

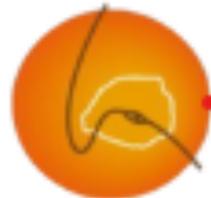


# L'imagerie thoracique du futur

Samia BOUSSOUAR

Imagerie Cardiovasculaire et Thoracique - ICT

Pitié Salpêtrière



# L'imagerie thoracique du futur

## **Contexte :**

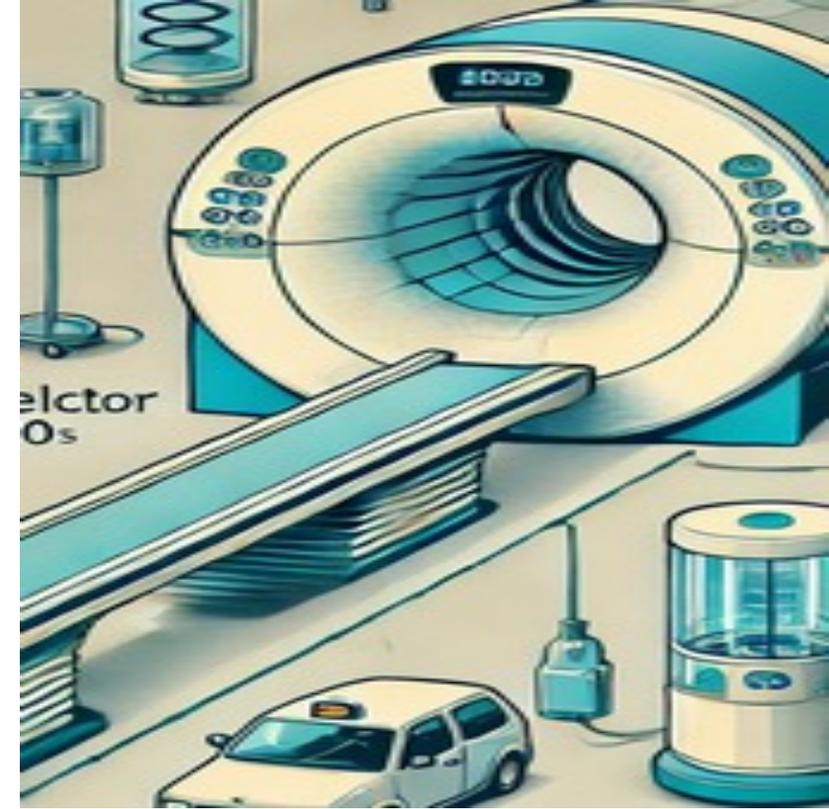
- Evolution des technologies : De la radiographie standard aux innovations récentes

## **Perspective pour les pneumologues :**

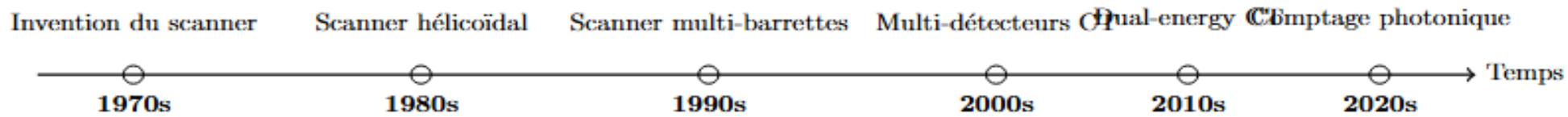
- Optimisation de la prise en charge dans les pathologies pulmonaires courantes et rares

## **Objectif de mon intervention :**

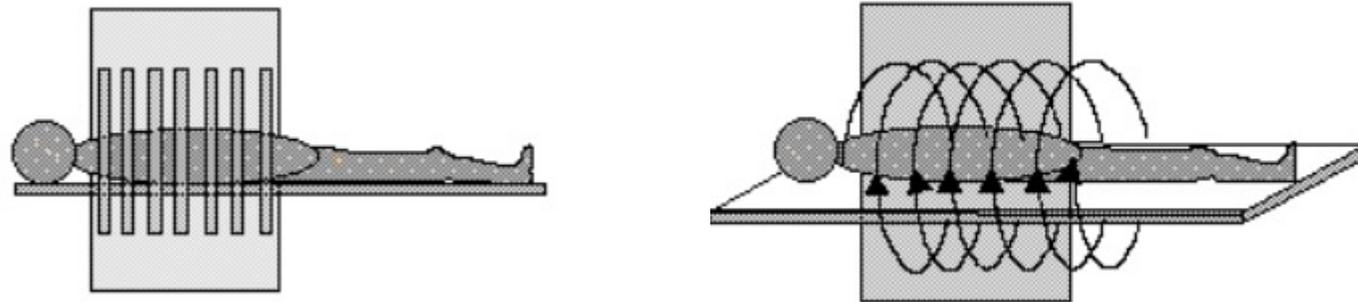
- Explorer les évolutions technologiques et leur impact futur sur la pratique clinique



EST-IL ENCORE POSSIBLE D'INNOVER EN IMAGERIE THORACIQUE PAR SCANNER ?



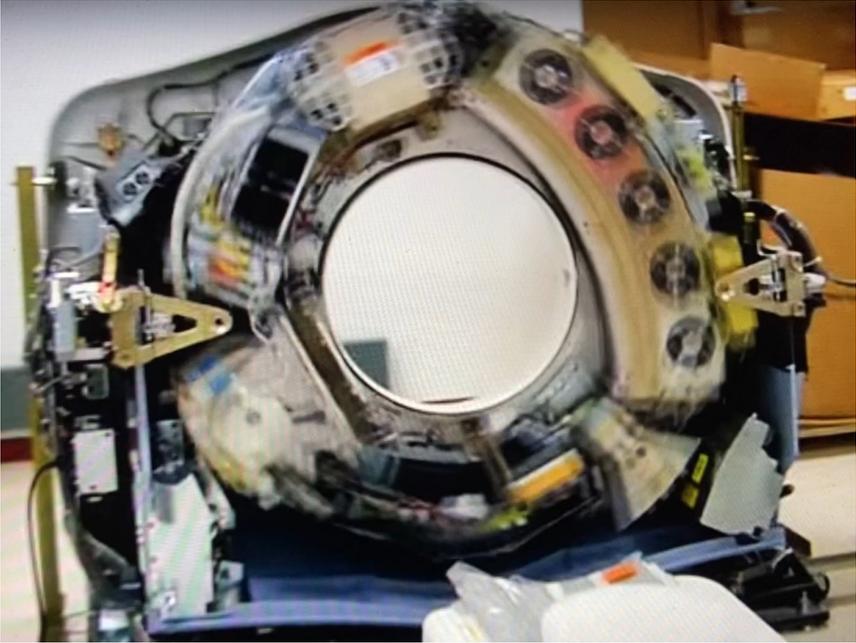
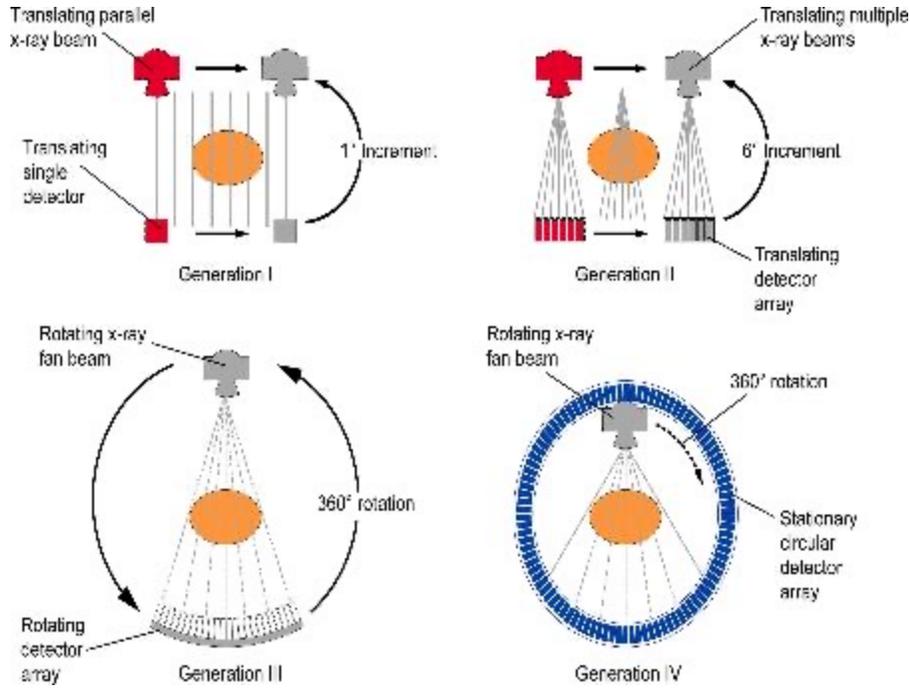
**Acquisition séquentielle** : image par image, avec un déplacement de la table entre chaque image



Julien Nauroy, 2016

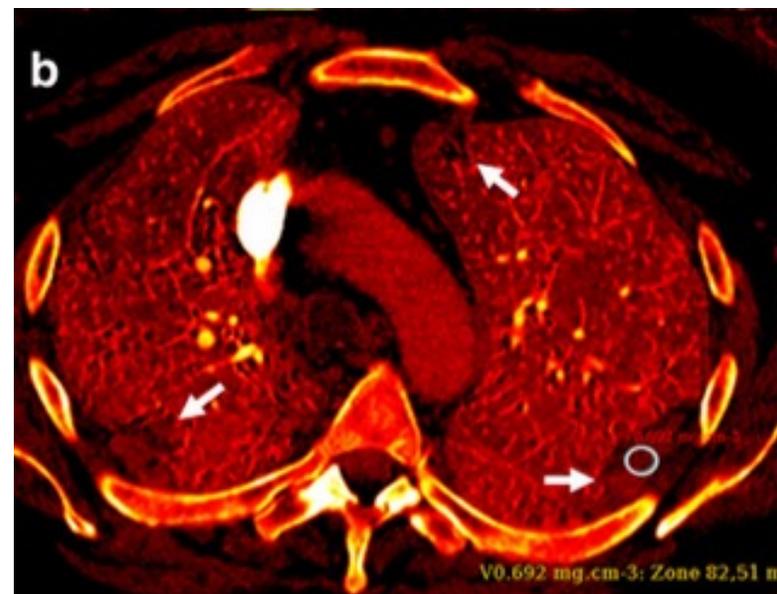
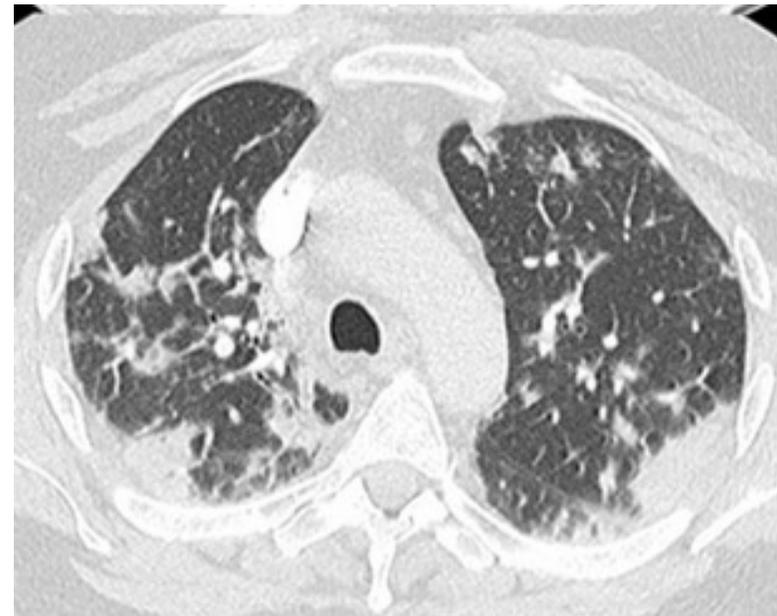
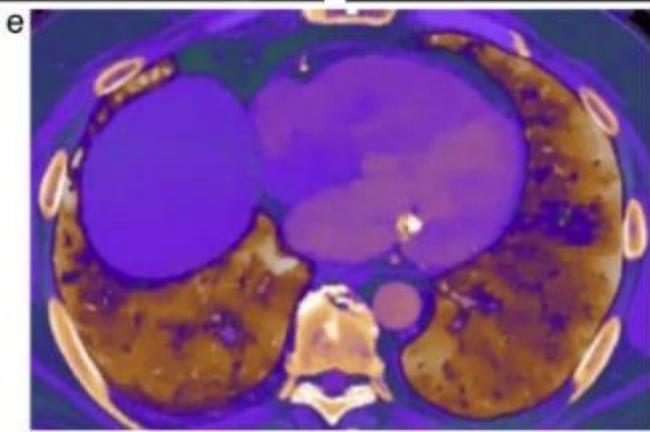
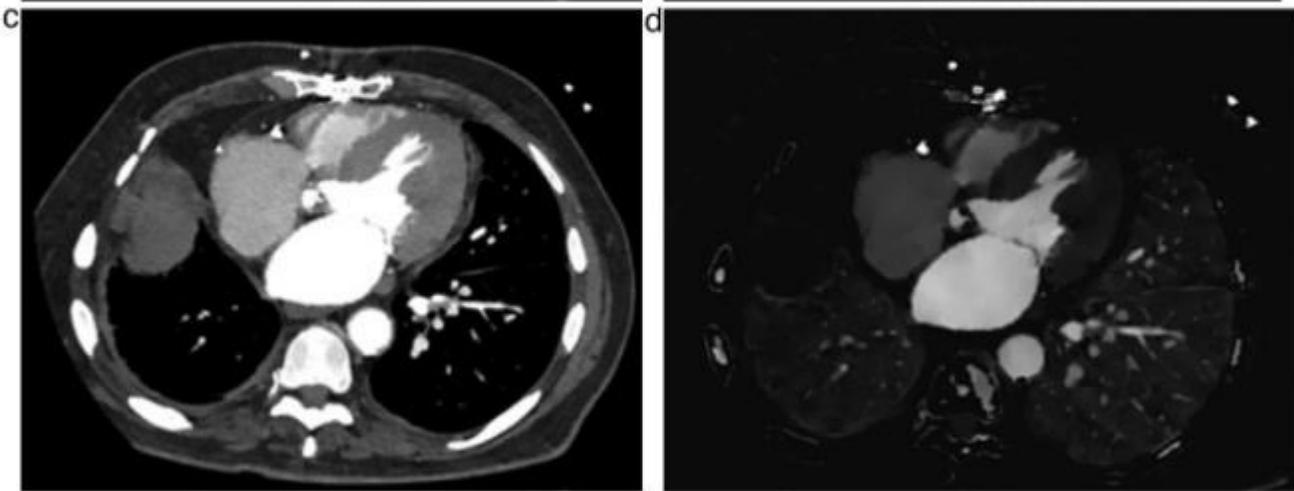
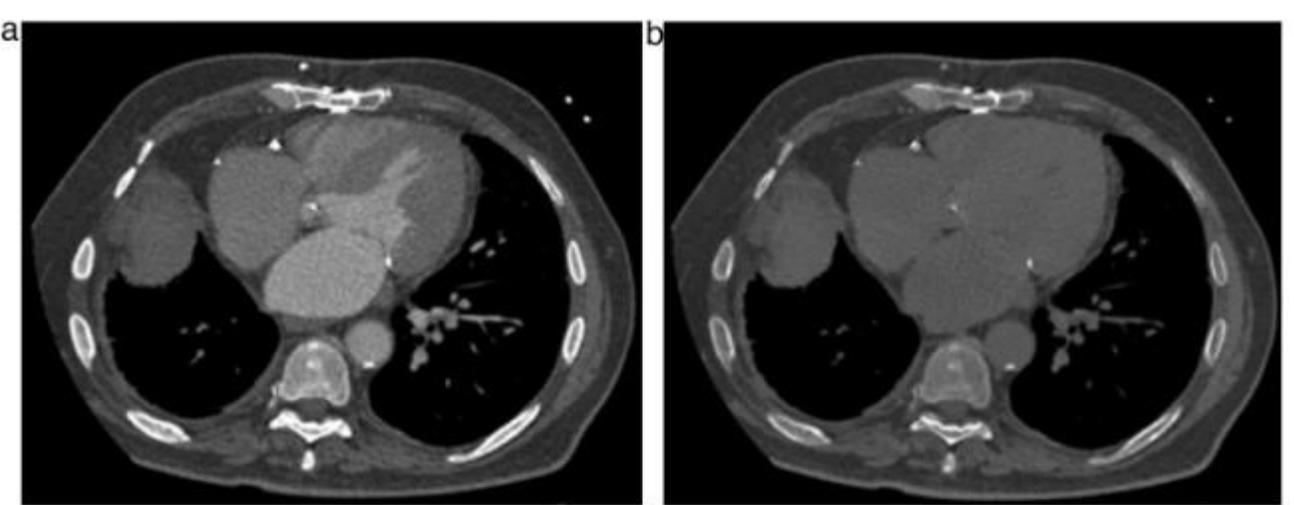
**Scanner hélicoïdal (1989)** : Acquisition continue sans interruption pendant que la table bouge, avec une trajectoire en spirale

# Multi-barrettes (1998) et multi-détecteurs (2000s) : Amélioration de la qualité d'image et réduction des doses de rayons X



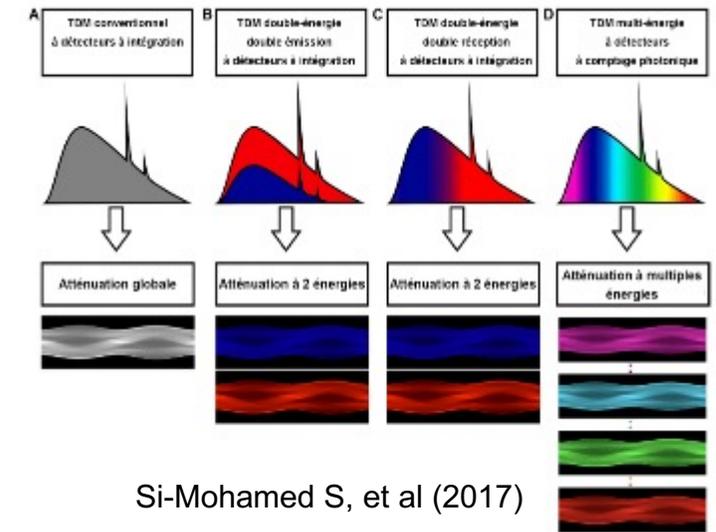
McCollough CH, radiology 2023

# Dual-energy (2010s) : double énergie - images spectrales plus détaillées



# Comptage photonique (2020s) : utilisation de détecteurs capables de compter directement les photons

- réduction des doses
- imagerie spectrale avancée
- meilleure résolution en contraste
- meilleure résolution spatiale



Si-Mohamed S, et al (2017)



Joseph Nelson, Robotflow

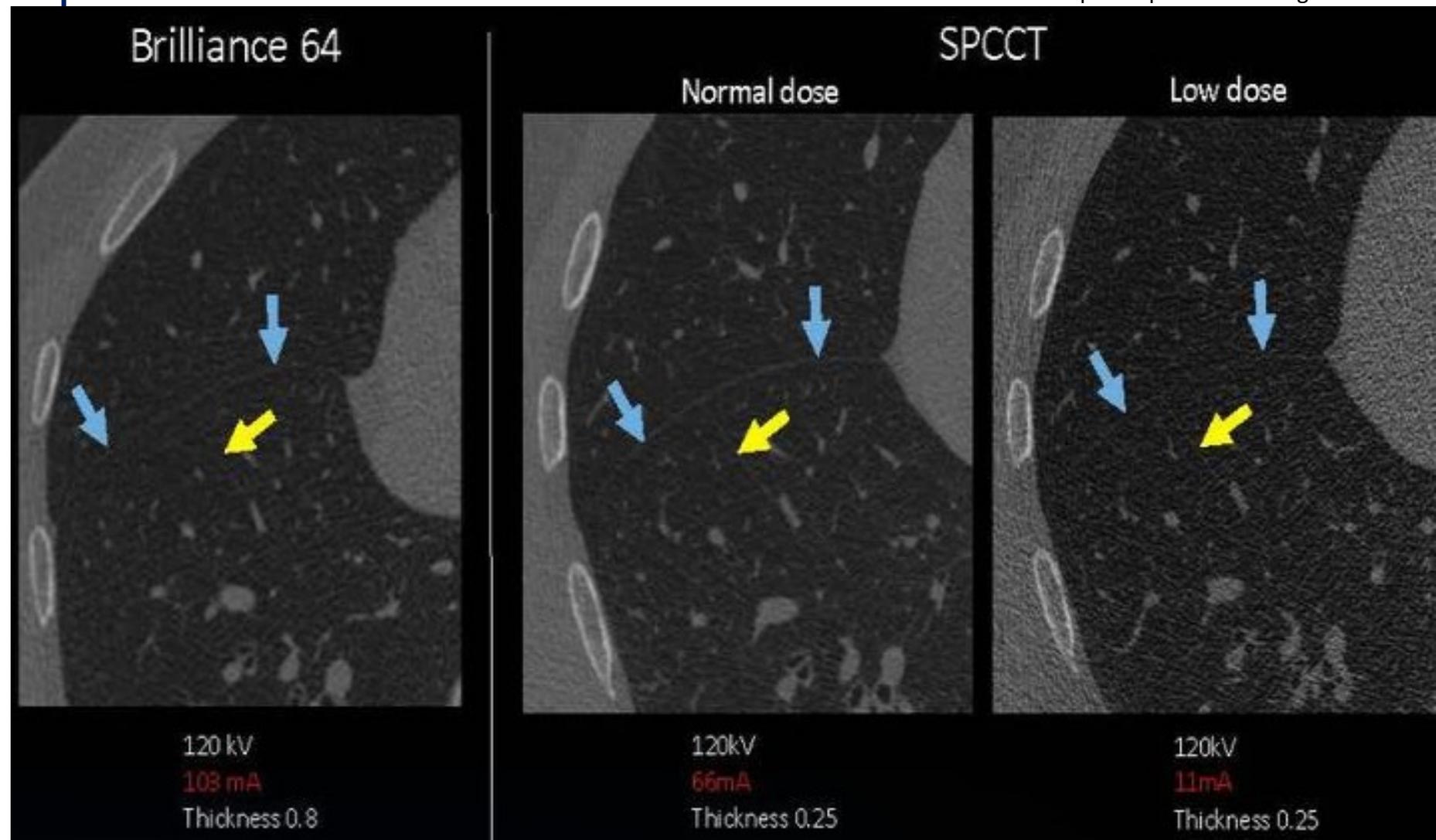


Wikipédia résolution spatiale

# Comptage photonique :

- meilleure résolution en contraste
- meilleure résolution spatiale

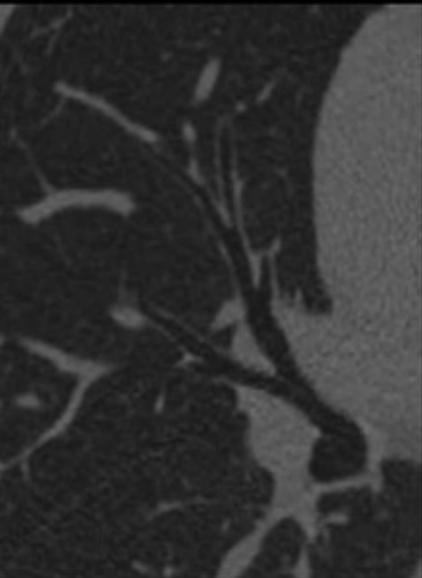
[spectralphotoncountingct.com](http://spectralphotoncountingct.com)



# Voies aériennes

## Lung – bronchial wall

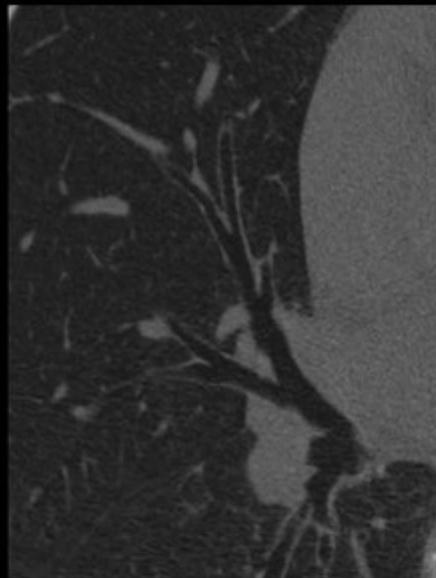
Brilliance 64



120 kV  
103 mA  
Thickness 0.8  
Matrix 512  
Kernel: YA

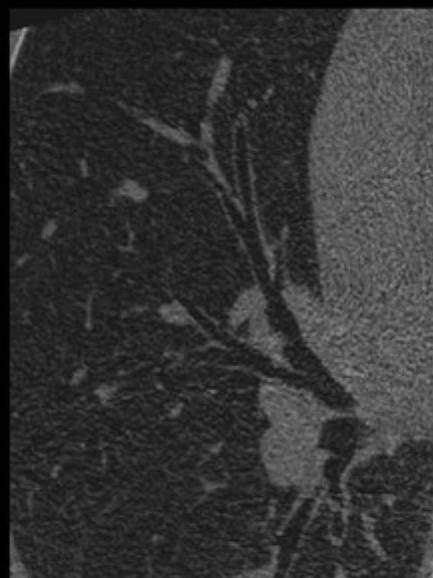
SPCCT

Normal dose

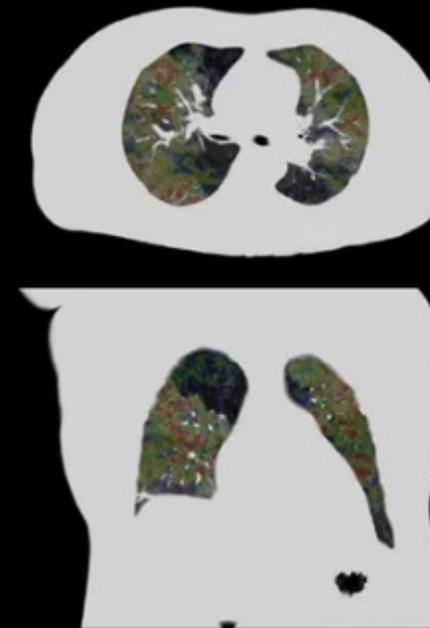


120kV  
66mA  
Thickness 0.25  
Matrix 1024  
Kernel: medium

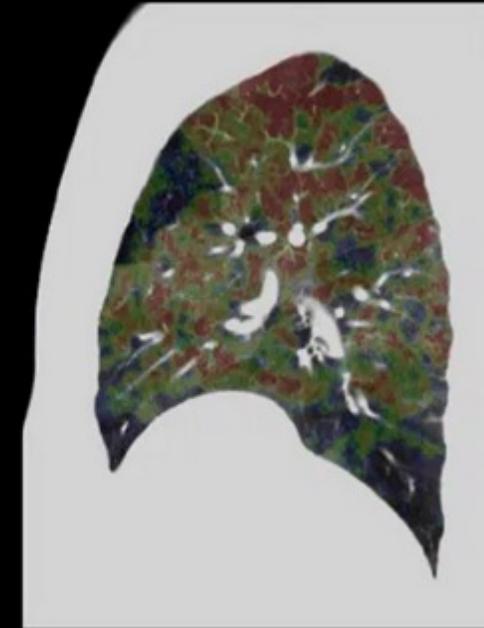
Low dose



120kV  
11mA  
Thickness 0.25  
Matrix 1024  
Kernel: medium



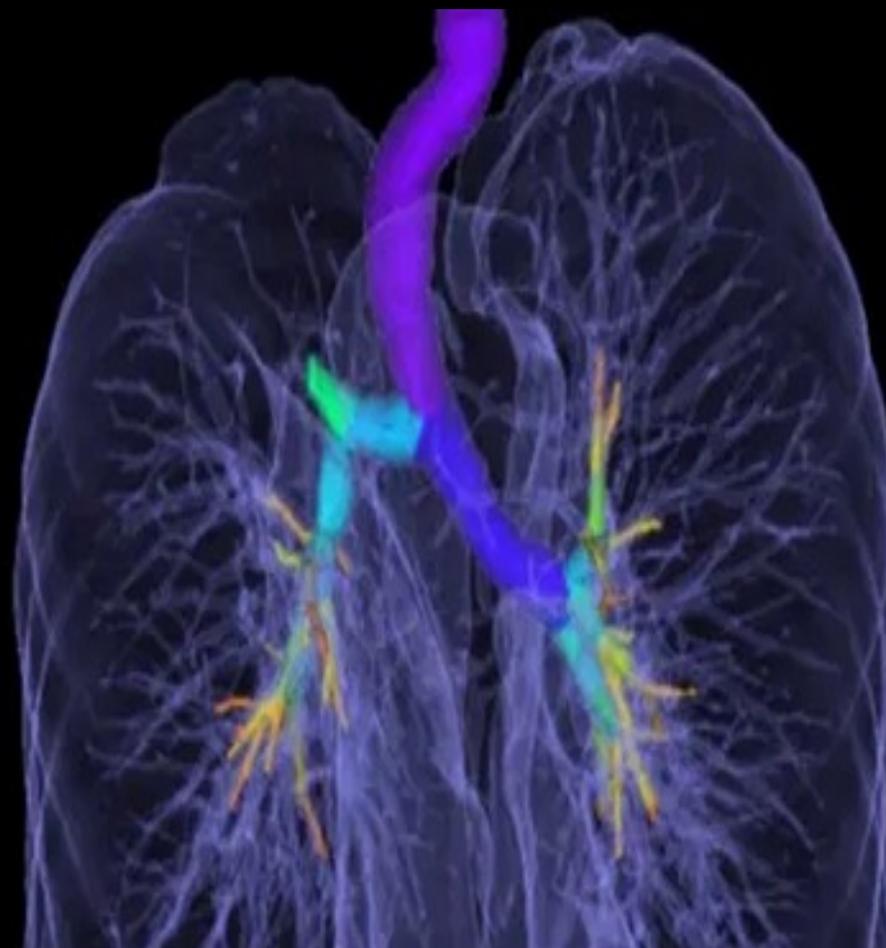
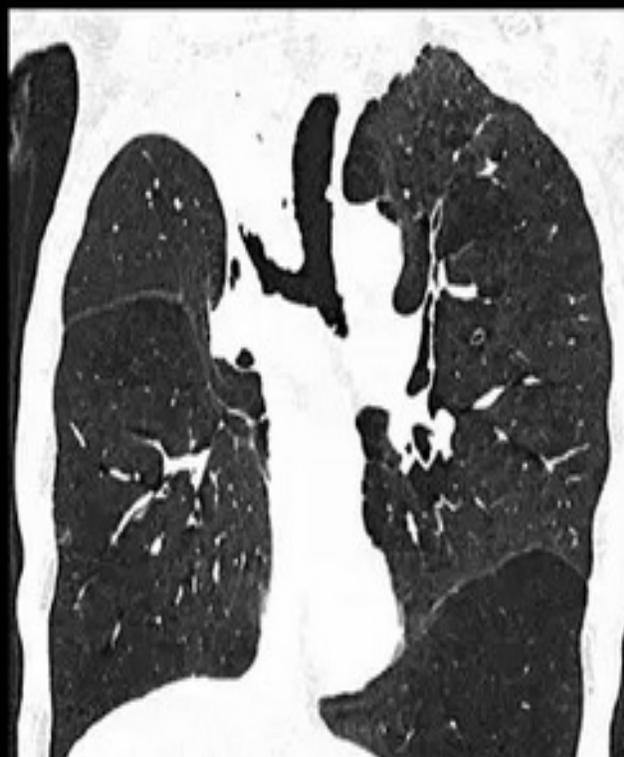
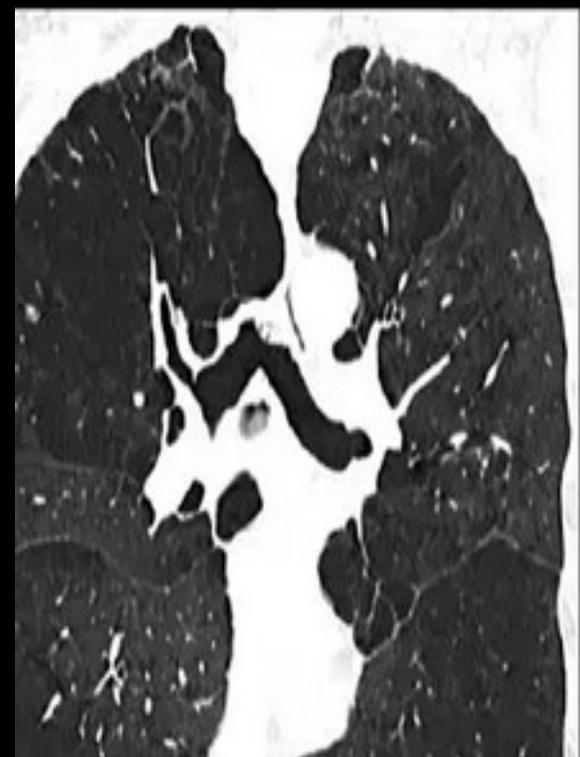
Perfusion pulmonaire | 1 mm



CTDI<sub>vol</sub> 13 mGy

Siemens

# Voies aériennes

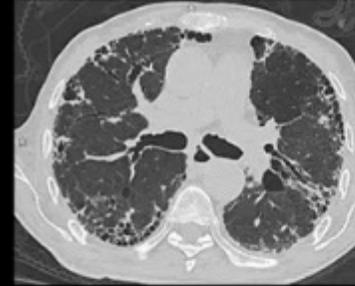


# Pneumopathies Interstitielles

Détection plus précise des anomalies fibrotiques  
n=112 patients avec PID stables

\*Meilleure scores de visualisation  
-micronodules :  $p = 0,03$   
-opacités linéaires, réticulation intralobulaire, bronchectasie, bronchiolectasie et nid d'abeille :  $p < 0,0001$

\*Reclassification de 4 patients avec des PID fibrotique (broncholectasie de traction)



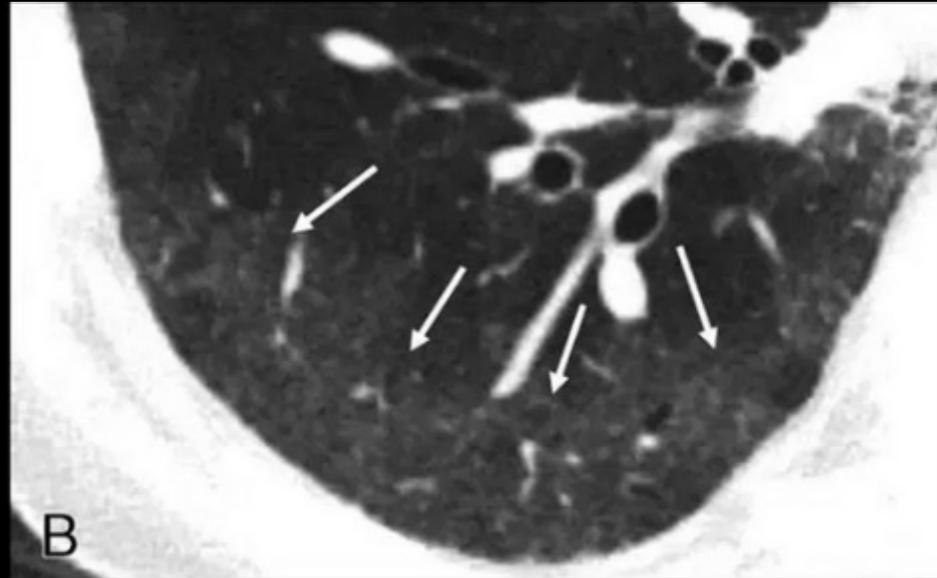
SOMATOM Force  
1 mm | BI57

NAEOTOM Alpha  
T3D | 1 mm | BI60

NAEOTOM Alpha  
T3D | 0.2 mm | BI60

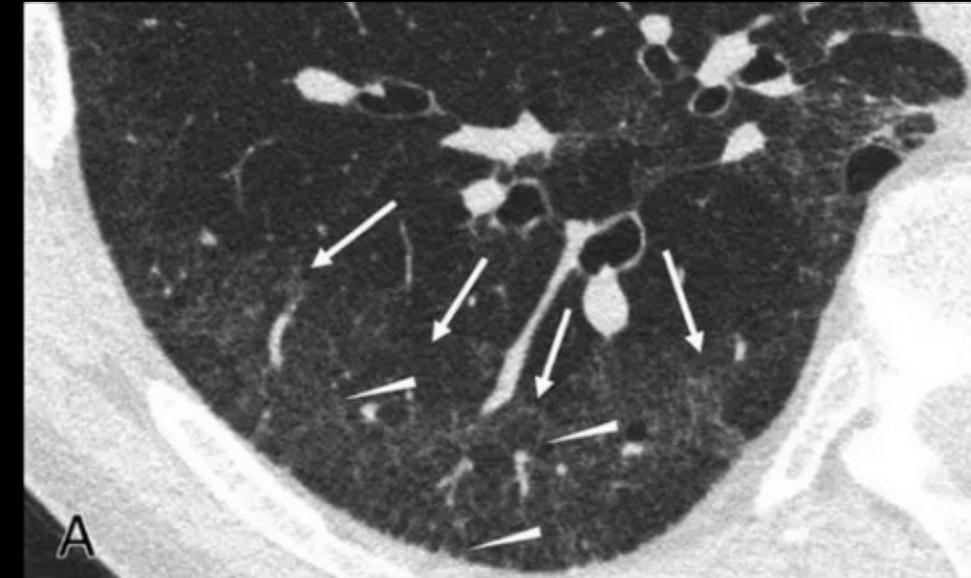
*Yann Gaillandre et al, European Radiology 2023*

# Pneumopathies Interstitielles



Scanner SOMATOM Force

Verre dépoli prédominant. Incohérent avec une pneumonie interstitielle commune (PIC)



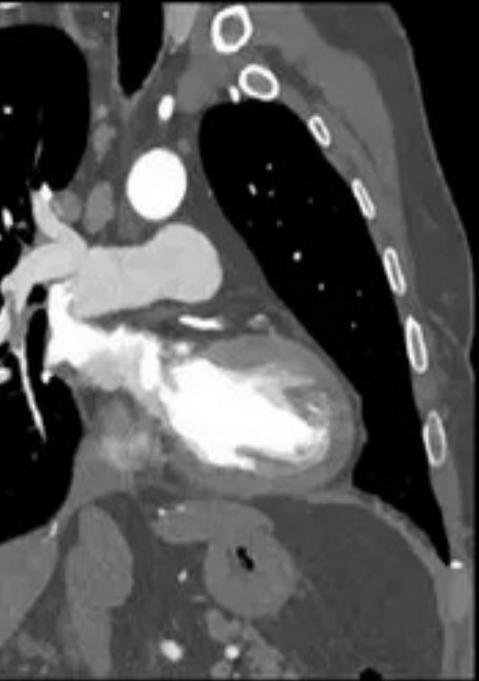
Scanner à comptage photonique

Réticulations prédominantes  
Motif de PIC probable

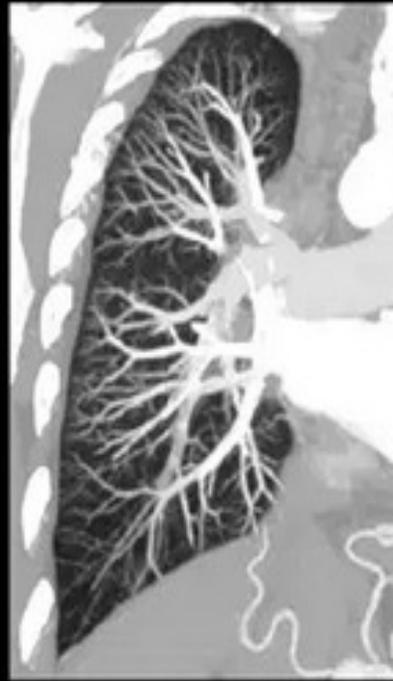
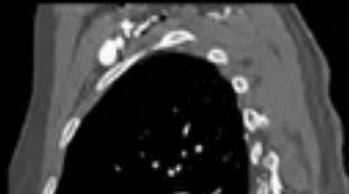
Dans la PR :  
\*meilleure détection et  
score des réticulations et  
de bronchectasie

Siemens

# Pathologies vasculaires

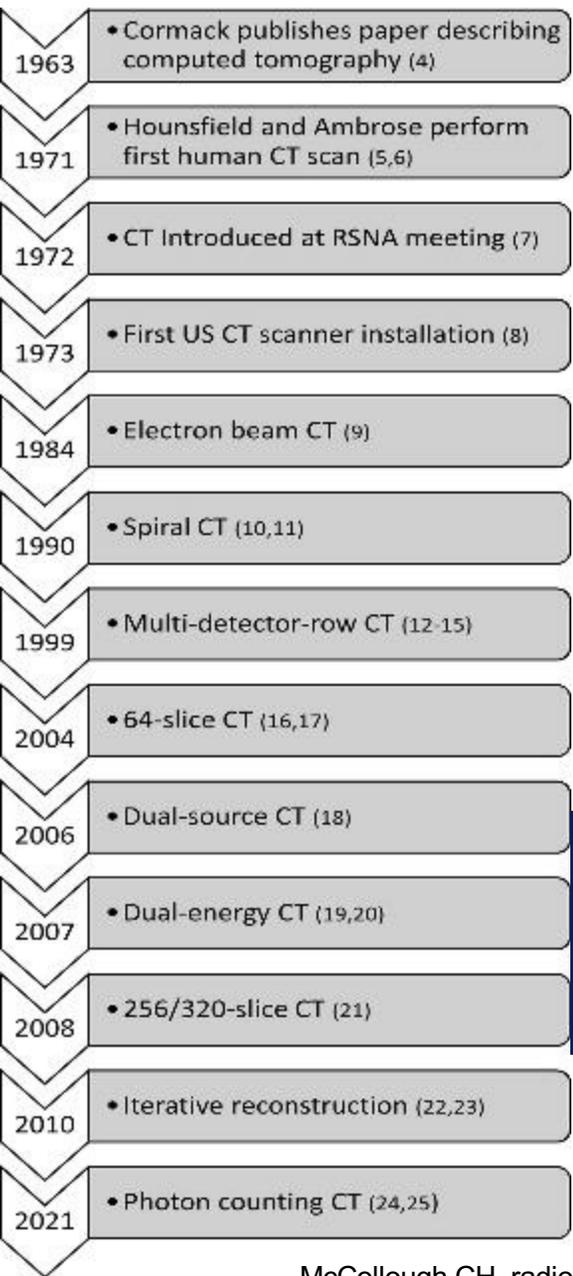


m | Bv40 | 55 keV



MIP oblique | Bv4

Siemen

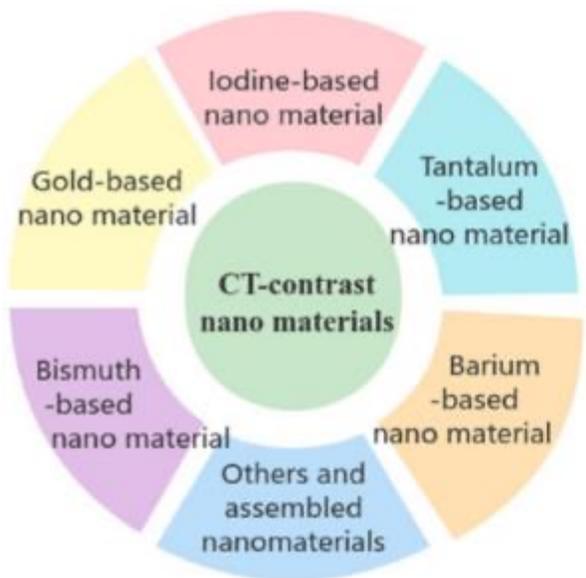


## EST-IL ENCORE POSSIBLE D'INNOVER EN IMAGERIE THORACIQUE PAR SCANNER ?

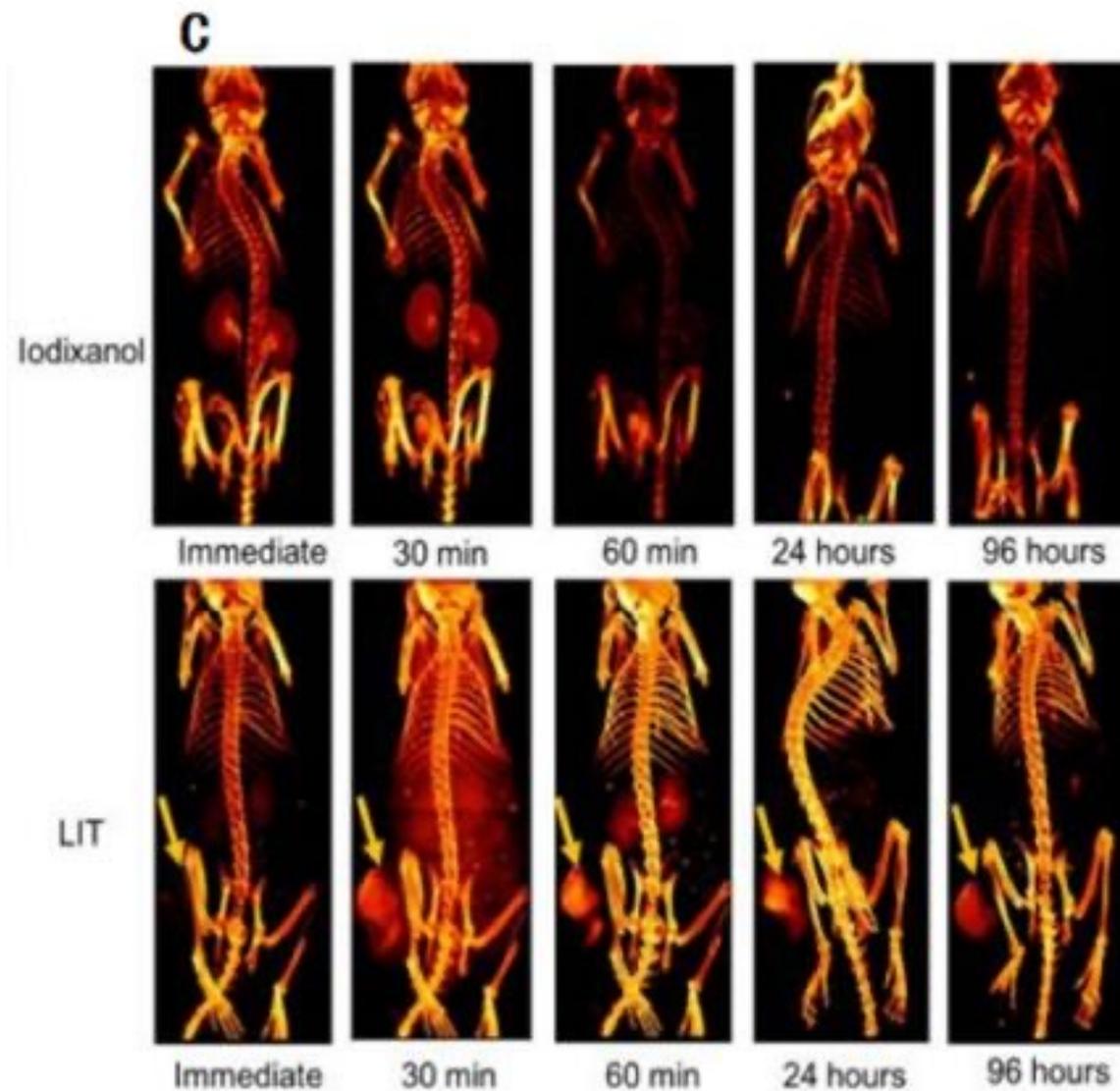


McCollough CH, radiology 2023

# Des particules nanométriques intelligentes



J.Lai et al Sci Prog. 2024



# Scanner à Comptage Photonique : Ex. d'application en recherche



**MOLECULAR**  
Functional Imaging

**PERFUSION**  
Functional Imaging

**KOLOR SPCCT**  
Imaging

**VENTILATION**  
Functional Imaging

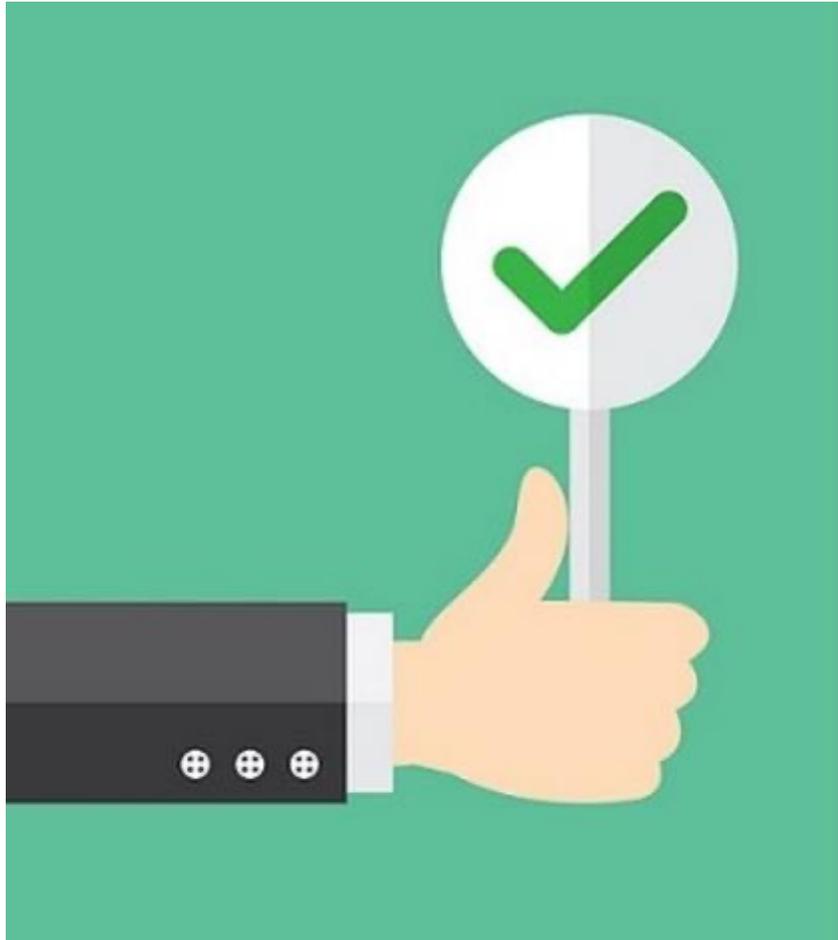
**A « single breath-hold »  
Comprehensive imaging**

**Lung diseases  
work-up**

**HIGH-RESOLUTION**  
Morphologic Imaging

RESTE-T-IL UNE PLACE POUR L'IRM THORACIQUE DANS LE FUTUR?

# IRM thoracique d'aujourd'hui



Des IRMs Thoraciques

Absence de radiation ionisante

Excellente résolution des tissus mous

Angiographie par résonance magnétique (ARM)

Imagerie fonctionnelle

# IRM thoracique d'aujourd'hui



## Hydrogène et signal pulmonaire

↑ Signal (↑ 1H)	↓ Signal (↓ 1H)
Epaissement des parois bronchiques	Emphysème
Secrétions	Piégeage
Atélectasies	Perfusion en mosaïque
Infiltration	
Nodule, masse, tumeur	
Sang	

# IRM thoracique d'aujourd'hui



Hydrogène et signal pulmonaire

Sensibilité au mouvement

Résolution spatiale inférieure au scanner

Temps d'examen long

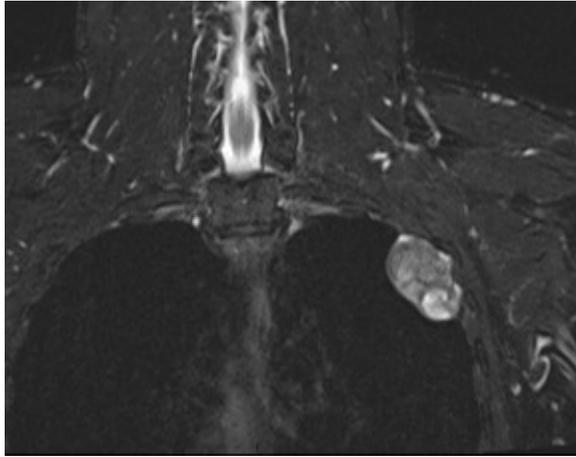
Contre-indications

Disponibilité

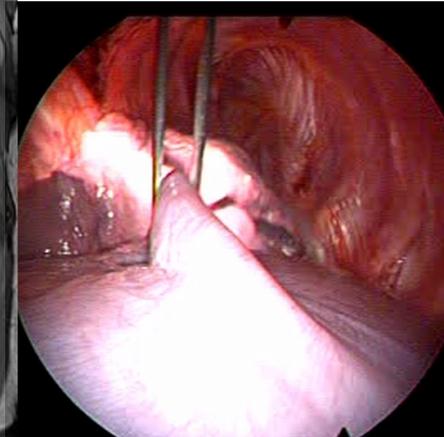
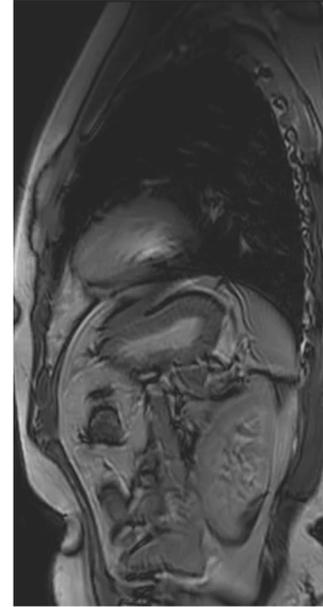
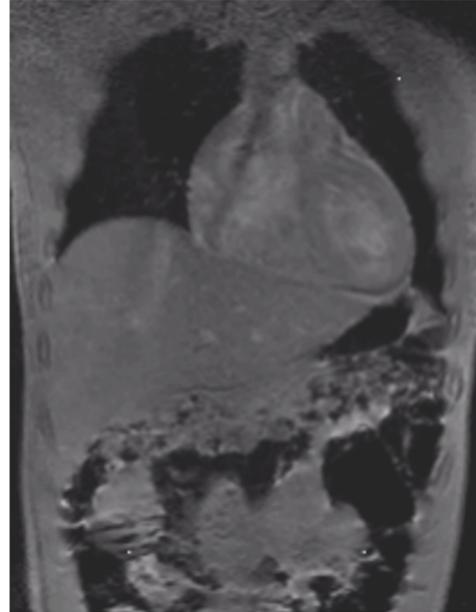
Coût

# Qu'est ce que l'on fait en routine ?

**Tumeur de l'apex pulmonaire**

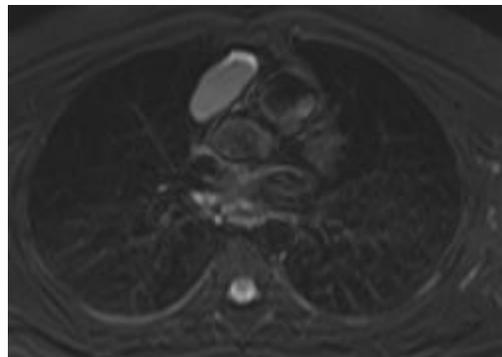


**Diaphragme**

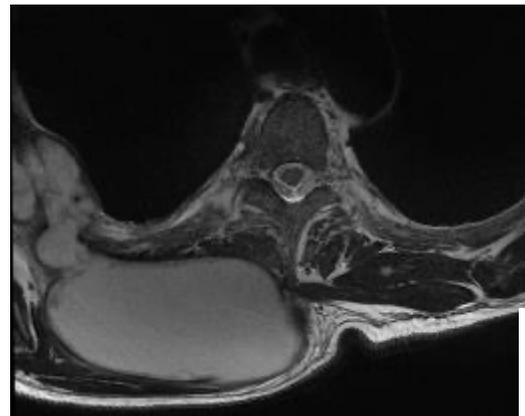


Courtoisie F.Le Pimpec Barthes

**Masse médiastinale**



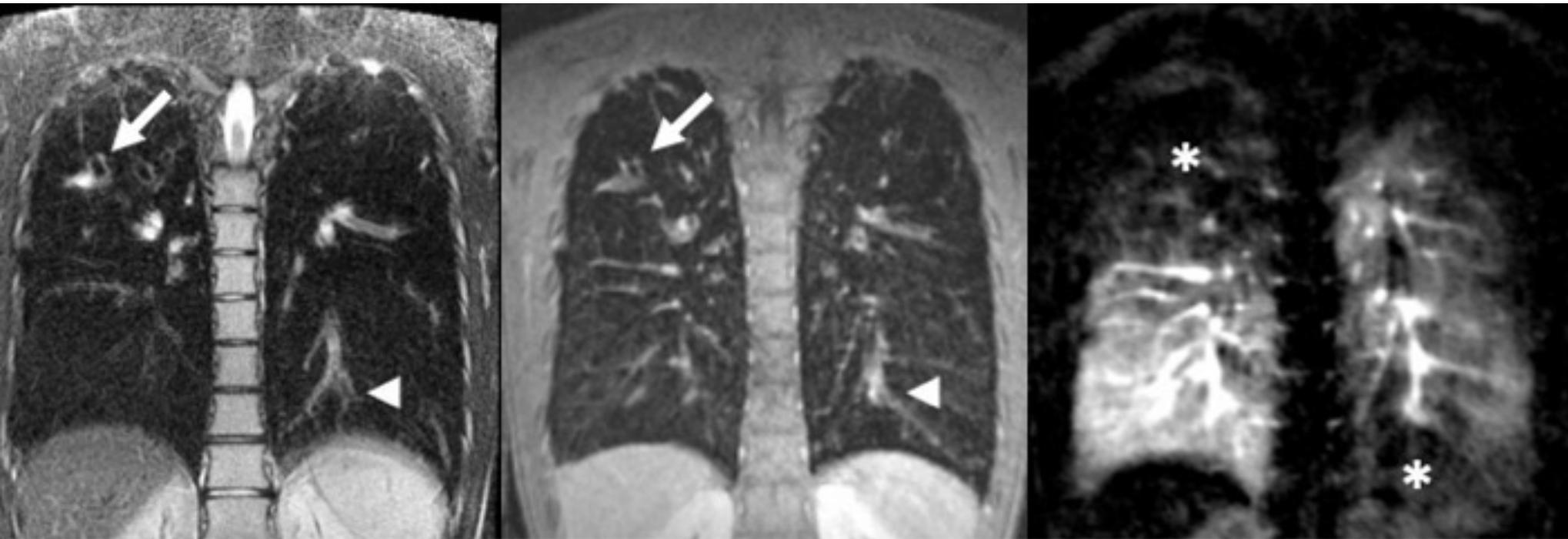
**Paroi**



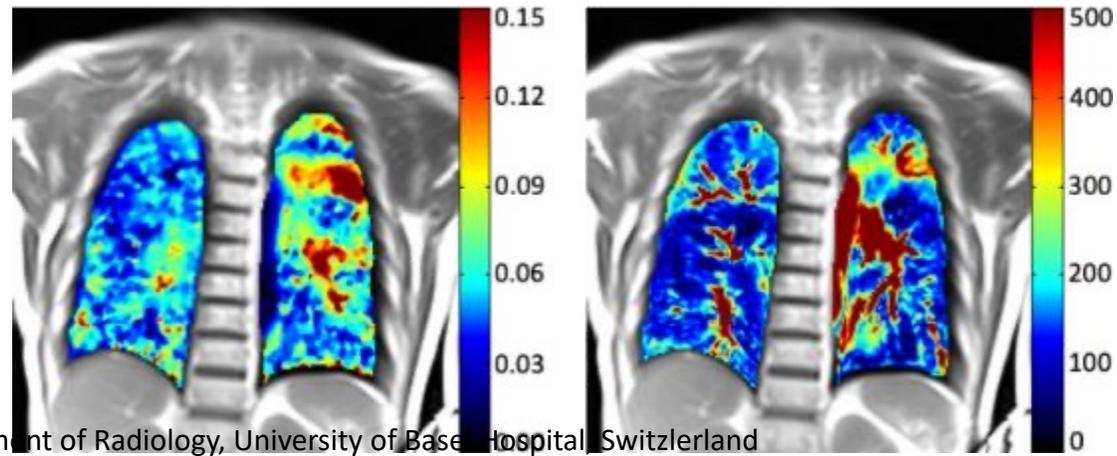
Mucovicirose, nodules, atélectasie, adénomégalies, PID...

# IRM pulmonaire de demain

# Voies aériennes

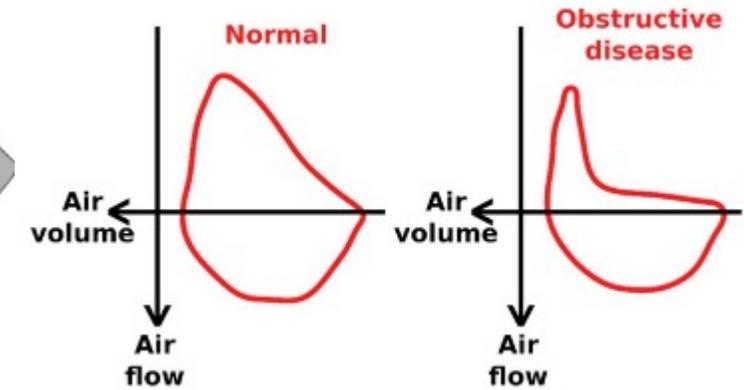
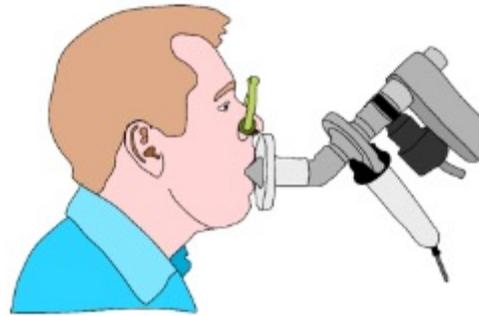
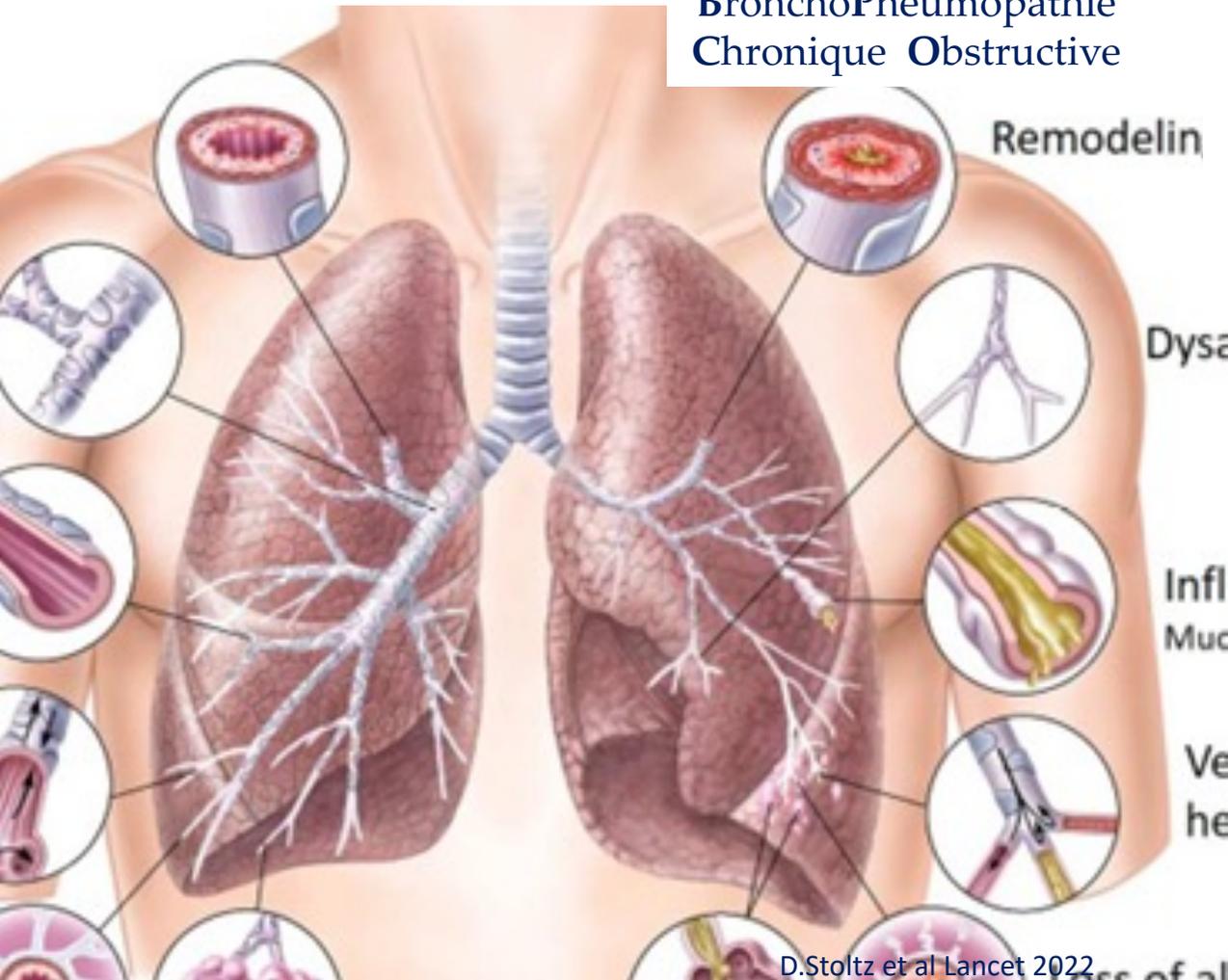


Images courtesy of M. Wielpuetz, Heidelberg, DE.

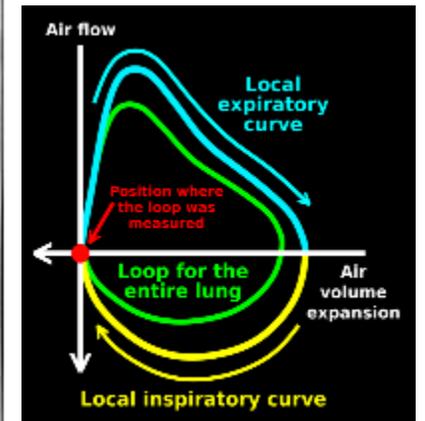
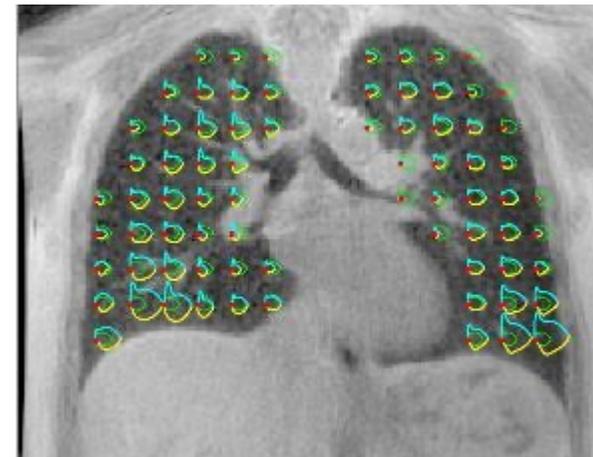


Images courtesy of Grzegorz Bauman, Division of Radiological Physics, Department of Radiology, University of Basel Hospital, Switzerland

## BronchoPneumopathie Chronique Obstructive



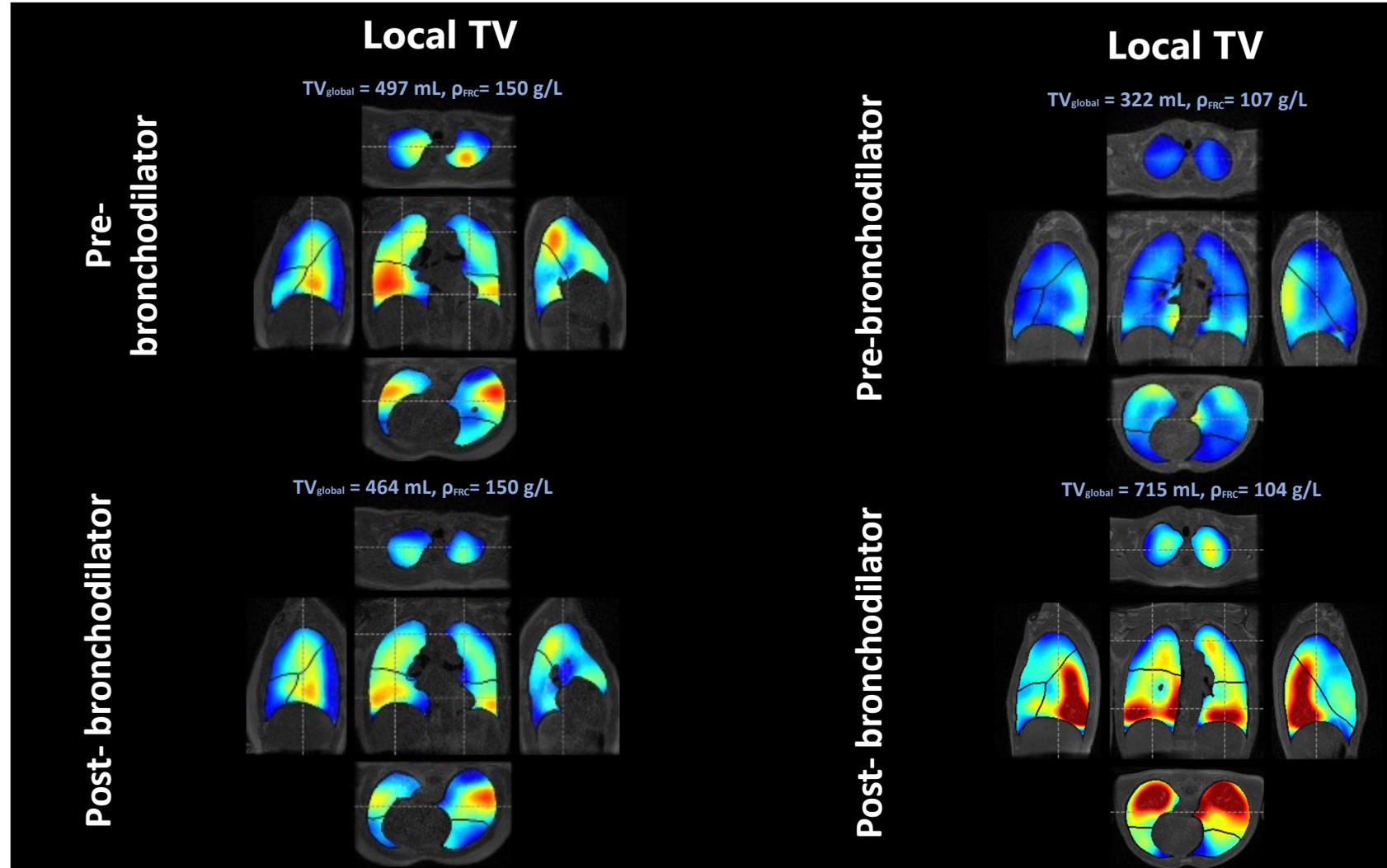
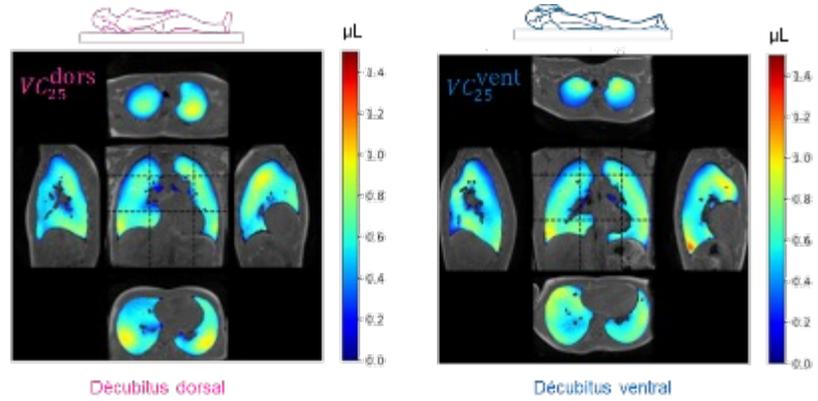
Courtoisie P. Laveneziana



T.Boucneau et al Scientific Reports 2020

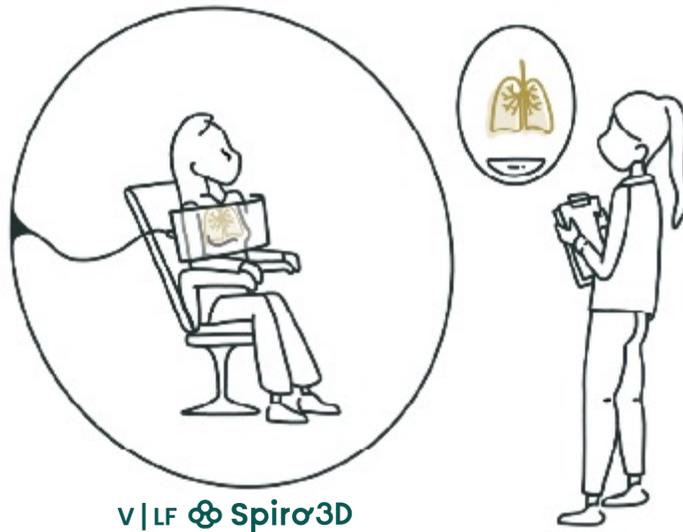
## Healthy volunteer

## Asthma volunteer



# IRM pulmonaire de demain

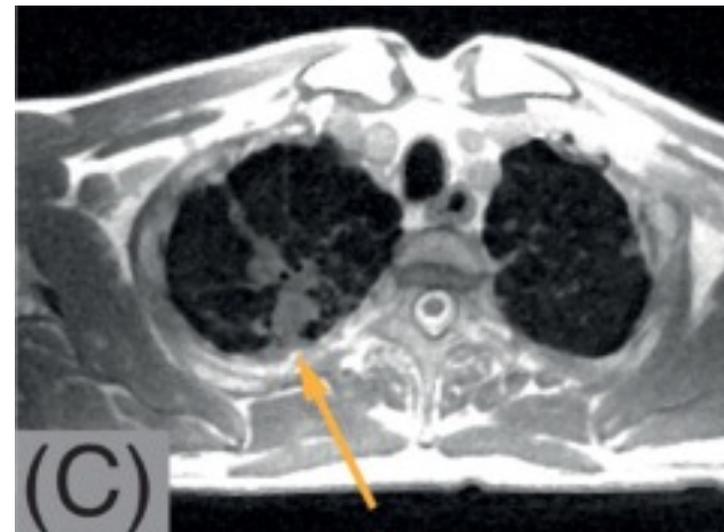
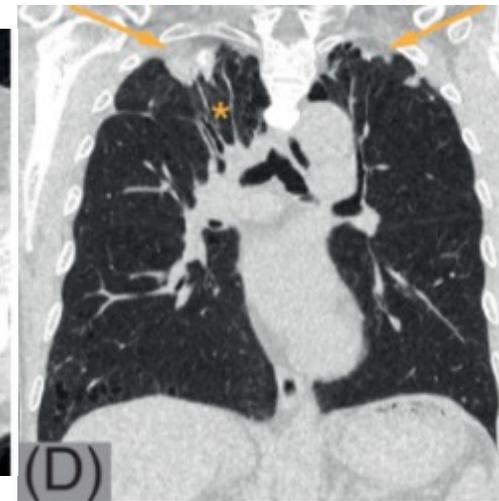
# IRM bas champ



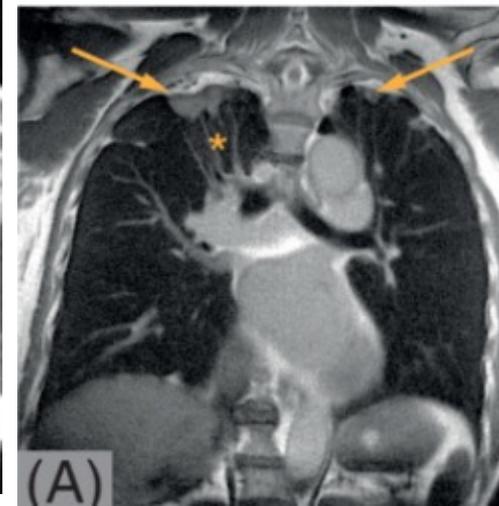
0.55 T MR-system



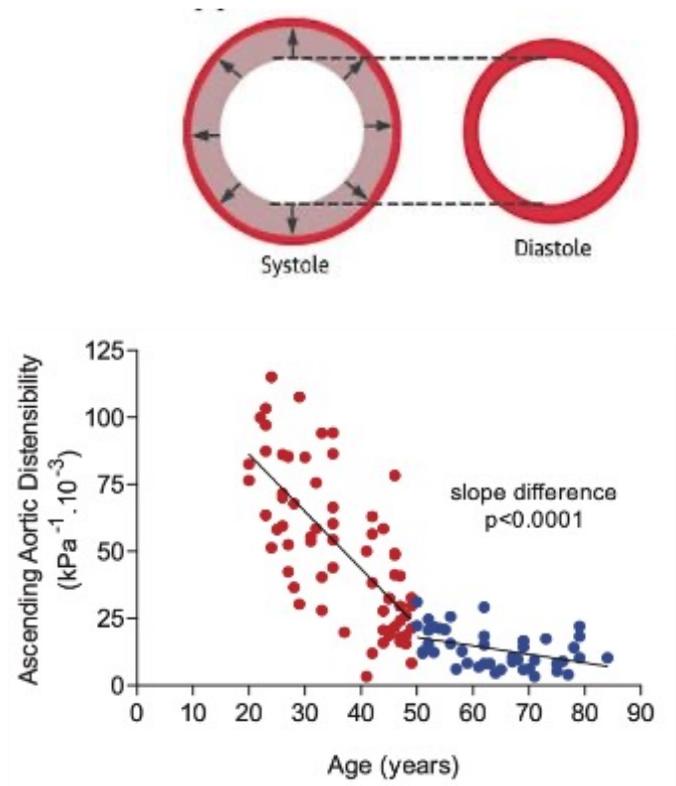
Bauman et al Magn Reson Med. 2023



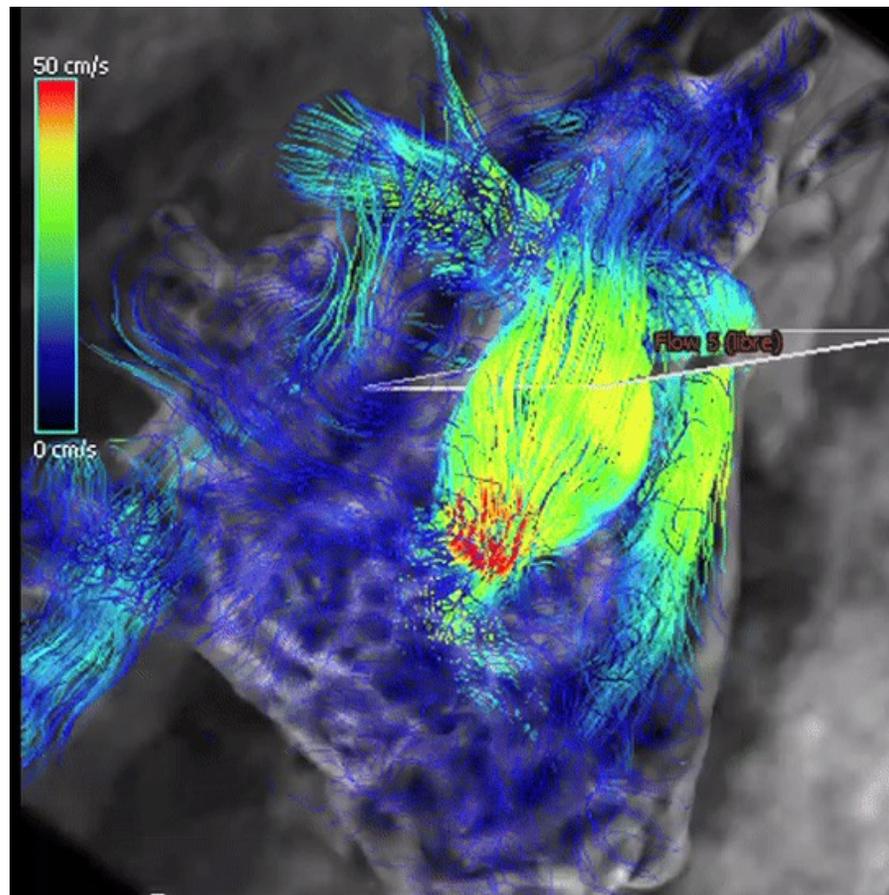
bSTAR



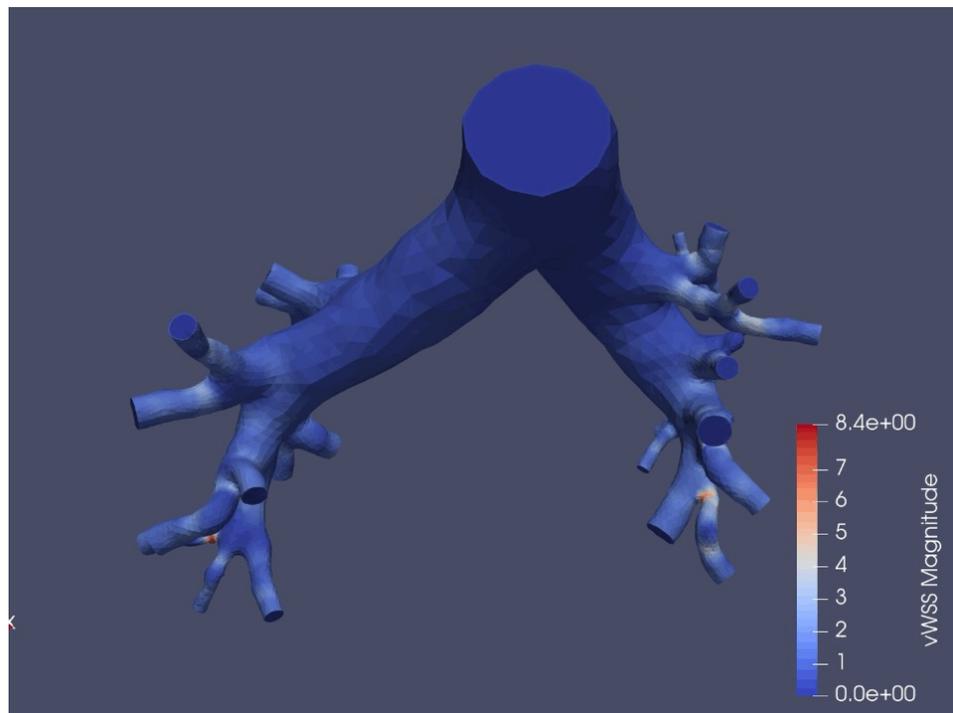
Reduced ascending aortic strain and distensibility:  
earliest manifestations of vascular aging in humans



Redheuil A et al. Hypertension, 2010

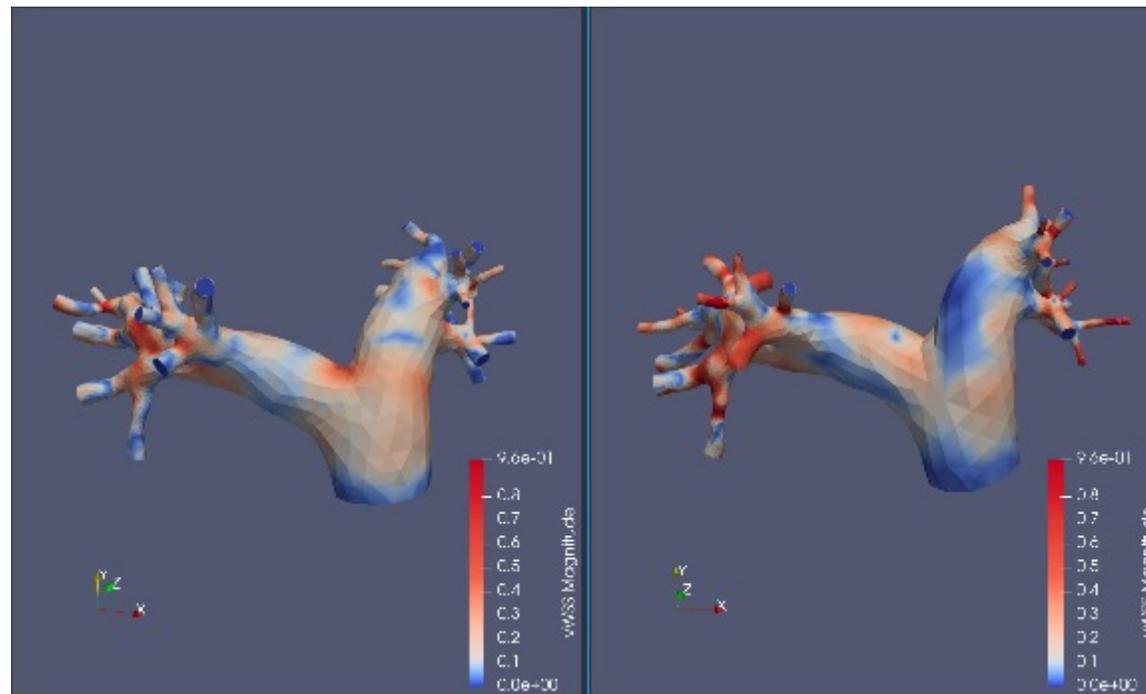


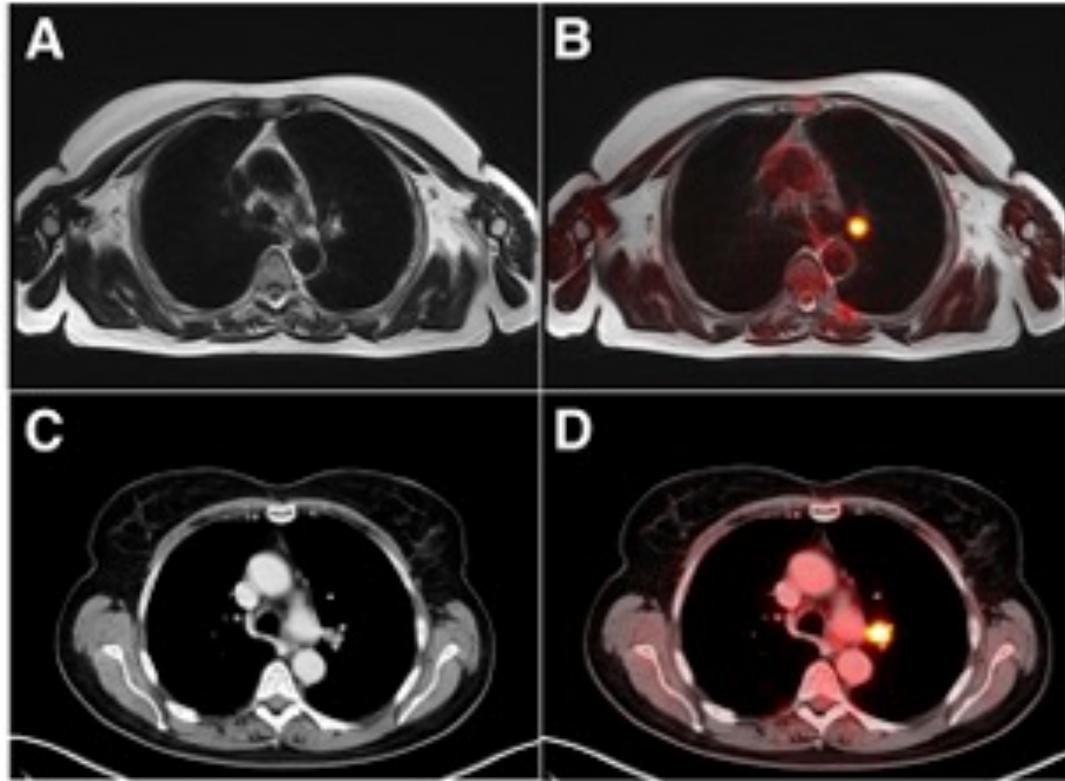
## Wall Shear Stress avant et après traitement chez un même patient



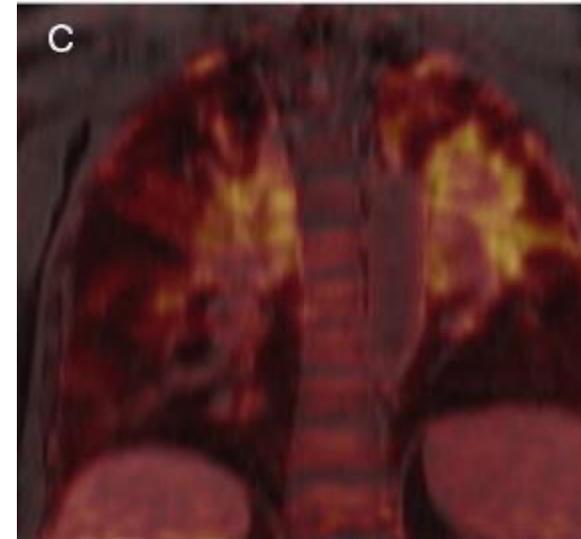
Evolution du Wall Shear Stress des artères pulmonaires au cours du cycle cardiaque

S.Benchara, D. Rodriguez, A. Decoene, S.Jan, O. Meyrignac

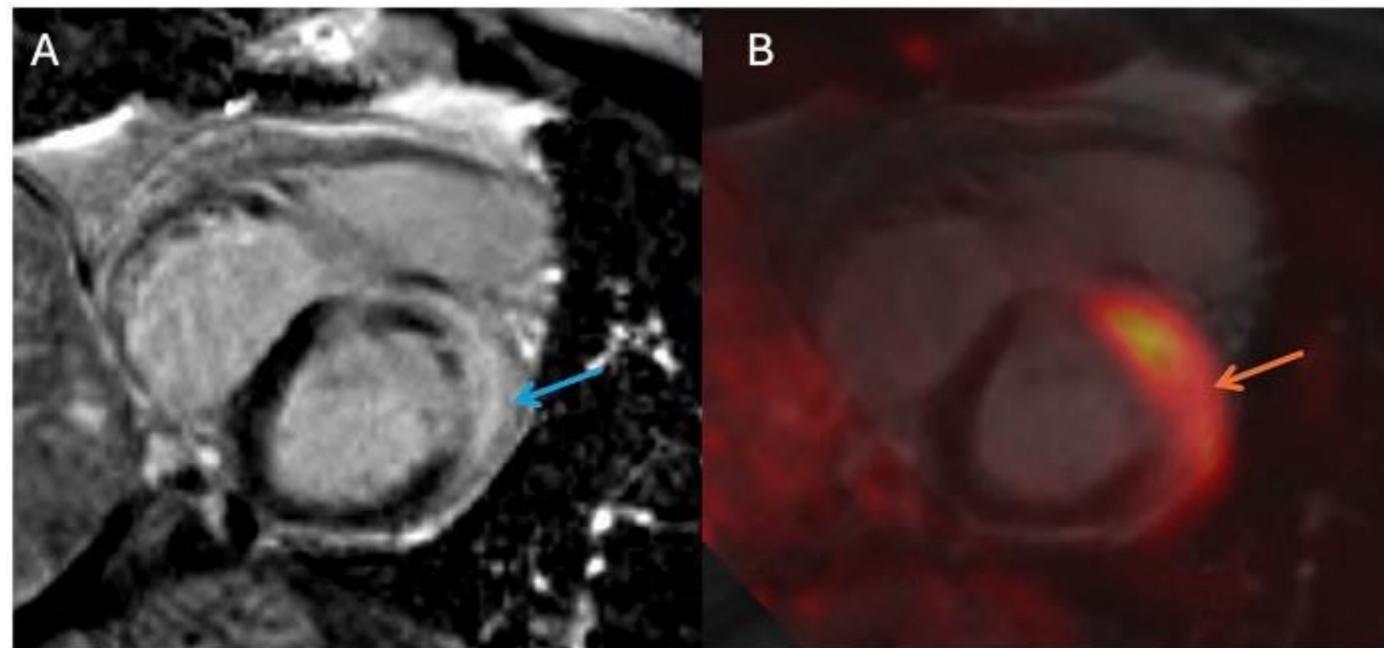


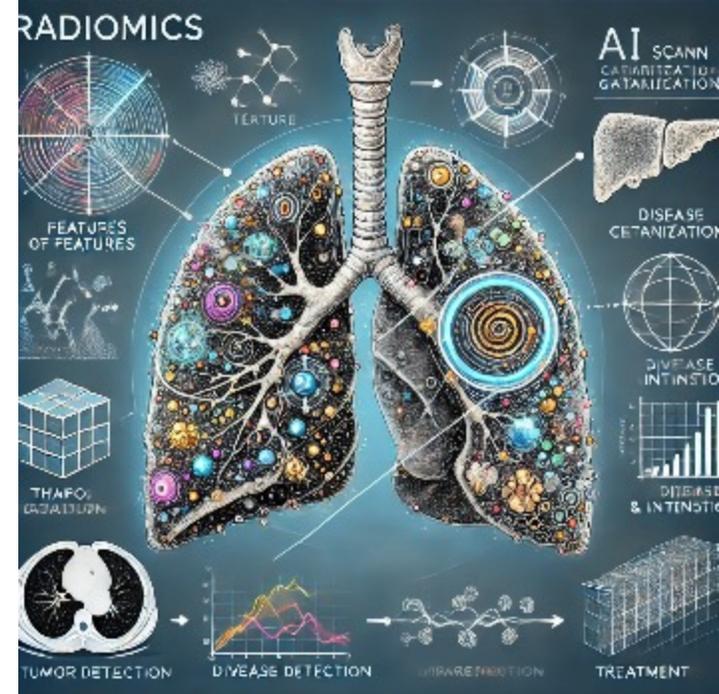


P. Heusch et al Journal of Nuclear Medicine 2014



A.Kohan et al Can Assoc Radiolo J.2024





QUELLE PLACE À L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE  
DANS LA ROUTINE CLINIQUE ?

# Intégration de l'intelligence artificielle

## Optimisation techniques

### Algorithmes de reconstruction d'image

- Améliorer la qualité des images - Séquences moins sensibles aux artefacts
- Diminuer le temps d'acquisition

### Développement de séquences

## Interprétation

Détection / Caractérisation / Quantification / Prédiction

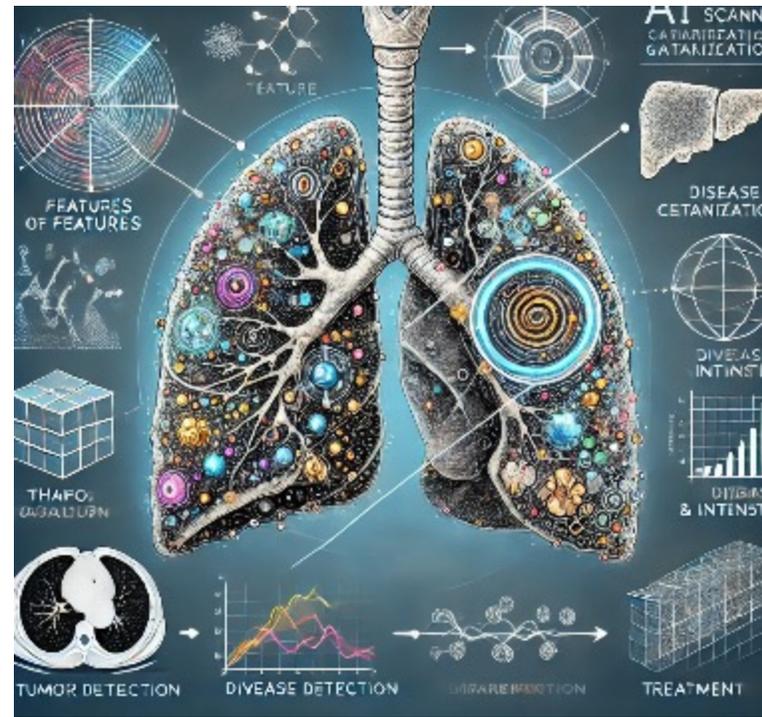
# IA en routine clinique ?

## Radiographie thoracique

- Normal
- Infection
- Nodule pulmonaire
- Plèvre
- Positionnement de matériel

## Scanner thoracique

- Nodule pulmonaire / Dépistage du cancer du poumon
- Emphysème
- Embolie pulmonaire
- Infection
- Pneumopathie Interstitielle



# Détection

- E.J.R. van Beek *et al.* Clin Radiol 2023
- Z.Z. Qin *et al.* Lancet Digit Health 2021
- R.L. Cobeñas *et al.* Med Clin 2023
- C.H. Liang *et al.* Clin Radiol 2020
- C. Ying *et al.* Int J Infect Dis 2022
- G. Chassagnon *et al.* Med Image Anal, 2021
- S. Ebrahimian *et al.* Acad Radiol, 2022
- T. Dyer *et al.* Clin Radiol 2021
- N.P. Nsengiyumva *et al.* Open Forum Infect Dis 2021
- H. Nishikiori *et al.* Eur Respir J 2023
- T. Sugibayashi *et al.* Eur Respir Rev 2023

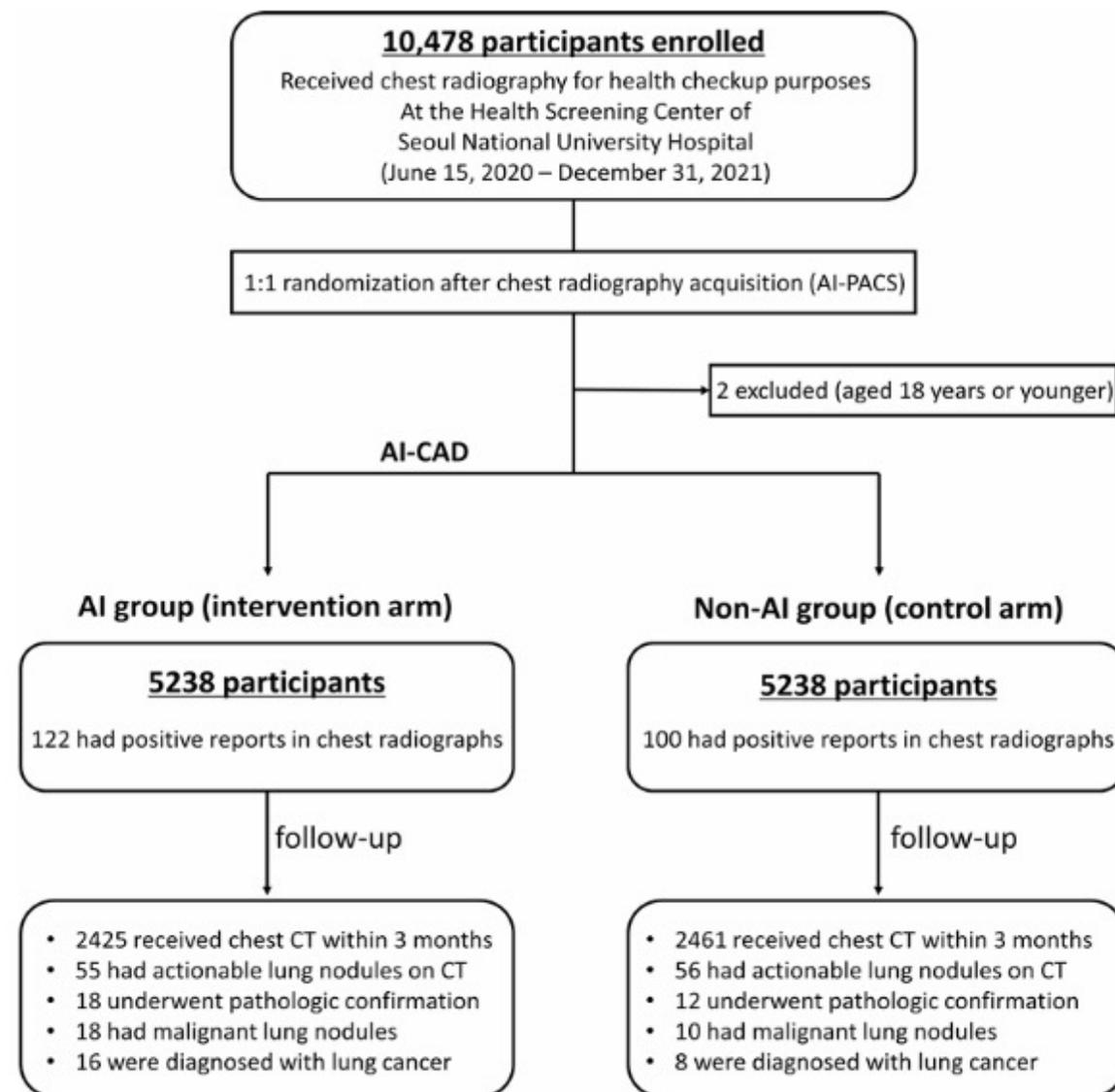
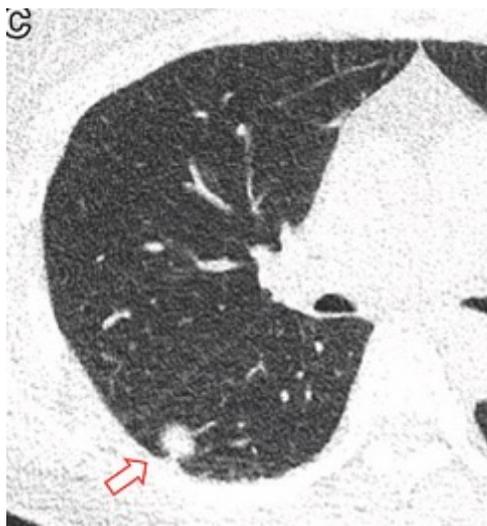
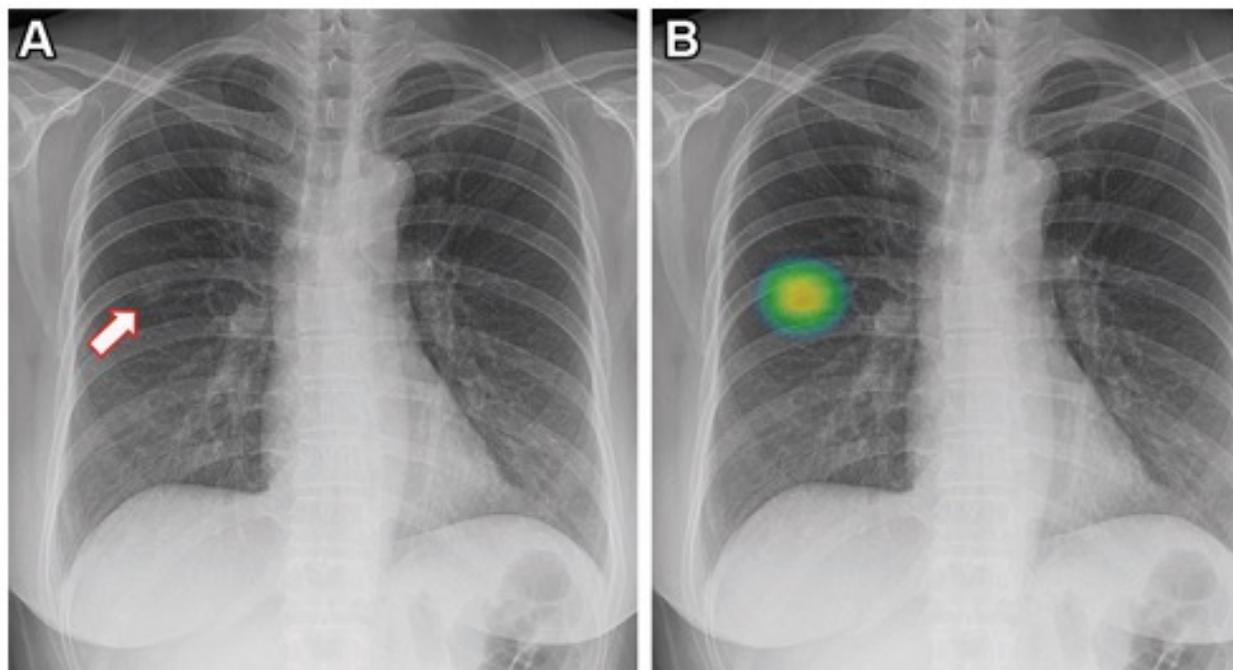
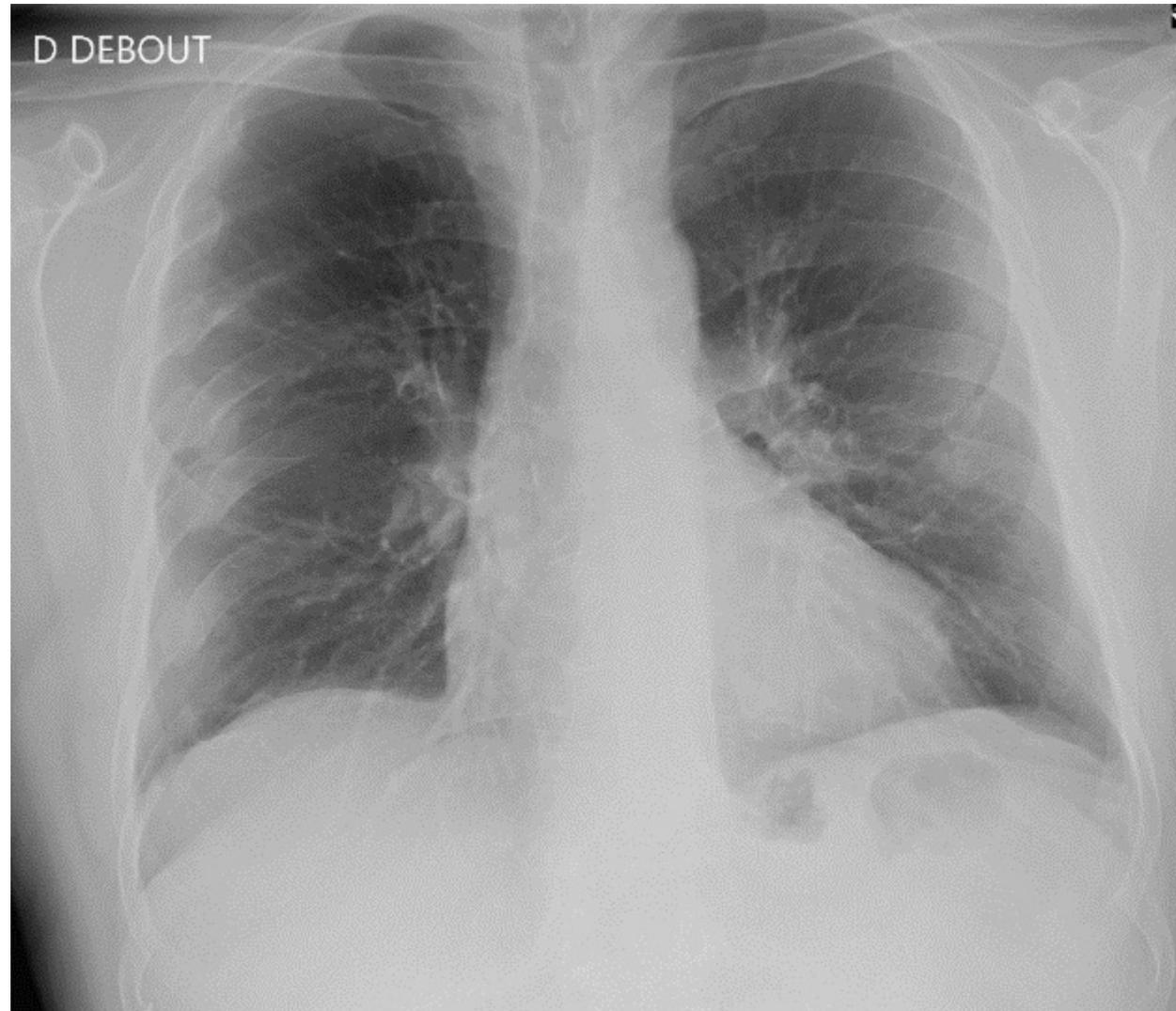


Figure 1: Participant flow diagram. AI = artificial intelligence, CAD = computer-aided detection, PACS = picture archiving and communication system.

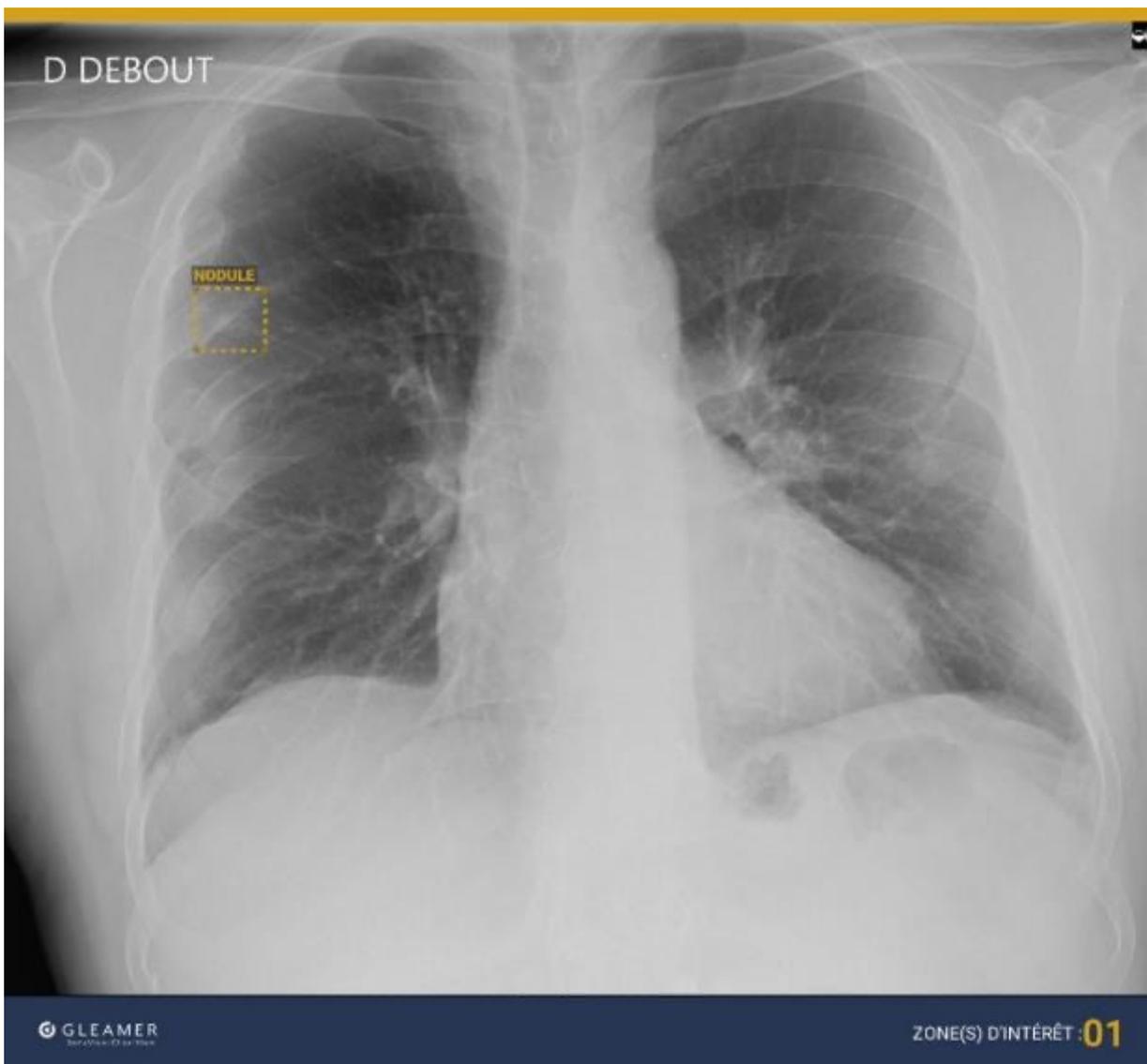
**Table 3: Diagnostic Performance of Chest Radiography for Detecting Actionable Lung Nodules in the 4886 Participants Who Underwent Chest CT**

Parameter	All Participants with Chest CT ( <i>n</i> = 4886)	AI Group with Chest CT ( <i>n</i> = 2425)	Non-AI Group with Chest CT ( <i>n</i> = 2461)	<i>P</i> Value
Actionable nodules on CT scans	111	55	56	...
Positive report at chest radiography	156	87	69	...
True positive	44	31	13	...
False positive	112	56	56	...
Negative report at chest radiography	4730	2338	2349	...
True negative	4663	2314	2349	...
False negative	67	24	43	...
Diagnostic performance of chest radiography*				
Sensitivity	39.6 (30.5, 48.7)	56.4 (43.3, 69.5)	23.2 (12.2, 34.3)	<.001 <sup>†</sup>
Specificity	97.7 (97.2, 98.1)	97.6 (97.0, 98.3)	97.7 (97.1, 98.3)	.94
Positive predictive value	28.2 (21.1, 35.3)	35.6 (25.6, 45.7)	18.8 (9.6, 28.1)	.02 <sup>†</sup>
Negative predictive value	98.6 (98.3, 98.9)	99.0 (98.6, 99.4)	98.2 (97.7, 98.7)	.03 <sup>†</sup>

Ju Gang Nam et al Radiology 2023



Courtoisie Pr A.Khalil



**DOUTE**

2 / 2

ANALYSÉS / REQUIS

AVEZ-VOUS REÇU TOUTES LES IMAGES ?

Si ChestView n'a pas reçu toutes les images de l'examen, ne pas tenir compte du résultat.

**!** - Boneview/Chestview est une IA d'aide au diagnostic et ne remplace pas le compte rendu du médecin.

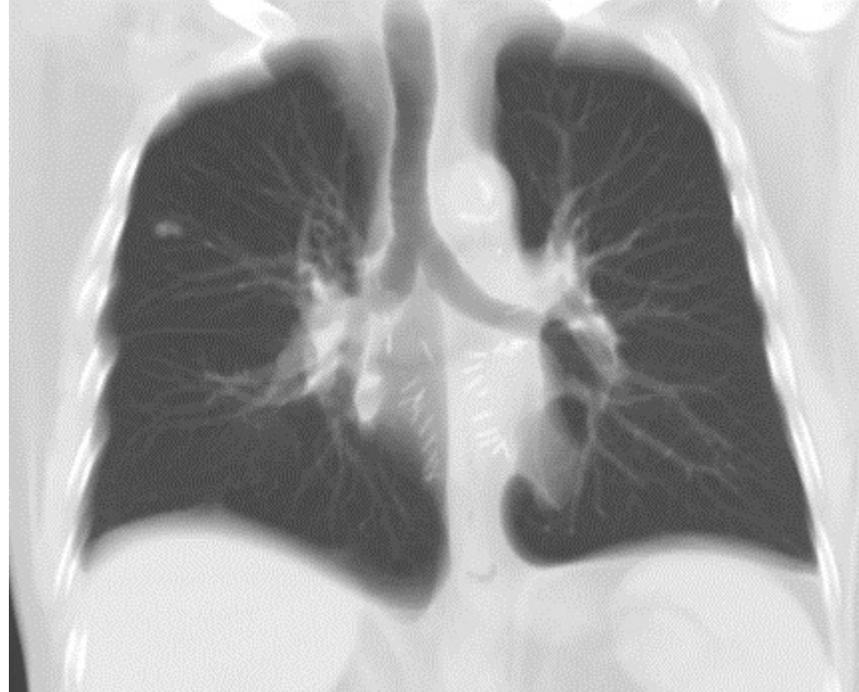
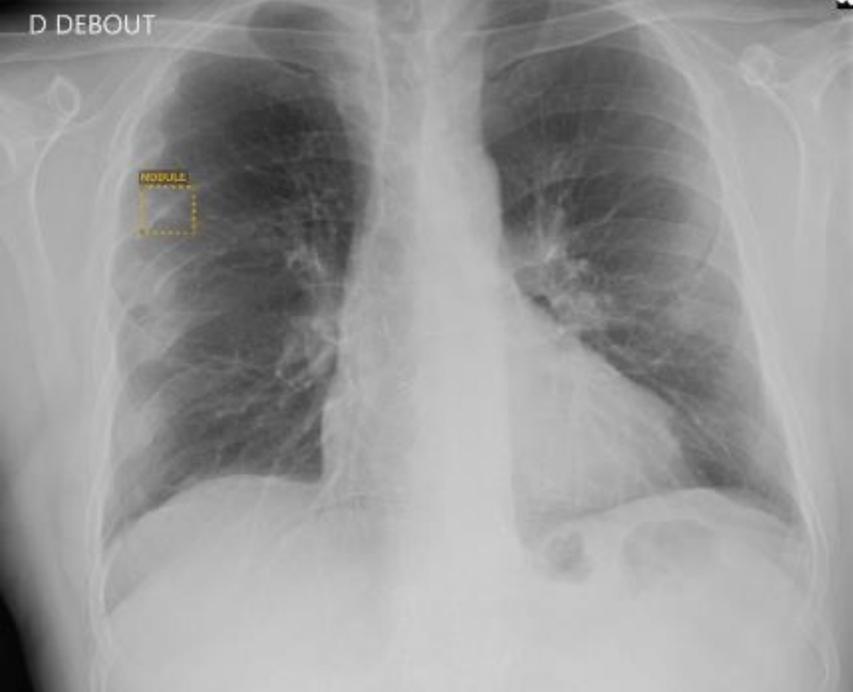
**ChestView**

NODULE		DOUTE
MASSE MÉDIASTINALE	SYNDROME ALVEOLAIRE	NON
PNEUMOTHORAX	ÉPANCHEMENT PLEURAL	

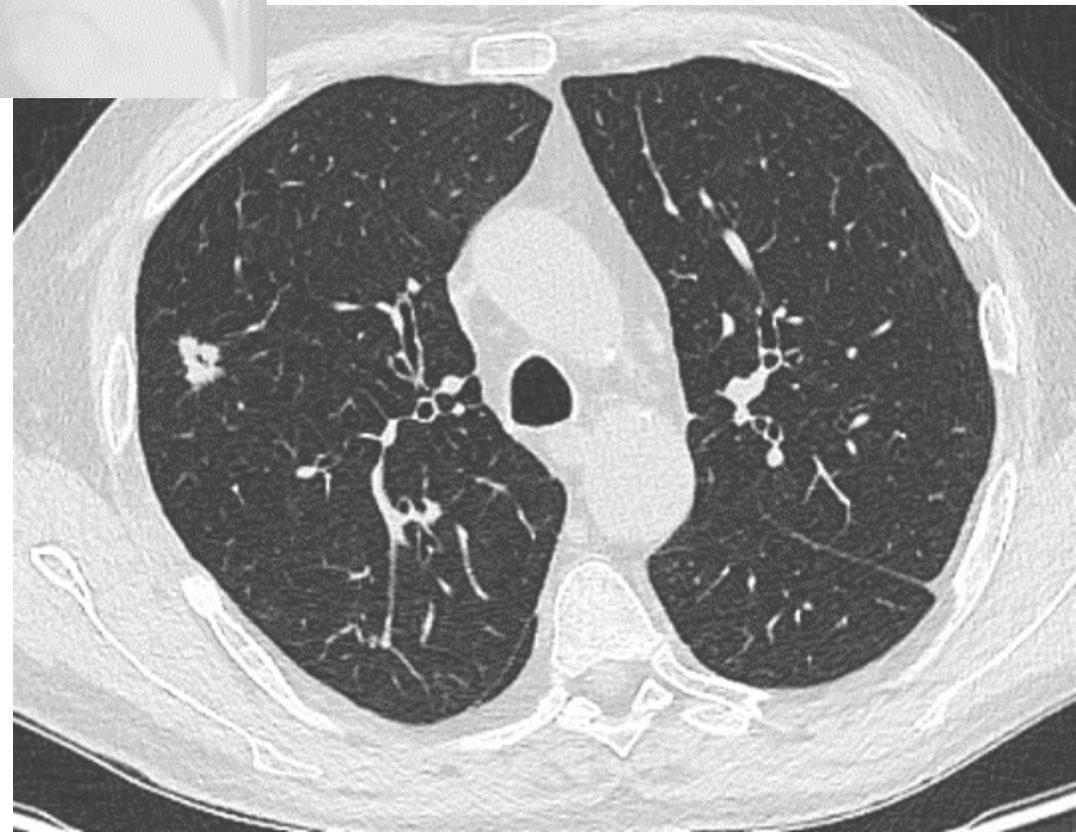
GLEAMER

Résultats préliminaires : seul le compte-rendu du radiologue fait référence médicalement

Courtoisie Pr A.Khalil



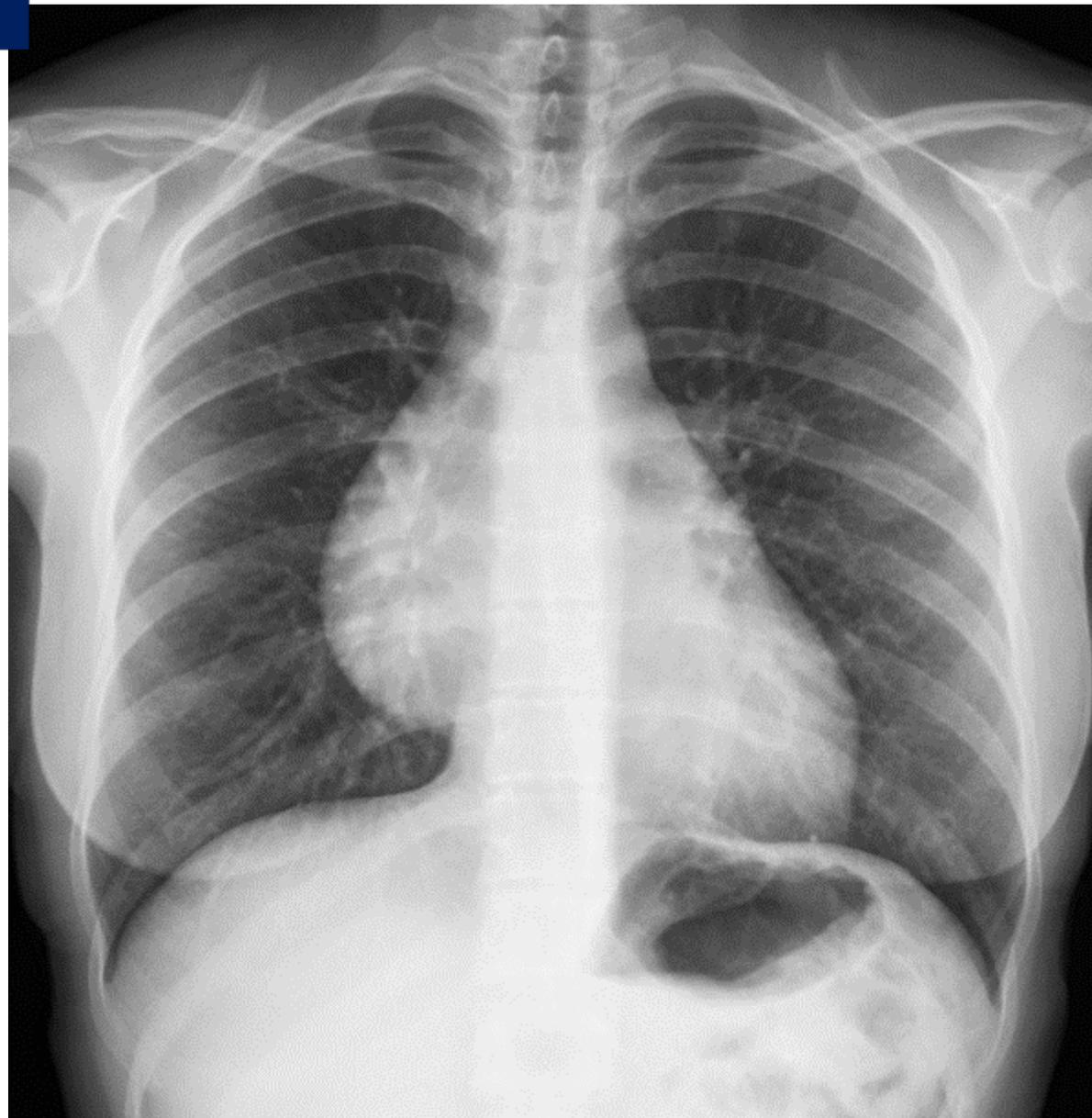
Courtoisie Pr A.Khalil



IA



Détection



● NÉGATIF

2 / 2  
ANALYSEES / RECUES

AVEZ-VOUS REQU TOUTES  
LES IMAGES ?  
Si Gleamer n'a pas reçu  
toutes les images de  
l'examen, ne pas tenir  
compte du résultat



- Boneview/Chestview est une IA d'aide au diagnostic et ne remplace pas le compte rendu du médecin.



ChestView

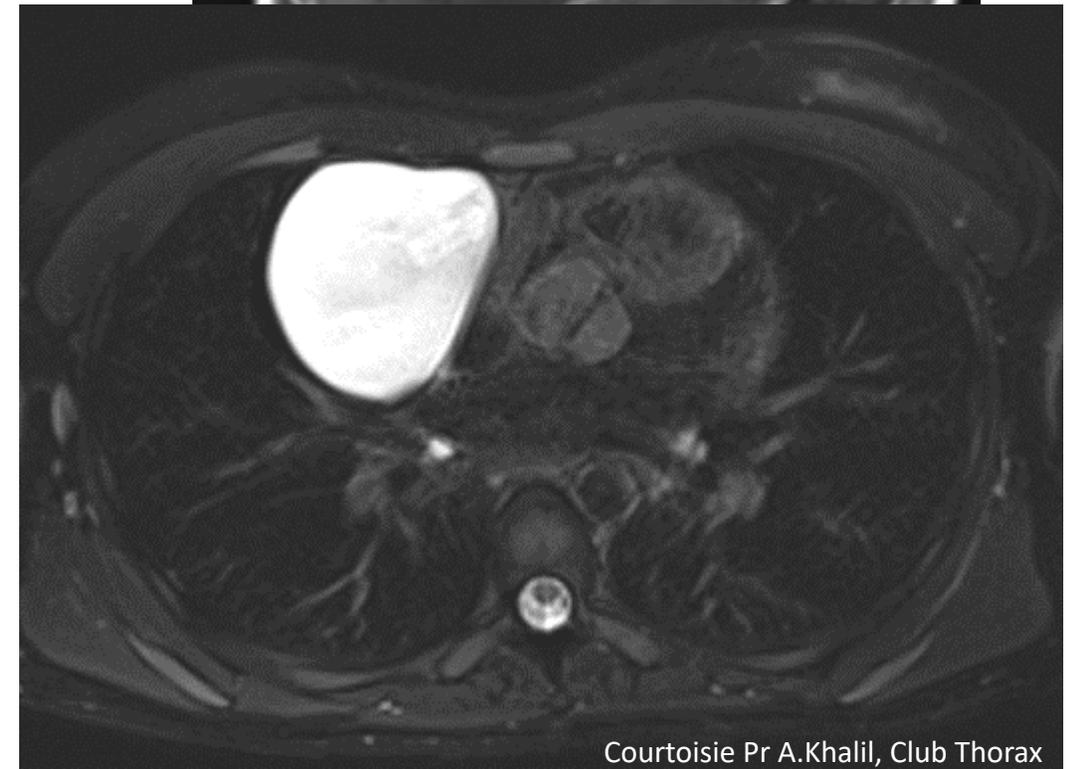
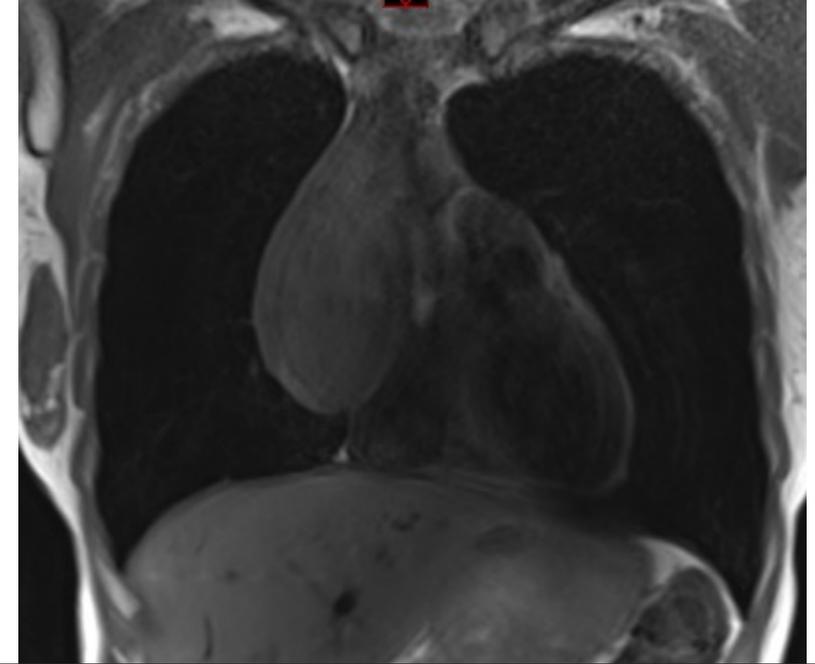
MASSE MÉDIASTINALE  
NODULE  
PNEUMOTHORAX

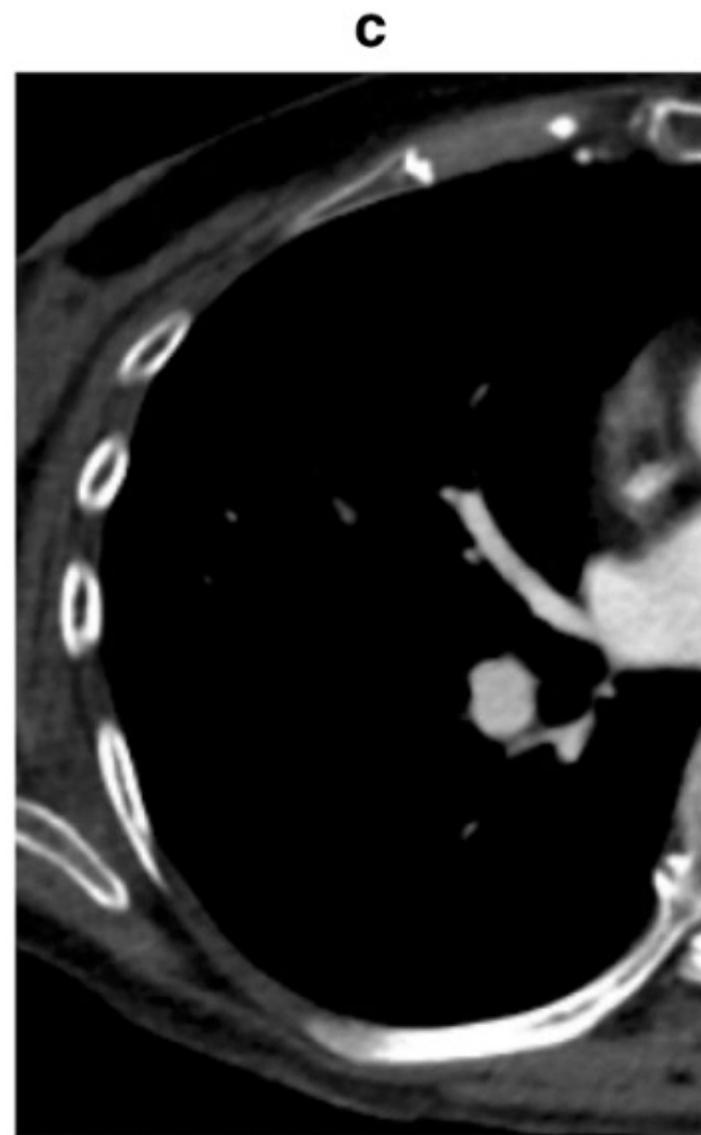
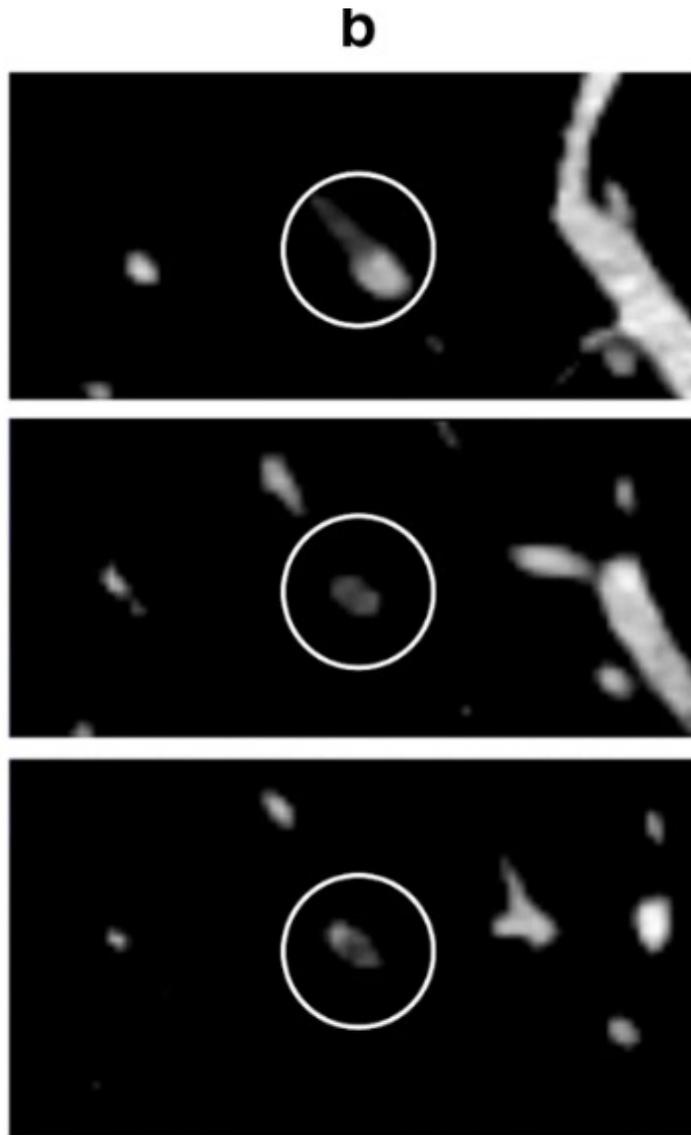
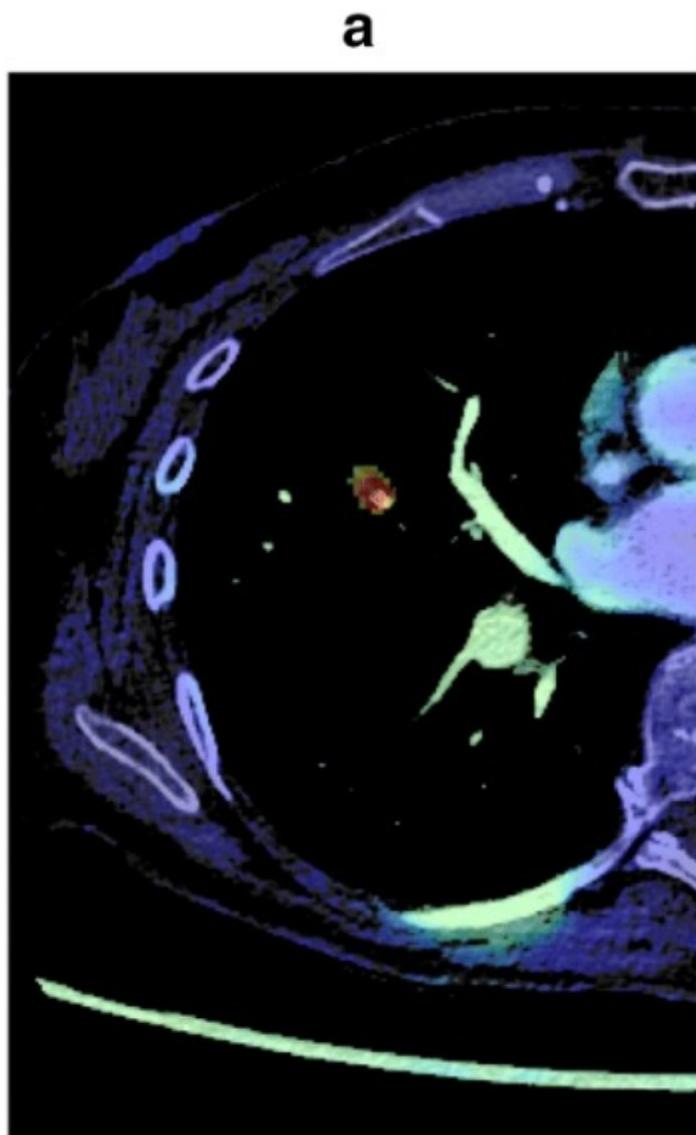
SYNDROME ALVEOLAIRE  
ÉPANCHEMENT PLEURAL

NON

GLEAMER  
BoneView/ChestView

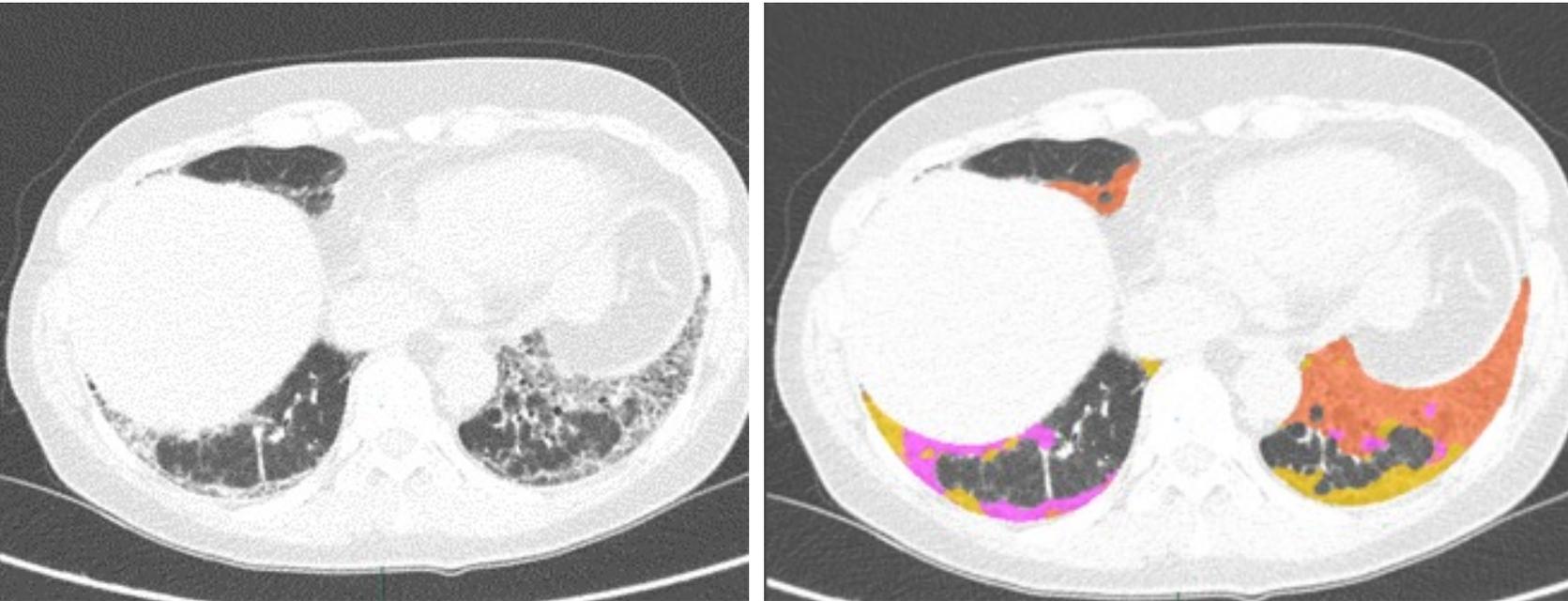
Résultats préliminaires : seul le compte-rendu du radiologue fait référence médicalement





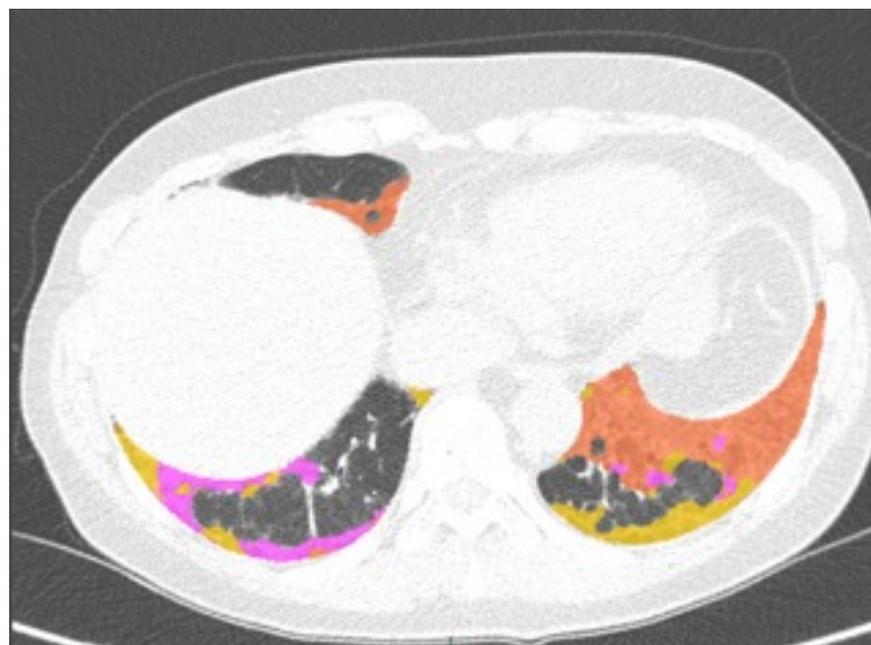
P. Wiklund et al, Eur radiology 2023

Analyse de la texture pulmonaire chez une patiente de 47 ans avec anticorps anti-Jo1



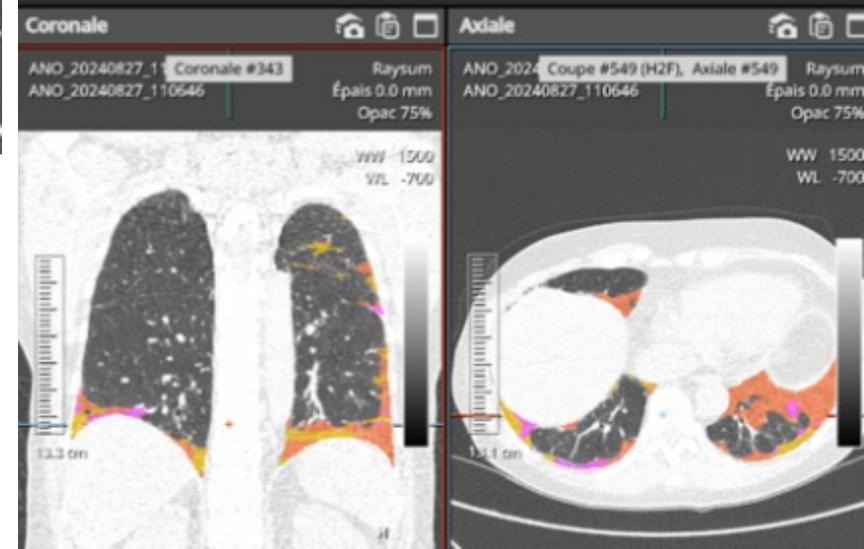
Thèse Y.Kuzmanovic 2024

## Analyse de la texture pulmonaire chez une patiente de 47 ans avec anticorps anti-Jo1



Répartition texture pulm.

Régions	Volume (cc)	Pattern H (%)	Pattern R (%)	Pattern G (%)	Pattern C (%)	Pattern E (%)	Pattern N (%)
<b>Poum. entiers</b>	<b>3308</b>	<b>0</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>92</b>
Poumon D	2023	0	2	3	1	0	95
Poumon G	1285	0	9	5	1	0	86
LSD	607	0	1	1	0	0	98
LMD	402	0	0	0	0	0	99
LID	1014	0	2	5	1	0	92
LSG	641	0	3	1	1	0	95
LIG	644	0	14	8	2	0	77



Thèse Y.Kuzmanovic 2024

# Prédiction

## Base de données utilisée

1 000 images d'imagerie thoracique

## Comparaison aux méthodes classiques

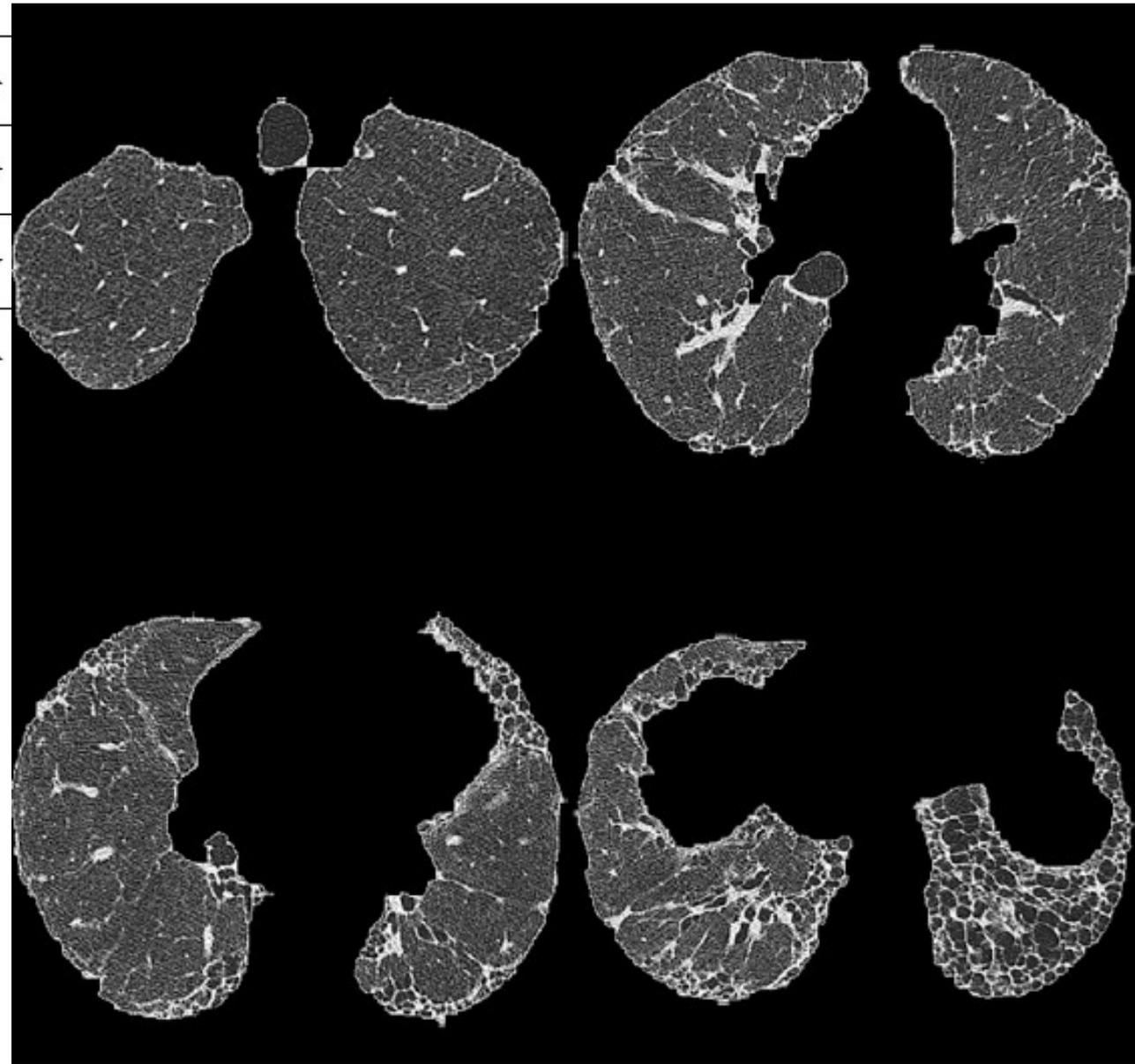
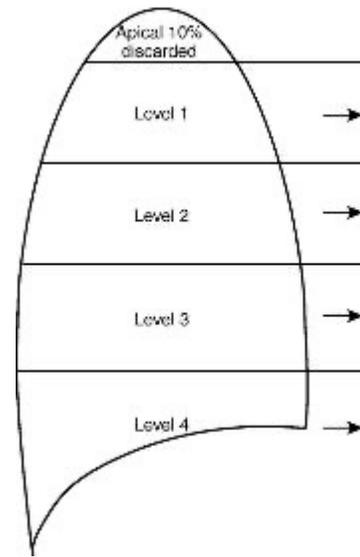
réduction du temps d'analyse de 40 %

## Précision diagnostique

82% dans la classification des images pulmonaires interstitielles par rapport à des radiologues expérimentés autour de 73 %.

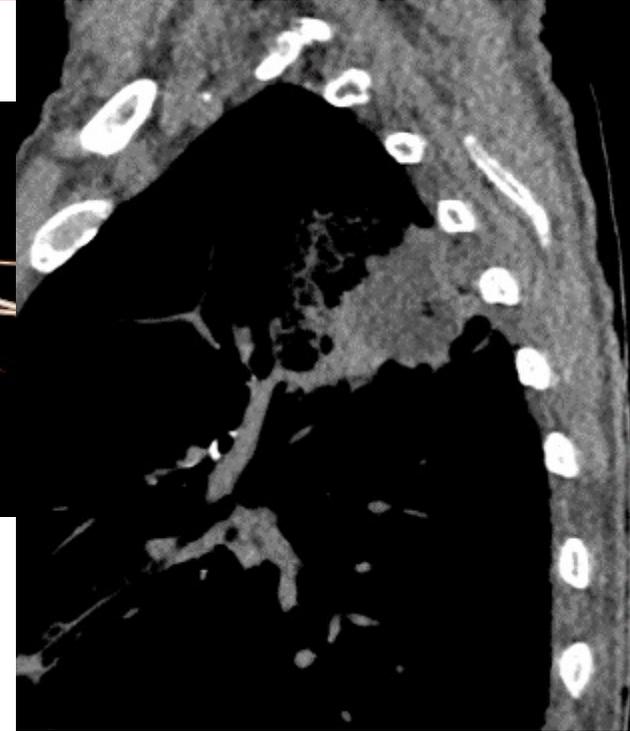
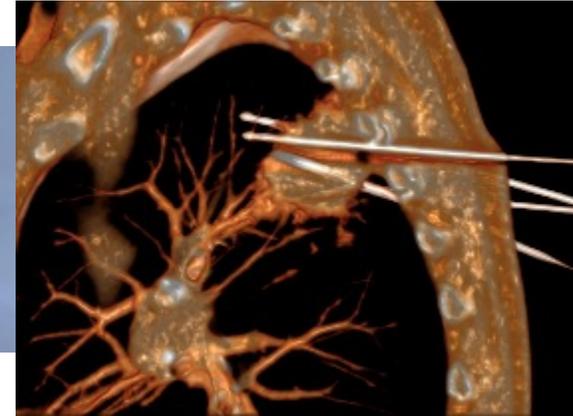
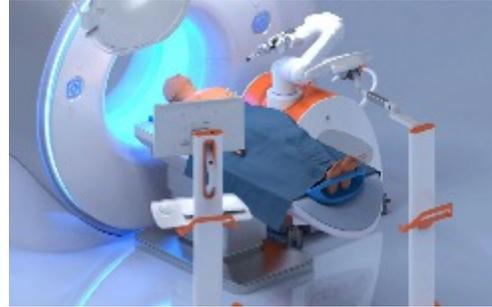
Prédiction PIC Vs non PIC

Meilleure prévision des résultats chez les patients atteints d'une maladie pulmonaire fibrotique progressive



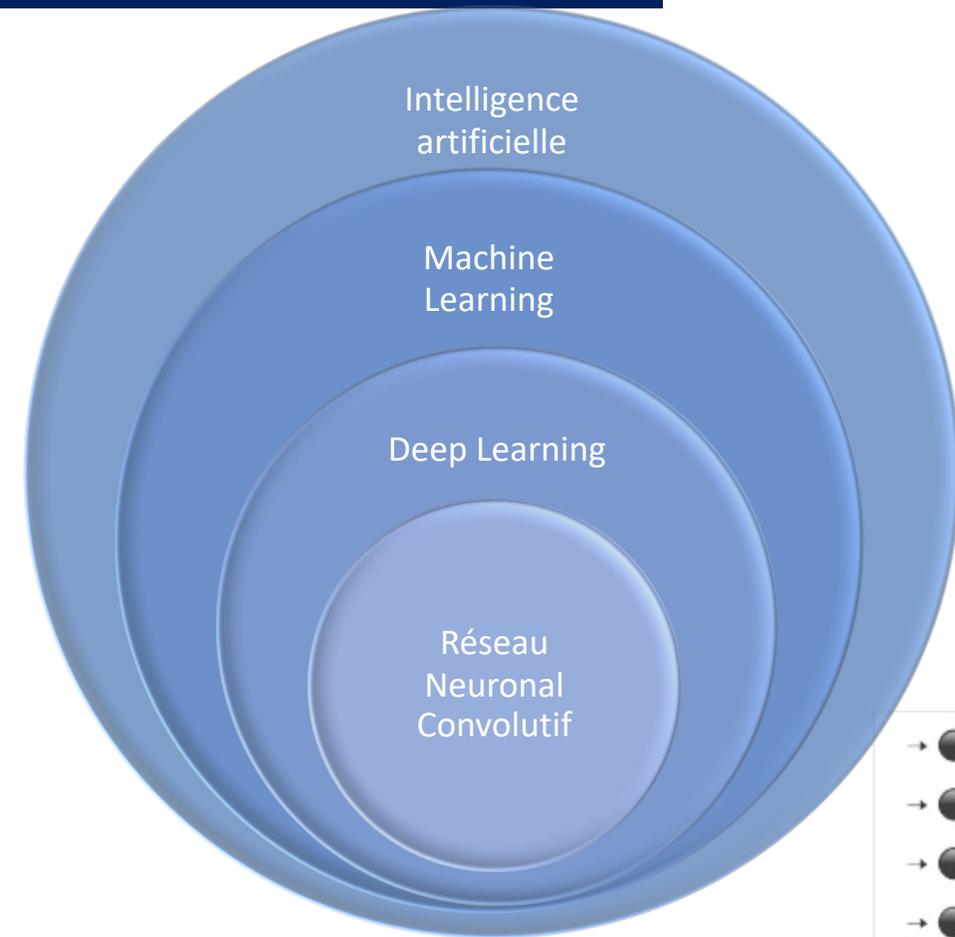
Walsh et al. American journal of respiratory and critical care medicine 2022

- Avant la procédure
- Durant la procédure
- Modélisation
- Modèles prédictifs cliniques
- Automatisation des gestes / procédures répétitives
- Gestion du flux
- Enseignements

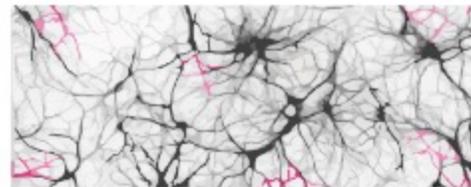
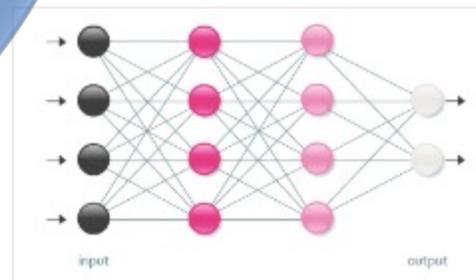


Courtoisie Pr A.Khalil





- Fiabilité des algorithmes
- Biais des algorithmes
- Gestion de la transparence des algorithmes
- Entraînement / Validation
- Comparaison difficile avec la littérature
- Responsabilité de l'IA en imagerie médicale



# A vous de jouer : Imagerie Thoracique du futur



Dans le futur, quel sera le principal défi des radiologues ?

1. Intégrer les images dans des systèmes connectés accessibles en temps réel
2. Gérer et traiter des volumes massifs de données
3. Garantir l'accessibilité et l'équité des soins
4. S'assurer que l'IA ne les remplace pas... sauf pour la pause-café

## Imagerie connectée



- Intégration de ces images dans des systèmes connectés avec accessibilité en temps réel
- Applications dans la télé-radiologie
- Suivi longitudinal et prédictif
- Optimisation du flux de travail

## Gestion et traitement des données massives

Explosion des volumes de données



Infrastructures



Analyse des données

Inégalités dans l'accès aux nouvelles technologies

## Accessibilité et équité des soins



Formation continue des professionnels de santé

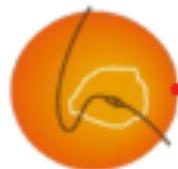


Coûts élevés

# Conclusion et perspectives



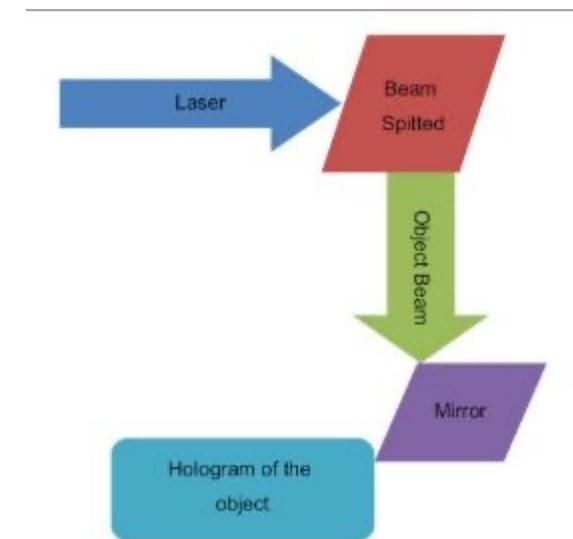
- De l'imagerie morphologique à l'imagerie interconnectée cœur/poumon
- L'IA et les nouvelles technologies ouvrent des opportunités pour la **médecine de précision**
- Approche multi-omics
- Imagerie ciblée : du dépistage à l'analyse prédictive en passant par la planification
- Trouver l'équilibre entre l'automatisation et l'expertise humaine
- Importance de rester informé et d'évaluer l'impact sur la pratique clinique



# A Vous de Jouer : Imagerie Thoracique du futur

Quelle avancée technologique permettra de visualiser les poumons en 3D sans rayonnement d'ici 2050 ?

## La nanoscopie holographique



A. Haleem IJRI 2020

# Remerciements

## Équipe ICT

Pr Alban Redheuil

Dr Etienne Charpentier

Dr Cécile Chung

Dr Thomas Desmousseaux

Dr Laura Medioni

Dr Lan Anh Nguyen

Dr Nicoletta Pasi

## Équipe Biomaps



V | LF & Spiro3D



## CONGRÈS D'IMAGERIE APPLIQUÉE À LA PRATIQUE PNEUMOLOGIQUE

**6 & 7  
DÉCEMBRE  
2024  
TOULOUSE**

Comité d'organisation :  
Docteur Sébastien Bommart  
Docteur Gérard Durand  
Docteur Mostafa El Hajjam

CONGRÈS 2024

# Imagerie Appliquée à la Pratique Pneumologique

**CONTACT**

[montpellier.clubthorax@gmail.com](mailto:montpellier.clubthorax@gmail.com) / Tél. + 33 6 25 32 17 07



# 36e Journées de Printemps de la SIT

Vendredi 23 et samedi 24 mai 2025

## Marseille



Organisation générale : MCO Congrès - 285 corniche JF. Kennedy 13007 Marseille

Contacts : Inscription & programme : [viviane.barbarisi@mcocongres.com](mailto:viviane.barbarisi@mcocongres.com) / Partenaires : [julia.schroeder@mcocongres.com](mailto:julia.schroeder@mcocongres.com)



# L'imagerie thoracique du futur

Samia BOUSSOUAR

Imagerie Cardiovasculaire et Thoracique - ICT

Pitié Salpêtrière

