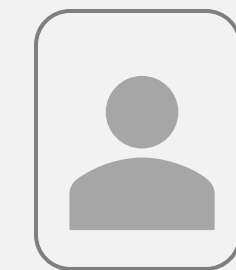




Adrien CHARDON
adrien.chardon@outlook.fr



Yanis GHOUAR
yanis.ghouar@tutamail.com



Afrilande HEZAGIRA
hezagiradonnellaafraillande@gmail.com



Nicolas JOUVET
nicolasjovet@gmail.com



Mémoire

1 Enjeux et aspects médico-économiques

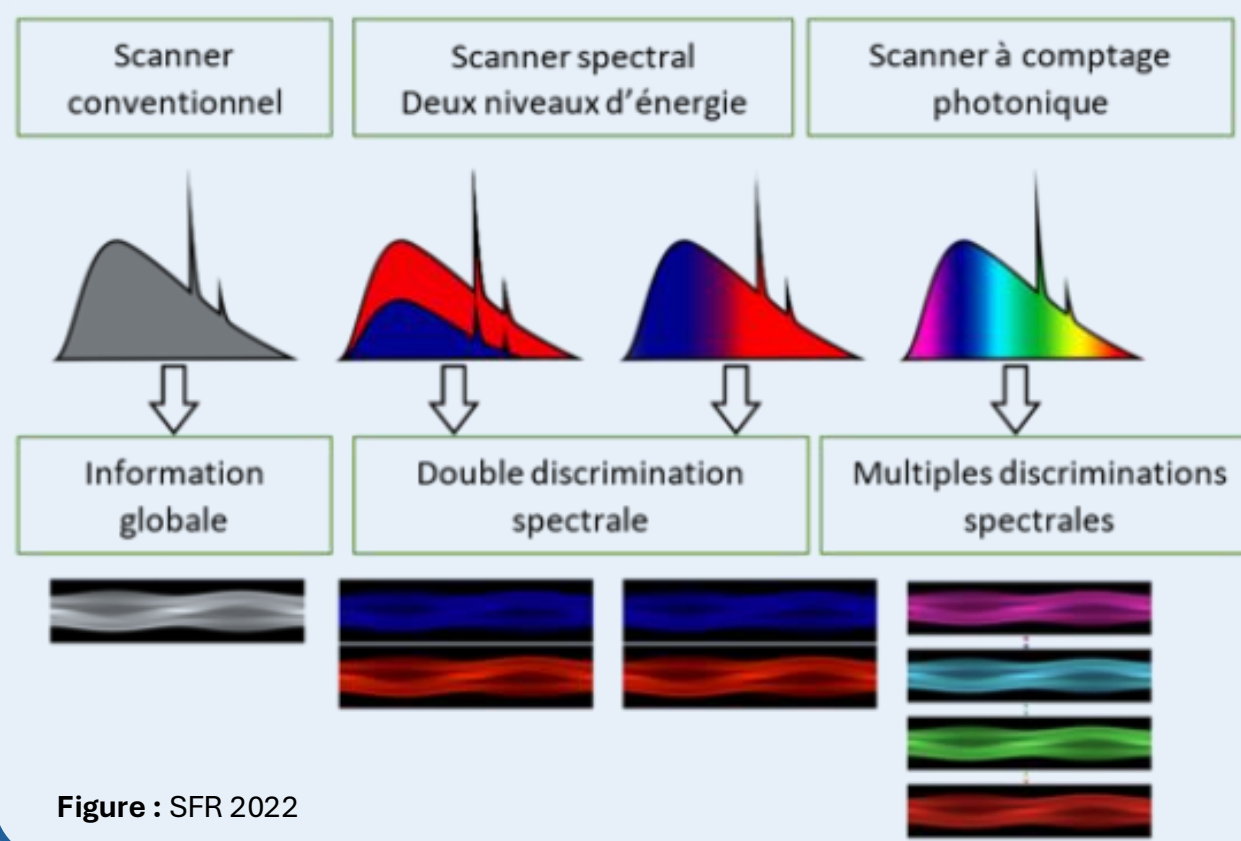
La scanographie, c'est...

- 7,3 millions d'actes recensés en 2020,
- 15 % des modalités de radiologie,
- 75 % des rayonnements ionisants,
- 1400 appareils installés en France.

À titre de comparaison, l'IRM qui a des domaines d'application proches est **moins dangereuse** pour le patient et est plus efficace pour **visualiser les tissus mous**.

Mais l'IRM est **moins accessible** aux patients, plus souvent contrindiquée, et nécessite un **temps d'acquisition rallongé** de plusieurs minutes.

Le scanner, une technologie qui évolue



Aspects médico-économiques

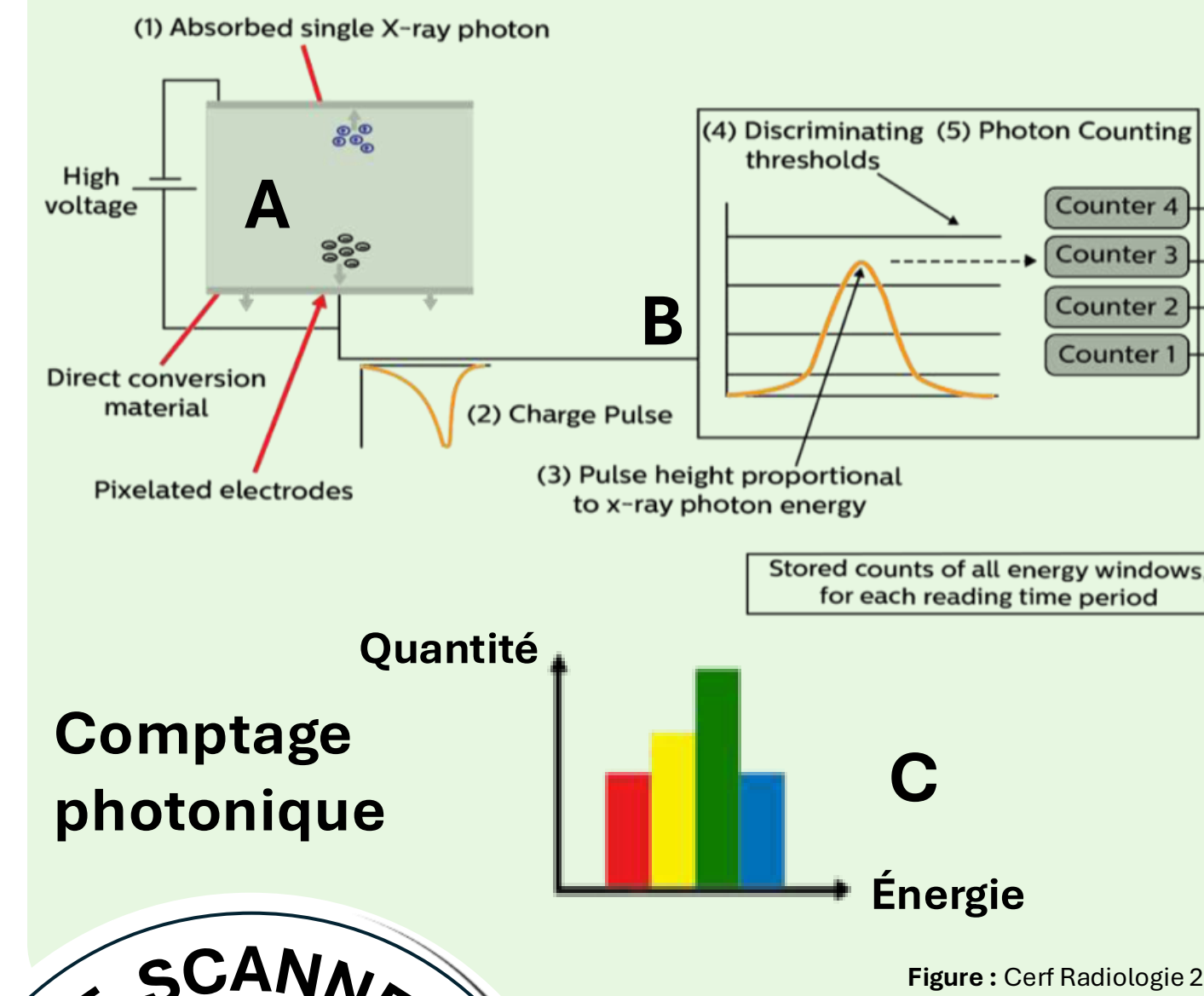
- Un scanner à comptage photonique coûte **2 à 3 fois plus cher** qu'un scanner conventionnel.

Cela explique en partie sa faible implantation sur le territoire avec seulement une **dizaine installée** en France en 2025.

- Pour l'exploitant, un acte d'imagerie avec cette technologie est **remboursé à la même hauteur** qu'un acte sur scanner conventionnel, bien qu'il améliore la prise en charge du patient.

- Il permettrait de diminuer jusqu'à **20%** le coût du parcours du patient en réduisant le recours à des examens complémentaires grâce à sa précision diagnostic.

2 Principes physiques et avantages techniques

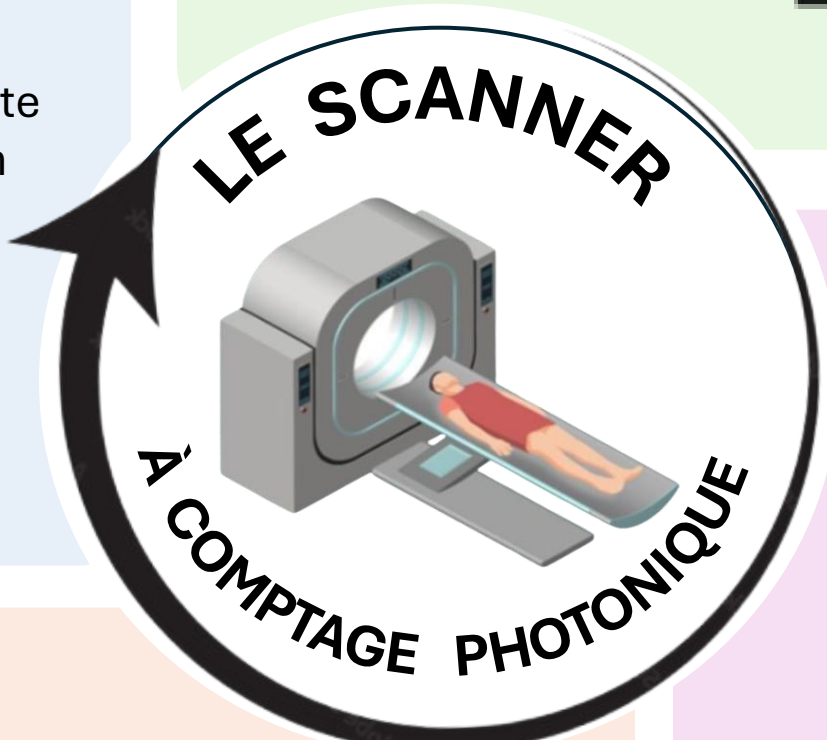


Principes physiques

- A. Conversion directe** : des rayons X en paires électron-trou et migration des charges selon le champ électrique pour une détection en coïncidence du site d'interaction.
- B & C. Détection photon-par-photon et discrimination énergétique** : les impulsions générées par l'arrivée des charges sur l'anode pixellisée sont converties en signaux électriques d'énergies proportionnelles qui sont ensuite classés dans différentes fenêtres énergétiques (thresholds).

Avantages techniques

- Résolution spatiale** : l'architecture du détecteur améliore d'un facteur 3 la résolution planaire et l'épaisseur de coupe en Ultra-Haute Résolution (UHR) par rapport aux détecteurs conventionnels, permettant l'étude de nouvelles structures anatomiques.
- Acquisition multi-énergétique native** : les fenêtres énergétiques du système de détection permettent une imagerie multi-agents de contraste également appelée imagerie K-edge.
- Diminution de la dose de rayons X** : l'amélioration de la sensibilité et de l'efficacité géométrique des détecteurs réduit la dose nécessaire pour recueillir un signal suffisant.
- Diminution de la dose de produit de contraste** : la filtration des photons de basses énergies et l'absence de bruit d'intégration améliore le CNR (Contrast-to-Noise Ratio), réduit les artefacts à l'image et limite les volumes de produit de contraste à injecter.



3 Quelques applications cliniques

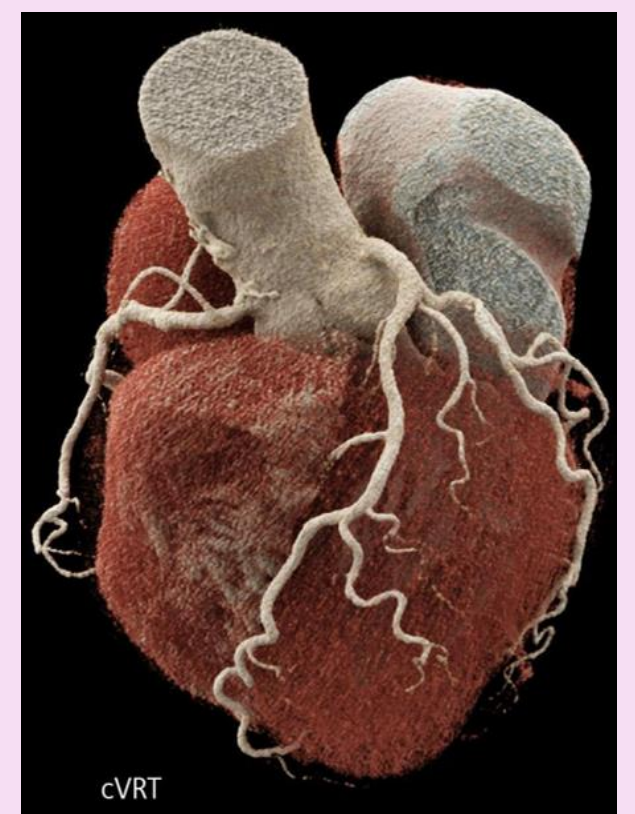
Le scanner à comptage photonique peut être employé dans tous les domaines conventionnels : pulmonaire, oncologie, neurologie, cardiologie... Mais en raison de son implantation limitée, il est pour l'instant réservé aux situations où ses apports techniques influencent la décision thérapeutique. **Voici 3 exemples :**

PÉDIATRIE

Chez l'enfant, la question de la dose de rayons X est cruciale.

40%

C'est le pourcentage moyen de **réduction de la quantité de rayonnements ionisants** par rapport au scanner conventionnel, et qui peut même aller jusqu'à **80%** dans certains cas **sans compromis sur la qualité de l'image !**



Reconstruction cardiovasculaire 3D
cVRT : Cinematic Volume Rendering Technology

INSUFFISANCE RÉNALE

Chez l'insuffisant rénal, la réduction du volume de produit de contraste à injecter est essentielle.

40%

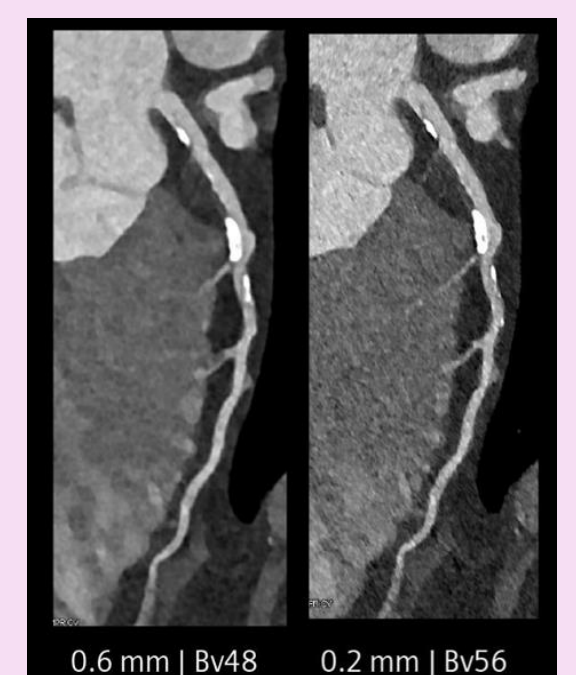
C'est le pourcentage de **réduction de la quantité de produit de contraste** possible avec un scanner à comptage photonique sur certains examens, les rendant ainsi **plus accessibles** aux patients en situation d'insuffisance rénale.

CARDIOLOGIE

Chez le patient cardiaque, la précision de l'image est déterminante.

0.2 mm

C'est l'**épaisseur de coupe** qu'offre ce scanner, contre 0,6 mm pour les scanners conventionnels. Cela permet d'envisager une diminution du recours à la **coronarographie** lorsque celle-ci est uniquement à but diagnostique.



Évaluation plus fine des plaques athéromateuses coronaires

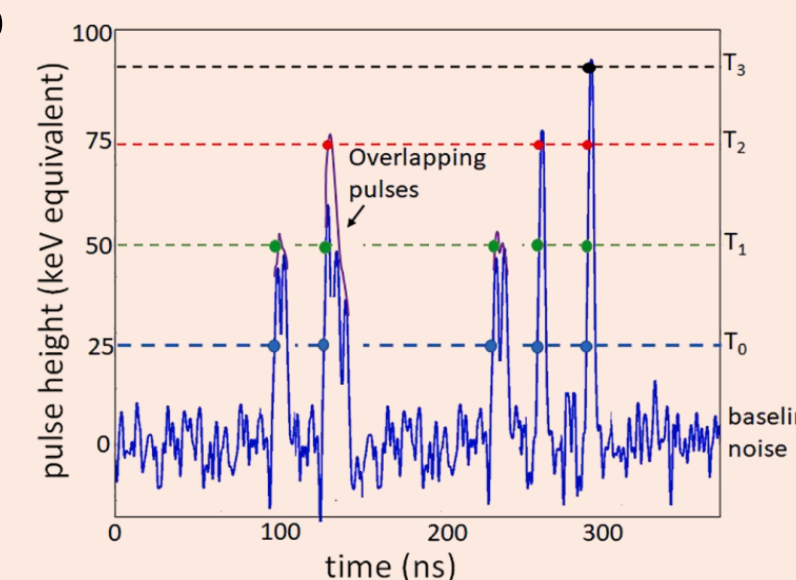
Images : Siemens Healthineers, 2023

4 Limites et contraintes actuelles

Limites technologiques

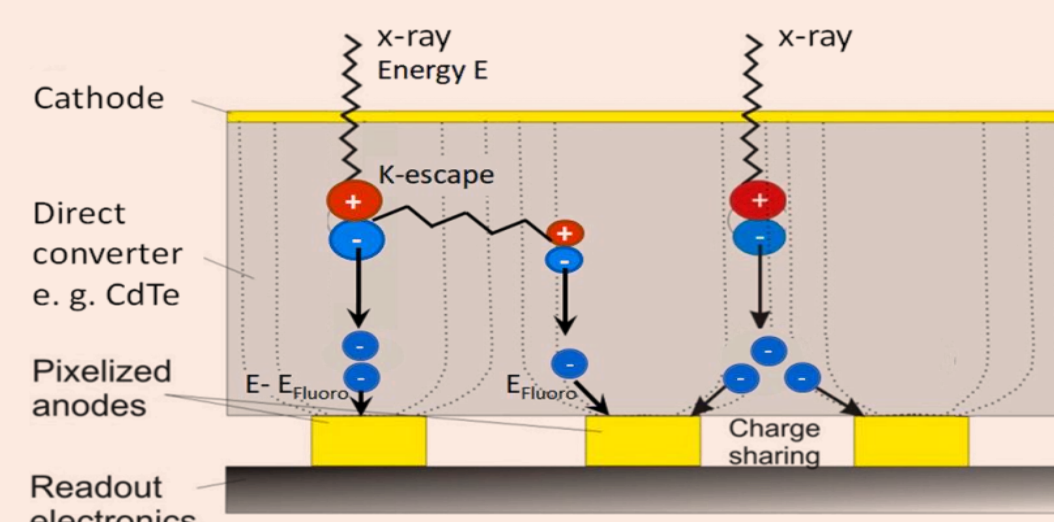
1 Pulse pile-up

Lorsque le flux de photons est trop important, la réduction de l'intervalle de temps entre 2 détections entraîne une sommation des signaux et une distorsion du spectre énergétique.



2 Cross-talk

Lorsque les charges issues d'un même photon se répartissent entre pixels voisins réduisant ainsi la qualité de l'image. Des algorithmes de correction existent mais n'éliminent pas complètement l'effet.



3 Résolution temporelle

Identique à celle du conventionnel en routine clinique, augmentation du temps d'acquisition en Ultra Haute Résolution pour éviter de saturer l'électronique d'acquisition (circuit intégré).

Contraintes techniques

Le système de refroidissement requiert une panoplie d'eau glacée dédiée.

La sensibilité des détecteurs impose une alimentation électrique stable et continue

Le PACS (Picture Archiving and Communication System) doit être dimensionné pour le stockage et le transfert des acquisitions de plusieurs Go

Perspectives d'évolution

- Amélioration des méthodes de reconstruction par Deep Learning.
- Harmonisation et optimisation des protocoles d'acquisition.
- Recherches de nouveaux matériaux semi-conducteurs pour les détecteurs et d'agents de contraste à base de **nanoparticules** permettant une **imagerie morpho-fonctionnelle**.

Bibliographie

- « Review of an initial experience with an experimental spectral photon counting computed tomography system » (Salim Si-Mohamed et al., 2017)
- « Le scanner, quoi de neuf en 2023 ? » (P. Miens et C. Coulon, 2023)
- « NAEOTOM Alpha - Applications cardiovasculaires » (Siemens Healthineers)
- « Nouveaux scanners à comptage photonique: "on peut espérer la fin de la coronarographie diagnostique" Pr Gilles Soulat » (Vincent Richeux)
- « Le scanner à comptage photonique : une rupture dans la pratique radiologique » [Livre blanc] (Siemens Healthineers, 2023)
- « Basic principles and clinical potential of photon-counting detector CT » (T. Flohr et al., 2020)