d'inhalation : < 1 min (respiration lente et profonde)



# Traceurs de ventilation

## Aérosols technétiés

### Aérosols de colloïdes- $^{99m}\text{Tc}$

Nébuliseur spécifique chargé avec 740 à 1110 MBq de Phytate- $^{99m}\text{Tc}$

Débit 9L/min

Décubitus dorsal

Durée d' inhalation : 3 min environ (respiration lente et profonde)

### Aérosols de $^{99m}\text{Tc}$ -DTPA

Faire les acquisitions immédiatement car passage alvéolocapillaire

# Traceurs de ventilation

## Gaz radioactifs

**Xénon 133** : gaz de longue période

Inhalé, le Xénon se distribue dans les alvéoles pulmonaires selon les débits de ventilation. L'activité d'une région est directement proportionnelle aux débits de ventilation

Période de 5,4j

Énergie :  $\beta = 347 \text{ keV}$   $\gamma = 81 \text{ keV}$

Administration en circuit fermé ou en circuit ouvert (bolus)

# Traceurs de ventilation

## Gaz radioactifs

**Krypton 81m** : gaz de courte période

Inhalé en continu, le Kr 81m se distribue selon les débits de ventilation

Période de 13s

Énergie :  $\gamma = 190$  keV

Générateur de Rubidium 81

Débit : 2L/min environ

Acquisitions pendant l'inhalation

# Traceurs de perfusion

## Les particules de Sérum Albumine Humaine (SAH) $^{99m}\text{Tc}$

### Macroagrégats ou Microsphères

Obtenus par coagulation de la SAH par la chaleur

Soumis à la législation des dérivés sanguins

**Pulmocis<sup>®</sup>** : particules de 10 à 100  $\mu\text{m}$

Injectées en IV, les particules se distribuent dans l'arbre artériel selon les débits et se bloquent dans les précapillaires et les capillaires

Produit éliminé par fragmentation, libération dans la circulation et captation par le foie

Quantité de radioactivité proportionnelle au débit artériel

# Traceurs de perfusion

## Les particules de Sérum Albumine Humaine (SAH) $^{99m}\text{Tc}$

Macroagrégats technétiés Pulmocis®

Protocole : injection IV de 125 000 à 300 000 particules

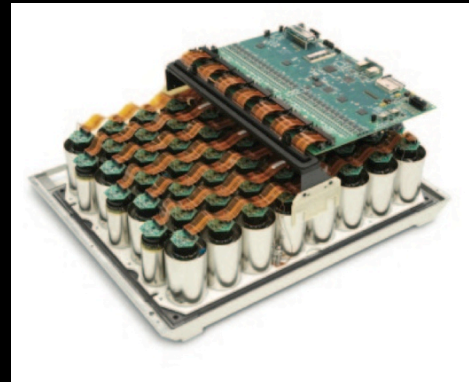
370 MBq si réalisée après ventilation par des aérosols technétiés

## Les gaz radioactifs dissous : Xénon 133 dissous

Injecté en IV, il se distribue selon les débits de perfusion et passe à 92% dans les alvéoles au 1<sup>er</sup> passage

# Instrumentation : Gamma caméra hybride

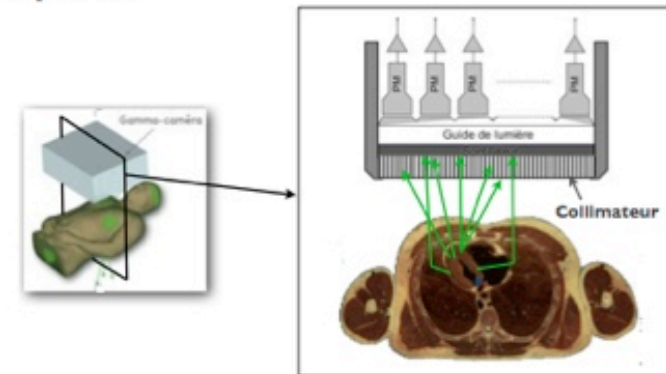
## Siemens Symbia T2



## Collimateurs

### Collimation optique : Collimateur

Sélection des photons n'ayant pas diffusé dans le patient



Détecteurs :  
Cristaux scintillants NaI + Photomultiplicateurs

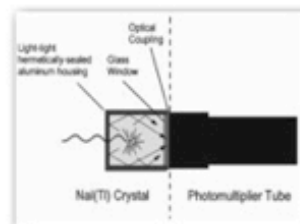
### Caractéristiques du système

(cristal + PM / Photodiode)

Amplitude du signal de sortie proportionnel à l'énergie déposée par les photons dans le détecteur

Résolution en énergie de l'ordre de 10% (140 keV)

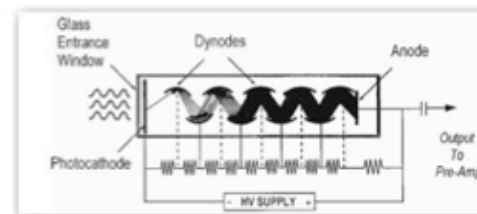
Technologie la plus utilisée : Cristal + PM



### Tube Photomultiplicateur

Transducteur photons lumineux => charge (+/- Amplif.)

Principe



Ordres de grandeur

1 électron pour 5 photons lumineux (photocathode)

Gain de  $10^6$  à  $10^8$

BONNIAUD G  
INSTN 2010

# Protocole de la tomoscintigraphie de ventilation

## Inhalation de l'aérosol de Technegas sous une hotte aspirante

- en décubitus afin de limiter le gradient vertical de répartition du traceur
- certaines équipes utilisent une dose très basse de 25 à 30 MBq pour limiter l'irradiation au maximum

## Acquisition des images sur gamma caméra hybride

- 128 projections (64 sur chaque tête) de 10s chacune
- matrice 64x64 ou 128x128
- reconstruction itérative OSEM (2 itérations ; 8 sous ensembles)

# Protocole de la tomoscintigraphie de perfusion

## **Injection IV des macro agrégats immédiatement au décours de l'acquisition de ventilation**

- en décubitus
- dose suffisante pour avoir un gradient de 4 ou 5 avec la ventilation : 370 MBq le plus souvent mais certaines équipes descendent à 100-120 MBq

## **Acquisition des images sur gamma caméra hybride**

- 128 projections (64 sur chaque tête) de 5s chacune
- matrice 64x64 ou 128x128
- reconstruction OSEM

# Protocole d'acquisition du scanner X couplé

## Réalisé immédiatement au décours de l'acquisition de perfusion

- topogramme
- acquisition spiralee en respiration bloquée
- paramètres du tube : 110 kV, mAs faible et variable (CareDose)
- collimation = 2,5mm
- pitch = 2
- reconstruction en coupes de 3mm avec un chevauchement d'1mm

# Protocole chez la femme enceinte

**Tomoscintigraphie de perfusion uniquement**

**Dose réduite +++**

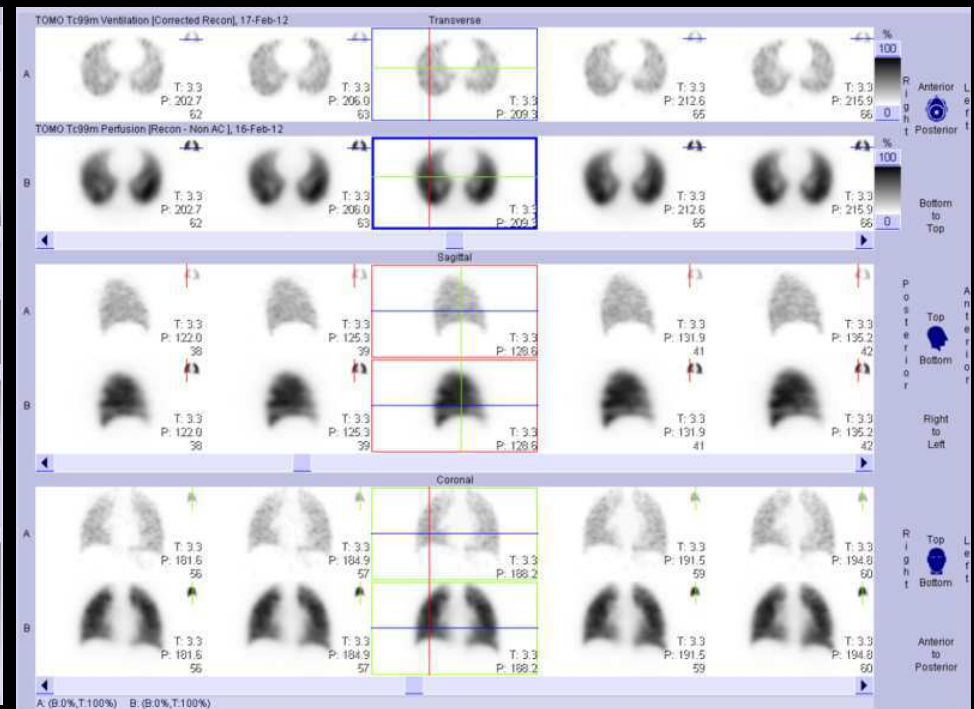
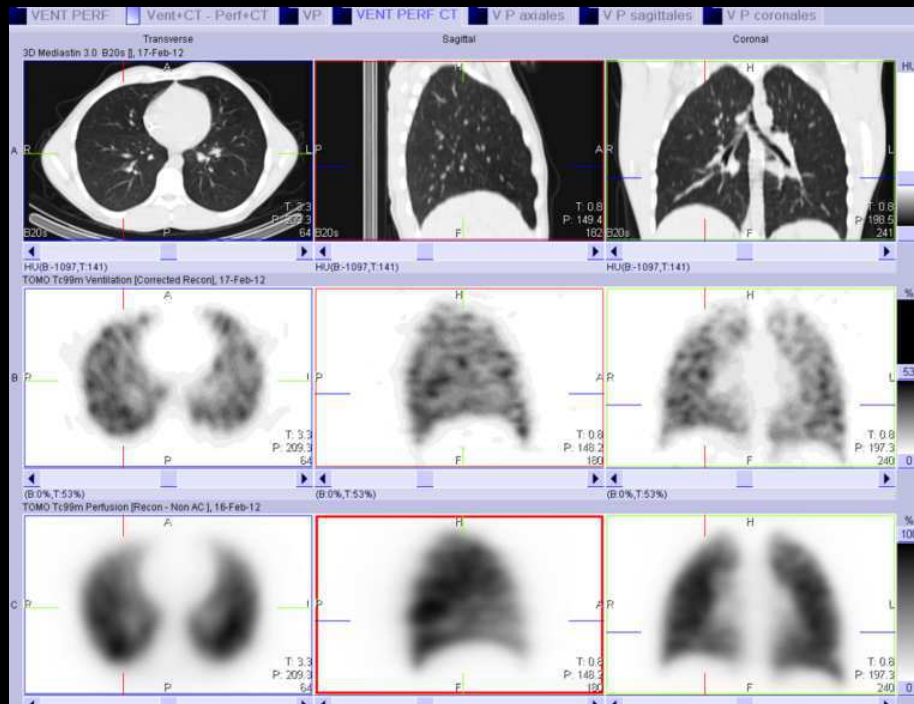
**70-100 MBq max**

**Pas de scanner couplé**

# Visualisation des images

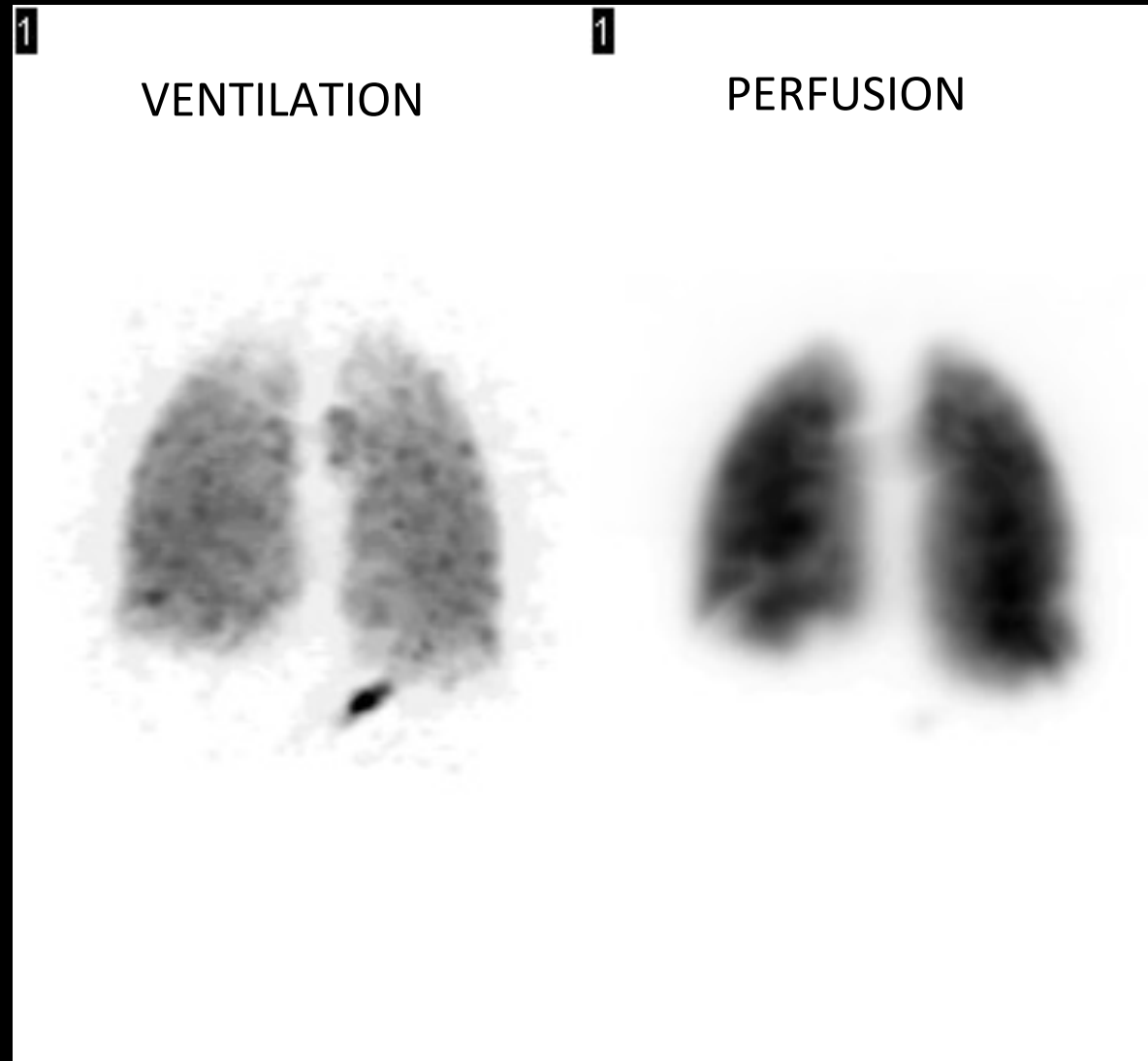
Visualisation des images sur une console de post-traitement

Workflow dédié permettant d'afficher les 3 examens dans les 3 plans de l'espace



# Visualisation des images

## MIP 3D



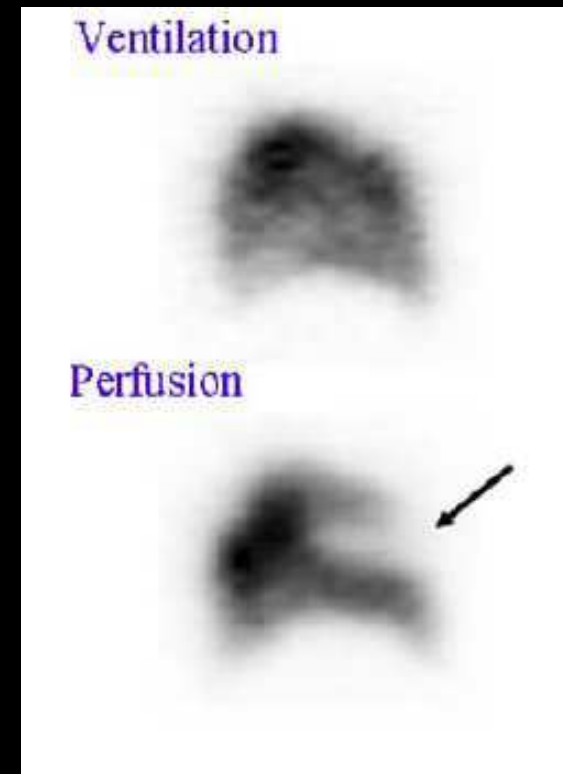
# Interprétation des SPECT V/P

## Diagnostic d'embolie pulmonaire

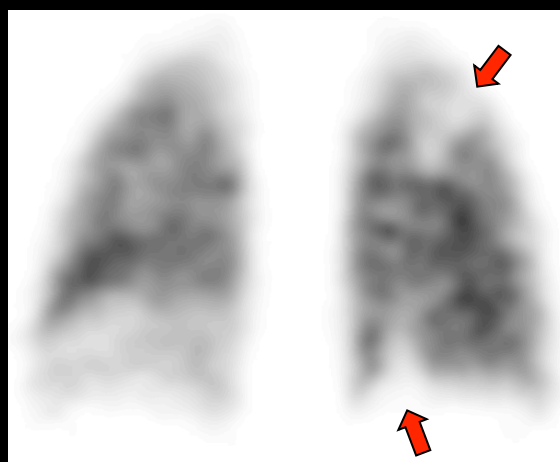
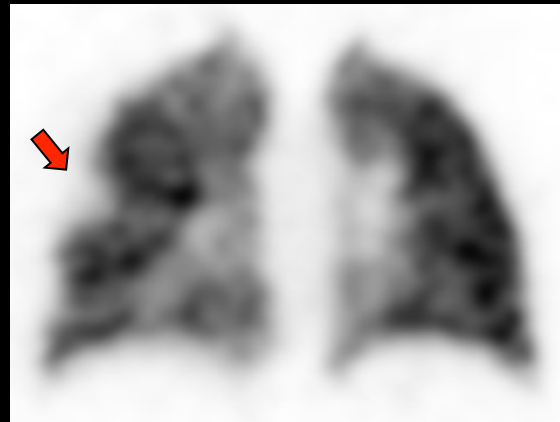
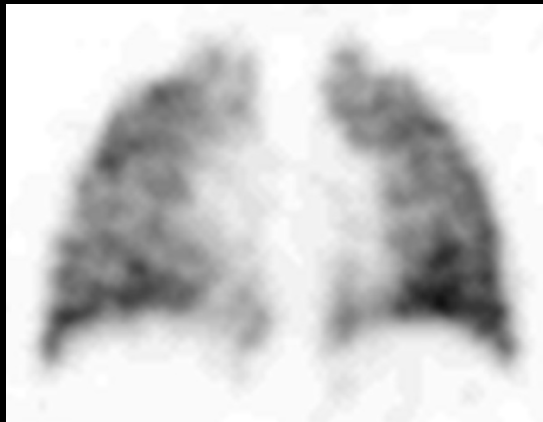
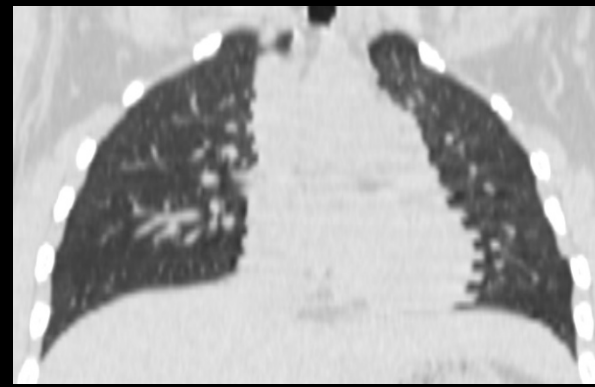
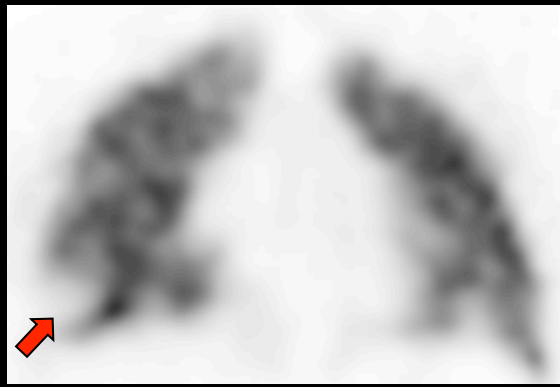
Mise en évidence :

- d'un déficit perfusionnel segmentaire ou sous segmentaire (triangulaire à base pleurale)
- d'un mismatch de ce déficit avec la ventilation, habituellement préservée dans ce même territoire

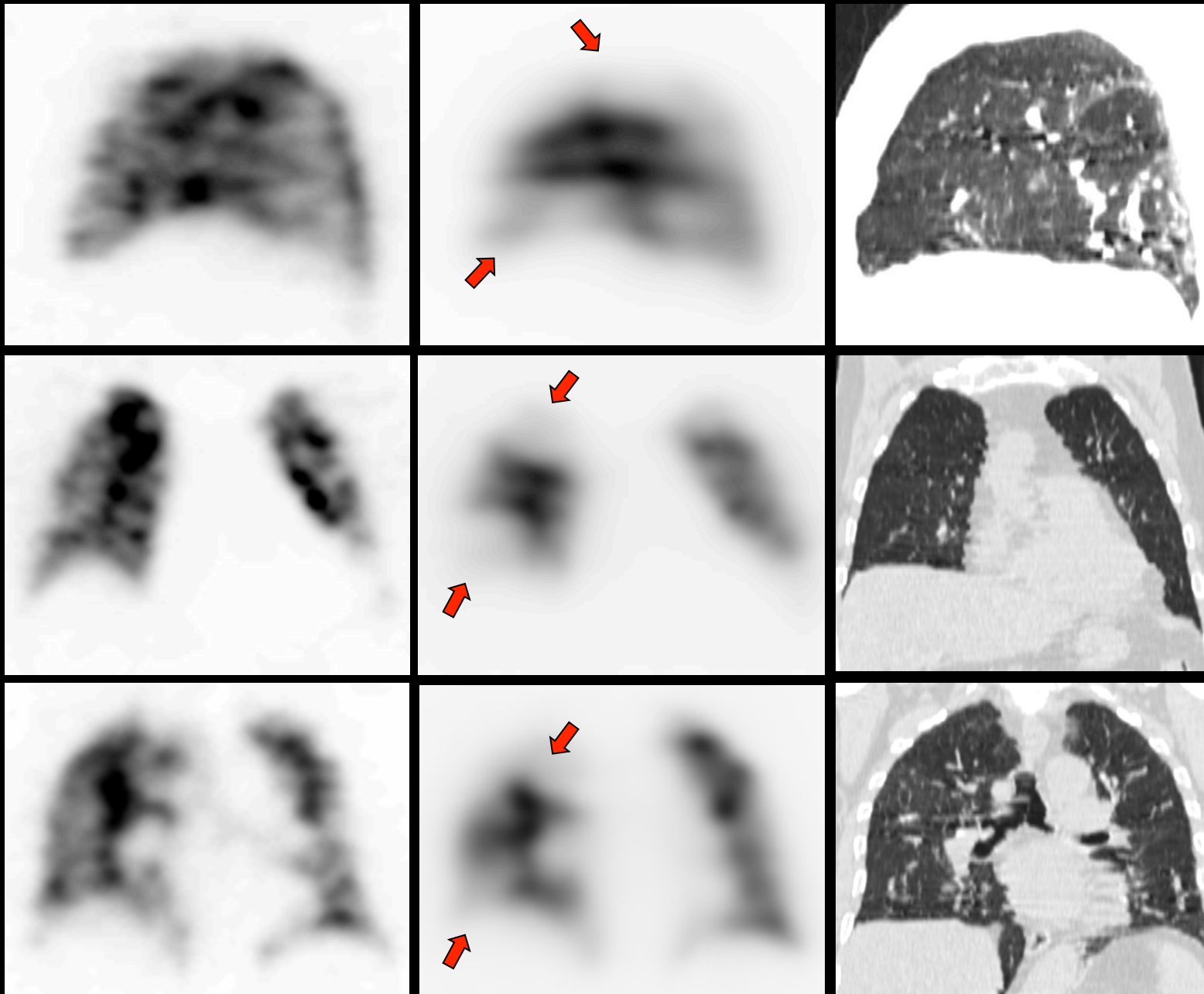
Une perfusion normale élimine le diagnostic d'embolie pulmonaire.



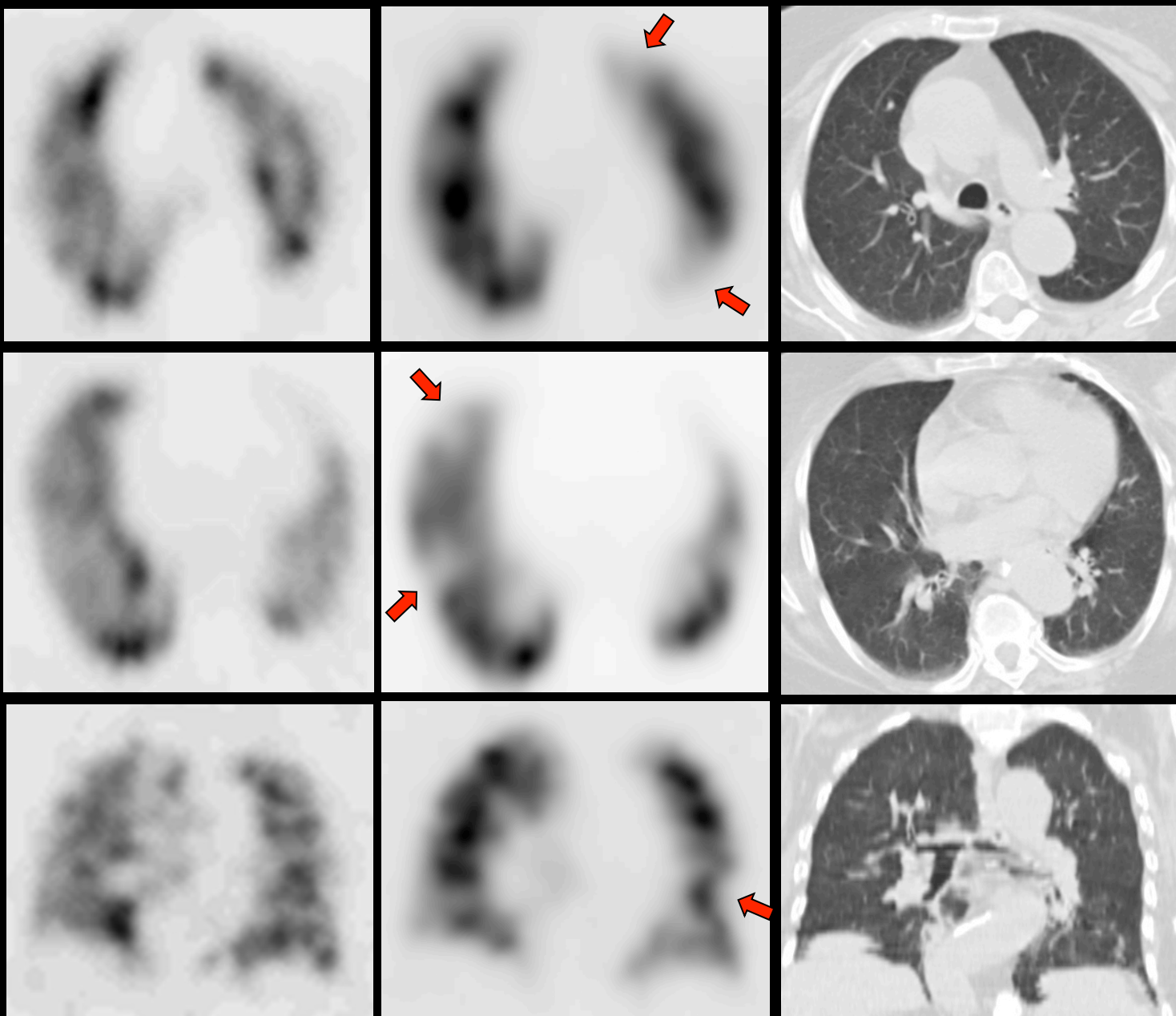
# Cas 1 – Jeune femme 21ans, dyspnée, TVP MID



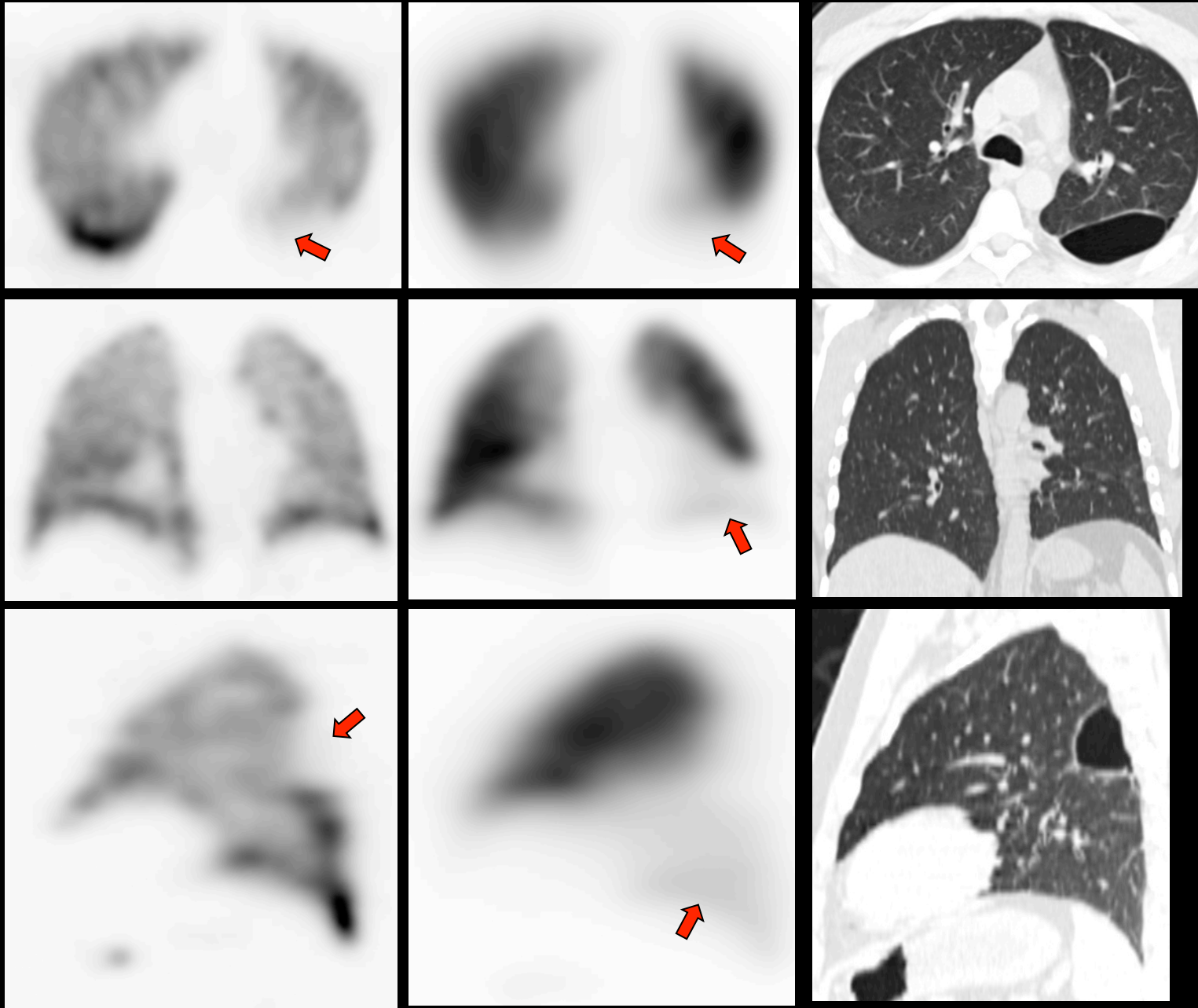
## Cas 2 – Homme 74ans, suspicion d' EP



# Cas 3 – Femme 88 ans, dyspnée inexpliquée



# Cas 4 – Homme 40 ans, suspicion d' EP



# Interprétation des SPECT V/P

## Mismatch V/P et autres étiologies :

Anomalies vasculaires pulmonaires congénitales

Maladie veino occlusive

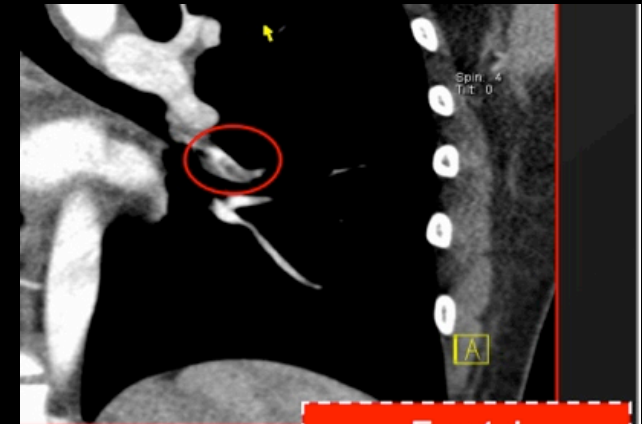
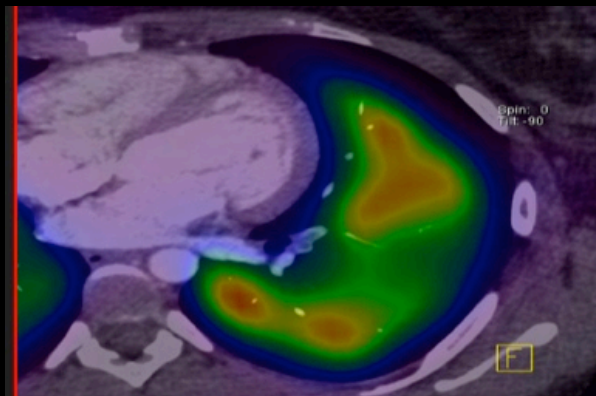
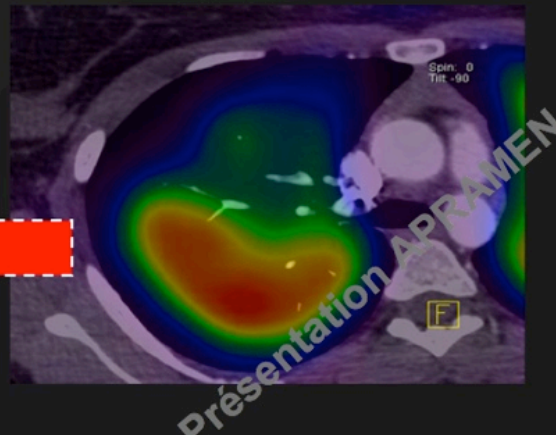
Vascularite

Cancer bronchique

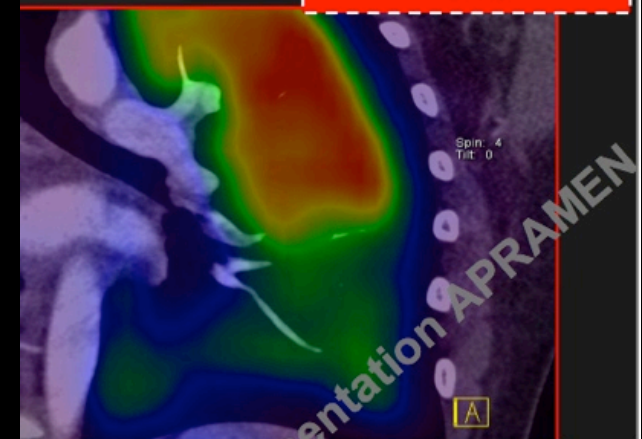
Adénopathies médiastinales...

Un certain nombre de ces diagnostics différentiels est éliminé par la réalisation d'un scanner X couplé

# Interprétation des SPECT V/P fusionnées au scanner



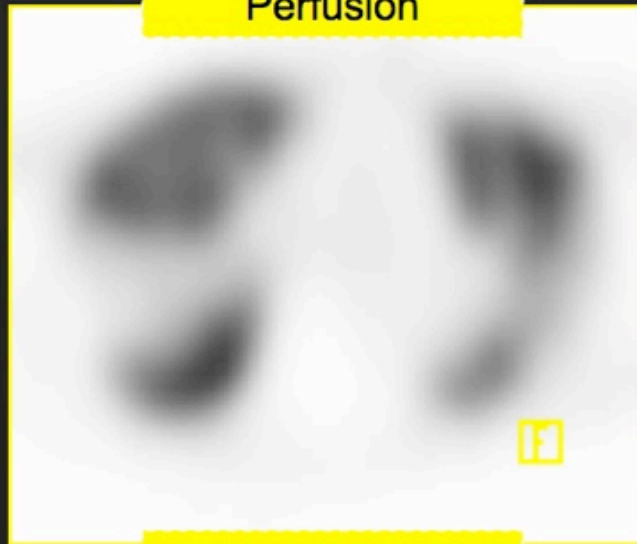
Frontal



# Interprétation des SPECT V/P fusionnées au scanner

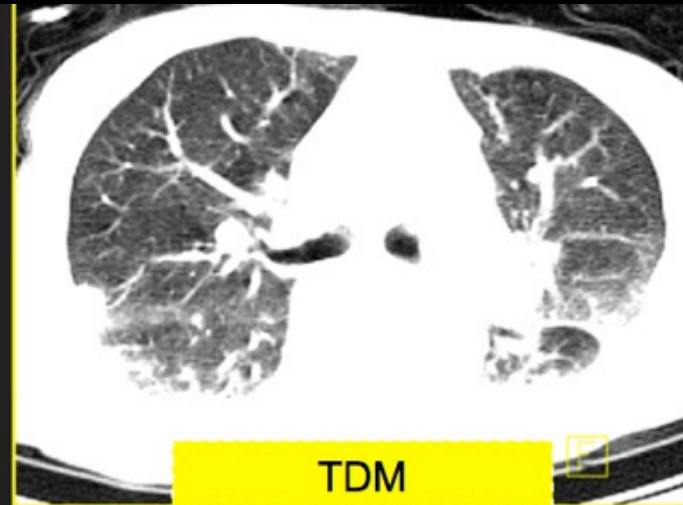
## SPECT perfusion / TDM

Perfusion

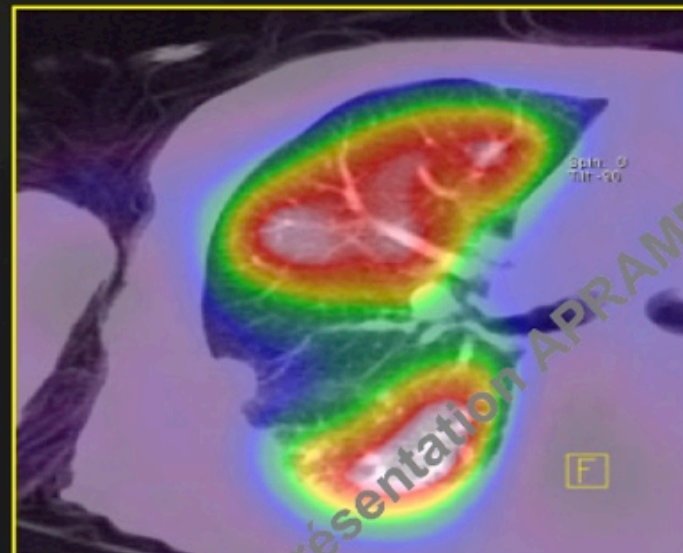


Axial

*Infarctus pulmonaire*



TDM



# Interprétation des SPECT V/P

## Match V/P :

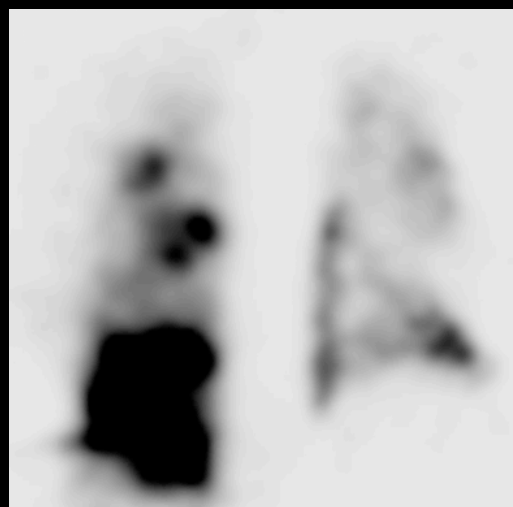
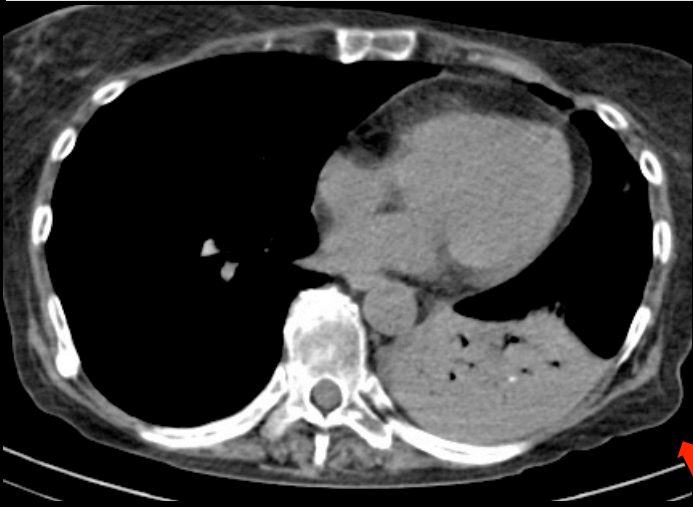
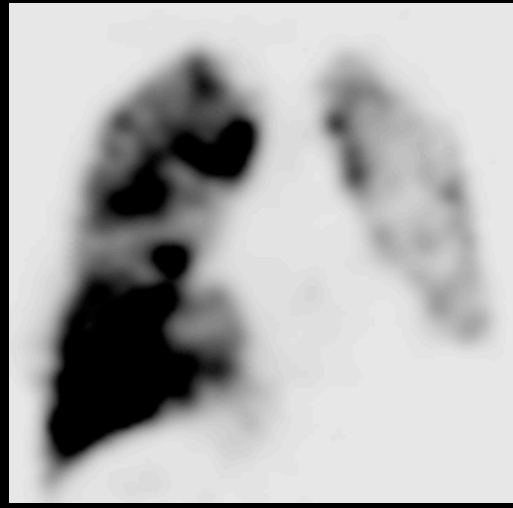
Déficit perfusionnel et ventilatoire concordant

Pneumopathies, masse parenchymateuse, lésions de l'arbre bronchique...

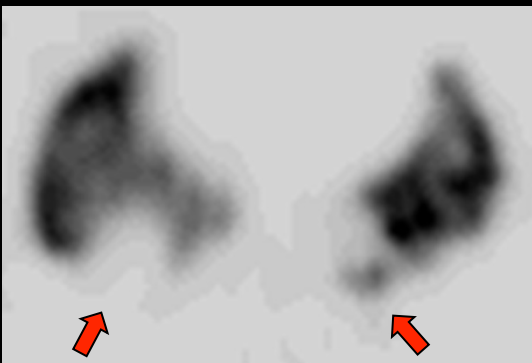
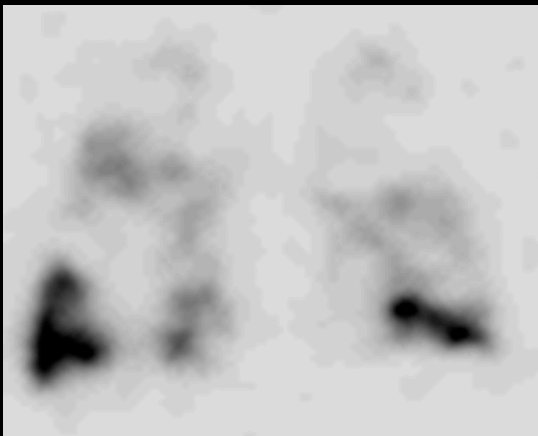
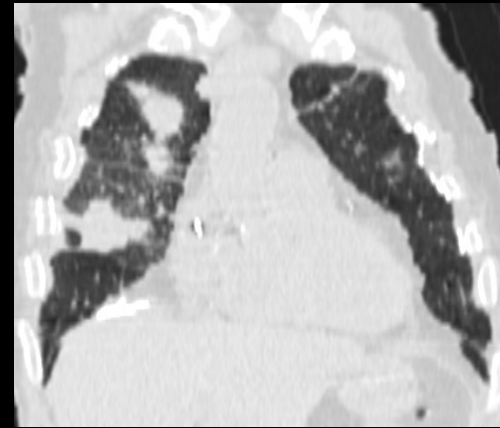
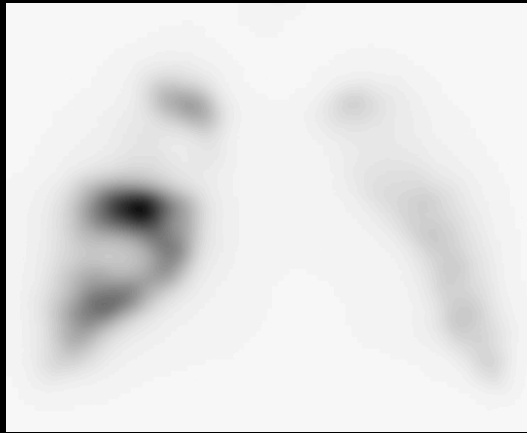
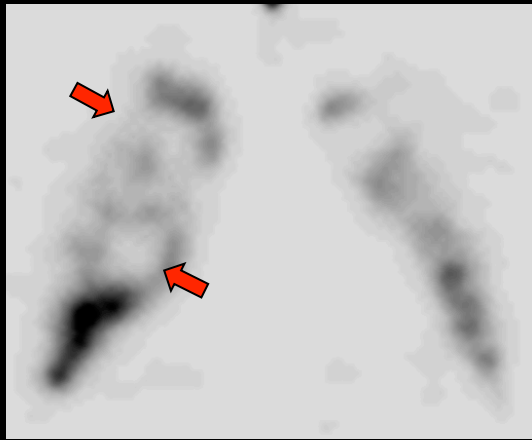
Souvent les anomalies ventilatoires sont plus étendues que les déficits perfusionnels

« Stripe Sign » : Perfusion préservée au niveau du bord pleural

# Cas 5 – Femme 47 ans, suspicion d' EP



# Cas 6 – Homme 77 ans, cancer vessie, suspicion d' EP



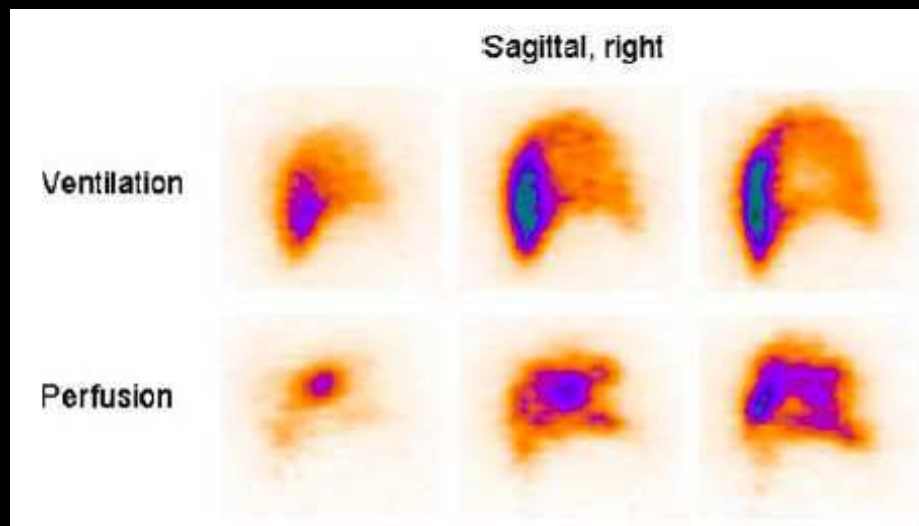
# Interprétation des SPECT V/P

## Diagnostic d'embolie pulmonaire chronique :

Présentation insidieuse

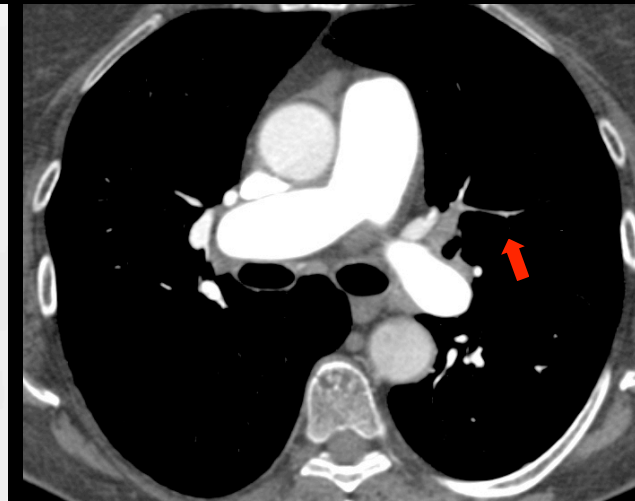
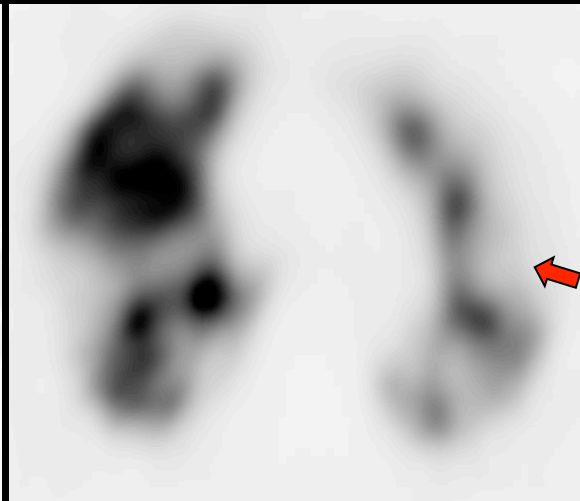
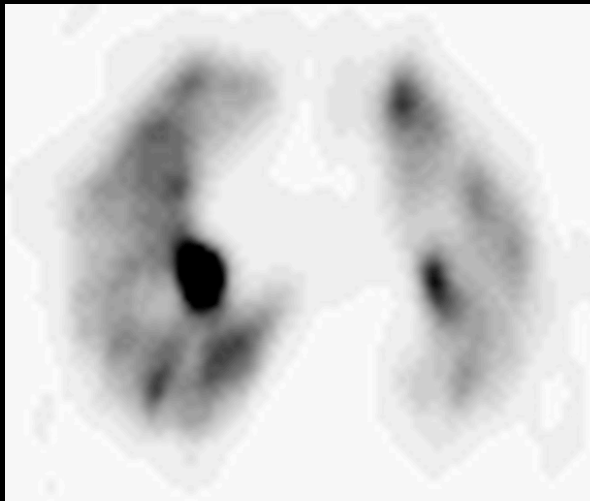
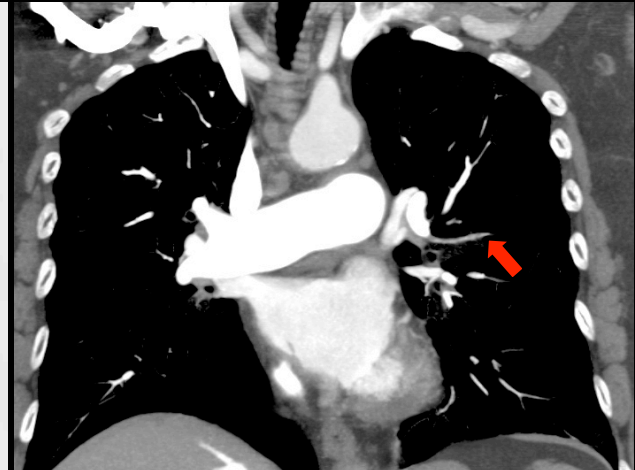
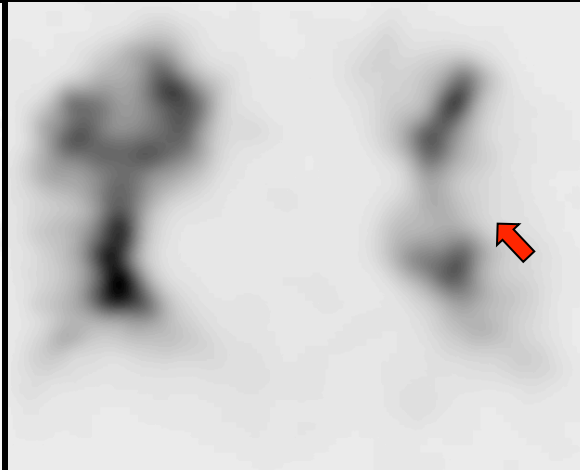
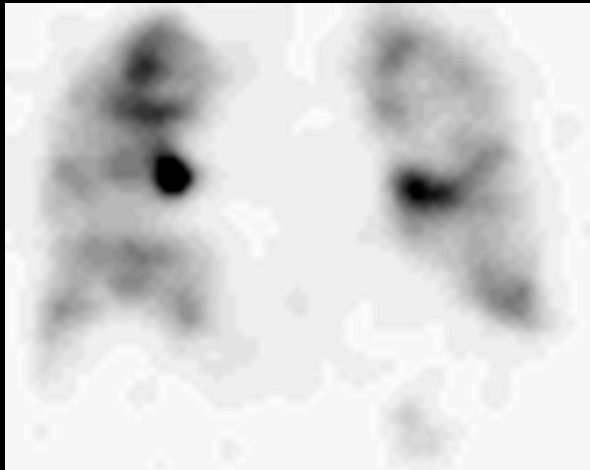
Pronostic sombre en l'absence de traitement (mortalité liée à l'HTAP, l'insuffisance VD et l'arythmie)

Sensibilité 97% vs. 51% pour l'angioscanner ; Sp 90%



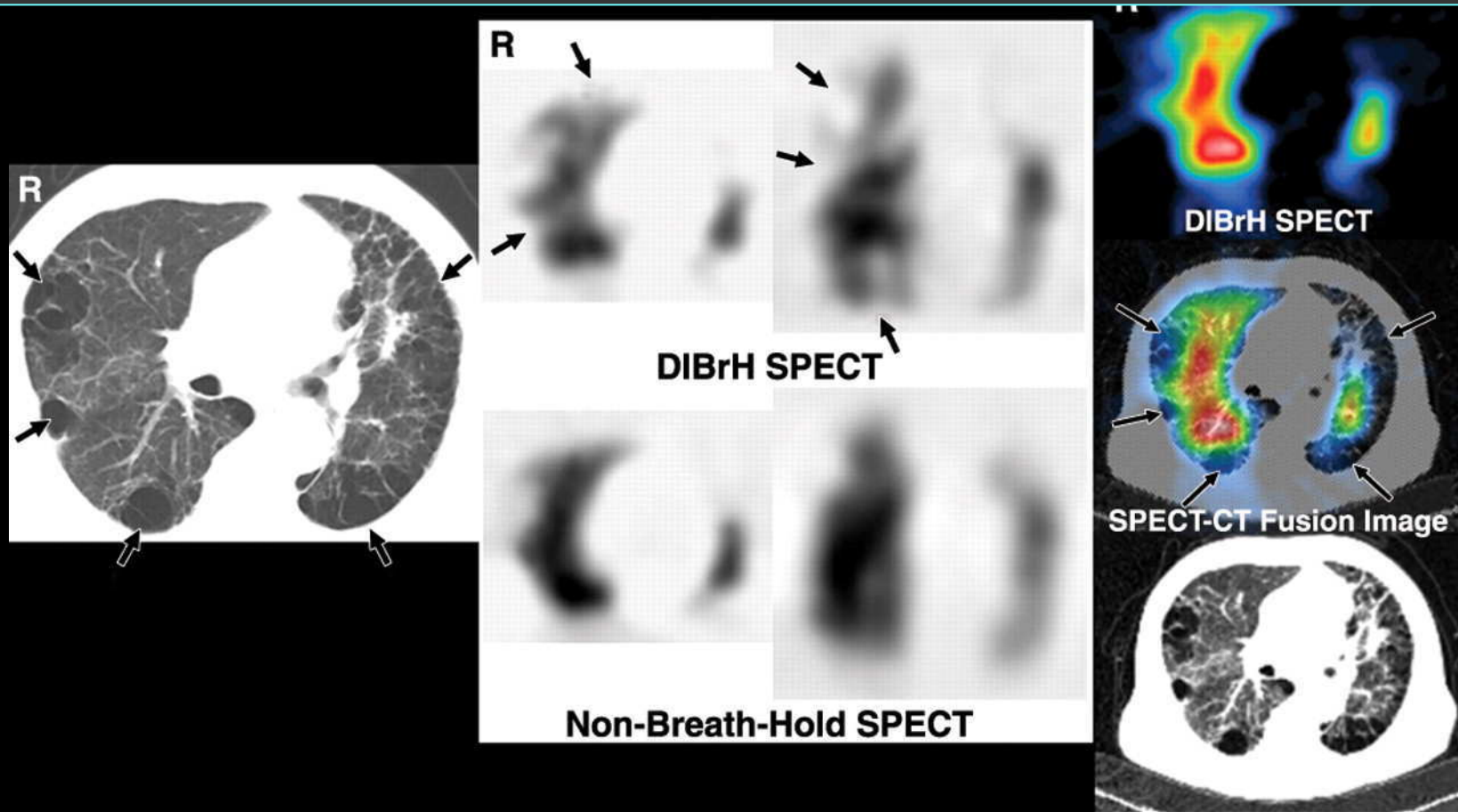
*Ventilation-perfusion lung scanning in the evaluation of pulmonary hypertension. Worsley DF et al ; J Nucl Med 1994 35:793-6*

# Cas 7 – Femme, contrôle 8 mois après EP bilatérale Embolies chroniques



**SPECT-CT pulmonaire de Ventilation/Perfusion**  
**Développements à venir...**

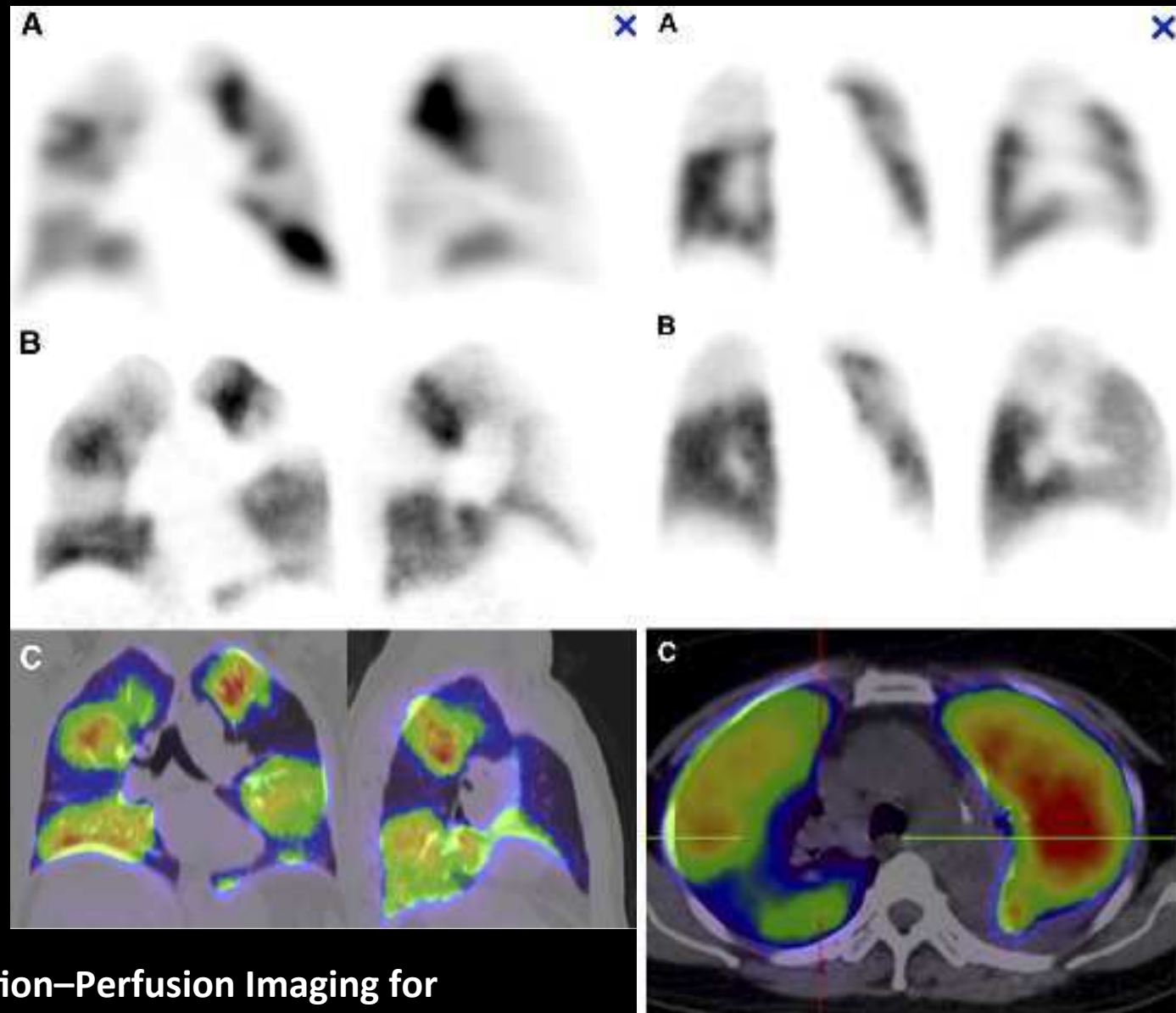
# SPECT-CT de perfusion synchronisée aux mouvements respiratoires



*Automated Breath-Hold Perfusion SPECT/CT Fusion Images of the Lung.*  
Kazuyoshi Suga et al ; AJR August 2007 Vol 189 N°2 455-463



# Perspectives en TEP



**$^{68}\text{Ga}$  PET/CT Ventilation–Perfusion Imaging for Pulmonary Embolism: A Pilot Study with Comparison to Conventional Scintigraphy**  
Hofman MS et al ; J Nucl Med 2011 52:1513-1519