

Faculté de médecine et médecine dentaire

Apport du CT spectral au diagnostic de l'embolie pulmonaire aiguë

Auteur-es : Julie Nizet

Promoteur-rices : Pr Benoît Ghaye

Lecteur-rices :

Pr Renaud Menten, Pr Emmanuel Coche, Pr Franck Verschuren

Année académique 2020-2021

Master [180] en médecine, à finalité spécialisée

Apport du CT spectral au diagnostic de l'embolie pulmonaire aiguë

Work in progress

Mémoire de recherche clinique

Auteur

Julie Nizet

Promoteur

Pr Benoît Ghaye

Président du jury

Pr Renaud Menten

Remerciements :

Je remercie avant tout le Professeur Benoît Ghaye, pour m'avoir ouvert une porte sur ce sujet si intéressant et vaste, et sur le monde de découvertes, de rigueur et d'expertise que représente la recherche universitaire. Son écoute et ses conseils avisés m'ont permis un apprentissage constant et précieux durant ces années de travail.

Sincères remerciements à chacun des membres du Jury pour l'attention portée à ce Travail de fin d'études.

Table des matières :

1. Introduction
 - 1.1. L'embolie pulmonaire
 - 1.1.1. Les embolies sous-segmentaires
 - 1.2. La technique spectrale ou en double énergie
 - 1.2.1. Reconstructions monochromatiques
 - 1.2.2. Cartographies d'iode
 - 1.3. Transient interruption of contrast ou « TIC »
 - 1.4. Évaluations actuelles de l'efficacité diagnostique
2. Matériel et méthodes
3. Résultats
 - 3.1. Prévalence globale de l'EP
 - 3.2. Proportion des demandes d'examens par unité
 - 3.3. Proportion des examens positifs par unité
 - 3.4. Proportion des examens négatifs par unité
 - 3.5. Prévalence globale des EP incidentelles
 - 3.6. Caractéristiques globales et par unité des examens
 - 3.7. Performances des radiologues thoraciques vs non-thoraciques/ seniors vs juniors
4. Discussion
5. Bibliographie
6. Annexes

Liste des abréviations :

EP	embolie pulmonaire
HTP	hypertension pulmonaire
SBI	spectral base image
TDM	tomodensitométrie
TVP	thrombose veineuse profonde
VCI	veine cave inférieure
VCS	veine cave supérieure
VD	ventricule droit
ROI	region of interest
CAD	computer-aided detection
UH	unité Hounsfield
PACS	picture archiving and communication system
CUSL	cliniques universitaires Saint-Luc

Résumé :

Introduction : L'embolie pulmonaire (EP) aiguë, affection fréquente et potentiellement létale, nécessite un diagnostic rapide par un test sensible et spécifique. Le CT spectral, récemment introduit aux CUSL, ouvre de nouvelles possibilités diagnostiques mais également de compréhension des implications cliniques et pronostiques de l'EP, grâce à l'utilisation des reconstructions monochromatiques et des cartographies d'iode. Ces nouvelles modalités pourraient trouver une place particulièrement utile dans l'approche des examens de qualité suboptimale et dans l'évaluation des EP sous-segmentaires, dont non seulement le diagnostic est reconnu comme difficile, mais également la nécessité de traitement et la signification pronostique restent débattues.

Objectifs : Investiguer l'apport de la technologie double-énergie dans le diagnostic de l'EP aiguë, par l'analyse des reconstructions monochromatiques et des cartographies d'iode. L'intérêt se porte notamment sur le diagnostic des EP sous-segmentaires.

Déterminer la performance des radiologues non thoraciques dans le diagnostic des EP périphériques, en comparaison aux radiologues thoraciques.

Matériel et méthodes : Création par l'étudiante d'une base de données à partir d'une liste d'examens réalisés sur le CT spectral IQon (IQon, Philips Healthcare, Cleveland, OH) aux CUSL entre le 03 mai 2016 et le 31 décembre 2018, classés par l'unité ayant demandé l'examen. Mesures de densités en UH par l'étudiante, à chaque niveau de l'arbre artériel pulmonaire bilatéralement, pour chacun des examens positifs pour EP (n=291). Revue des examens positifs pour EP segmentaire ou sous-segmentaire (n=152) par un radiologue thoracique, en simple aveugle et de manière aléatoire, portant sur la confirmation de l'EP, le niveau proximal de l'EP, le caractère unique ou multiple de l'EP, le caractère occlusif ou non de l'EP, la présence ou l'absence d'infarctus. Comparaison des performances des radiologues non-thoraciques, des radiologues thoraciques, des radiologues thoraciques seniors et thoraciques juniors suite à la relecture par le radiologue expert.

Résultats : La prévalence de l'EP dans notre cohorte est de 19%. Les radiologues non thoraciques étaient en accord dans 50% des cas avec le relecteur radiologue thoracique expérimenté, et les radiologues thoraciques étaient en accord dans 73.5% des cas avec le relecteur. Au total, 6.6% des examens ont été réinterprétés comme faux positifs. Le taux de faux positifs chez les radiologues non-thoraciques était de 11.1% contre 4.1% chez les radiologues thoraciques.

Conclusion : L'apport du CT spectral au diagnostic de l'EP est prometteur. Une homogénéisation des critères de définition, de diagnostic et de description des EP périphériques est nécessaire. Les examens positifs pour EP sous-segmentaire devraient faire l'objet d'un second avis, si possible par un radiologue thoracique expérimenté.

Abstract :

Background: Acute pulmonary embolism (PE), a common and potentially lethal disease, requires a highly sensitive and specific diagnostic test. Spectral CT, recently introduced at CUSL, opens new diagnostic possibilities as well as new understandings of clinical repercussions and prognosis of PE, with help from virtual monoenergetic images and iodine maps.

Objectives : To investigate the incremental benefits in the diagnosis of PE, using virtual monoenergetic images and iodine maps provided by Spectral CT. Main attention is focused on the diagnosis of subsegmental PE. To compare the diagnoses of peripheral PE made by thoracic and non-thoracic radiologists.

Materials and methods : Creation by the student of a database from a list of IQon Spectral CT (IQon, Philips Healthcare, Cleveland, OH) examinations obtained at CUSL between 3rd May 2016 and 31st December 2018, sorted by the departments that requested the examination.

The medical student performed quantitative measurements of attenuation (HU) on each examination reported as positive for PE (=291), bilaterally at each level of the pulmonary vasculature. Review of the positive examinations for segmental or subsegmental PE (n=152) was performed by a thoracic radiologist in a single-blinded and random manner. The purpose was to confirm or refute the presence of PE, define the proximal level of PE, whether PE was single or multiple, occlusive or non-occlusive and the presence or absence of pulmonary infarction.

Comparisons were made of the performances of thoracic and non-thoracic radiologists, and of junior and senior thoracic radiologists, following the review by the expert radiologist.

Results : Prevalence of PE in our retrospective cohort was 19%. Non-thoracic radiologists diagnosis matched the reviewing expert thoracic radiologist diagnosis in 50% of cases, and thoracic radiologists diagnosis matched the reviewing expert thoracic radiologist diagnosis in 73.5% of cases. Furthermore 6.6% of examinations were reviewed as false positive. The rate of false positives amongst non-thoracic radiologists was 11.1%, compared to 4.1 % amongst thoracic radiologists.

Conclusion : The incremental benefits provided by Spectral CT in the diagnosis of PE are promising. A standardization of the diagnostic methods, terms of description and criteria of definition of peripheral PE is necessary. In cases of positive diagnoses of subsegmental PE, a second opinion should be sought, if possible from an experienced thoracic radiologist.

1. Introduction :

1.1 L'embolie pulmonaire :

L'embolie pulmonaire (EP) aiguë est une affection fréquente, potentiellement létale (3ème cause de mortalité cardiovasculaire après l'infarctus du myocarde et l'accident vasculaire cérébral¹), et qui nécessite donc un diagnostic rapide par un test sensible et spécifique. La majorité des décès secondaires à une EP est d'ailleurs due à un défaut de suspicion clinique plutôt qu'à une inefficacité du traitement.

Le diagnostic clinique seul de l'EP n'est pas fiable, les signes et symptômes étant peu spécifiques², ce dont il résulte un taux élevé d'examens d'imagerie négatifs. De plus, l'affection peut être asymptomatique, ou à l'opposé du spectre être révélée par un arrêt cardio-respiratoire.

Dès lors, des algorithmes de prise en charge, basés sur des scores de probabilité clinique pré-test (basse ou intermédiaire, vs haute) et sur le dosage des D-dimères ont été établis et étudiés. Parmi les scores standardisés, les plus cités et validés cliniquement sont les scores de Wells³ et de Genève révisé⁴ (à noter qu'ils ne prennent cependant pas en compte des facteurs de risque majeurs comme une thrombophilie ou le post-partum). Des scores empiriques ou implicites restent utilisés dans certains milieux, malgré les éventuels biais cognitifs et possiblement un accord interobservateur moindre.

Chez les patients à risque calculé faible et intermédiaire d'EP et dont les D-dimères sont normaux, l'imagerie peut être écartée sans risques. Dans tous les autres cas de figure en revanche, les patients devraient bénéficier d'un examen d'imagerie, idéalement par tomodensitométrie (TDM) qui est actuellement la technique de référence^{5 6}.

Cependant, la spécificité des D-dimères est influencée par différents facteurs et elle diminue, entre autres, avec l'âge, ce qui peut favoriser des examens inutiles, avec risque de surtraitement. Des cut-offs des D-dimères ajustés pour l'âge ont été récemment validés, augmentant la proportion de patients âgés chez qui l'EP pouvait être écartée sans danger et sans l'aide de l'imagerie^{7 8 9}.

De nombreuses études ont été conduites afin d'évaluer le pronostic des patients avec EP confirmée au CT, comme rapporté dans trois méta-analyses récentes^{10 11 12}. La stratification en fonction du risque permet de discerner les patients à haut risque de mortalité, qui bénéficieront d'une hospitalisation aux soins intensifs voire d'une fibrinolyse, des patients à faible risque qui pourront éventuellement être traités en ambulatoire. Jusqu'à présent, ce sont principalement les signes de dysfonction ventriculaire droite, appréciés en TDM, ainsi que les scores d'obstruction artérielle, qui ont été étudiés comme facteurs pronostiques en imagerie. Sur le plan clinique, des

scores, tels que PESI^{13 14 15} et BOVA^{16 17} ou des critères comme HESTIA¹⁸ ont été étudiés pour identifier les patients en fonction de leur risque et ainsi permettre la prise en charge la plus adaptée. Un nouveau score PEMS (The Pulmonary Embolism Mortality Score), index de prédiction de la mortalité à 30 jours vient d'être proposé par Surov *et al.*¹⁹ et prend notamment en compte le reflux de produit de contraste dans la veine cave inférieure (VCI), paramètre controversé mais récemment décrit par Bailis *et al.* comme facteur de risque de mortalité à 30 jours dans l'EP aiguë.²⁰

L'approfondissement des recherches sur les paramètres cliniques et radiologiques permettant d'évaluer le pronostic des patients semble néanmoins toujours nécessaire.

La disponibilité permanente de la TDM, intégrée dans la panoplie de base de l'imagerie, participe à une demande accrue d'examens, entraînant en corollaire une prévalence actuelle d'examens positifs estimée à environ 5% seulement, que l'EP ait été suspectée cliniquement ou non²¹. Certaines études cliniques rapportent cependant encore régulièrement une prévalence voisine des 15-20%²². Ces chiffres diffèrent largement entre pays et « spécialités », d'où l'intérêt d'étudier la prévalence selon le service qui a demandé l'imagerie, les algorithmes de l'arbre décisionnel d'exploration et la place attribuée à chaque source d'information²³.

1.1.1 Les embolies sous-segmentaires :

L'EP peut atteindre les vaisseaux centraux, de gros calibre (depuis le tronc pulmonaire jusqu'aux artères lobaires) mais également être limitée aux arborisations artérielles périphériques, de calibre plus limité (segmentaires et sous-segmentaires). L'EP sera caractérisée dans le compte rendu radiologique par le niveau de l'embolie le plus proximal, les répercussions cliniques des embolies centrales et périphériques étant classiquement différentes.

L'intérêt du diagnostic et du traitement des EP sous-segmentaires isolées reste discuté dans la littérature^{24 25 26 27 28 29 30 31 32 33}, en l'absence d'essai randomisé contrôlé à ce jour. Les guidelines⁵ actuels recommandent de traiter toute EP peu importe sa localisation. Une étude prospective multicentrique canadienne (NCT01455818) en cours évalue l'impact clinique de traiter ou non les EP sous-segmentaires sans évidence de TVP au doppler veineux des membres inférieurs, et un essai randomisé contrôlé impliquant plusieurs centres internationaux (NCT04263038), et comparant la surveillance clinique vs traitement d'une EP sous-segmentaire isolée chez les patients à faible risque, vient de débiter. En attendant leurs résultats, ce n'est probablement qu'en l'absence de facteurs de risque (– thrombose veineuse profonde (TVP), cancer, faible réserve cardio-pulmonaire, thrombophilie, hypertension pulmonaire (HTP) chronique sur EP chronique, dilatation du ventricule

droit (VD) ou embolies multiples -) qu'une abstention thérapeutique pourrait être envisagée^{34 35}. La question restera ouverte également concernant les patients atteints d'une infection à SARS-CoV-2, qui présenteraient en majorité des EP segmentaires et sous-segmentaires³⁶.

Il y a donc une utilité à estimer la prévalence de ces EP segmentaires et sous-segmentaires à l'échelle de notre cohorte, à rapporter le niveau où se situent ces embolies et à le rapprocher du pronostic des patients.

Vu les risques réels d'une anticoagulation (des hémorragies ont été rapportées chez 5,3% des patients avec EP sous-segmentaire isolée traitée par anticoagulants³⁷), si l'intérêt du traitement est discuté, il faut en tout cas s'assurer que le diagnostic de ces EP sous-segmentaires ait été correctement posé. Plusieurs études ont souligné le faible accord observateur entre radiologues avec différents niveaux d'expérience dans la reconnaissance de ces embolies périphériques^{38 39}. D'autres études ont attiré l'attention spécifiquement sur l'importance d'un second avis sur les cas positifs par un radiologue thoracique expérimenté, en particulier dans la détection d'EP isolées^{40 41 42}. Kligerman *et al.*⁴⁰ ont montré que la sensibilité de détection d'une EP centrale ou multiple était significativement supérieure à celle d'une EP unique et/ou périphérique. Les auteurs ont également montré une sensibilité diagnostique plus importante chez les radiologues thoraciques par rapport aux radiologues non thoraciques dans le cas d'une EP unique sans distinction de niveau, ou d'une EP unique sous-segmentaire, avec une différence statistiquement significative. Il en est de même pour la spécificité diagnostique, particulièrement au niveau périphérique et pour des localisations uniques.

Le faible accord inter-observateur rapporté dans les études ci-avant pourrait être en partie dû au manque de critère diagnostique de référence.⁴³ Il existe de nombreuses variantes anatomiques, parfois méconnues des radiologues, et différentes nomenclatures (Boyden, Jackson et Huber, ...). Certains auteurs se basent sur les ordres de division pour caractériser le niveau artériel (par exemple la première branche de division d'une artère segmentaire serait considérée comme sous-segmentaire), d'autres prennent en compte des critères objectifs et/ou subjectifs de calibre artériel.

Den Exter *et al.*³⁵ ont récemment proposé un critère diagnostique pour les EP sous-segmentaires « un défaut d'atténuation au sein d'une artère sous-segmentaire, à savoir la première division artérielle de n'importe quelle artère segmentaire et indépendamment du diamètre de l'artère, visible sur au moins deux coupes axiales successives, sur TDM avec une collimation $< \text{ou} =$ à 1mm », suite à un sondage (méthode de Delphes) large et international de radiologues thoraciques et de cliniciens experts en maladie thromboembolique veineuse.

Une définition de l'EP sous-segmentaire isolée est également proposée par les auteurs suite à ce sondage : « un embole unique au sein d'une seule artère sous-segmentaire, sans présence d'autres embolies sous-segmentaires ou d'embolies plus centrales ». Les études cliniques récentes avaient généralement défini l'EP sous-segmentaire isolée comme « un ou plusieurs embole(s) sous-segmentaire(s) sans évidence de caillots à un niveau plus proximal »^{25 33}.

Les causes principales de faux positifs des EP périphériques sont les artéfacts d'origine respiratoire (Fig. 3) et cardiaque (Fig. 1 et 2), les artéfacts de durcissement du faisceau ainsi que les artéfacts de volume partiel, en particulier au niveau linguale^{40 35}.

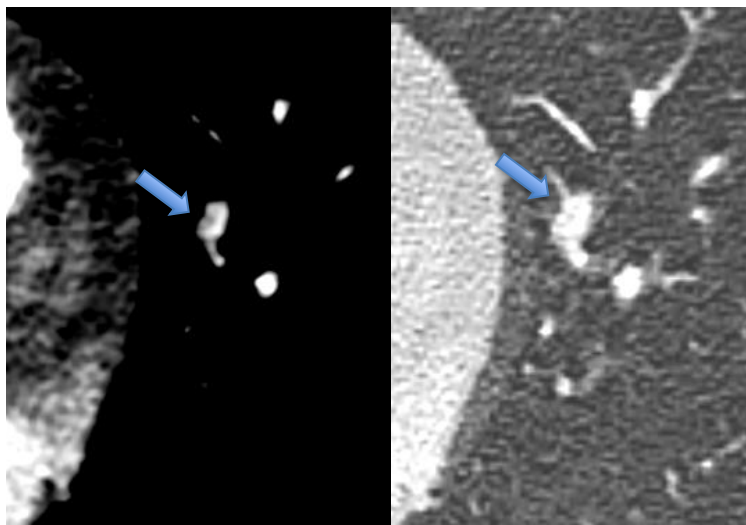


Figure 1 : Faux positif dû à un artéfact de mouvement cardiaque bien visible en fenêtré parenchymateuse

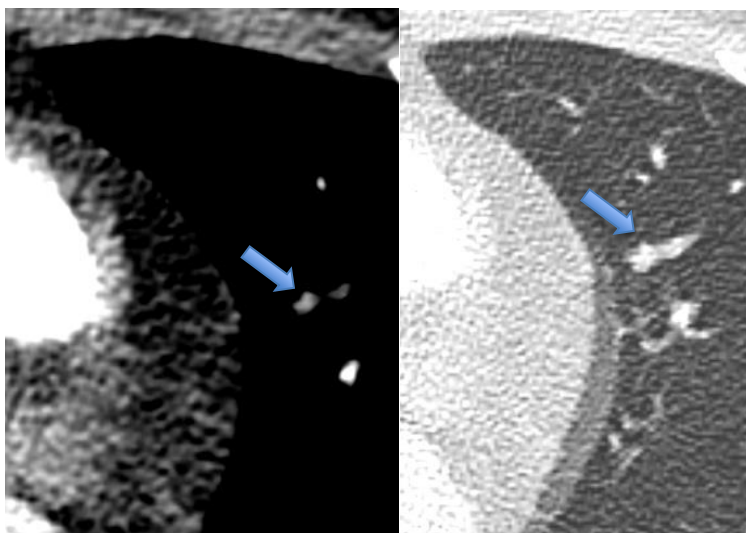


Figure 2 : Idem figure 1.

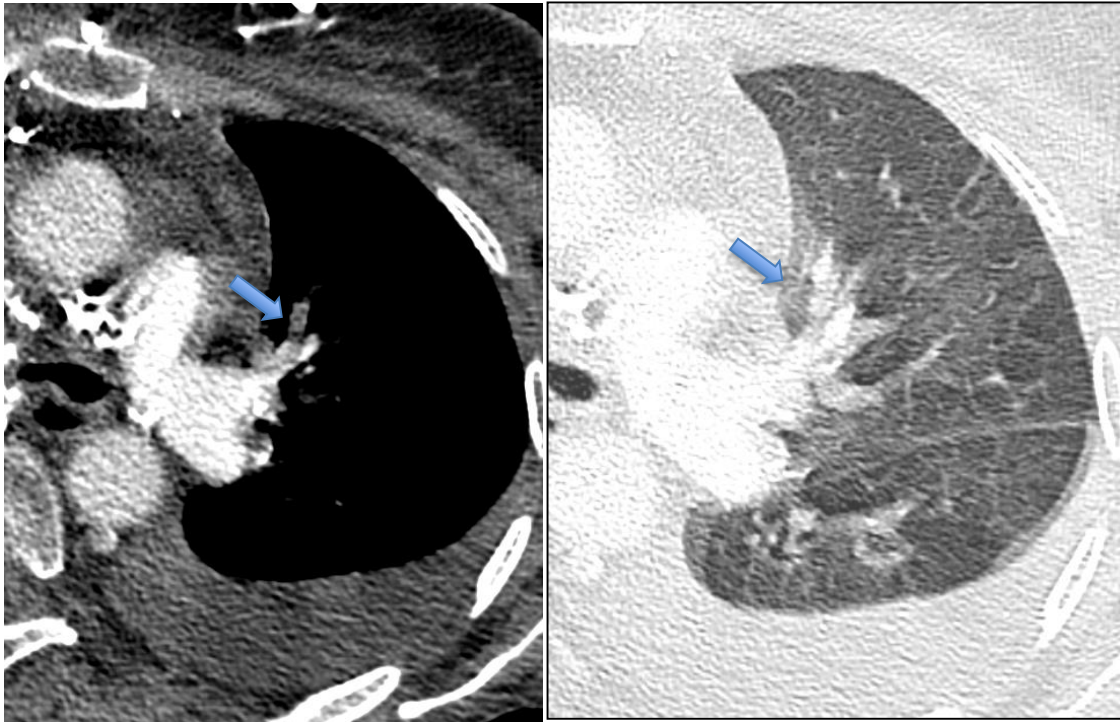


Figure 3 : Faux positif dû à un artéfact de mouvement respiratoire. Signe de la mouette "seagull sign"⁴⁴ sur les vaisseaux périphériques en fenêtre pulmonaire.

1.2 La technique spectrale ou en double énergie :

La présente étude explore la technologie TDM « spectrale », et plus précisément la modalité TDM monotube avec double couche de détecteurs (IQON, Philips Healthcare, Cleveland, OH). Cette configuration technique permet un recueil d'informations spectrales en direct à chaque acquisition, sans modification préalable du compte rendu, éloignant la nécessité de sélection de patients au préalable et donc utile en urgence. Elle permet également d'obtenir une imagerie spectrale de façon rétrospective, puisque les données sont disponibles et enregistrées dans le PACS (picture archiving and communication system) pour chaque examen.

La technologie spectrale double énergie génère deux types d'images, soit des images mixtes semblables aux images conventionnelles, mélanges de données à basse et hautes énergies, soit des images spectrales, encodées sous format SBI (Spectral Base Image) et permettant les reconstructions spectrales.

La technologie en double énergie enrichit les possibilités diagnostiques de la TDM car elle permet une identification des composants de l'image avec plus de précision que leurs simples différences d'atténuation utilisables en imagerie directe^{45 46}.

En cas, par exemple, de rehaussement vasculaire suboptimal par le produit de contraste, l'utilisation des images monoénergétiques à bas keV permet d'intensifier le rehaussement vasculaire dû au contraste iodé et ainsi pourrait permettre de tout de même poser un diagnostic.

L'imagerie virtuelle monochromatique obtenue en utilisant un segment étroit du spectre d'absorption permet par ailleurs de réduire la dose d'iode utilisée en angio-TDM, ou de compenser un asynchronisme modéré entre le passage du bolus (profil de concentrations locales d'iode, fraction d'éjection réduite, etc.) et l'acquisition des images (durée de l'acquisition CT et son délai après l'injection). Cette caractéristique pourrait d'ailleurs être mise à profit dans l'exploration artérielle des patients en insuffisance rénale⁴⁷.

Les reconstructions monoénergétiques à bas keV pourraient également permettre le diagnostic de l'EP en phase d'acquisition portale, et donc de poser le diagnostic sur des examens non dédiés au diagnostic d'EP, en évitant l'irradiation engendrée par une deuxième acquisition. Deux études récentes de Foti *et al.*⁴⁸ et Weiss *et al.*⁴⁹ ont montré que ce procédé serait par exemple applicable aux examens de contrôle oncologique, compte-tenu de l'incidence élevée de l'EP chez les patients atteints de cancer.

La double énergie permet également de générer via un post-processing des images virtuellement sans contraste (VNC). Au niveau thoracique celles-ci permettraient d'identifier les calcifications et d'évaluer un rehaussement éventuel des caillots, qui pourrait en suggérer une origine non-cruorique. Il y aurait ainsi un apport au diagnostic différentiel de l'EP.

Les images spectrales dites de « perfusion pulmonaire » sont basées sur la cartographie de l'iode présent dans le parenchyme pulmonaire au moment de l'acquisition et sont analysables quantitativement et qualitativement. L'appréciation de la qualité de l'opacification repose alors sur des bases plus objectives que le visuel à l'écran.

1.2.1 Reconstructions monochromatiques :

Les acquisitions en double énergie permettent la reconstruction d'images monochromatiques, mimant une acquisition à un niveau unique d'énergie, par la combinaison d'images paires à basse et haute énergie. Ceci permet au radiologue d'opter pour le niveau d'énergie offrant le compromis le plus efficace entre le rehaussement vasculaire et le niveau de « bruit » de l'image (CNR : contrast-to-noise ratio), tous deux augmentés dans les bas keV (le minimum étant 40 keV). Une étude de Delesalle *et al.* a investigué le niveau optimal d'énergie en reconstruction monochromatique pour l'analyse de la circulation thoracique et en a déduit que, dans le cas des artères pulmonaires, les images à 60 keV fournissaient les CNR et SNR (signal-to-noise ratio) les plus élevés avec leur appareillage⁵⁰.

Les algorithmes actuels permettent des reconstructions à ultra-bas niveau d'énergie (sous 60 keV) sans augmentation excessive du bruit, et avec même des résultats plus performants selon une étude de Meier *et al.*⁵¹ Albrecht *et al.* recommandent l'utilisation des reconstructions en 50 keV en routine.⁵² Ces images à basse énergie offrent, comme décrit plus haut, la possibilité de diminuer la dose d'iode administrée, ou d'être rétrospectivement reconstruites lorsque l'opacification artérielle est suboptimale. Ces reconstructions à bas keV pourraient permettre une visualisation optimisée des vaisseaux pulmonaires de petit calibre et ainsi potentiellement faciliter le diagnostic des EP périphériques (Fig. 4). Au-delà de l'amélioration du rehaussement dans les vaisseaux périphériques, il serait intéressant de déterminer si nous obtenons une meilleure distinction des caillots en 50 keV.

Quant aux reconstructions monochromatiques à haut niveau d'énergie, elles peuvent réduire les artéfacts de durcissement du faisceau X, et les artéfacts de type métallique par absorption subtotale ou totale du rayon^{53 54}.

1.2.2 Cartographies d'iode :

Les tissus ont des profils d'absorption différents, identifiables avec des photons émis à divers kilovoltages. Le CT à double énergie utilise cette propriété pour présenter des images reconstruites sur base de l'abondance d'éléments atomiques spécifiques.

Lors de l'analyse des acquisitions en double énergie, une cartographie de l'iode perfusé peut être superposée aux images standards, créant ainsi une approche de la perfusion pulmonaire. Soulignons le fait que l'étude de perfusion en double énergie repose chez la plupart des constructeurs sur des images statiques basées sur la part du produit de contraste dans le volume étudié au moment de l'acquisition plutôt que sur l'observation du profil de densité avant, durant, et après le passage d'un bolus de contraste.

Dissaux *et al.* ont récemment montré que les cartographies d'iode permettent une évaluation de la perfusion pulmonaire comparable à la scintigraphie de type SPECT-CT⁵⁵, dont la disponibilité notamment en urgence reste globalement plus faible. Cependant la reconnaissance par les radiologues des artéfacts sur ce nouveau type d'imagerie reste peu évaluée et nécessite probablement un apprentissage⁵⁵.

En comparaison aux images TDM classiques, ces cartographies pourraient permettre une détection accrue des EP périphériques, certains patterns de défaut de perfusion spécifiques de l'EP pouvant faire suspecter un caillot sans visualisation directe de celui-ci au départ^{56 57} (Fig. 4). Il est en effet possible de ne pas déceler de caillots dans les artères pulmonaires périphériques, le caillot initial pouvant être lysé, ou encore en cas d'atténuation vasculaire insuffisante. L'EP pourra alors être

repérée sur la cartographie d'iode en fonction de sa répercussion : dans l'infarctus on observera une aire triangulaire d'hypo-perfusion plus étendue que la zone anormale visible en fenêtrage parenchymateux en TDM classique, si l'infarctus est aigu les zones anormales seront aussi plus étendues en perfusion que la TDM standard le ferait penser ; en cas d'occlusion vasculaire sans infarctus des zones hypo-imprégnées seront visibles là où la TDM classique ne montrera rien.⁵⁴ Un défaut de perfusion ne sera pas toujours objectivé en cas d'EP aiguë, essentiellement dans le cas d'un caillot non-occlusif^{58 59}.

Une étude récente de Weidman *et al.* a mis en évidence 2.3% d'EP additionnelles avec l'utilisation des cartographies d'iode, ce qui représentait un nouveau diagnostic chez 1% des patients. La totalité de ces EP nouvellement découvertes étaient périphériques (22.2% segmentaires, 77.8% sous-segmentaires), et la majorité occlusives (88.9%)⁶⁰.

La sévérité de l'EP peut également être évaluée en utilisant la technologie double énergie car il est possible de corréler les défauts de perfusion pulmonaire avec les paramètres d'oxygénation artérielle et les signes d'insuffisance cardiaque droite, qui sont des paramètres reconnus^{61 62 63 64 65}.

De plus, la perfusion pulmonaire pourrait être utile dans la détermination du pronostic du patient étant donné que la perfusion ne dépend pas uniquement de l'intégrité du vaisseau lui-même mais également de l'état du parenchyme environnant. Le pronostic basé sur la perfusion pulmonaire prendrait donc en compte non seulement l'obstruction artérielle par le(s) embole(s) mais également une éventuelle maladie parenchymateuse sous-jacente. Une étude de Takx *et al.* a d'ailleurs montré qu'en l'absence de caillot visible, les défauts de perfusion pulmonaire auraient une valeur prédictive sur la mortalité toutes causes confondues⁶⁶.

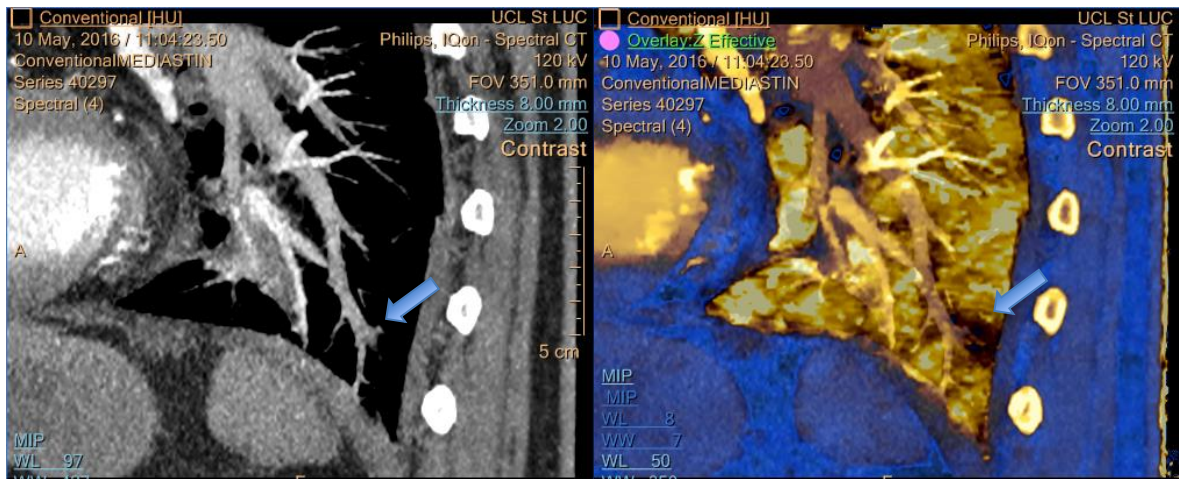


Figure 4a : Sur cette première image, une EP sous-segmentaire était déjà suspectée, malgré la faible opacification artérielle (due à un TIC, cf. figure 5).

Figure 4b : La cartographie de perfusion pulmonaire à l'iode est compatible avec le diagnostic d'EP sous-segmentaire (défaut de perfusion dans le territoire artériel correspondant au vaisseau occlus).

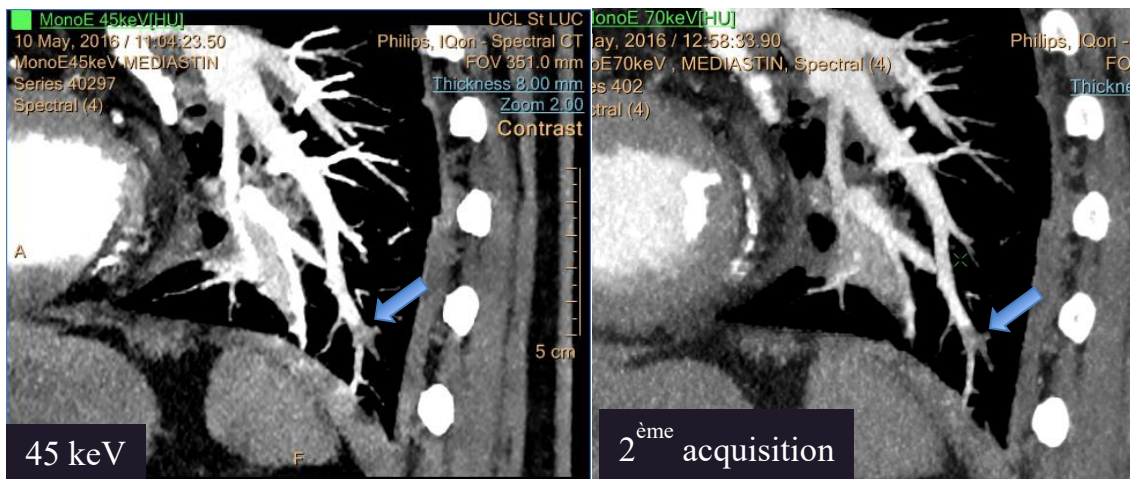


Figure 4c : En reconstruction monochromatique (45 keV) le caillot est mieux visible.

Figure 4d : Une image standard d'une deuxième acquisition injectée permet une comparaison avec le 45 keV. L'embolie est bien visible sur les 2 images (4c et 4d).

1.3 Transient interruption of contrast ou « TIC »:

Il existe différentes définitions de ce type d'artéfacts dans la littérature.

Celle que nous retenons décrit le phénomène comme résultant d'une augmentation du flux de sang non-opacifié depuis la veine cave inférieure (VCI), se mêlant ainsi au sang opacifié venant de la veine cave supérieure (VCS) et diminuant la quantité de contraste effectivement perfusé dans les artères pulmonaires⁶⁷ ; ceci est soutenu également par une étude en IRM du flux sanguin cave pendant les manœuvres respiratoires⁶⁸.

Un des facteurs entraînant cette augmentation de flux serait le phénomène de « pompe thoraco-abdominale » qui se produit en inspiration lorsque la descente du diaphragme engendre à la

fois une augmentation de la pression abdominale et une diminution de la pression thoracique, ces deux facteurs suscitant un afflux de sang vers le thorax afin de tenter d'équilibrer les pressions. Le flux de sang depuis la VCS, n'étant pas soumis à ce mécanisme de presse abdominale, et de plus pouvant être entravé dans le défilé des muscles scalènes par la tension musculaire des patients anxieux, est donc moins important que depuis la VCI.

Le défaut d'opacification artérielle est à ce moment aussi bien proximal que distal, bilatéral, et peut à la fois mimer une EP ou au contraire la masquer⁶⁷, avec toutes les conséquences qu'un diagnostic manqué ou un surtraitement pourraient engendrer.

La présence d'un foramen ovale perméable, fréquente dans la population (environ 25% des sujets⁶⁹), pourrait renforcer les effets du TIC sur l'atténuation vasculaire par passage, contre gradient de pression, d'une partie du contraste depuis le cœur droit vers le cœur gauche suite à une manœuvre de Valsalva.⁷⁰

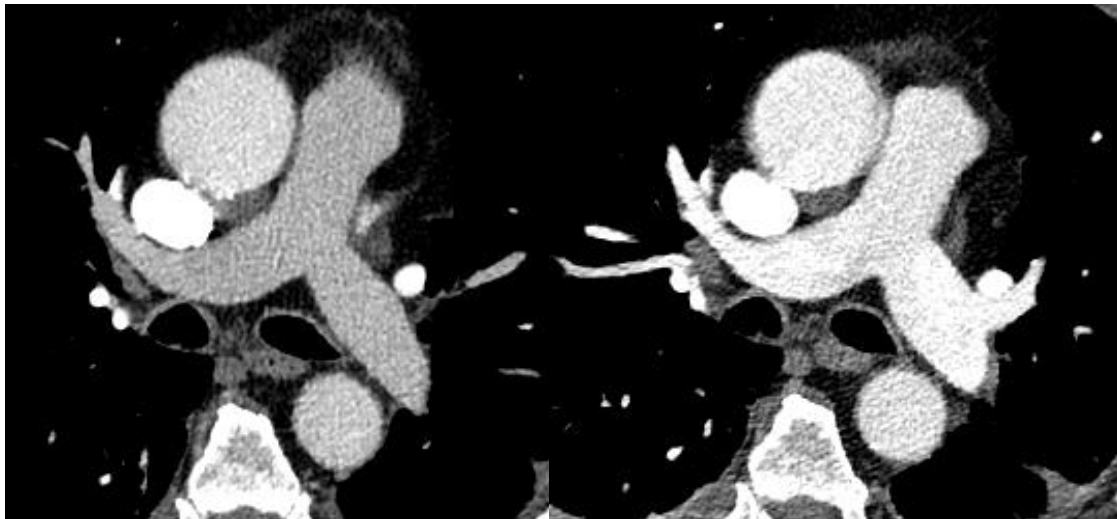


Figure 5a : *Il s'agit du même patient qu'à la figure 4 ; Illustration d'un TIC - La densité est inférieure dans l'artère pulmonaire par rapport à l'aorte sur cette image injectée alors qu'il persiste du contraste dans la VCS.
Figure 5b : Amélioration du contraste dans l'artère pulmonaire sur cette deuxième acquisition injectée chez le même patient.

Les manœuvres respiratoires à expliquer au patient pour réduire ces artéfacts restent discutées dans la littérature. Il est actuellement généralement demandé au patient d'inspirer superficiellement avant de bloquer la respiration, puisqu'il a été démontré qu'une inspiration profonde juste avant l'acquisition ou une manœuvre de Valsalva pendant l'acquisition génèrent l'artéfact⁶⁷. Certaines études ont donc proposé une acquisition en expiration, réservée aux examens à répéter pour cause d'opacification insuffisante, étant donné que dans cette configuration le parenchyme pulmonaire devient ininterprétable^{71 72}. Plusieurs études ont également évalué une technique de succion/inspiration contre résistance (manœuvre de Mueller)^{73 74 75}.

Dans la littérature, l'incidence du TIC varie entre 3 et 37%^{68 76 77}, entre autres car il n'y a pas encore de consensus clair sur la définition.

L'opacification ayant été définie comme optimale si la densité dans l'artère pulmonaire primitive est supérieure à 250 UH⁷⁸, un TIC pourrait être caractérisé par une densité dans l'artère pulmonaire primitive inférieure à 250 UH et à la densité mesurée dans l'aorte (Fig. 5).

Dans une étude en 2012, Bernabé-García *et al.*⁷⁹ ont considéré la présence d'un TIC lorsque « un segment des artères pulmonaire montrait des densités inférieures (avec une différence d'au moins 10 UH) aux autres portions des artères pulmonaires (aussi bien proximale que distale) et/ou à l'aorte. »

Récemment, Sudarski *et al.*⁷⁷ ont défini le TIC comme « un ratio aorto-pulmonaire de densités supérieur à 1 avec un flux de contraste visible persistant dans la veine cave supérieure. »

Sachant qu'une faible opacification serait responsable de près de 40% des examens considérés comme ininterprétables en TDM pulmonaire⁷⁸, l'exploration d'un moyen permettant d'augmenter l'atténuation vasculaire, notamment en cas de TIC, se justifie par l'intérêt d'éviter une nouvelle acquisition injectée et par le fait qu'un cinquième des examens non-diagnostiques pourraient être considérés à tort comme négatifs, sans réalisation d'une nouvelle imagerie⁷⁸. L'utilisation des reconstructions monochromatiques à bas keV pourrait constituer une piste de solution.

1.4 Évaluations actuelles de l'efficacité diagnostique :

A l'heure actuelle, l'EP est considérée comme à la fois sous-diagnostiquée et sur-diagnostiquée :

Sur-diagnostiquée car si la proportion d'examens positifs a diminué, au vu de l'augmentation des demandes d'imageries, le nombre absolu de diagnostics d'EP a par contre augmenté, sans pour autant que l'on puisse déceler un effet sur la mortalité due à cette pathologie^{80 81}.

Sous-diagnostiquée car une proportion très importante d'EP mortelles restent non suspectée ante-mortem, selon des études portant sur des autopsies^{82 83 84 85}.

L'exploration des atouts de nouvelles technologies, telles que les reconstructions monochromatiques et les cartographies d'iode permises par la double énergie, combinée à une recherche clinique de l'impact des EP sous-segmentaires et incidentelles sur le pronostic, devrait permettre d'augmenter la sensibilité/spécificité des examens.

2. Matériel et méthodes :

Pour permettre la réalisation de cette étude rétrospective, ayant l'accord de la commission d'éthique hospitalo-facultaire, nous avons créé une base de données à partir d'une liste de tous les examens réalisés sur le scanner spectral IQon (IQon, Philips Healthcare, Cleveland, OH) depuis son installation aux Cliniques universitaires Saint-Luc, sur une période de 32 mois entre le 03 mai 2016 et le 31 décembre 2018, dont le compte rendu mentionnait le terme « embolie » (dans l'indication, le résultat ou la conclusion). De plus, nous avons uniquement retenu ces trois types d'examens : TDM thoracique, TDM thoraco-abdominale ou angio-TDM, afin d'éliminer tout autre type d'embolie.

Soit au total 1840 examens TDM.

Pour structurer cette liste et la convertir en un support d'étude exploitable, chaque examen a été classé sur base du compte rendu (cf. annexe 1) selon :

- a. L'indication, à savoir si l'examen a été réalisé pour suspicion d'EP ou non, cela permettant de discerner les EP incidentelles, ou s'il a été effectué pour contrôle d'une EP connue.
- b. Le résultat de l'examen : ce dernier est-il positif pour une EP ?
 - Si oui, quel en est le niveau le plus proximal (artère pulmonaire primitive, tronculaire, lobaire, segmentaire, sous-segmentaire) ?
 - Si non, jusqu'à quel ordre celle-ci a-t-elle pu être écartée (central, lobaire, segmentaire, sous-segmentaire ou niveau non-mentionné) ?
- c. La présence ou non d'artéfacts, et le cas échéant de quels types (respiratoires ou autres).
- d. La qualité de l'opacification artérielle : excellente, moyenne, faible ou non-mentionnée.

Cette classification a été effectuée séparément par deux opérateurs, un radiologue avec 6 ans d'expérience en TDM thoracique et une étudiante mémorante en master médical.

Pour 729 examens, des informations du compte rendu non recueillies par l'ordinateur suite à la recherche par mots-clés ont été recouvrées par l'étudiante en consultant le dossier médical du patient, via la base de donnée Medical Explorer (dans 427 cas, c'est l'indication qui a été récupérée, dans 230 cas le résultat et dans 72 cas la conclusion).

En cas de non-consensus entre l'étudiante mémorante et le radiologue avec 6 ans d'expérience, le classement final a été déterminé par un radiologue thoracique avec 31 ans d'expérience.

Sélection définitive des patients :

Dans cette base de données, sélection des examens :

- A la recherche d'une EP, cette information étant maintenant disponible dans notre base de donnée.
- Révélant une EP incidentelle, en recensant les patients dont l'examen était positif pour une EP, sans que celle-ci n'ait été suspectée au regard de l'indication d'examen.
- Possédant un SBI permettant de reconstruire une cartographie d'iode ou une série d'image monochromatique. Pour ce faire chaque examen sera ouvert dans le PACS afin de voir s'il dispose ou non de ce type de données.

Sur les 1840 examens TDM qui constituaient la liste de départ, et après recueil et analyse des informations du compte rendu non collectées par l'ordinateur suite à la recherche par mots-clés, 163 examens ont été écartés de la liste, pour les raisons suivantes :

- Soit il s'agissait d'examens TDM abdominaux ou cérébraux.
- Soit il s'agissait d'examens TDM thoraciques pour lesquels il n'était fait mention d'EP ni dans le compte rendu ni dans la demande.
- Soit il s'agissait d'embolies chroniques ou tumorales.

Parmi ces 1677 examens et suite au premier classement, 291 se sont révélés positifs, 90 ont révélé une EP incidentelle, et 53 représentaient des suivis d'EP.

Afin de déterminer la prévalence par unité de l'EP aux CUSL du 03/05/2016 au 31/12/2018 :

Sur les 1534 examens à la recherche d'une EP, une seconde classification a été effectuée par l'étudiante mémorante en master médical, selon la provenance de la demande d'examen (cf. annexe 1).

Une première analyse des données a ensuite été effectuée par l'étudiante mémorante afin de déterminer le pourcentage d'examens positifs par unité (urgences, soins intensifs, hospitalisation, 'autres' (consultations, centre de traitement ambulatoire, examens techniques...), non-mentionné).

Le reste des données a ensuite été analysé par l'étudiante pour préciser la proportion des caillots les plus proximaux de différents ordres (AP, tronculaire, lobaire, segmentaire ou sous-segmentaire), de façon globale et par unité.

La même démarche a été réalisée dans les cas négatifs pour les niveaux d'exclusion (jusqu'en central, lobaire, segmentaire, sous-segmentaire et ordre non-mentionné), pour la présence d'artéfacts respiratoires ou autres, et pour la qualité de l'opacification, encore une fois de façon globale et par unité.

Mesures de densités afin de déterminer la prévalence du TIC :

L'étudiante mémorante a vérifié la présence d'une acquisition supplémentaire pour chaque examen positif pour EP.

Sur les 291 examens positifs pour EP (152 embolies segmentaires /sous-segmentaires et 139 embolies centrales), 8 (6 embolies segmentaires /sous-segmentaires et 2 centrales) ne possédaient pas de SBI et n'ont donc pas fait l'objet de mesures, et 3 examens (1 EP centrale et 2 EP périphériques) ont fait l'objet d'une deuxième acquisition sur laquelle des mesures ont été prises également. Ceci amène à 286 le nombre total d'examens sur lesquels des mesures de densité ont été effectuées.

Ces mesures de densité en unités Hounsfield (cf. annexe 2b) ont été prises par l'étudiante mémorante, à l'aide de ROI à chaque niveau de l'arbre artériel pulmonaire bilatéralement, sur console Philips IntelliSpace Portal 8.0 (poste de travail spectral) et coupes axiales de 3mm d'épaisseur. Le protocole d'injection du produit de contraste iodé pour chaque examen était le suivant : 60 à 70 ml, 350 mg iode/ml, injecté à débit de 3.5 à 4cc par seconde. Aucun fenêtrage n'a été fixé, la seule impérative étant d'éviter autant que possible les artéfacts de volume partiel et une mesure au niveau d'un caillot.

Ces mesures ont été effectuées sur les images natives et sur la reconstruction en 50 keV en parallèle, à l'exacte même position via une fonction de copier-coller, afin de permettre une comparaison fidèle entre le natif et la reconstruction (cf. annexe 2a).

Plus précisément, le placement des ROI a été effectué au niveau du tronc pulmonaire, des artères pulmonaires principales, des artères lobaires inférieures, de la segmentaire postérieure du lobe supérieur (A3), de la sous-segmentaire postérieure du même lobe, de la segmentaire postéro-basale (A10) et de la sous-segmentaire postéro-basale du lobe inférieur, ainsi qu'au niveau des veines caves supérieure et inférieure, des chambres cardiaques, et des aortes ascendante et descendante à hauteur de la bifurcation artérielle pulmonaire.

La taille des ROI a été standardisée au préalable pour chaque niveau de l'arbre artériel, en accord avec les études récentes^{71 74} : 200 à 300mm² pour le tronc pulmonaire et les artères

pulmonaires principales, les cavités cardiaques, ainsi que l'aorte ascendante et l'aorte descendante ; 40 à 60mm² pour les artères lobaires ; 10 à 30mm² pour les artères segmentaires ; non fixe pour les artères sous-segmentaires dont le calibre peut être très réduit et variable.

Une image clé a été sauvegardée dans le PACS pour chaque positionnement de ROI à chaque niveau de l'arbre artériel, et ce pour chacun des examens.

L'étudiante a ensuite calculé le nombre d'examens présentant une densité mesurée dans le tronc pulmonaire inférieure à 250 UH, ce qui représente un critère d'opacification suboptimale (cf. annexe 2c) ⁷⁸.

En combinant les définitions du TIC de Sudarski *et al.*⁷⁷ et Bernabé-García *et al.*⁷⁹, l'étudiante mémorante a recherché parmi tous les positifs les examens pouvant répondre à la définition d'un TIC.

Ainsi ont été répertoriés tous les examens dont le ratio entre la densité mesurée dans l'aorte descendante et la densité mesurée dans le tronc pulmonaire était supérieur à 1 (cf. annexe 2c). - Le choix de l'aorte descendante s'explique par la présence fréquente d'artéfacts de durcissement au niveau de l'aorte ascendante. -

Ensuite ont été répertoriés les examens répondant à ce premier critère de ratio aorto-pulmonaire de densités et pour lesquels une différence de plus de 10UH a été mesurée entre l'artère pulmonaire gauche et l'aorte descendante (cf. annexe 2c).

Performances des Radiologues thoraciques vs non-thoraciques/ seniors vs juniors :

L'étudiante mémorante a recherché pour chacun des 152 examens positifs pour une EP segmentaire ou sous-segmentaire le signataire senior du compte rendu radiologique original, dans le dossier médical patient, afin de déterminer s'il s'agissait d'un radiologue thoracique ou d'un radiologue non-thoracique. L'étudiante a également vérifié dans le compte rendu d'examen si l'embolie était décrite comme multiple ou unique (selon la définition de den Exter *et al.*³⁵)

Chaque examen positif pour une EP segmentaire ou sous-segmentaire a été revu séparément par un radiologue thoracique avec 31 ans d'expérience, en simple aveugle et de manière aléatoire. Cette relecture a porté sur la confirmation de l'EP et à défaut la cause de l'anomalie focale d'atténuation (artéfact respiratoire ou d'opacification), la localisation segmentaire ou sous-segmentaire, le caractère 'suspendu' (sans extension en sous-segmentaire) ou non des EP

segmentaires, le caractère unique ou multiple de l'EP, le caractère occlusif ou non de l'EP, la présence ou l'absence d'infarctus.

La définition reprise dans cette analyse du caractère unique de l'embolie est celle de den Exter *et al.*³⁵ : un embole dans une branche artérielle unique, segmentaire ou sous-segmentaire. La notion de continuité ou de discontinuité du caillot n'a pas été considérée.

Une première analyse des données obtenues suite à la relecture par le radiologue thoracique expert a ensuite été effectuée par l'étudiante mémorante, afin de déterminer l'accord entre le relecteur et les radiologues non-thoraciques, thoraciques, thoraciques seniors et thoraciques juniors concernant la présence confirmée ou non d'une EP et le niveau du caillot le plus proximal, ainsi que la proportion d'embolies segmentaires ou sous-segmentaires isolées.

Visibilité des caillots en 50 keV :

Pour 121 examens positifs en segmentaire et sous-segmentaire, ce même radiologue thoracique a analysé les reconstructions monochromatiques en 50 keV en parallèle aux images natives, afin de déterminer de manière qualitative si la visibilité du caillot était similaire, meilleure en 50 keV ou moins bonne en 50 keV.

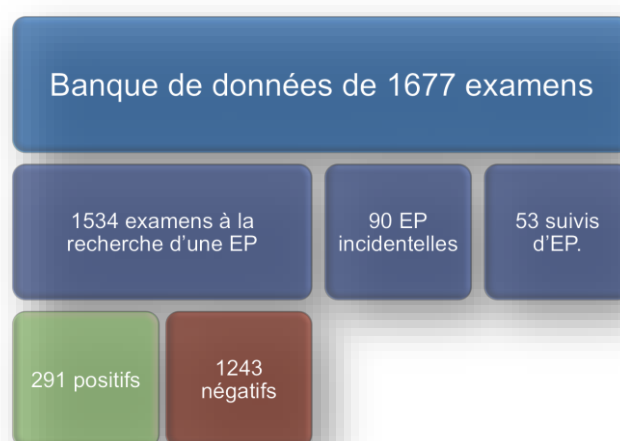
Caillots occlusifs et présence d'infarctus/d'hémorragie :

La proportion d'embolies occlusifs ou non occlusifs en segmentaire ou sous-segmentaire a été calculée par l'étudiante, et comparée à la mise en évidence éventuelle d'un infarctus ou d'une hémorragie lors de la relecture.

3. Résultats :

3.1 Prévalence globale de l'EP :

Sur les 1534 examens à la recherche d'une EP aux CUSL du 03/05/2016 au 31/12/2018, 291 se sont révélés positifs pour EP soit une prévalence globale de 19%.



3.2 Proportion des demandes d'examens par unité :

Sur les 1534 examens à la recherche d'un EP, 935 (61%) demandes provenaient des urgences; 98 (6.4%) demandes provenaient des soins intensifs; 366 (23.8%) demandes provenaient de services d'hospitalisation; 108 (7%) demandes de provenance « autres » ; 27 (1.8%) demandes de provenance non-mentionnée.

3.3 Proportion des examens positifs par unité :

Sur les 291 examens positifs pour EP : 164 (56.3%) demandes provenaient des urgences ; 29 (10%) demandes provenaient des soins intensifs; 79 (27.1%) demandes provenaient de services d'hospitalisation; 15 (5.2%) demandes de provenance « autres » ; 4 (1.4%) demandes de provenance non-mentionnée.

3.4 Proportion des examens négatifs par unité :

Sur les 1243 examens négatifs pour EP : 771 (62%) demandes provenaient des urgences, 69 (5.6%) demandes provenaient des soins intensifs; 287 (23.1%) demandes provenaient de services d'hospitalisation; 93 (7.5%) demandes de provenance « autres » ; 23 (1.8%) demandes de provenance non-mentionnée.

Tableau 1 : Répartition des examens %	Ensemble des examens à la recherche EP (n=1534)	Ensemble des examens EP+ (n=291)	Ensemble des examens EP – (n=1243)
Urgences	61 (n=935)	56.3 (n=164)	62 (n=771)
Soins intensifs	6.4 (n=98)	10 (n=29)	5.6 (n=69)
Hospitalisation	23.8 (n=366)	27.1 (n=79)	23.1 (n=287)
Autres	7 (n=108)	5.2 (n=15)	7.5 (n=93)
Non-mentionné	1.8 (n=27)	1.4 (n=4)	1.8 (n=23)

3.5 Prévalence globale des EP incidentelles :

Sur les 1677 examens de la base de données, 90 se sont révélés positifs pour une EP alors que la demande ne laissait pas suspecter la recherche d'une EP, soit 5.4% d'EP incidentelles.

3.6 Caractéristiques globales et par unité des examens :

Tableau 2 : Examens à la recherche d'une EP %	Ensemble des examens à la recherche EP (n=1534)	Recherche EP Urgences (n=935)	Recherche EP Soins intensifs (n=98)	Recherche EP Hospitalisation (n=366)	Recherche EP Autres (n=108)	Recherche EP Non-mentionné (n=27)
EP+	19 (n=291)	17.5 (n=164)	29.6 (n=29)	21.6 (n=79)	13.9 (n=15)	14.8 (n=4)
EP-	81 (n=1243)	82.5 (n=771)	70.4 (n=69)	78.4 (n=287)	86.1 (n=93)	85.2 (n=23)
Femmes	55.9 (n=858)	58.7 (n=549)	42.9 (n=42)	53.3 (n=195)	56.5 (n=61)	40.7 (n=11)
Hommes	44.1 (n=676)	41.3 (n=386)	57.1 (n=56)	46.7 (n=171)	43.5 (n=47)	59.3 (n=16)
Artéfacts						
- Respiratoires	5.7 (n=88)	5.2 (n=49)	12.2 (n=12)	6.8 (n=25)	1.9 (n=2)	0 (n=0)
- Autres	3 (n=46)	2.9 (n=27)	6.1 (n=6)	2.2 (n=8)	2.8 (n=3)	7.4 (n=2)
Qualité d'opacification						
- Excellente	26 (n=398)	24.9 (n=233)	23.5 (n=23)	28.4 (n=104)	27.8 (n=30)	29.6 (n=8)
- Moyenne	6.8 (n=105)	6.2 (n=58)	10.2 (n=10)	9.3 (n=34)	2.8 (n=3)	0 (n=0)
- Faible	1.4 (n=21)	1.3 (n=12)	0 (n=0)	1.9 (n=7)	0 (n=0)	7.4 (n=2)
- Non mentionnée	65.8 (n=1010)	67.6 (n=632)	66.3 (n=65)	60.4 (n=221)	69.4 (n=75)	63 (n=17)

Tableau 3 : Examens positifs pour EP
%

	Ensemble des examens EP+ (n=291)	EP+ urgences (n=164)	EP+ Soins intensifs (n=29)	EP+ Hospitalisation (n=79)	EP+ Autres (n=15)	EP+ Non-mentionné (n=4)
Niveau le + proximal						
- EP centrale/lobaire	47.8 (n=139)	56.7 (n=93)	34.5 (n=10)	35.4 (n=28)	40 (n=6)	50 (n=2)
○ AP primitive	6.5 (n=19)	9.1 (n=15)	3.5 (n=1)	3.8 (n=3)	0 (n=0)	0 (n=0)
○ Tronculaire	17.9 (n=52)	22.6 (n=37)	6.9 (n=2)	11.4 (n=9)	26.7 (n=4)	0 (n=0)
○ Lobaire	23.4 (n=68)	25 (n=41)	24.1 (n=7)	20.2 (n=16)	13.3 (n=2)	50(n=2)
- EP périphérique	52.2 (n=152)	43.3 (n=71)	65.5 (n=19)	64.6 (n=51)	60 (n=9)	50 (n=2)
○ Segmentaire	31.9 (n=93)	28.7 (n=47)	51.7 (n=15)	31.6 (n=25)	40 (n=6)	0 (n=0)
○ Sous-segmentaire	20.3 (n=59)	14.6 (n=24)	13.8 (n=4)	33 (n=26)	20 (n=3)	50 (n=2)
Femmes	52.9 (n=154)	54.3 (n=89)	48.3 (n=14)	45.6 (n=36)	93.3 (n=14)	25 (n=1)
Hommes	47.1 (n=137)	45.7 (n=75)	51.7 (n=15)	54.4 (n=43)	6.7 (n=1)	75 (n=3)
Artéfacts						
- Respiratoires	3.8 (n=11)	3 (n=5)	10.3 (n=3)	3.8 (n=3)	0 (n=0)	0 (n=0)
- Autres	3.1 (n=9)	2.4 (n=4)	6.9 (n=2)	3.8 (n=3)	0 (n=0)	0 (n=0)
Qualité d'opacification						
- Excellente	16.2 (n=47)	9.1 (n=15)	24.1 (n=7)	25.3 (n=20)	26.7 (n=4)	25 (n=1)
- Moyenne	4.1 (n=12)	2.4 (n=4)	6.9 (n=2)	7.6 (n=6)	0 (n=0)	0 (n=0)
- Faible	1 (n=3)	1.2 (n=2)	0 (n=0)	1.3 (n=1)	0 (n=0)	0 (n=0)
- Non mentionnée	78.7 (n=229)	87.2 (n=143)	69 (n=20)	65.8 (n=52)	73.3 (n=11)	75 (n=3)

Tableau 4 : Examens négatifs pour EP
%

	Ensemble des examens EP – (n=1243)	EP - Urgences (n=771)	EP - Soins intensifs (n=69)	EP - Hospitalisation (n=287)	EP - Autres (n=93)	EP - Non-mentionné (n=23)
Niveau d'exclusion						
○ Central	0.5 (n=6)	0.3 (n=2)	1.4 (n=1)	1.1 (n=3)	0 (n=0)	0 (n=0)
○ Lobaire	0.8 (n=11)	0.5 (n=4)	3 (n=2)	1.4 (n=4)	0 (n=0)	4.3 (n=1)
○ Segmentaire	13.6 (n=169)	12.3 (n=95)	21.7 (n=15)	17.4 (n=50)	7.5 (n=7)	8.7 (n=2)
○ Sous-segmentaire	72.2 (n=897)	71.9 (n=554)	60.9 (n=42)	72.1 (n=207)	81.7 (n=76)	78.3 (n=18)
○ Non-mentionné	12.9 (n=160)	15 (n=116)	13 (n=9)	8 (n=23)	10.8 (n=10)	8.7 (n=2)
Femmes	56.6 (n=704)	59.7 (n=460)	40.6 (n=28)	55.4 (n=159)	50.5 (n=47)	43.5 (n=10)
Hommes	43.4 (n=539)	40.3 (n=311)	59.4 (n=41)	44.6 (n=128)	49.5 (n=46)	56.5 (n=13)
Artéfacts						
- Respiratoires	6.2 (n=77)	5.7 (n=44)	13 (n=9)	7.7 (n=22)	2.2 (n=2)	0 (n=0)
- Autres	3 (n=37)	3 (n=23)	5.8 (n=4)	1.7 (n=5)	3.2 (n=3)	8.7 (n=2)
Qualité d'opacification						
- Excellente	28.3 (n=352)	28.4 (n=219)	23.2 (n=16)	29.3 (n=84)	28 (n=26)	30.4 (n=7)
- Moyenne	7.5 (n=93)	7 (n=54)	11.6 (n=8)	9.7 (n=28)	3.2 (n=3)	0 (n=0)
- Faible	1.4 (n=18)	1.3 (n=10)	0 (n=0)	2.1 (n=6)	0 (n=0)	8.7 (n=2)
- Non mentionnée	62.8 (n=780)	63.3 (n=488)	65.2 (n=45)	58.9 (n=169)	68.8 (n=64)	60.9 (n=14)

Tableau 5 : EP incidentelles
%

	Ensemble des EP incidentelles (n=90)	Urgences (n=18)	Soins intensifs (n=12)	Hospitalisation (n=35)	Autres (n=22)	Non-mentionné (n=3)
Niveau le + proximal						
- EP centrale/lobaire	35.5 (n=32)	33.3 (n=6)	33.3 (n=4)	31.4 (n=11)	40.9 (n=9)	66.7 (n=2)
○ AP primitive	3.3 (n=3)	5.5 (n=1)	8.3 (n=1)	2.9 (n=1)	0 (n=0)	0 (n=0)
○ Tronculaire	13.3 (n=12)	11.1 (n=2)	16.7 (n=2)	8.5 (n=3)	18.2 (n=4)	33.3 (n=1)
○ Lobaire	18.9 (n=17)	16.7 (n=3)	8.3 (n=1)	20 (n=7)	22.7 (n=5)	33.3 (n=1)
- EP périphérique	64.4 (n=58)	66.6 (n=12)	66.7 (n=8)	68.6 (n=24)	59.1 (n=13)	33.3 (n=1)
○ Segmentaire	45.5 (n=41)	44.4 (n=8)	50 (n=6)	45.7 (n=16)	45.5 (n=10)	33.3 (n=1)
○ Sous-segmentaire	18.9 (n=17)	22.2 (n=4)	16.7 (n=2)	22.9 (n=8)	13.6 (n=3)	0 (n=0)
Femmes	44.4 (n=40)	50 (n=9)	41.7 (n=5)	42.9 (n=15)	45.5 (n=10)	33.3 (n=1)
Hommes	55.6 (n=50)	50 (n=9)	58.3 (n=7)	57.1 (n=20)	54.5 (n=12)	66.7 (n=2)
Artéfacts						
- Respiratoires	1.1 (n=1)	0 (n=0)	0 (n=0)	2.9 (n=1)	0 (n=0)	0 (n=0)
- Autres	1.1 (n=1)	0 (n=0)	0 (n=0)	0 (n=0)	4.5 (n=1)	0 (n=0)
Qualité d'opacification						
- Excellente	1.1 (n=1)	0 (n=0)	0 (n=0)	2.9 (n=1)	0 (n=0)	0 (n=0)
- Moyenne	0 (n=0)	0 (n=0)	0 (n=0)	0 (n=0)	0 (n=0)	0 (n=0)
- Faible	3.3 (n=3)	0 (n=0)	8.3 (n=1)	5.7 (n=2)	0 (n=0)	0 (n=0)
- Non mentionnée	95.6 (n=86)	100 (n=18)	91.7 (n=11)	91.4 (n=32)	100 (n=22)	100 (n=3)

3.7 Performances des radiologues thoraciques vs non-thoraciques / seniors vs juniors :

Au total, 15 radiologues ont signé au moins un compte rendu d'examen parmi les 152 examens positifs pour une EP segmentaire ou sous-segmentaire.

Ces radiologues se répartissent en 3 catégories (l'expérience est calculée ci-dessous par rapport à 2021) :

- 3 radiologues thoraciques seniors, C., G., et N., avec respectivement 33, 31 et 24 années d'expérience.
- 6 radiologues thoraciques juniors, A., CE., CL., CO., J. et V. avec respectivement 12, 11, 13, 12, 9, et 10 années d'expérience (ils avaient tous entre 6 et 7 années d'expérience au moment des examens de l'étude).
- 6 radiologues non-thoraciques, A., DA., DR., P., T. et V. avec respectivement 24, 34, 27, 11, 38, et 13 années d'expérience.

Parmi les 152 compte rendus, 73 (48%) ont été signés par les radiologues thoraciques seniors (dont 54 (35.5%) par le relecteur), 25 (16,4%) par les radiologues thoraciques juniors, et 54 (35.5%) par les radiologues non-thoraciques.

Relecture des examens positifs en segmentaire et sous-segmentaire par le radiologue thoracique :

Le relecteur était en désaccord pour 68 (44.7%) examens (46 modifications de niveau, 10 faux positifs et 2 examens indéterminés).

Sur ces 152 examens, 6 ont été relus comme ne présentant pas d'embolie (4 segmentaires et 2 sous-segmentaires selon le compte rendu); 2 décrits comme artéfact respiratoire (1 segmentaires et 1 sous-segmentaire selon le compte rendu) ; 2 décrits comme artéfact d'opacification (1 segmentaire et 1 sous-segmentaires selon le compte rendu) ; 2 décrits comme « doute » (2 segmentaires selon le compte rendu).

Au total, 10 (6.6%) examens ont été réinterprétés comme faux positifs, dont 6 avaient été décrits comme segmentaires dans le compte rendu, soit 6.5% des diagnostics segmentaires et 4 avaient été décrits comme sous-segmentaires dans le compte rendu, soit 6.8% des diagnostics en sous-segmentaire ; et 2 (1.3%) examens ont été interprétés comme « doute », donc indéterminés.

Sur les 10 faux positifs, 6 (60%) avaient été positifs par un radiologue non-thoracique, soit un taux de 11.1% contre 4.1% chez les radiologues thoraciques.

Au total, selon la relecture du radiologue thoracique expert, 46 (30.3%) examens ont vu le niveau proximal de l'EP modifié.

Tableau 6 : Modifications du niveau proximal de l'EP après relecture
%

	Ensemble des modifications de niveau (n=46)	Segmentaire => Sous-segmentaire (n=25)	Sous-segmentaire => Segmentaire (n=5)	Lobaire (n=15)	Tronculaire (n=1)
Non-thoraciques	50 (n=23)	56 (n=14)	20 (n=1)	53.3 (n=8)	/
Thoraciques	50 (n=23)	44 (n=11)	80 (n=4)	46.7 (n=7)	100 (n=1)
Thoraciques seniors	37 (n=17)	28 (n=7)	40 (n=2)	46.7 (n=7)	100 (n=1)
Thoraciques juniors	13 (n=6)	16 (n=4)	40 (n=2)	/	/

En tenant compte des faux positifs et des modifications de niveau, le radiologue thoracique senior relecteur était en accord avec les radiologues non-thoraciques dans 50% (27/54) des cas ; avec l'ensemble des radiologues thoraciques dans 73.5% (72/98) des cas ; avec les thoraciques seniors dans 72.6% (53/73) des cas ; avec lui-même dans 76% (41/54) des cas ; avec les thoraciques juniors dans 76% (19/25) des cas.

Tableau 7 : Accord interobservateur
%

	Relecteur (n=54)	Radiologues thoraciques (n=98)	Radiologues thoraciques seniors (n=73)	Radiologues thoraciques juniors (n=25)	Radiologues non-thoraciques (n=54)
Relecteur	76 (n=41)	73.5 (n=72)	72.6 (n=53)	76 (n=19)	50 (n=27)

Figure 6 : Exemple d'EP sous-segmentaire interprétée initialement en segmentaire



Figure 6a : Segmentaire postérieure droite (A10D).

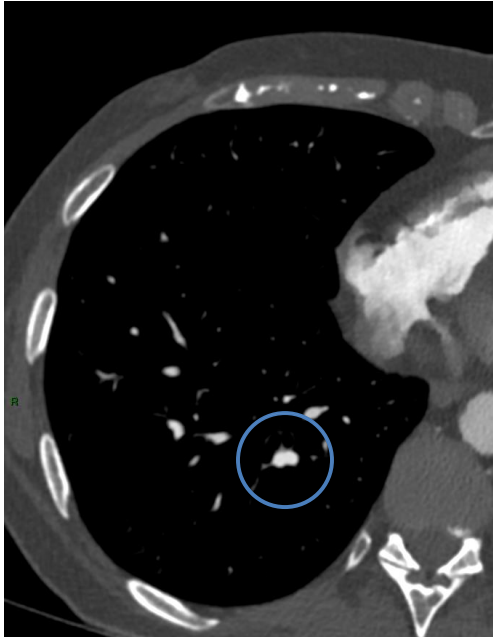


Figure 6b : Première division artérielle de l'A10D.

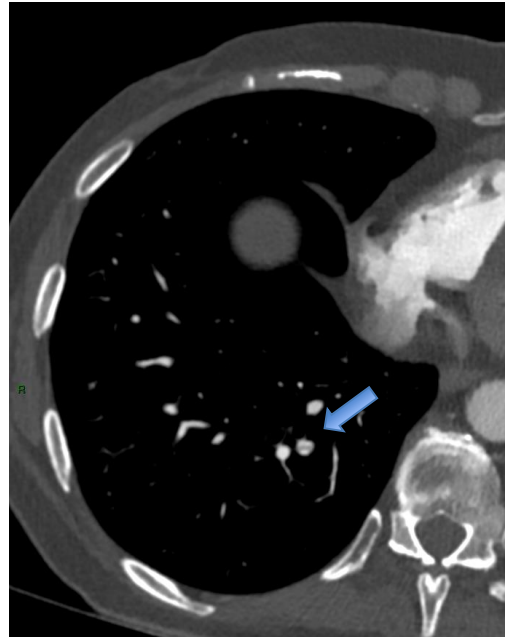
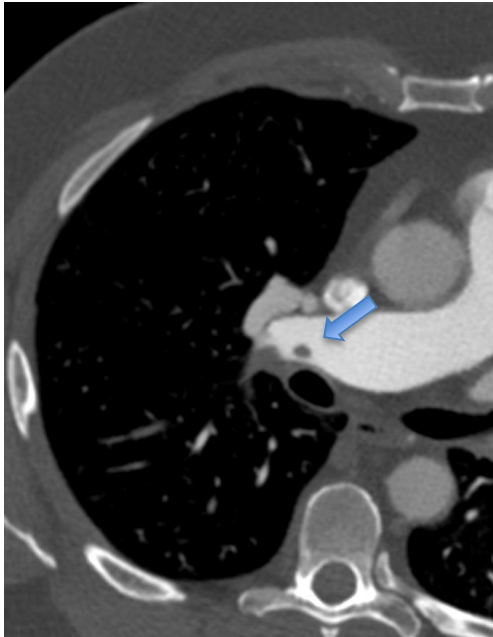
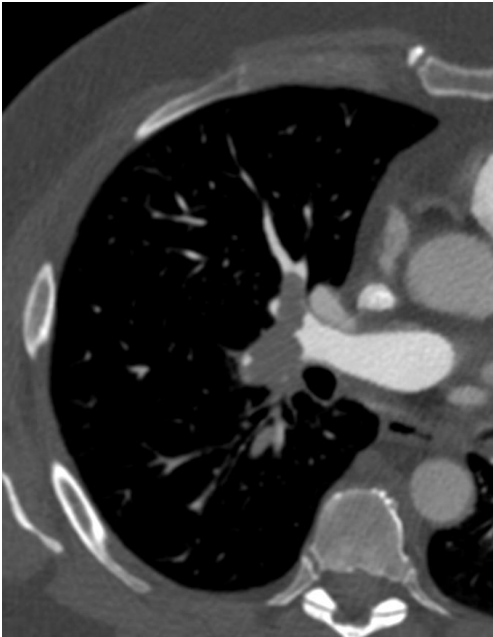


Figure 6c : Le caillot est bien visible dans une des premières branches sous-segmentaires de A10D.

Figure 7 : EP tronculaire interprétée initialement comme segmentaire



Interprétation du niveau le plus proximal de l'embolie :

Parmi les 140 EP confirmées, le niveau proximal de l'embolie a été réinterprété en central pour 16 (11.4%) examens : 15 (10.7%) dont le niveau proximal a été relu comme lobaire (toutes décrites dans le compte rendu comme segmentaires) (Fig. 8), 1 (0.7%) comme tronculaire (décrite comme segmentaire dans le compte rendu) (Fig. 7).

Parmi les 124 examens confirmés pour EP périphérique, le niveau le plus proximal de l'embolie a été interprété par le radiologue thoracique comme segmentaire pour 49 (39.5%) examens et comme sous-segmentaire pour 75 (60.5%) examens.

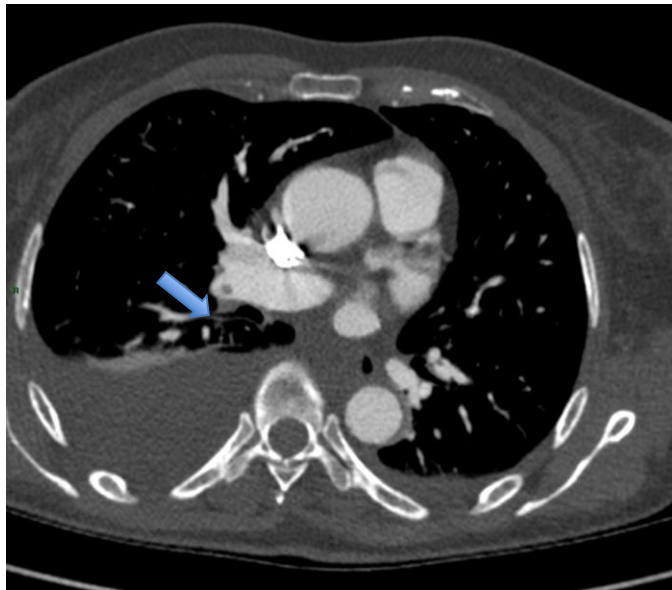


Figure 8 : Exemple d'EP lobaire interprétée initialement comme segmentaire

Extension en sous-segmentaire des EP segmentaires :

Selon la relecture, sur les 64 emboles segmentaires, 4 (6.2%) emboles segmentaires étaient 'suspendus', c'est-à-dire sans extension en sous-segmentaire, et 60 (93.8%) se prolongeaient en sous-segmentaire.

Nombre d'artères entreprises :

Suite à la lecture du compte rendu par l'étudiante, 113 positifs (74.3%) ont été classés comme EP multiples et 39 positifs comme (26.7%) EP uniques.

Parmi les EP uniques, 28 (71.8%) ont été classées comme sous-segmentaires isolées, 11 (28.2%) comme segmentaires.

Sur les 140 examens confirmés pour EP par le relecteur, 101 (72.1%) examens présentaient une atteinte de plusieurs artères pulmonaires dans le parenchyme et 39 (27.9%) examens présentaient une atteinte d'une seule artère pulmonaire dans le parenchyme. Parmi ces 140 examens, aucune des 16 EP dont le niveau a été modifié en central n'avait qu'une seule artère atteinte.

Sous-segmentaires isolées :

Sur les 28 examens classés comme EP sous-segmentaires isolées dans le compte rendu, 2 (7.1%) ont été décrits comme faux positifs suite à la relecture.

Pour les 26 (92.9%) autres EP sous-segmentaires isolées, il y avait accord entre le radiologue signataire et le relecteur sur la localisation et le caractère unique de l'EP.

Nombre d'examens présentant un caillot occlusif à au moins 1 niveau de l'arbre artériel :

Parmi les 124 examens confirmés pour EP périphérique, 75 (60.5%) présentaient un caillot occlusif à au moins 1 niveau de l'arbre artériel.

Nombre de caillots segmentaires occlusifs vs non occlusifs :

Selon la relecture, sur les 64 embolies segmentaires, 50 (78.1%) étaient non-occlusifs et 14 (21.9%) étaient occlusifs.

Nombre de caillots sous-segmentaires occlusifs vs non occlusifs :

Selon la relecture, sur les 138 embolies sous-segmentaires, 59 (42.8%) étaient non-occlusifs et 79 (57.2%) étaient occlusifs.

Nombre d'EP uniques occlusives :

Suite à la relecture par le radiologue thoracique, 18 embolies uniques occlusives ont été identifiées, 17 en sous-segmentaire et 1 en segmentaire.

Présence d'infarctus/ hémorragie :

Sur les 140 examens confirmés pour EP suite à la relecture par le radiologue thoracique, 106 (75.7%) ne présentaient pas d'infarctus ou d'hémorragie pulmonaire et 34 (24.3%) montraient une hémorragie pulmonaire ou un infarctus.

Parmi les 34 examens qui présentaient un infarctus/hémorragie pulmonaire : 19 embolies sous-segmentaires occlusifs, 6 embolies sous-segmentaires non occlusifs, pas d'embolie segmentaire suspendu occlusif, 8 embolies segmentaires occlusifs avec occlusion en sous-segmentaire, 8 embolies segmentaires non occlusifs avec occlusion en sous-segmentaire, 3 embolies segmentaires non occlusifs et sans occlusion en sous-segmentaire.

Reconstructions en imagerie monochromatique 50 keV :

Sur les 121 examens analysés par le radiologue thoracique en 50 keV, en parallèle aux images natives, aucune différence dans la visibilité du caillot n'a été rapportée pour 91 (75.2%) examens, pour 17 (14%) examens la visibilité du caillot a été décrite comme meilleure, pour 13 (10.7%) examens la visibilité du caillot a été décrite comme inférieure.

Tableau 8 : Caractéristiques des examens après relecture %	Après relecture			
	Examens Positifs pour EP périphérique selon compte rendu (n=152)	Examens confirmés pour EP périphérique après relecture (n=124)	Hémorragie/infarctus (n=34)	EP unique (n=39)
Niveau proximal :				
○ Segmentaire	61.2 (n=93)	39.5 (n=49)	44.1 (n=15)	7.7 (n=3)
○ Sous-segmentaire	53.8 (n=59)	60.5 (n=75)	44.1 (n=15)	92.3 (n=36)
EP unique	25.7 (n=39)	31.5 (n=39)	14.7 (n=5)	100 (n=39)
EP sous-segmentaire unique	18.4 (n=28)	29 (n=36)	11.8 (n=4)	92.3 (n=36)
Présence d'au moins 1 caillot occlusif	/	60.5 (n=75)	94.1 (n=32)	46.2 (n=18)

4. Discussion :

Notre base de données de 1677 examens TDM sur scanner spectral représente un important échantillon quantitatif d'une technologie dont les applications cliniques ont encore été peu étudiées, et/ou pour laquelle il n'existe pas encore de critères d'utilisation standardisés.

Un des premiers intérêts de cette base de données est de permettre une comparaison des chiffres de l'EP entre les différents services des CUSL sur une période de deux ans et demi.

La prévalence globale de l'EP dans cette étude rétrospective (19%) s'approche de la prévalence rapportée dans plusieurs études cliniques récentes. Kligerman *et al.*⁴⁰ montrent une prévalence plus faible sur un échantillon important de 2555 examens (mais il est à noter que les centres américains rapportent généralement une prévalence plus basse que sur le continent européen.²¹)

Auteurs	Prévalence de l'EP
Penaloza <i>et al.</i> ²²	19%
Hutchinson <i>et al.</i> ⁴¹	18.6 %
Tamjeedi <i>et al.</i> ⁸⁶	18%
Pena <i>et al.</i> ⁴²	16.4%
Weidman <i>et al.</i> ⁶⁰	12.8%
Kligerman <i>et al.</i> ⁴⁰	9%

Une première utilisation des données a permis d'investiguer le cas particulier des embolies sous-segmentaires.

Après relecture par le radiologue thoracique, la prévalence de l'EP de niveau proximal sous-segmentaire dans notre étude est de 28.8 %, ce qui correspond à la norme supérieure. En effet la prévalence de l'EP sous-segmentaire varie selon les études entre 3 et 36%.³⁴

Pena *et al.*⁴² avaient montré que la relecture de 76 examens par un radiologue thoracique expérimenté entraînait une modification du diagnostic des EP sous-segmentaires dans 51% de cas (11% de faux positifs, et 37% ont été réinterprétées comme segmentaires), en TDM non spectrale.

Notre étude montre une modification globale de 44.7% du diagnostic des EP segmentaires et sous-segmentaires, cependant une majorité des examens discordants avaient été diagnostiqués comme segmentaires en première lecture.

Notre étude montre un accord faible sur le diagnostic des embolies périphériques entre le radiologue thoracique senior et les radiologues non-thoraciques, avec un désaccord dans 50% des cas, confirmant les données de la littérature^{40 41}.

Costantino *et al.*³⁸ ont montré un accord interobservateur modéré sur 46 examens, mais l'étude ne comportait pas de lecture par un radiologue thoracique.

L'étude d'Hutchinson *et al.*⁴¹ quant à elle rapportait une discordance entre le radiologue thoracique relecteur et le radiologue signataire dans 25.9% des cas.

Notre analyse montre un bon accord entre les radiologues thoraciques seniors et juniors, ce qui concorde avec plusieurs études^{86 87 88}.

Notre étude, contrairement aux autres études sur l'accord interobservateur portant sur le diagnostic de l'EP, montre une discordance plus importante pour les embolies décrites comme segmentaires. Il est possible que ceci soit dû à une inhomogénéité dans la définition de la segmentation (connaissance anatomique, première bifurcation, taille du vaisseau).

Le taux global d'examens faux-positifs en sous-segmentaire est également bas dans notre analyse (6.8%).

Contrairement aux études citées plus haut, nous montrons un bon consensus dans le cas des embolies sous-segmentaires isolées.

Limitations :

Concernant l'analyse effectuée sur les embolies segmentaires et sous-segmentaires, un des biais de notre étude peut résider dans le fait que la positivité de l'examen était déjà connue par le radiologue thoracique ayant revu chaque examen.

L'analyse de la performance des radiologues thoraciques par opposition aux radiologues non-thoraciques dans un service universitaire hautement spécialisé, pourrait être peu représentative de la situation dans des centres plus périphériques. En effet, une majorité des examens a été analysée par des radiologues dont la pratique est quasi exclusivement thoracique, ce qui n'est probablement pas le cas dans d'autres centres. De plus les radiologues non-thoraciques de ce service pourraient avoir plus d'expérience en imagerie thoracique que d'autres radiologues ayant une pratique encore plus générale.

Il nous est également impossible d'être au fait rétrospectivement d'une éventuelle demande d'avis à un radiologue thoracique par un radiologue non-thoracique avant la finalisation de son compte rendu.

Une autre limite réside dans le fait qu'il nous est impossible de savoir *a posteriori* si le radiologue ayant signé le compte rendu s'était déjà aidé des reconstructions monochromatiques en 50 keV lors de sa lecture.

Concernant les premiers résultats obtenus dans l'analyse des TICs, la présence d'un flux de contraste dans la VCS ou d'une explication technique au défaut d'opacification n'a pas encore été vérifiée à ce stade. Une gradation subjective du TIC n'a pas non plus encore été réalisée.

Dans un avenir proche :

Les examens positifs pour EP sous-segmentaires devraient faire l'objet d'un second avis, selon les recommandations 2019 de l'ESC (European Society of Cardiology)⁵. Cette étude montre que dans notre centre en tout cas, les examens positifs pour EP segmentaires devraient également être revus (26.9% des EP segmentaires ont été relues comme sous-segmentaires). Ceci sera d'autant plus nécessaire si les résultats des études en cours montrent qu'une abstention thérapeutique est possible en cas d'EP sous-segmentaire.

Nous l'avons souligné, la prise en charge des embolies périphériques, en particulier sous-segmentaires, et *a fortiori* sous-segmentaires isolées, reste controversée. Ce travail ne prend pas encore en compte les aspects cliniques et pronostiques de l'EP, mais un projet en collaboration avec le Pr Andrea Penaloza et le Dr Jonathan Vandeloise a débuté, afin de déterminer le pronostic à 3 mois des patients présentant une EP segmentaire ou sous-segmentaire, multiple ou isolée, et de le corréler à la clinique et aux caractéristiques radiologiques.

Les TICs représentent une cause singulière mais fréquente d'examen de qualité suboptimale et de nouvelle acquisition. Les mesures de densités recueillies dans ce travail ainsi que les informations cliniques et radiologiques maintenant disponibles nous permettront de définir précisément l'incidence de cet artefact dans notre cohorte. Nous pourrons ensuite explorer la capacité des reconstructions monochromatiques en 50 keV à diminuer son impact sur la visibilité des caillots.

L'intelligence artificielle occupera certainement une place de plus en plus importante dans le monde médical, et de premier plan en imagerie médicale. Son implémentation dans le diagnostic et l'évaluation pronostique de l'EP sera rendue possible par la validation de critères diagnostiques et de biomarqueurs radiologiques. En TDM, les signes de défaillance cardiaque droite sont reconnus comme facteurs pronostiques. L'évaluation de la perfusion pulmonaire via l'utilisation des cartographies d'iode pourrait être validé comme outil diagnostique et comme biomarqueur pronostique. L'utilisation des reconstructions monochromatiques pourrait également parfaire la détection assistée par ordinateur (CAD) de l'EP, comme l'ont récemment montré Kröger JR *et al.*⁸⁹ ainsi que Ma G *et al.*⁹⁰ En effet, l'inconvénient du CAD en conventionnel reste actuellement le taux élevé de faux positifs^{91 92}. Un partenariat a ainsi débuté avec les professeurs Benoît Macq et Christophe De Vleeschouwer, ingénieurs à Louvain-la-neuve et deux étudiantes mémorantes, Mathilde Henry de Frahan et Florine Thiry : le projet 'Machine learning for pulmonary embolism detection'.

L'avenir de la recherche et de l'intelligence artificielle repose certainement sur la création et le partage de databases à grande échelle. Cette étude nous a déjà permis de constater qu'une homogénéisation des critères de définition, de diagnostic et de description est nécessaire et leur implémentation doit être renforcée dès le début de l'apprentissage des radiologues de demain.

En conclusion :

La TDM spectrale est une technologie relativement nouvelle et prometteuse, dont les possibilités restent peu explorées en clinique, or elle pourrait permettre de répondre à des problématiques de haute importance en pratique de tous les jours dans la prise en charge de cette affection fréquente qu'est l'EP.

En effet, les reconstructions monochromatiques pourraient permettre entre autres l'optimisation du diagnostic, en particulier des embolies sous-segmentaires, l'interprétation des examens de qualité suboptimale ou non-dédiés et ainsi supprimer l'irradiation induite par une deuxième acquisition, et la diminution de la dose d'iode nécessaire à un diagnostic de qualité (par exemple en cas d'insuffisance rénale), mais également d'optimiser la performance de la détection assistée par ordinateur (CAD).

Les cartographies d'iode quant à elles présenteraient un apport diagnostique mais permettraient également une imagerie fonctionnelle et pronostique. Elles aussi pourraient mener à une optimisation de la CAD.

Ce premier travail devrait permettre l'investigation plus approfondie de ces différentes pistes et l'apport de réponses dans un horizon proche.

5. Bibliographie :

- ¹ Raskob GE, Angchaisuksiri P, Blanco AN, et al. Thrombosis: a major contributor to global disease burden. *Arterioscler Thromb Vasc Biol* 2014; 34: 2363–71.
- ² Pollack CV, Schreiber D, Goldhaber SZ, et al. Clinical characteristics, management, and outcomes of patients diagnosed with acute pulmonary embolism in the emergency department: initial report of EMPEROR (Multicenter Emergency Medicine Pulmonary Embolism in the Real World Registry). *J Am Coll Cardiol* 2011; 57: 700–06.
- ³ Wells PS, Anderson DR, Rodger M. Derivation of a Simple Clinical Model to Categorize Patients Probability of Pulmonary Embolism-Increasing the Models Utility with the SimpliRED D-dimer. *Thromb Haemost.*2000; 83(3): 416-20.
- ⁴ Le Gal G, Righini M, Roy P-M, et al. Prediction of Pulmonary Embolism in the Emergency Department: The Revised Geneva score. *Ann Intern Med.* 2006; 144(3): 165-71.
- ⁵ Konstantinides SV, Meyer G, Becattini C, et al. 2019 ESC Guidelines for the diagnosis and management of acute pulmonary embolism developed in collaboration with the European Respiratory Society (ERS). *Eur Heart J.* 2020; 41(4): 543-603.
- ⁶ Remy-Jardin M, Pistolesi M, Goodman LR, et al. Management of suspected acute pulmonary embolism in the era of CT angiography: a statement from the Fleischner Society. *Radiology* 2007; 245: 315–329.
- ⁷ Douma RA, le Gal G, Söhne M. Potential of an age adjusted D-dimer cut-off value to improve the exclusion of pulmonary embolism in older patients: a retrospective analysis of three large cohorts. *BMJ* 2010; 340: c1475.
- ⁸ Righini M, Van Es J, den Exter PL, et al. Age-Adjusted D-Dimer Cutoff Levels to Rule Out Pulmonary Embolism The ADJUST-PE Study. *JAMA.* 2014; 311(11): 1117-1124.
- ⁹ Penalzoza A, Roy PM, Kline J, et al. Performance of age-adjusted D-dimer cut-off to rule out pulmonary embolism. *J Thromb Haemost.* 2012; 10(7): 1291-6.
- ¹⁰ Becattini C, Agnelli G, Germini F, Vedovati MC. Computed tomography to assess risk of death in acute pulmonary embolism: a meta-analysis. *Eur Respir J.* 2014; 43(6): 1678-90.
- ¹¹ Meinel FG, Nance JW Jr, Schoepf UJ, et al. Predictive Value of Computed Tomography in Acute Pulmonary Embolism: Systematic Review and Meta-analysis. *Am J Med.* 2015; 128(7): 747-59.e2.
- ¹² Trujillo-Santos J, den Exter PL, Gómez V, et al. Computed tomography-assessed right ventricular dysfunction and risk stratification of patients with acute non-massive pulmonary embolism: systematic review and meta-analysis. *J Thromb Haemost.* 2013; 11(10): 1823-32.
- ¹³ Aujesky D, Obrosky DS, Stone RA, et al. Derivation and validation of a prognostic model for pulmonary embolism. *Am J Respir Crit Care Med.* 2005; 172(8): 1041-6.
- ¹⁴ Donzé J, Le Gal G, Fine MJ, et al. Prospective validation of the Pulmonary Embolism Severity Index. A clinical prognostic model for pulmonary embolism. *Thromb Haemost.* 2008; 100(5): 943-8.

-
- ¹⁵ Aujesky D, Roy PM, Verschuren F, et al. Outpatient versus inpatient treatment for patients with acute pulmonary embolism: an international, open-label, randomised, non-inferiority trial. *Lancet*. 2011; 378(9785): 41-8.
- ¹⁶ Bova C, Sanchez O, Prandoni P, et al. Identification of intermediate-risk patients with acute symptomatic pulmonary embolism. *Eur Respir J*. 2014; 44(3): 694-703.
- ¹⁷ Bova C, Vanni S, Prandoni P, et al. A prospective validation of the Bova score in normotensive patients with acute pulmonary embolism. *Thromb Res*. 2018; 165: 107-111.
- ¹⁸ Zondag W, Vingerhoets LM, Durian MF, et al. Hestia Study Investigators. Hestia criteria can safely select patients with pulmonary embolism for outpatient treatment irrespective of right ventricular function. *J Thromb Haemost* 2013; 11: 686-92.
- ¹⁹ Surov A, Akritidou M, Bach AG, et al. A New Index for the Prediction of 30-Day Mortality in Patients With Pulmonary Embolism: The Pulmonary Embolism Mortality Score (PEMS). *Angiology*. 2021; 9: 3319721993346.
- ²⁰ Bailis N, Lerche M, Meyer HJ, et al. Contrast reflux into the inferior vena cava on computer tomographic pulmonary angiography is a predictor of 24-hour and 30-day mortality in patients with acute pulmonary embolism. *Acta Radiol*. 2021; 62(1): 34-41.
- ²¹ Dalen JE, Waterbrook AL. Why Are Nearly All CT Pulmonary Angiograms for Suspected Pulmonary Embolism Negative?. *Am J Med*. 2017; 130(3): 247-248.
- ²² Penalzoza A, Melot C, Motte S. Comparison of the Wells score with the simplified revised Geneva score for assessing pretest probability of pulmonary embolism. *Thromb Res*. 2011; 127(2): 81-4.
- ²³ Di Nisio M, van Es N, Büller HR. Deep vein thrombosis and pulmonary embolism. *Lancet*. 2016; 17; 388(10063): 3060-3073.
- ²⁴ Konstantinides SV, Barco S, Lankeit M, Meyer G. Management of Pulmonary Embolism: An Update. *J Am Coll Cardiol*. 2016; 67(8): 976-90.
- ²⁵ Carrier M, Righini M, Wells PS, et al. Subsegmental pulmonary embolism diagnosed by computed tomography: incidence and clinical implications. A systematic review and meta-analysis of the management outcome studies – *J Thromb Haemost*. 2010; 8(8): 1716-22.
- ²⁶ den Exter PL, van Es J, Klok FA, et al. Risk profile and clinical outcome of symptomatic subsegmental acute pulmonary embolism. *Blood* 2013; 122: 1144-1149.
- ²⁷ Yoo HH, Queluz TH, El Dib R. Anticoagulant treatment for subsegmental pulmonary embolism. *Cochrane Database Syst Rev*. 2016; (1): CD010222.
- ²⁸ Bariteau A, Stewart LK, Emmett TW, Kline JA. Systematic Review and Meta-analysis of Outcomes of Patients With Subsegmental Pulmonary Embolism With and Without Anticoagulation Treatment. *Acad Emerg Med*. 2018; 25(7): 828-835.
- ²⁹ Ikesaka R, Carrier M. Clinical significance and management of subsegmental pulmonary embolism. *J Thromb Thrombolysis*. 2015; 39(3): 311-4.

-
- ³⁰ Long B, Koyfman A. Best Clinical Practice: Current Controversies in Pulmonary Embolism Imaging and Treatment of Subsegmental Thromboembolic Disease. *J Emerg Med.* 2017; 52(2): 184-193.
- ³¹ Peiman S, Abbasi M, Allameh SF, et al. Subsegmental pulmonary embolism: A narrative review. *Thromb Res.* 2016; 138:55-60.
- ³² Chiu V, O'Connell C. Management of the Incidental Pulmonary Embolism. *AJR Am J Roentgenol.* 2017; 208(3): 485-488.
- ³³ Stein PD, Goodman LR, Hull RD, et al. Diagnosis and management of isolated subsegmental pulmonary embolism: review and assessment of the options. *Clin Appl Thromb Hemost.* 2012; 18(1): 20-26.
- ³⁴ Ghaye B. Peripheral pulmonary embolism on multidetector CT pulmonary angiography. *JBR–BTR,* 2007; 90(2): 100-8.
- ³⁵ den Exter PL, Kroft LJM, Gonsalves C, et al. Establishing diagnostic criteria and treatment of subsegmental pulmonary embolism: A Delphi analysis of experts. *Res Pract Thromb Haemost.* 2020; 4(8): 1251-1261.
- ³⁶ Cavagna E, Muratore F, Ferrari F. Pulmonary Thromboembolism in COVID-19: Venous Thromboembolism or Arterial Thrombosis?. *Radiol Cardiothorac Imaging.* 2020; 2(4): e200289.
- ³⁷ Donato AA, Khoche S, Santora J, Wagner B. Clinical outcomes in patients with isolated subsegmental pulmonary emboli diagnosed by multidetector CT pulmonary angiography. *Thromb Res* 2010; 126: e266–70
- ³⁸ Costantino G, Norsa AH, Amadori R, et al. Interobserver agreement in the interpretation of computed tomography in acute pulmonary embolism. *Am J Emerg Med.* 2009; 27(9): 1109-11.
- ³⁹ Yavas US, Calisir C, Ozkan IR. The interobserver agreement between residents and experienced radiologists for detecting pulmonary embolism and DVT with using CT pulmonary angiography and indirect CT venography. *Korean J Radiol.* 2008; 9: 498–502.
- ⁴⁰ Kligerman SJ, Mitchell JW, Sechrist JW, et al. Radiologist Performance in the Detection of Pulmonary Embolism: Features that Favor Correct Interpretation and Risk Factors for Errors. *J Thorac Imaging.* 2018; 33(6): 350-357.
- ⁴¹ Hutchinson BD, Navin P, Marom EM, et al. Overdiagnosis of Pulmonary Embolism by Pulmonary CT Angiography. *AJR Am J Roentgenol.* 2015; 205(2): 271-7.
- ⁴² Pena E, Kimpton M, Dennie C, et al. Difference in interpretation of computed tomography pulmonary angiography diagnosis of subsegmental thrombosis in patients with suspected pulmonary embolism. *J Thromb Haemost* 2012; 10: 496–8.
- ⁴³ Zhou C, Chan HP, Chughtai A, et al. Variabilities in Reference Standard by Radiologists and Performance Assessment in Detection of Pulmonary Embolism in CT Pulmonary Angiography. *J Digit Imaging.* 2019; 32(6): 1089-1096.
- ⁴⁴ Han J, Xiang H, Ridley WE, Ridley LJ. Seagull sign: Respiratory motion artefact *J Med Imaging Radiat Oncol.* Oct 2018; 62, Special Issue: Animal signs in Radiology : 46.

-
- ⁴⁵ Albrecht MH, Bickford MW, Nance JW Jr, et al. State-of-the-Art Pulmonary CT Angiography for Acute Pulmonary Embolism. *American Journal of Roentgenology*. 2017; 208: 495-504.
- ⁴⁶ Johnson TR, Krauss B, Sedlmair M, et al. Material differentiation by dual energy CT: initial experience. *Eur Radiol*. 2007; 17(6): 1510-7.
- ⁴⁷ Meyer M, Haubenreisser H, Schabel C, et al. CT pulmonary angiography in patients with acute or chronic renal insufficiency: Evaluation of a low dose contrast material protocol. *Sci Rep*. 2018; 8: 1995.
- ⁴⁸ Foti G, Silva R, Faccioli N, et al. Identification of pulmonary embolism: diagnostic accuracy of venous-phase dual-energy CT in comparison to pulmonary arteries CT angiography. *Eur Radiol*. 2021; 31(4): 1923-1931.
- ⁴⁹ Weiss J, Notohamiprodjo M, Bongers M, et al. Effect of Noise-Optimized Monoenergetic Postprocessing on Diagnostic Accuracy for Detecting Incidental Pulmonary Embolism in Portal-Venous Phase Dual-Energy Computed Tomography. *Invest Radiol*. 2017; 52(3):142-147.
- ⁵⁰ Delesalle MA, Pontana F, Duhamel A, et al. Spectral optimization of chest CT angiography with reduced iodine load: experience in 80 patients evaluated with dual-source, dual-energy CT. *Radiology*. 2013; 267(1): 256-66.
- ⁵¹ Meier A, Wurnig M, Desbiolles L, et al. Advanced virtual monoenergetic images: improving the contrast of dual-energy CT pulmonary angiography. *Clin Radiol*. 2015; 70(11): 1244-51.
- ⁵² Albrecht MH, Vogl TJ, Martin SS, et al. Review of Clinical Applications for Virtual Monoenergetic Dual-Energy CT. *Radiology*. 2019 Nov; 293(2):260-271.
- ⁵³ Bamberg F, Dierks A, Nikolaou K, et al. Metal artifact reduction by dual energy computed tomography using monoenergetic extrapolation. *Eur Radiol*. 2011; 21(7): 1424-9.
- ⁵⁴ Otrakji A, Digumarthy SR, Lo Gullo R, et al. Dual-Energy CT: Spectrum of Thoracic Abnormalities. *Radiographics*. 2016; 36(1): 38-52.
- ⁵⁵ Dissaux B, Le Floch PY, Robin P, et al. Pulmonary perfusion by iodine subtraction maps CT angiography in acute pulmonary embolism: comparison with pulmonary perfusion SPECT (PASEP trial). *Eur Radiol*. 2020; 30(9): 4857-4864.
- ⁵⁶ Suga K, Yasuhiko K, Iwanaga H, et al. Relation between lung perfusion defects and intravascular clots in acute pulmonary thromboembolism: assessment with breath-hold SPECT-CT pulmonary angiography fusion images. *Eur J Radiol*. 2008; 67(3): 472-80.
- ⁵⁷ Okada M, Kunihiro Y, Nakashima Y, et al. Added value of lung perfused blood volume images using dual-energy CT for assessment of acute pulmonary embolism. *Eur J Radiol*. 2015; 84(1): 172-177.
- ⁵⁸ Thieme SF, Johnson TR, Lee C, et al. Dual-energy CT for the assessment of contrast material distribution in the pulmonary parenchyma. *AJR Am J Roentgenol*. 2009; 193(1): 144-149.

-
- ⁵⁹ Rajiah P, Tanabe Y, Partovi S, et al. State of the art: utility of multi-energy CT in the evaluation of pulmonary vasculature. *Int J Cardiovasc Imaging*. 2019; 35(8): 1509-1524.
- ⁶⁰ Weidman EK, Plodkowski AJ, Halpenny DF, et al. Dual-Energy CT Angiography for Detection of Pulmonary Emboli: Incremental Benefit of Iodine Maps. *Radiology*. 2018; 289(2):546-553.
- ⁶¹ Ghaye B, Ghuysen A, Willems V, et al. Severe Pulmonary Embolism : Pulmonary Artery Clot Load Scores and Cardiovascular Parameters as Predictors of Mortality. *Radiology*. 2006; 239(3): 884-91.
- ⁶² Thieme SF, Ashoori N, Bamberg F, et al. Severity assessment of pulmonary embolism using dual energy CT - correlation of a pulmonary perfusion defect score with clinical and morphological parameters of blood oxygenation and right ventricular failure. *Eur Radiol* 2012 (b); 22: 269-78.
- ⁶³ Zhou Y, Shi H, Wang Y, et al. Assessment of correlation between CT angiographic clot load score, pulmonary perfusion defect score and global right ventricular function with dual-source CT for acute pulmonary embolism. *Br J Radiol* 2012; 85: 972-9.
- ⁶⁴ Bauer RW, Frellesen C, Renker M, et al. Dual energy CT pulmonary blood volume assessment in acute pulmonary embolism - correlation with D-dimer level, right heart strain and clinical outcome. *Eur Radiol* 2011 (b); 21: 1914-21.
- ⁶⁵ Perez-Johnston R, Plodkowski AJ, Halpenny DF, et al. Perfusion defects on dual-energy CTA in patients with suspected pulmonary embolism correlate with right heart strain and lower survival. *Eur Radiol*. 2021; 31(4): 2013-2021.
- ⁶⁶ Takx RAP, Henzler T, Schoepf UJ, et al. Predictive value of perfusion defects on dual energy CTA in the absence of thromboembolic clots. *J Cardiovasc Comput Tomogr*. 2017; 11(3): 183-187.
- ⁶⁷ Wittram C, Yoo AJ. Transient Interruption of Contrast on CT Pulmonary Angiography Proof of Mechanism. *J Thorac Imaging*. 2007; 22(2): 125-9.
- ⁶⁸ Kuzo RS, Pooley RA, Crook JE, et al. Measurement of caval blood flow with MRI during respiratory maneuvers: implications for vascular contrast opacification on pulmonary CT angiographic studies. *AJR Am J Roentgenol*. 2007; 188(3): 839-42.
- ⁶⁹ Schneider B, Zienkiewicz T, Jansen V, et al. Diagnosis of patent foramen ovale by transesophageal echocardiography and correlation with autopsy findings. *Am J Cardiol*. 1996; 77(14): 1202-9.
- ⁷⁰ Henk CB, Grampp S, Linnau KF, et al. Suspected pulmonary embolism: enhancement of pulmonary arteries at deep-inspiration CT angiography--influence of patent foramen ovale and atrial-septal defect. *Radiology*. 2003; 226(3): 749-755.
- ⁷¹ Mortimer AM, Singh RK, Hughes J, et al. Use of expiratory CT pulmonary angiography to reduce inspiration and breath-hold associated artefact: contrast dynamics and implications for scan protocol. *Clinical radiology* 2011; 66(12): 1159-66.
- ⁷² Chen YH, Velayudhan V, Weltman DI, et al. Waiting to exhale: salvaging the nondiagnostic CT pulmonary angiogram by using expiratory imaging to improve contrast dynamics. *Emerg Radiol*. 2008; 15(3): 161-169.

-
- ⁷³ Gutzeit A, Roos JE, Hergan K, et al. Suction against resistance: a new breathing technique to significantly improve the blood flow ratio of the superior and inferior vena cava. *Eur Radiol.* 2014; 24(12): 3034-41.
- ⁷⁴ Gutzeit A, Froehlich JM, Wälti S, et al. Suction/Inspiration against resistance or standardized Mueller maneuver : a new breathing technique to improve contrast density within the pulmonary artery: a pilot CT study. *Eur Radiol.* 2015; 25(11): 3133-42.
- ⁷⁵ Fasshauer M, Joseph AA, Kowallick JT, et al. Real-time phase-contrast flow MRI of haemodynamic changes in the ascending aorta and superior vena cava during Mueller manoeuvre. *Clin Radiol.* 2014; 69(10): 1066-71.
- ⁷⁶ Gosselin MV, Rassner UA, Thieszen SL, et al. Contrast dynamics during CT pulmonary angiogram: analysis of an inspiration associated artifact. *J Thorac Imaging.* 2004; 19(1): 1-7.
- ⁷⁷ Sudarski S, Haubenreisser H, Henzler T, et al. Incidence of transient interruption of contrast (TIC) - A retrospective single-centre analysis in CT pulmonary angiography exams acquired during inspiratory breath-hold with the breathing command: "Please inspire gently!". *PLoS One.* 2019; 14(1): e0210473.
- ⁷⁸ Jones SE, Wittram C. The indeterminate CT pulmonary angiogram: imaging characteristics and patient clinical outcome. *Radiology.* 2005; 237(1): 329-37.
- ⁷⁹ Bernabé-García JM, García-Espasa C, Arenas-Jiménez J, et al. Has "respiratory coaching" before deep inspiration an impact on the incidence of transient contrast interruption during pulmonary CT angiography?. *Insights Imaging.* 2012; 3(5): 505-511.
- ⁸⁰ Burge AJ, Freeman KD, Klapper PJ, Haramati LB. Increased diagnosis of pulmonary embolism without a corresponding decline in mortality during the CT era. *Clin Radiol.* 2008; 63(4): 381-6.
- ⁸¹ Wiener RS, Schwartz LM, Woloshin S. When a test is too good: how CT pulmonary angiograms find pulmonary emboli that do not need to be found. *BMJ.* 2013; 347: f3368.
- ⁸² Pulido T, Aranda A, Zevallos MA, et al. Pulmonary embolism as a cause of death in patients with heart disease: an autopsy study. *Chest.* 2006; 129(5): 1282-7.
- ⁸³ Stein PD, Henry JW. Prevalence of acute pulmonary embolism among patients in a general hospital and at autopsy. *Chest.* 1995; 108(4): 978-81.
- ⁸⁴ Laack TA, Goyal DG. Pulmonary embolism: an unsuspected killer. *Emerg Med Clin North Am.* 2004; 22(4): 961-83.
- ⁸⁵ Pineda LA, Hathwar VS, Grant BJ. Clinical suspicion of fatal pulmonary embolism. *Chest.* 2001; 120(3): 791-5
- ⁸⁶ Tamjeedi B, Correa J, Semionov A, et al. Interobserver Agreement between On-Call Radiology Resident and General Radiologist Interpretations of CT Pulmonary Angiograms and CT Venograms. *PLoS One.* 2015; 10(5): e0126116.
- ⁸⁷ Cervini P, Bell CM, Roberts HC, et al. Radiology resident interpretation of on-call CT pulmonary angiograms. *Acad Radiol.* 2008; 15(5): 556-62.

⁸⁸ Ginsberg MS, King V, Panicek DM. Comparison of interpretations of CT angiograms in the evaluation of suspected pulmonary embolism by on-call radiology fellows and subsequently by radiology faculty. *AJR Am J Roentgenol.* 2004; 182(1): 61-6.

⁸⁹ Kröger JR, Hicketier T, Pahn G, et al. Influence of spectral detector CT based monoenergetic images on the computer-aided detection of pulmonary artery embolism. *Eur J Radiol.* 2017; 95: 242-248.

⁹⁰ Ma G, Dou Y, Dang S, et al. Influence of Monoenergetic Images at Different Energy Levels in Dual-Energy Spectral CT on the Accuracy of Computer-Aided Detection for Pulmonary Embolism. *Acad Radiol.* 2019; 26(7): 967-973.

⁹¹ Wittenberg R, Peters JF, Sonnemans JJ, et al. Computer-assisted detection of pulmonary embolism: evaluation of pulmonary CT angiograms performed in an on-call setting. *Eur Radiol.* 2010; 20(4): 801-806.

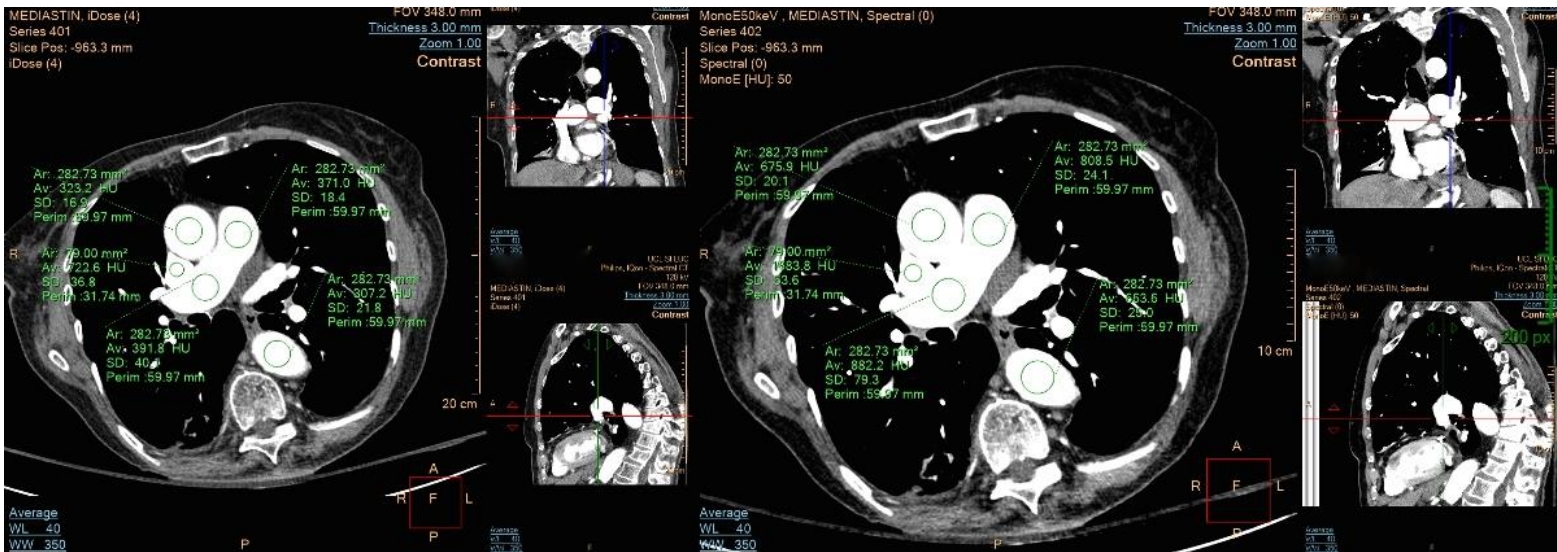
⁹² Das M, Mühlenbruch G, Helm A, et al. Computer-aided detection of pulmonary embolism: influence on radiologists' detection performance with respect to vessel segments. *Eur Radiol.* 2008; 18(7): 1350-1355.

6. Annexes :

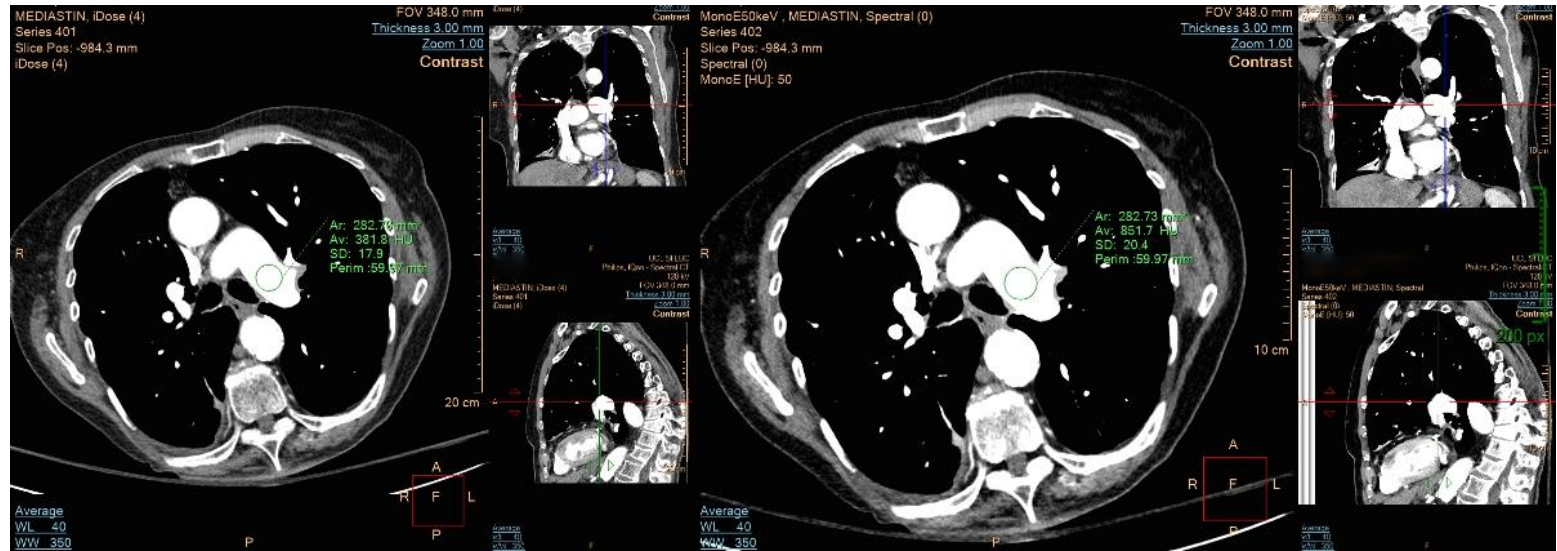
1	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB
2	NIP	DATENAIS	SEXE	EXAMEN	STUDYDATE	TYPE	PRESCRIPTEUR	LOCALISATIC	TITLE	Examen à la	Examen de c	EP positive C	Niveau le plus proximal			Pas d'embolie pulmonaire				Artéfacts		Opacification						
												AP primitive	tronculaire	Lobaire	segmentaire	sous-segmer	Central	Lobaire	segmentaire	sous-segmer	Non mention	Respiratoire	Autres	Excellente	Moyenne	Faible	Non mentionnée	
1458								CUSL	Angio-scann	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	
1459								CUSL	Scanner thor	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
1460								CUSL	Scanner thor	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
1461								CUSL	Scanner thor	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
1462								CUSL	Angioscanné	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0
1463								CUSL	Scanner thor	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0
1464								CUSL	Scanner thor	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1
1465								CUSL	AngioScanné	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0
1466								CUSL	Angioscanné	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0
1467								CUSL	Scanner thor	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
1468								CUSL	Scanner thor	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
1469								CUSL	Angioscanné	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0
1470								CUSL	Angioscanné	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
1471								CUSL	Scanner thor	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
1472								CUSL	Scanner thor	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
1473								CUSL	Angioscanné	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
1474								CUSL	Angioscanné	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0
1475								CUSL	Scanner thor	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
1476								CUSL	Scanner thor	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0
1477								CUSL	Scanner thor	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0
1478								CUSL	Angio-scann	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0
1479								CUSL	CT THORAX-	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
1480								CUSL	Scanner thor	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
1481								CUSL	Angioscanné	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0
1482								CUSL	Scanner thor	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0
1483								CUSL	Scanner thor	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
1484								CUSL	Angioscanné	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1
1485								CUSL	Scanner thor	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
1486								CUSL	Scanner thor	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
1487								CUSL	Scanner thor	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1
1488								CUSL	Scanner thor	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
1489								CUSL	Angioscanné	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
1490								CTA	Angioscanné	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
1491								CTA	Angioscanné	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
1492								CTA	Scanner thor	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
1493								CTA	Scanner thor	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
1494								CTA	Scanner thor	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
1495								CTA	Scanner thor	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
1496								CTA	Scanner thor	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0
1497								CTA	Angioscanné	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
1498								CTA	Angio-scann	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
1499								CTA	Angioscanné	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
1500								CTA	Scanner thor	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
1501								CTA	Scanner thor	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0
1502								CHA	Angioscanné	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
1503								CHA	Scanner thor	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
1504								CHA	Angioscanné	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0
1505								CHA	Angioscanné	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
1506								CHA	Angioscanné	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1

Annexe 1 : Échantillon de la base de données principale

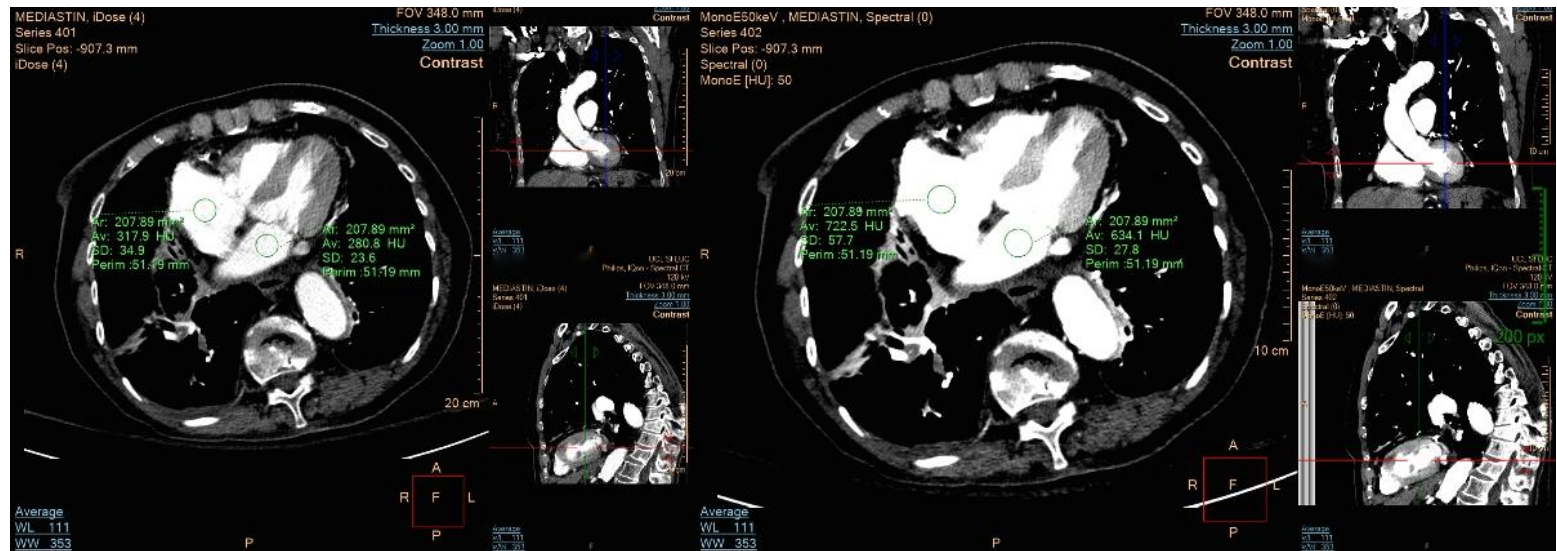
Annexe 2a : Échantillon des prises de mesures de densités



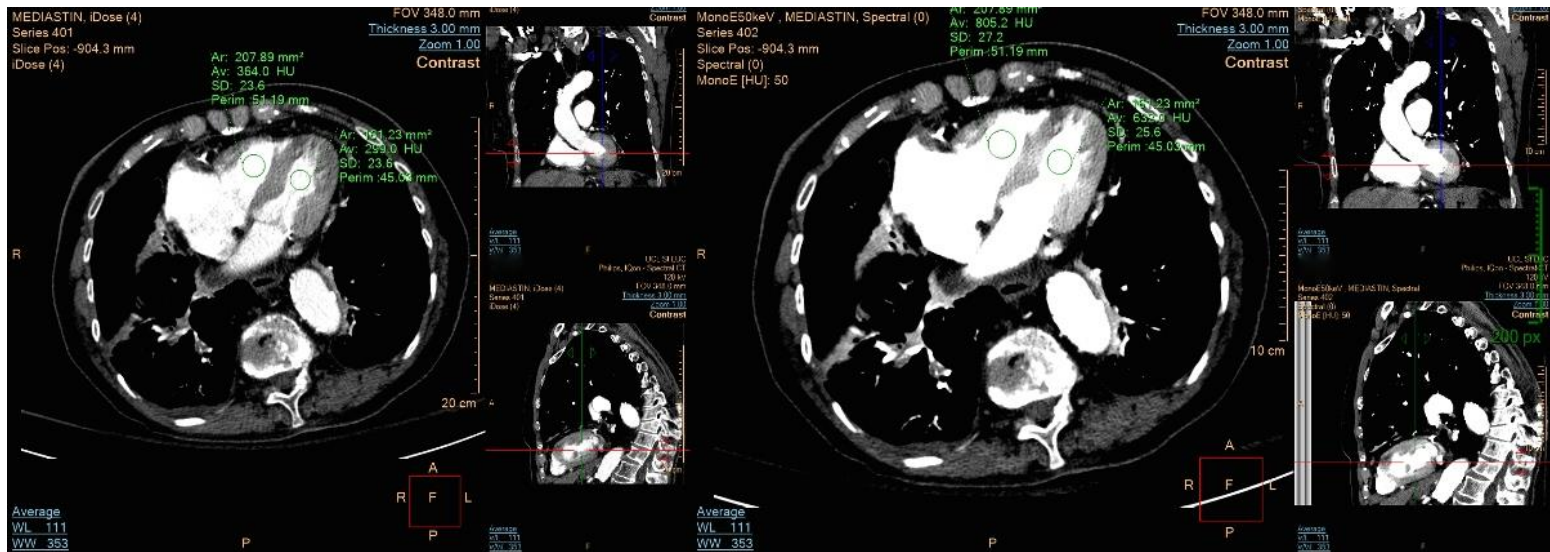
Tronc pulmonaire, artère pulmonaire droite, aortes ascendante et descendante, veine cave supérieure



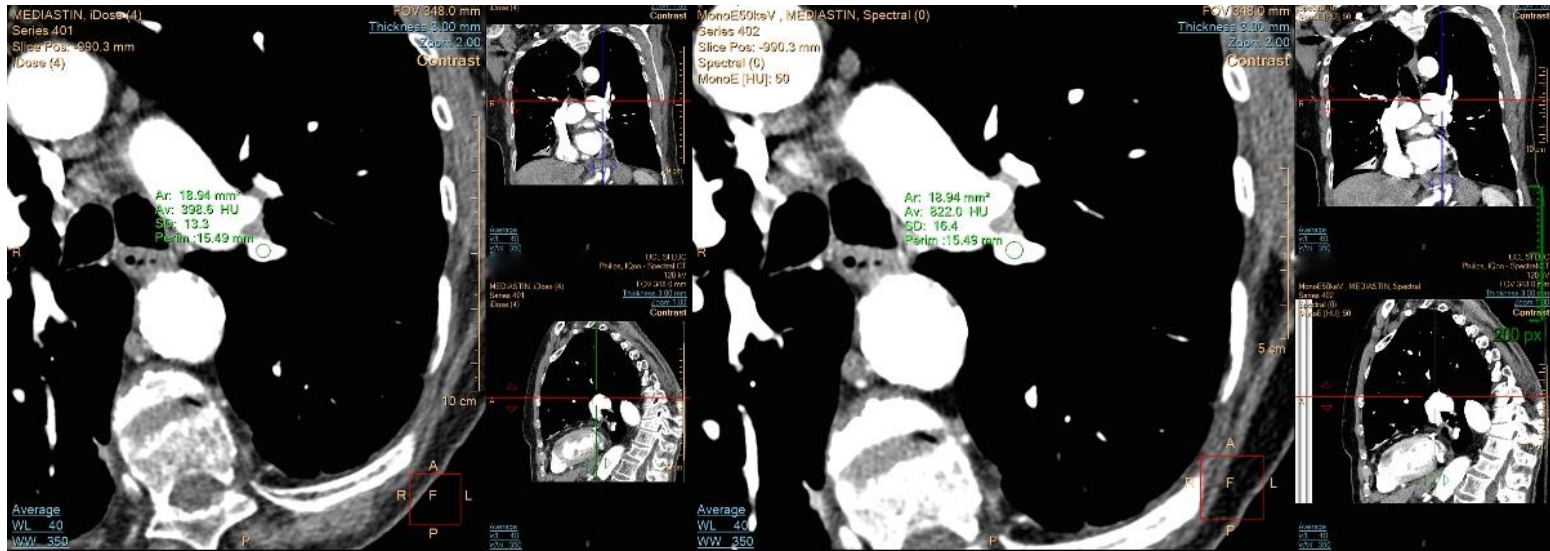
Artère pulmonaire gauche



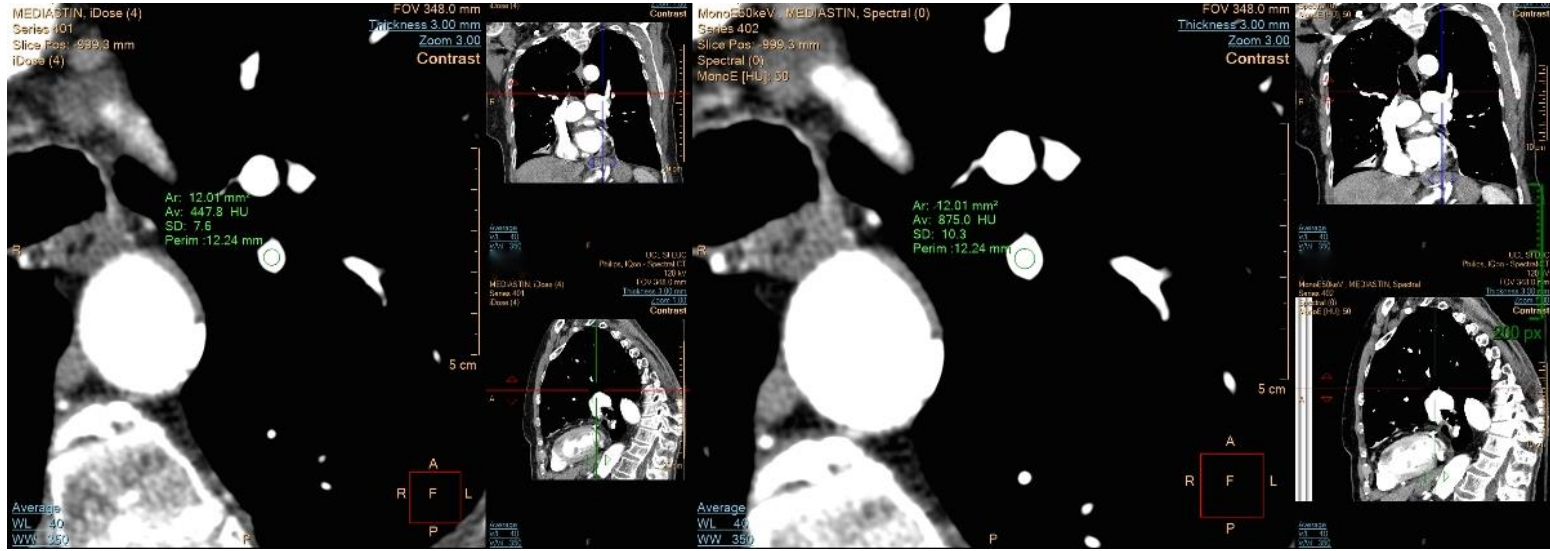
Oreillettes gauche et droite



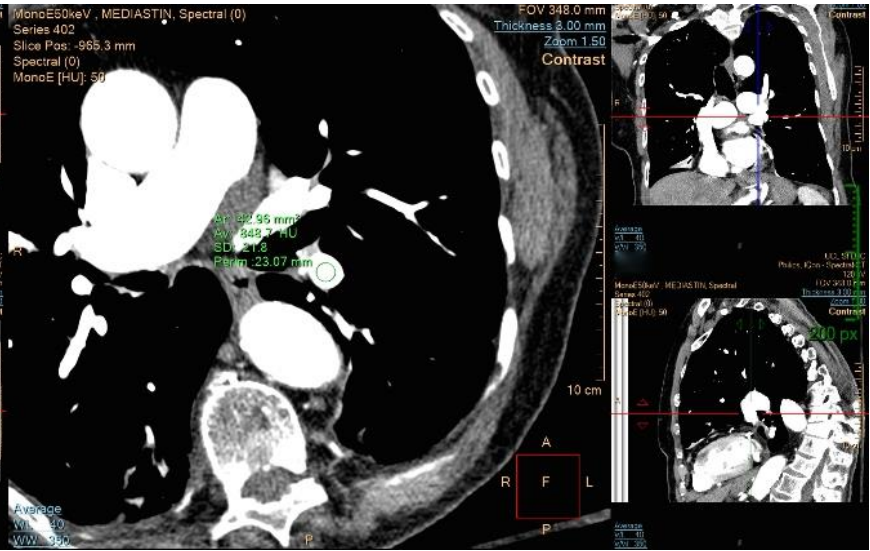
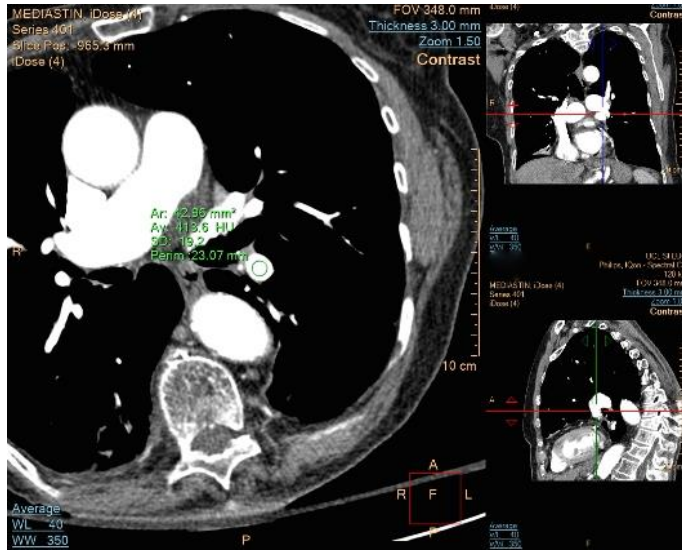
Ventricules gauche et droit



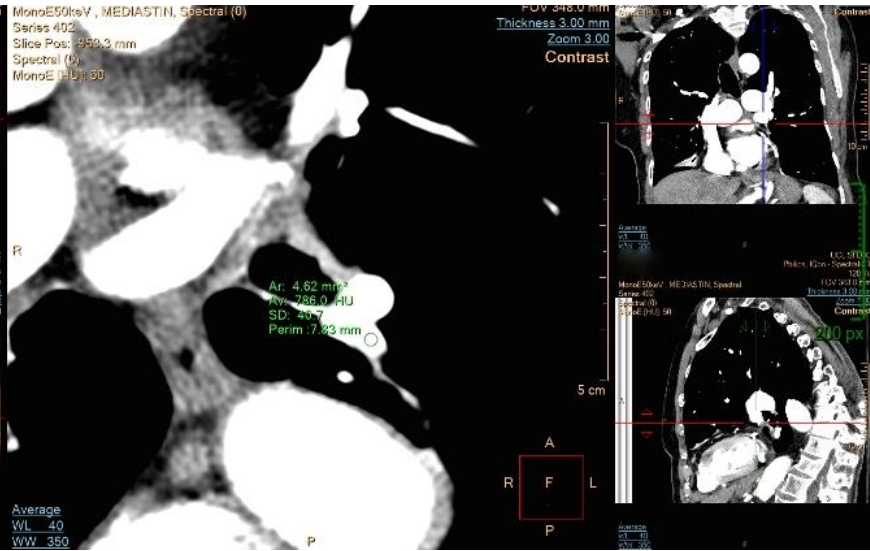
Artère segmentaire postérieure du lobe supérieur gauche (A3G)



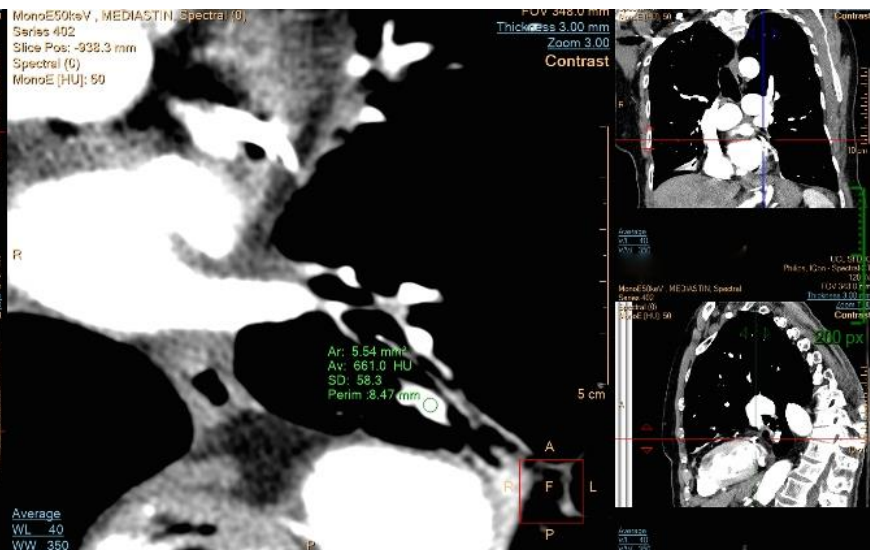
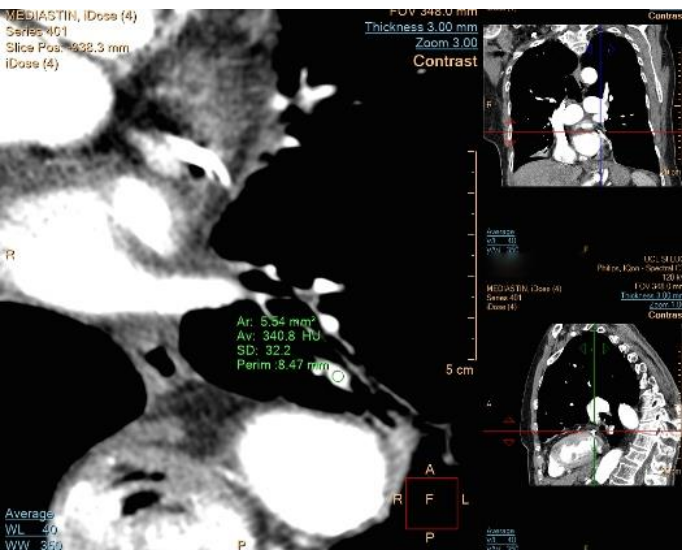
Artère sous-segmentaire postérieure du lobe supérieur gauche (A3G)



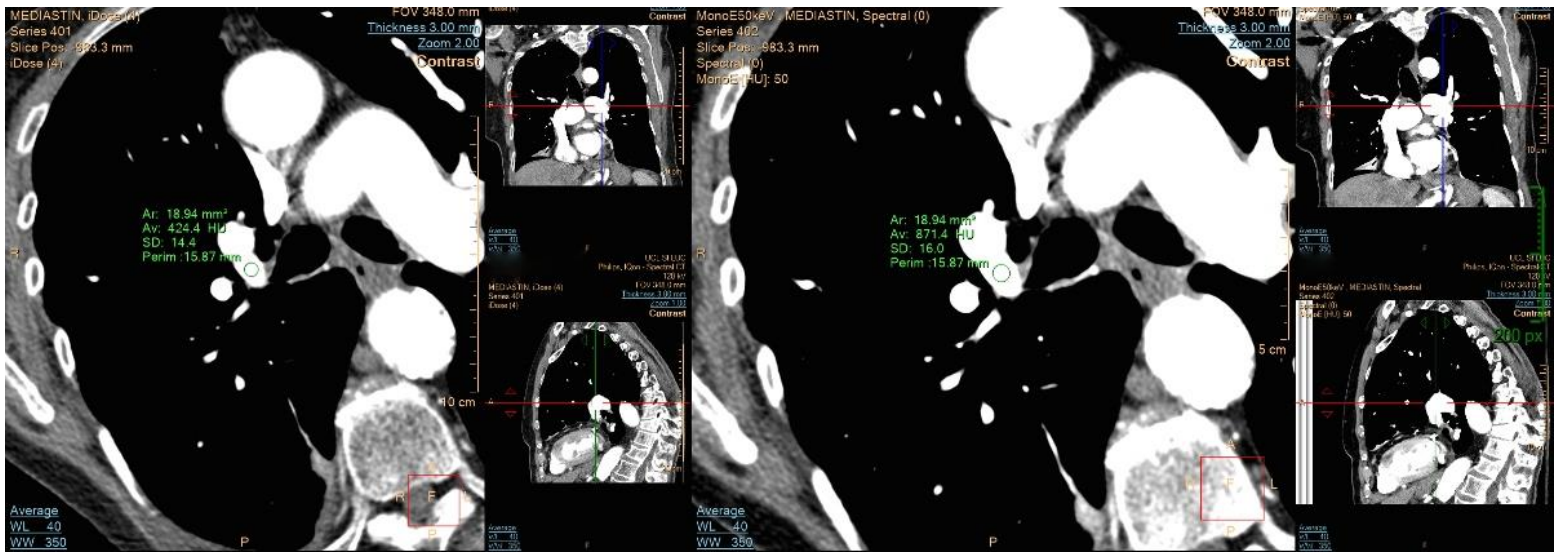
Artère lobaire inférieure gauche



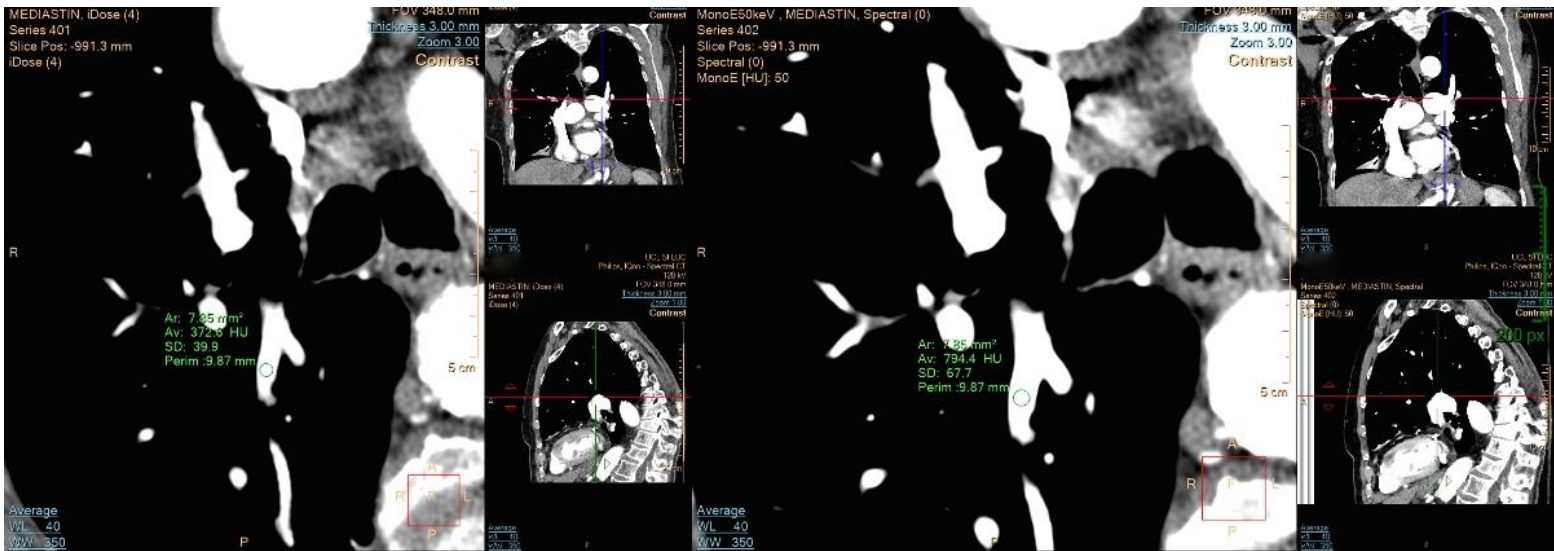
Artère segmentaire postéro-basale du lobe inférieur gauche (A10G)



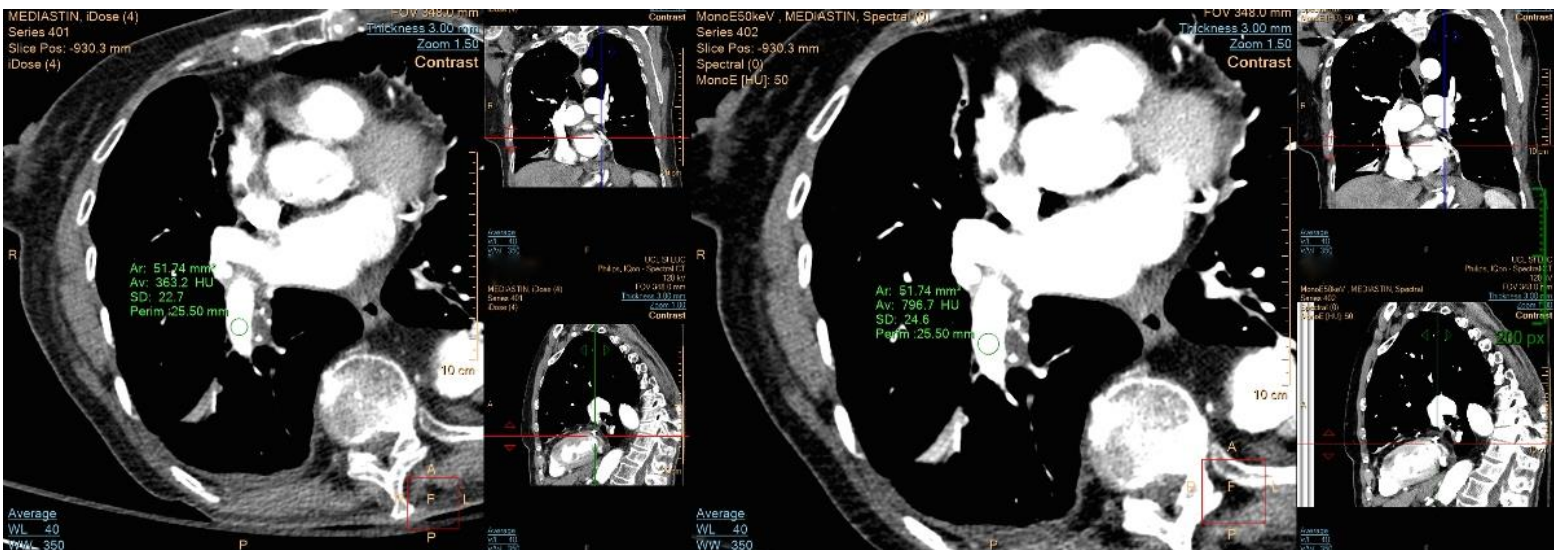
Artère sous-segmentaire postéro-basale du lobe inférieur gauche (A10G)



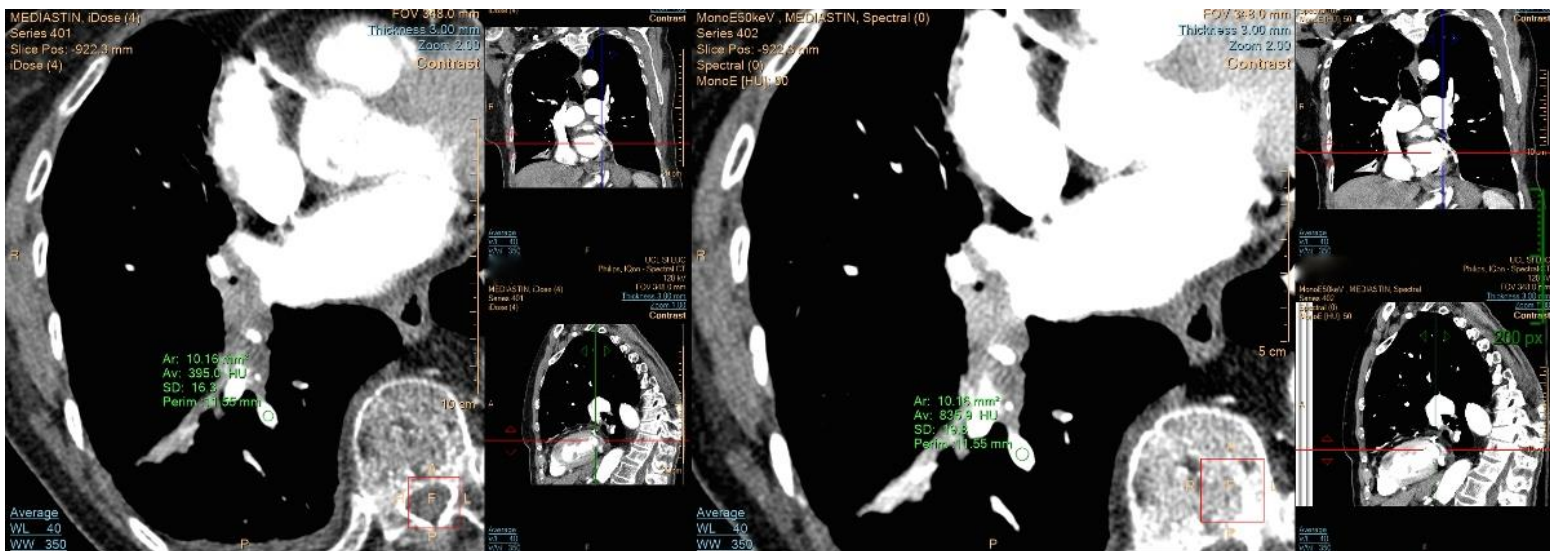
Artère segmentaire postérieure du lobe supérieur droit (A3D)



Artère sous-segmentaire postérieure du lobe supérieur droit (A3D)



Artère lobaire inférieure droite



Artère segmentaire postéro-basale du lobe inférieur droit (A10D)



Artère sous-segmentaire postéro-basale du lobe inférieur droit (A10D)

Annexe 2b : Échantillon des mesures de densités

1	AK	AL	AM	AN	AO	AP	AQ	AR	AS	AT	AU	AV	AW	AX	AY	AZ	BA	BB	BC	BD	BE	BF	BG	BH	BI	BJ	BK	BL	BM	BN	BO	BP	BQ	BR	BS	BT	BV	BW	BX	BY	BZ	CA						
2	Densités (natif: 50key)																																															
3	Tronc	Aorte ascendante				Aorte descendante				VCI	VCS				OD	VD				OG	VG				APD		APG		Segm. P. D		SS. Post. D		Lobaire Inf. D		Segm. Lob. Inf. D		SS. Lob. Inf. D		Segm. P. G		SS. Post. G		Lobaire Inf. G		Segm. Lob. Inf. G		SS. Lob. Inf. G	
143	296	605	126.5	227.7	106.8	189.2	281.7	604.3	632.3	1416.7	414	927	315.7	671.1	164.1	328.4	162	313.2	267.9	564.6	291.6	609.1	328.8	597.2	270.8	478.9	277.4	577.1	290.7	555.1	265.9	528.5	265	516.9	279.7	504.6	281.1	584.3	281.5	567.4	302.6	537.4						
144	371	808.5	323.2	675.9	307.2	663.6	213	449.9	722.6	1683.8	317.9	722.5	364	805.2	280.8	634.1	299	632	391.8	882.2	381.8	851.7	424.4	871.4	372.6	794.4	363.2	796.7	395	835.9	298	649.3	398.6	822	447.8	875	413.6	848	393.2	786	360.8	661						
145	312.1	689.8	272.7	586.4	251.4	556.3	69	104.1	333.1	734.1	364.5	867.4	310.1	700.8	258.7	606.2	257.4	585	299.6	698.3	313.5	720.9	351.1	693.6	292.3	607.9	311.5	691.2	309	656.2	323.6	644.6	293.7	588.5	324.8	647.7	311.6	676	318.6	637.9	362.4	562.4						
146	367	791.7	228.1	455.3	166.4	318.5	96.3	158.3	949.7	2297.9	634.3	1522.8	256.7	540.2	239.6	550.9	398.6	918.8	344.9	771.6	359.3	786.3	381.8	770.2	348.5	719.9	349.5	755.2	350.1	753.3	366.9	748.2	364.8	767.7	336.5	709.2	367.5	778.3	350.8	751.3	370.3	791.9						
147	279.8	603.6	236.3	494.7	244.6	244.6	45.5	68.3	413.3	900.8	262.6	543.6	215.3	434.9	218.3	471.8	202	425.7	291.6	642.3	285.9	656.6	375.2	747	288.8	628.5	298.6	577	269.9	509.8	270.1	527.1	326.9	643.2	308.6	625.6	327.8	681	305.4	619.2	315.8	606.1						
148	361.4	819	288.5	631.4	276.1	600.8	88.5	156.8	788.9	1856	563.4	1357.8	378.7	862.3	260.6	594.5	277.9	605.3	376.2	870.1	401	906.8	388.7	844.4	354.8	745.4	385.2	822.4	421.6	870.2	418.8	855.8	417.6	883.2	414.2	886.3	424	906.8	392	827.7	417.5	872.6						
149	118	209.8	177.4	348	148	287.7	75.1	122	487.7	1092.5	216.6	436	134.3	233.7	222.9	473.9	221.4	453.4	118.2	212.6	131.6	239	137.5	221.5	134.6	250.9	124.4	243	137.6	289.3	128	272.4	114.6	217.7	139.3	232.3	131.2	233	134.6	270.3	164.6	297.6						

VCI = veine cave inférieure. VCS = veine cave supérieure. OD = oreillette droite. VD = ventricule droit. OG = oreillette gauche. VG = ventricule gauche. APD = artère pulmonaire droite.

APG = artère pulmonaire gauche. Segm. P.D = artère segmentaire postérieure du lobe supérieur droit (A3D). SS. Post. D. = artère sous-segmentaire postérieure du lobe supérieur droit (A3D).

Lobaire inf. D = artère lobaire inférieure droite. Segm. Lob. Inf. D = artère segmentaire postéro-basale du lobe inférieur droit (A10D). SS. Lob. Inf. D = artère sous-segmentaire postéro-basale du lobe inférieur droit (A10D).

Segm. P.G = artère segmentaire postérieure du lobe supérieur gauche (A3G). SS. Post. G. = artère sous-segmentaire postérieure du lobe supérieur gauche (A3G). Lobaire inf. G = artère lobaire inférieure gauche.

Segm. Lob. Inf. G = artère segmentaire postéro-basale du lobe inférieur gauche (A10G). SS. Lob. Inf. G = artère sous-segmentaire postéro-basale du lobe inférieur gauche (A10G).

Annexe 2c : Examens compatibles avec la présence d'un TIC

<u>Examens compatibles avec la présence d'un TIC</u> %	EP + (n=291)	EP + centrale (n= 139)	EP + périphérique (n=152)
Ratio aorto-pulmonaire > 1	9.3 (n=27)	11.5 (n=16)	7.2 (n=11)
Ratio aorto-pulmonaire > 1 et Gradient de densité Ao./APG > 10 UH	8.2 (n=24)	10 (n=14)	6.6 (n=10)

Ao. = aorte. APG = artère pulmonaire gauche.

Sur les 291 examens positifs pour EP, 3 (1%) ont fait l'objet d'une nouvelle acquisition (1 EP centrale et 2 EP périphériques).

Sur les 291 examens positifs pour EP, 55 (18.9%) (21 EP centrales et 34 EP périphériques) présentaient une densité mesurée dans le tronc pulmonaire inférieure à 250 UH.

UNIVERSITÉ CATHOLIQUE DE LOUVAIN
Faculté de médecine et médecine dentaire

Avenue Mounier, 50 bte B1.50.04, 1200 Woluwe-Saint-Lambert, Belgique | www.uclouvain.be/mede