

UNIVERSITÉ DE STRASBOURG

FACULTÉ DE MÉDECINE, MAÏEUTIQUE ET SCIENCES DE LA SANTÉ

ANNEE : 2023

N° : 123

THÈSE  
PRÉSENTÉE POUR LE DIPLÔME D'ÉTAT  
DE DOCTEUR EN MÉDECINE

Diplôme d'État

Mention : Radiodiagnostic et imagerie médicale

Par

Nathan SEBAG

Né le 4 février 1994 à Senlis

---

DÉTECTION PAR DEEP LEARNING DES EMBOLIES  
PULMONAIRES SUR LES ANGIOSCANNERS THORACIQUES :  
ÉTUDE RÉTROSPECTIVE DES PERFORMANCES  
DIAGNOSTIQUES EN CONTEXTE D'URGENCE

---

Président de thèse : Professeur Catherine ROY

Directeur de thèse : Professeur Mickaël OHANA



















## C - ENSEIGNANTS ASSOCIÉS DE MÉDECINE GÉNÉRALE

### CC - PROFESSEURS ASSOCIÉS DES UNIVERSITÉS DE MÉDECINE GÉNÉRALE (mi-temps)

Dr An. DANIELA  
 Dr An. BRESIANI  
 Dr An. SUCU-BEST-OLAVIA  
 Dr An. SUCU-BEST-OLAVIA  
 Dr An. SUCU-BEST-OLAVIA  
 Dr An. SUCU-BEST-OLAVIA  
 Dr An. SUCU-BEST-OLAVIA

### CC - MAÎTRE DE CONFÉRENCES DES UNIVERSITÉS DE MÉDECINE GÉNÉRALE - TITULAIRE

Dr An. SUCU-BEST-OLAVIA  
 Dr An. SUCU-BEST-OLAVIA

### CC - MAÎTRES DE CONFÉRENCES ASSOCIÉS DES UNIVERSITÉS DE MÉDECINE GÉNÉRALE (mi-temps)

Dr An. SUCU-BEST-OLAVIA  
 Dr An. SUCU-BEST-OLAVIA  
 Dr An. SUCU-BEST-OLAVIA  
 Dr An. SUCU-BEST-OLAVIA  
 Dr An. SUCU-BEST-OLAVIA

## E - PRATICIENS HOSPITALIERS - CHEFS DE SERVICE NON UNIVERSITAIRES

Dr ANTONIU Daniela	• Fk de Neurologie • Serviciu de Neurologie (Spitalul de Neurologie și Psihiatrie)
Dr DEVASI Maria	• Fk de Oncologie medicală (Spitalul de Oncologie și Hematologie) • Serviciu de Oncologie medicală / Spital
Măd. Dr. GURZU Daniela	• Fk de Farmaciologie toxicologică • Serviciu de Farmaciologie Toxicologică / Spitalul de Urgențe
Dr. KOCIOI Ruxandra	• Fk de Geriatrie • Serviciu de Geriatrie (Spitalul de Geriatrie și Gerontologie) / Spitalul de Urgențe
Dr. LUPULEA Maria	• Fk de Pneumologie (Spitalul de Pneumologie și Alergiologie) • Serviciu de Pneumologie și Alergiologie / Spitalul de Urgențe
Dr. MARIU Catalin	• Fk de Cardiologie și Cardiologie • Serviciu de Cardiologie și Cardiologie / Spitalul de Urgențe
Măd. Dr. MIRONIUC	• Fk de Pneumologie (Spitalul de Pneumologie și Alergiologie) • Serviciu de Pneumologie și Alergiologie / Spitalul de Urgențe
Dr. PĂUNU Daniela	• Fk de Ginecologie și Obstetrică • Serviciu de Ginecologie și Obstetrică / Spitalul de Urgențe
Dr. PĂUNU Daniela	• Fk de Pediatrie (Spitalul de Pediatrie și Neonatologie) • Serviciu de Pediatrie și Neonatologie / Spitalul de Urgențe
Măd. Dr. SUCU-BEST-OLAVIA Daniela	• Fk de Geriatrie • Serviciu de Geriatrie (Spitalul de Geriatrie și Gerontologie) / Spitalul de Urgențe
Măd. Dr. SUCU-BEST-OLAVIA Daniela	• Fk de Ginecologie și Obstetrică • Serviciu de Ginecologie și Obstetrică / Spitalul de Urgențe
Dr. TICHOMIR Daniela	• Fk de Medicină Generală de Familie • Serviciu de Medicină Generală de Familie (Spitalul de Urgențe)
Măd. Dr. VOICĂ Ana	• Fk de Ginecologie și Obstetrică (Spitalul de Ginecologie și Obstetrică) • Serviciu de Ginecologie și Obstetrică / Spitalul de Urgențe

## F1 - PROFESSEURS ÉMÉRITES

- à compter de leur inscription définitive
- 1. CHESTNUT Peter (Histoire et Études régionales)  
Mandat : 2000-2001 (jusqu'à fin de mandat)
  - 2. pour mandats (à compter de 2002 au 31 août 2020)  
Mandat : 2002-2003 (jusqu'à fin de mandat)  
CHESTNUT Peter (Histoire et Études régionales)  
Mandat : 2004-2005 (jusqu'à fin de mandat)  
GILBERT Gene (Histoire et Études régionales)  
Mandat : 2006-2007 (jusqu'à fin de mandat)  
GILBERT Gene (Histoire et Études régionales)  
Mandat : 2008-2009 (jusqu'à fin de mandat)  
Mandat : 2010-2011 (jusqu'à fin de mandat)  
Mandat : 2012-2013 (jusqu'à fin de mandat)  
Mandat : 2014-2015 (jusqu'à fin de mandat)  
Mandat : 2016-2017 (jusqu'à fin de mandat)  
Mandat : 2018-2019 (jusqu'à fin de mandat)
  - 3. pour mandats (à compter de 2022 au 31 août 2024)  
Mandat : 2022-2023 (jusqu'à fin de mandat)  
Mandat : 2024-2025 (jusqu'à fin de mandat)
  - 4. pour mandats (à compter de 2026 au 31 août 2028)  
Mandat : 2026-2027 (jusqu'à fin de mandat)

## F2 - PROFESSEUR des UNIVERSITÉS ASSOCIÉ (mi-temps)

N. S. A. P. H. O.      O. U. - U.      F. C. O.

## F3 - PROFESSEURS CONVENTIONNÉS DE L'UNIVERSITÉ

Dr. STANBON Dominique	1819-2020
Dr. BENOÎT Pierre	1819-2019
Dr. LATOUCHE G.	1819-2020
Dr. MAITRE Antoine	1819-2020
Dr. MAITRE G. Gabriel	1819-2019
Dr. PÉLÉSSIER	1819-2020
Dr. COMBETTE Catherine	1819-2020





## SERMENT D'HIPPOCRATE

*« En présence des maîtres de cette école, de mes chers condisciples, je promets et je jure au nom de l'Être suprême d'être fidèle aux lois de l'honneur et de la probité dans l'exercice de la médecine. Je donnerai mes soins gratuits à l'indigent et n'exigerai jamais un salaire au-dessus de mon travail.*

*Admis à l'intérieur des maisons, mes yeux ne verront pas ce qui s'y passe.*

*Ma langue taira les secrets qui me seront confiés et mon état ne servira pas à corrompre les mœurs ni à favoriser les crimes.*

*Respectueux et reconnaissant envers mes maîtres je rendrai à leurs enfants l'instruction que j'ai reçue de leurs pères.*

*Que les hommes m'accordent leur estime si je suis resté fidèle à mes promesses.*

*Que je sois couvert d'opprobre et méprisé de mes confrères si j'y manque. »*

# REMERCIEMENTS

## Aux membres de mon jury

À **Madame la Professeur Catherine ROY**, vous me faites l'honneur de présider ce jury.

Merci de m'avoir transmis une partie de votre immense savoir au cours de mes différents stages au NHC. Je vous remercie de me faire l'honneur d'évaluer ce travail.

À **Monsieur le Professeur Mickael OHANA**, directeur de cette thèse

Pour ta pédagogie et ton expertise. Je te remercie de m'avoir enseigné tes connaissances lors de mes différents stages au NHC. Merci pour m'avoir guidé tout au long de ce travail et pour le temps que tu as consacré afin de mener à bien ce projet !

**Au Docteur Aissam LABANI**, pour ta gentillesse, ta patience. Tout au long de mon internat, tes conseils avisés, ont été très précieux pour moi. Je te remercie de me faire l'honneur d'évaluer ce travail.

**Au Docteur Phillippe SCHINKEVITCH-SORBIER**, tu m'as vu évoluer dès mes tout premiers pas à Strasbourg. Je te remercie de me faire l'honneur d'évaluer ce travail

## A ma famille

**A ma mère**, la plus incroyable des femmes. La douceur et la gentillesse sont les caractéristiques qui te définissent le mieux. Toujours soucieuse de mon bien-être, toujours de bonne humeur et avenante, tu illumines ce monde, mon monde à chaque instant !

**A mon père**, mon pilier qui m'a façonné et m'a fait grandir. Tu as toujours fait en sorte que nous ne manquions de rien. Pas le plus expressif des papas mais certainement le plus attentif et le plus soucieux pour ses enfants. Merci de m'avoir soutenu au cours de ce long projet.

**A Nana et Manu**, la soeurette et le frerot. On aura quand même bien rigolé. Ma vie n'aurait pas été la même sans vous. Merci de m'avoir supporté et accompagné durant ces années. (Et merci pour le Excel et la relecture experte)

**A mamie Alice**, la matriarche de la famille Sebag, tu as toujours été là pour tes petits-enfants en tout temps.

**A mamie Paulette et papy Jaïs**, j'aurai tant aimé vous avoir à mes côtés en ce jour. Vous me manquez. Je suis sûr que de là-haut, vous veillez sur moi.

**A papy Robert**, que je n'ai pas eu la chance de connaître, je suis sûr que de là ou tu es, tu es fier que ton petit-fils soit "Docteur".

**A la famille DE ALMEIDA, Isabelle, Manuel, Alexis, Jérémy et maintenant Mathilde**

Ma 2 ème famille, que de fous rires et autres dingeries passés au 8 rue Henri Barbusse à Thiverny. Du terrain de foot devant "chez Isabelle ", au collège AMJ ou au club d'échecs de Creil, vous faites partie intégrante de ma vie.

## A mes amis et cointernes

A **Jerem et Léo**, les colocs de la Synagod. Que de bons moments passés avec vous pendant ces 3 ans. De la pendaison de crémaillère, aux soirées Bunny's ou aux exploits de chacun. Je vous aime !

A **Hadrien, Tangoche et Camille**, mes "nouveaux" colocs d'amour. Vous incarnez la cool attitude à son paroxysme et c'est bien pour cela que je vous kiff. Hâte de découvrir les nouvelles aventures qui nous attendent...

A **Antoine**, l'ami que tout le monde voudrait avoir. Merci d'exister mon latéral gauche (droitier) préféré.

A **Cécile**, ma découverte de milieu d'internat, merci d'être là au quotidien pour moi. Tu es une personne superbe (Et les goldens c'est mieux que les corgis).

A **Ludivine**, ma poto de radiologie. Trio devenu duo mais qu'importe, je suis très heureux d'avoir pu évoluer à tes côtés au cours de ce (mouvementé) internat !!

A mon ami de toujours, **Adrien (alias le Toss)**, 15 ans qu'on se connaît et malgré des choix personnels et professionnels différents, toujours un plaisir de t'avoir à mes côtés

Aux deux Paul d'Amiens, **PJ et PL**. Bien que l'internat et ses péripéties nous ont séparés, on aura quand même bien rigolé pendant ces 7 ans à Ômiens.

A **Yoanna et Jules**, notre cohabitation n'aura été que de trop courte de durée ! Restez comme vous êtes.

A **Marine**, découverte récente de la coloc, haute en couleurs !

Aux autres copains de la team internat (#confinement) de Mulhouse : **Hubert, Antoine, ML, Elo et Feli**.

A **Pierre**, le co-interne parfait ! Merci d'avoir rendu ce semestre d'interventionnel si dingue !

A la team Haguenau, **Seb, le Dr Le, Clem et Slim**, semestre princier passé à vos côtés !!



A la team pharma, **Laure, Mathilde et Elisa**, mes cagoles préférées

Aux autres copains non-radiologues découverts au cours de l'internat : **Syna, Babeth, Max, Léa, Olivier, Simon, Samuel, Marion, Thib, Joséphine...** et ceux que j'oublie !!

A mes autres co-internes et amis, certains devenus chefs : **Elias, Jean, Nora, Gaspard, Rodolphe, Adrien, Julien, Sophie, Théo, Corentin, Axelle** et tous les autres, merci !!

*A la vie ... Le'haïm !*

## Table des matières

<b>I.</b>	<b>Introduction .....</b>	<b>20</b>
<b>II.</b>	<b>Matériel et méthode.....</b>	<b>23</b>
1.	Population de l'étude .....	23
2.	Angioscanner thoracique .....	24
3.	Logiciel d'IA.....	25
4.	Statistiques .....	27
<b>III.</b>	<b>Résultats .....</b>	<b>28</b>
1.	Flow chart .....	28
2.	Analyse en sous-groupes .....	30
2.1	Niveau de l'embolie .....	30
2.2	Sexe .....	31
2.3	Âge.....	31
3.	Causes d'erreurs du logiciel.....	32
3.1	Faux positifs .....	32
3.2	Faux négatifs .....	35
4.	Causes de non-analyse .....	37
<b>IV.</b>	<b>Discussion .....</b>	<b>38</b>
<b>V.</b>	<b>Conclusion .....</b>	<b>41</b>

# LISTE DES ILLUSTRATIONS

## FIGURES

Figure 1 : Embolie pulmonaire.....	26
Figure 2 : Absence d'embolie pulmonaire.....	26
Figure 3 : Faux positif (artéfacts cinétiques).....	33
Figure 4 : Faux positif (lésion tumorale).....	33
Figure 5 : Faux positif (formation ganglionnaire).....	34
Figure 6 : Faux positif (matériel chirurgical) .....	34
Figure 7 : Faux négatif (artéfacts cinétiques/respiratoires).....	35
Figure 8 : Faux négatif (embolie pulmonaire distale).....	36
Figure 9 : Faux négatif (inexpliquée).....	36

## TABLEAUX

Tableau 1 : Performances diagnostiques en fonction du niveau de l'embolie ...	30
Tableau 2 : Performances diagnostiques en fonction du sexe .....	31
Tableau 3 : Performances diagnostiques en fonction de l'âge.....	31
Tableau 4 : Causes de faux positifs.....	32
Tableau 5 : Causes de faux négatifs .....	35
Tableau 6 : Performances diagnostiques des différentes études .....	38

## I. Introduction

La maladie thrombo-embolique veineuse (MTEV) est une affection courante en France se caractérisant par deux formes principales, la thrombose veineuse profonde (TVP) et l'embolie pulmonaire (EP).

L'embolie pulmonaire, sa forme la plus grave et potentiellement mortelle, entraîne l'hospitalisation d'environ 35 000 patients par an en France avec une mortalité hospitalière de l'ordre de 5% (1).

Elle survient lorsqu'un caillot de sang, généralement formé dans une veine profonde des membres inférieurs (TVP), se détache et migre vers les artères pulmonaires. Cette obstruction entrave la circulation sanguine normale vers les poumons, entraînant une diminution de l'oxygénation du sang et une détérioration de la fonction pulmonaire.

Le diagnostic d'EP repose sur une combinaison de critères cliniques et paracliniques. Les outils d'imagerie tels que l'angioscanner thoracique, l'échocardiographie (ETT) et/ou la scintigraphie pulmonaire de ventilation/perfusion jouent un rôle essentiel dans la confirmation du diagnostic et l'évaluation de l'étendue de l'obstruction vasculaire. (2)

Parmi ces différentes modalités d'imagerie non invasives, l'angioscanner thoracique est devenu une référence incontournable en raison de ses performances diagnostiques élevées (3) avec selon une méta analyse récente une sensibilité et une spécificité de respectivement 0.94 (95% IC, 0.89-0.97) et 0.98 (95% IC, 0.97-0.99) (4), de son intérêt dans le diagnostic différentiel et de sa disponibilité en urgence.

Outre le diagnostic positif, l'angioscanner permet une stratification des patients atteints d'EP en fournissant des informations essentielles pour orienter les décisions thérapeutiques. Il permet d'évaluer la gravité de l'obstruction vasculaire, l'impact sur la

fonction cardiaque, la présence de complications telles que l'infarctus pulmonaire, ainsi que l'identification des patients à haut risque nécessitant une prise en charge intensive.(5)

L'interprétation des angioscanners thoraciques pour la détection des embolies pulmonaires est un processus complexe et exigeant. Les radiologues doivent examiner de multiples images sur cet examen en coupes et analyser différentes structures anatomiques afin de détecter une éventuelle obstruction vasculaire.(6)

L'intelligence artificielle (IA) émerge comme un outil prometteur dans le domaine de l'imagerie médicale. Le Deep Learning en est une branche dont le principe repose sur l'utilisation de réseaux de neurones profonds pour apprendre et extraire des caractéristiques complexes à partir de données et ce de manière autonome, sans nécessiter une programmation explicite. (7)

Le Deep Learning a connu des avancées majeures ces dernières années, contribuant à des percées dans des domaines tels que la vision par ordinateur, le traitement du langage naturel ou la médecine et notamment le radiodiagnostic.

L'IA présente pour le moment des résultats encourageants pour la détection de plusieurs pathologies comme par exemple l'hémorragie intracrânienne sur des scanners cérébraux sans injection (Sensibilité 0.78 et Spécificité 0.80 selon Lee et al.). (8–11)

Les performances pour la détection des embolies pulmonaires par l'IA apparaissent également prometteuses avec selon Liu et al. une sensibilité et une spécificité de respectivement 0.95 et 0,77. (12,13)

Cependant, les performances diagnostiques des nouveaux algorithmes d'aide à la détection des EP par Deep Learning ont majoritairement été évalués dans des contextes de recherche, sur des jeux de données maîtrisés et ne reflétant pas forcément l'hétérogénéité rencontrée en pratique clinique.

Notre service a été équipé en décembre 2022 d'un logiciel d'IA pour la détection des EP qui est en cours de validation, et dont les performances diagnostiques en vie réelle étaient mal connues.

Notre objectif principal est donc de déterminer de manière rétrospective les performances diagnostiques d'un algorithme commercial de Deep Learning de détection d'embolie pulmonaire, et ce dans les conditions de l'urgence hospitalière.

Nos objectifs secondaires sont d'identifier les causes potentielles d'erreurs de ce logiciel et les causes de non-analyse du logiciel.

## II. Matériel et méthode

Le consentement éclairé des patients n'a pas été nécessaire en raison du caractère rétrospectif de l'étude.

### 1. Population de l'étude

Tous les patients adultes ayant bénéficié d'un angioscanner thoracique pour suspicion d'embolie pulmonaire au Nouvel Hôpital Civil (NHC) du CHRU de Strasbourg (Alsace, France) ont été considérés pour inclusion dans cette étude monocentrique rétrospective.

Les critères d'inclusion étaient donc :

- patients adultes ( $\geq 18$  ans) ;
- angioscanner thoracique réalisé pour suspicion clinique ou paraclinique d'embolie pulmonaire, sur demande du médecin urgentiste ;
- pendant la période de fonctionnement du logiciel d'IA (de février à mai 2023) ;
- avec imagerie archivée et disponible sur notre PACS.

Il n'y avait pas de critères d'exclusion. En particulier, pas d'exclusion sur des critères de qualité d'image ou de positivité/négativité de l'examen angioscanographique.

Pour chaque patient inclus, les éléments suivants étaient collectés par un même opérateur (NS, radiologue avec 4 ans d'expérience en TDM), sur la base des informations obtenues dans le RIS et également sur la base du compte-rendu initial validé par un radiologue senior :

- Âge du patient ;
- Sexe du patient ;
- Détection d'une embolie pulmonaire ou non par le radiologue senior ;



- Niveau de l'embolie pulmonaire : tronculaire, lobaire, segmentaire ou sous-segmentaire ;
- Analyse ou non de l'examen par le logiciel d'IA ;
- Détection d'une embolie pulmonaire ou non par le logiciel ;
- Eventuelle analyse par un logiciel "concurrent" (détection de la dissection aortique) si analyse non réalisée pour l'embolie pulmonaire.

## **2. Angioscanner thoracique**

Chaque patient a bénéficié d'un angioscanner pulmonaire sur un scanner 80 barrettes (Aquilion PRIME SP, Canon).

Les paramètres d'acquisition étaient pour tous les patients :

- Collimation 0.5 x 80 ;
- Pitch : Standard ;
- Temps de rotation : 0,35 s ;
- Intensité : modulation (SD 11 – mA max 500 mA – mA min 150) ;
- 100 Kv.

Les paramètres d'injection étaient :

- Produit de contraste : Iomeron 400 ;
- Protocole d'injection : 50 ml de PDC en 12.5 s (4 ml/s) suivi de l'injection de 30 ml de sérum physiologique en 8,6 s (3,5 ml /s) ;
- Paramètres de déclenchement de l'acquisition : déclenchement automatique à 220 UH (mise en place manuelle du ROI au sein du tronc de l'artère pulmonaire).

Les paramètres de reconstruction étaient :

- Epaisseur de coupe : 1 mm ;
- Filtre de reconstruction : FC17- H (Hybride) ;
- Algorithme de reconstruction : AIDR3D.

### **3. Logiciel d'IA**

Le logiciel d'IA utilisé est Automation Platform avec l'application CINA-PE de l'entreprise INCEPTO.

Ce logiciel, ici en version commerciale a été entraîné sur 396 angioscanners thoraciques dans 230 villes de 44 états américains avec validation par 3 radiologues américains.

Les paramètres préliminaires obligatoires vérifiés par le logiciel avant de pouvoir réaliser l'analyse étaient :

- Taille de matrice  $\geq 512 \times 512$  ;
- Epaisseur de coupe  $\leq 2,5$  mm ;
- Tension : 60 à 160 kv (recommandé 80 à 120kv) ;
- Densité au sein du tronc de l'artère pulmonaire après injection au moment de l'acquisition  $\geq 180$  UH (recommandé  $\geq 200$  UH) ;
- Ratio de densité entre le tronc de l'artère pulmonaire et l'aorte ascendant au moment de l'injection  $\geq 0,95$  (recommandé  $\geq 1$ ).

Si une embolie pulmonaire était détectée par l'algorithme, une série contenant au maximum 3 coupes avec annotation de l'embolie était envoyée sur le PACS (figure1).

S'il n'y avait pas d'embolie détectée, une série contenant une image unique était envoyée sur le PACS avec l'annotation "*No findings suggestives of PE detected*" (figure2).



FIGURE 1 : EMBOLIE PULMONAIRE

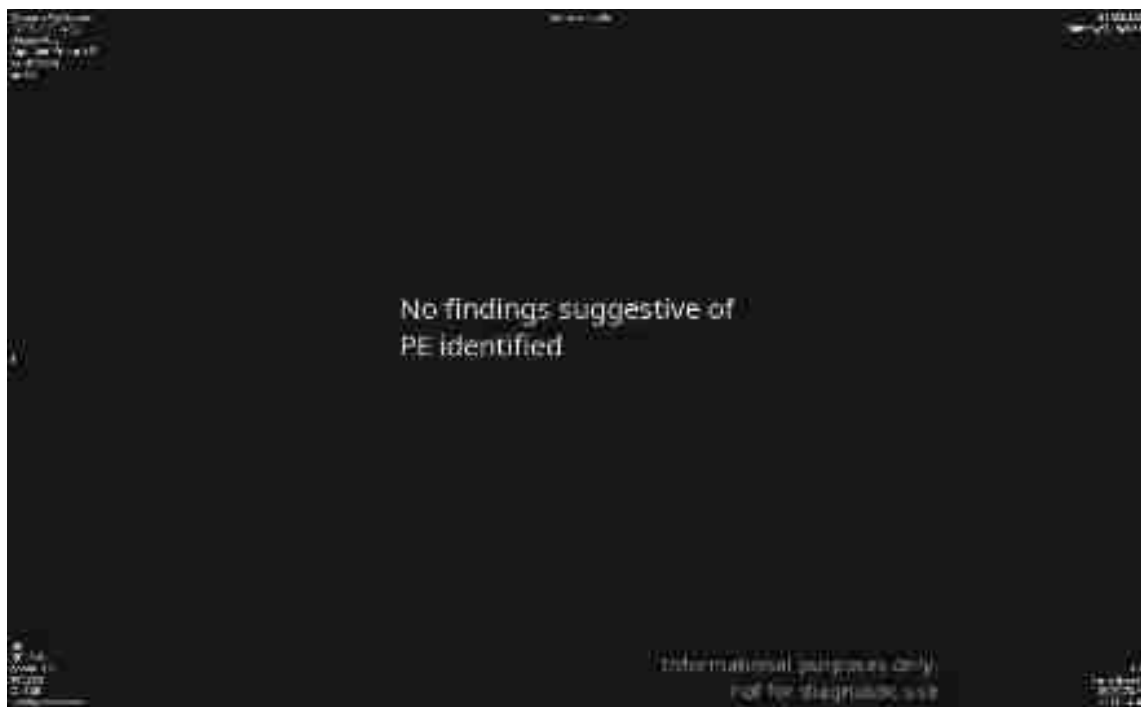


FIGURE 2 : ABSENCE D'EMBOLIE PULMONAIRE

#### 4. Statistiques

L'analyse portait uniquement sur des statistiques descriptives avec mesure de la prévalence, de la sensibilité, de la spécificité, de la VPN et la VPP. Le Gold Standard était l'analyse de l'examen par le radiologue senior. Cependant, tous les cas discordants entre l'analyse IA et l'analyse du radiologue ont été revus par un radiologue expert en imagerie thoracique et cardiovasculaire (MO, avec 17 ans d'expérience en TDM).

Un vrai positif était défini comme un patient avec une EP détectée par le radiologue senior et par le logiciel.

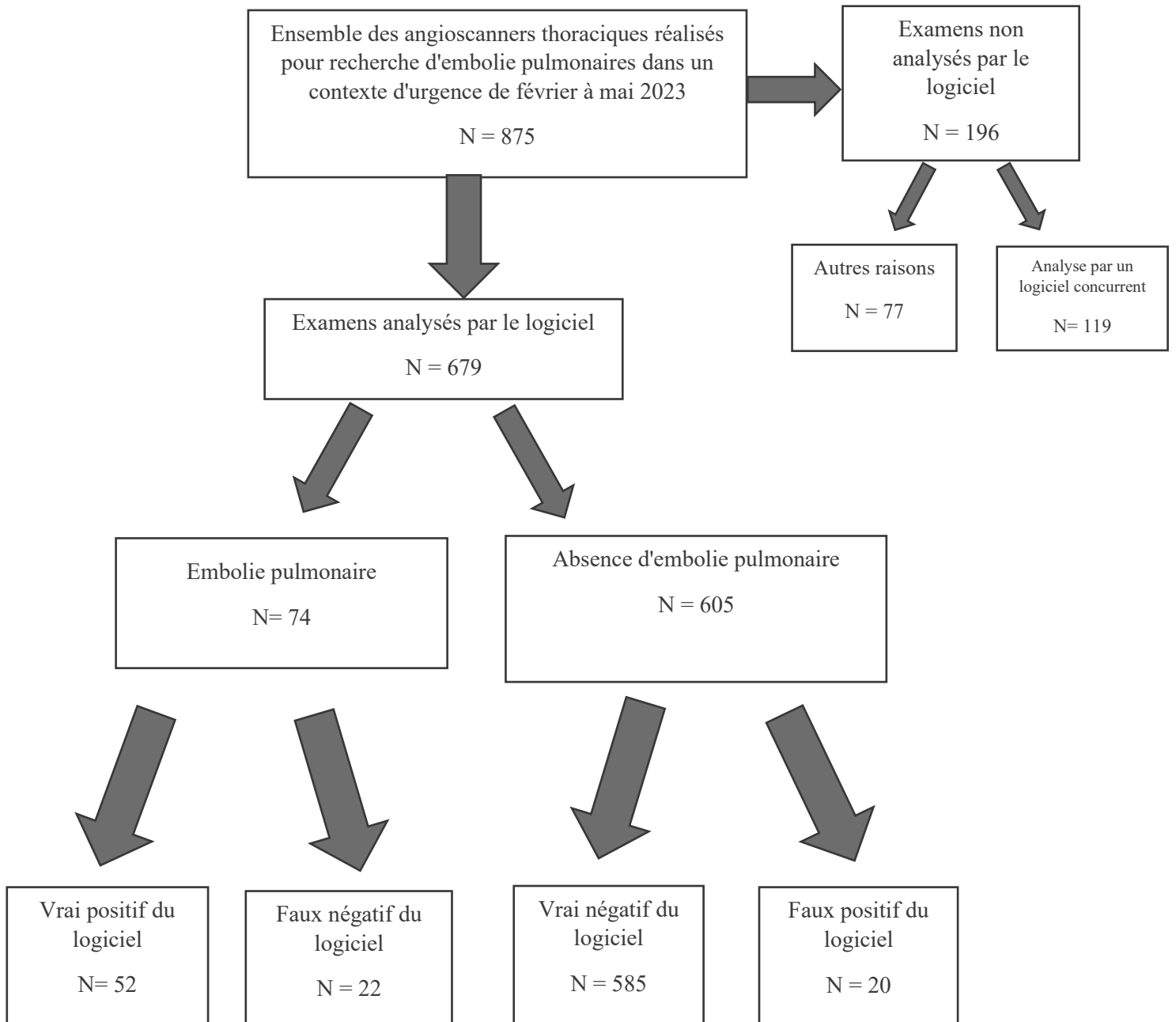
Un vrai négatif était défini comme un patient sans EP détectée ni par le radiologue senior ni par le logiciel.

Un faux négatif était défini comme un patient avec une EP détectée par le radiologue senior mais non détectée par le logiciel et confirmée par relecture experte.

Un faux positif était défini comme un patient sans EP détectée par le radiologue mais détectée positivement par le logiciel et confirmée par relecture experte.

### III. Résultats

#### 1. Flow chart



875 patients consécutifs de février à mai 2023 ayant bénéficié d'un angioscanner thoracique pour recherche d'embolie pulmonaire ont été inclus dans cette étude et analysés.

679 (77,6%) patients ont été pris en charge par logiciel d'IA et ont été inclus à notre analyse statistique finale.

Il y avait sensiblement autant d'hommes que de femmes avec 336/679 hommes (47.2%) et 343/679 femmes (52.8%).

Les patients étaient âgés de 18 à 98 ans et présentaient une moyenne d'âge de 68 ans (ecart-type = 18,08) et une médiane à 71 ans.

Le nombre d'exams positifs avec présence d'embolie pulmonaire était de 10,9% (74/679).

Les résultats statistiques bruts étaient :

- Vrais Positifs (VP) : Il y avait 52/679 cas correctement identifiés comme positifs pour une EP par l'algorithme. Il s'agit de patients qui avaient réellement une EP.
- Faux Positifs (FP) : Il y avait 20/679 cas incorrectement identifiés comme positifs par l'algorithme. Ce sont des patients qui n'avaient pas réellement une EP.
- Vrais Négatifs (VN) : Il y avait 585/679 cas correctement identifiés comme négatifs pour une EP. Ce sont des patients qui n'avaient pas une EP et l'algorithme les a correctement identifiés comme négatifs.
- Faux Négatifs (FN) : Il y avait 22/679 cas incorrectement identifiés comme négatifs par l'algorithme. Ce sont des patients qui avaient réellement une EP mais qui ont été incorrectement identifiés comme négatifs par l'algorithme.

Les performances diagnostiques, tout étage confondu, tout âge et sans distinction de sexe étaient les suivantes :

- Sensibilité (95%) : 70,27% (IC 95% 0.61-0.79).
- Spécificité : 96,7% (IC 95% 0,95- 0,98).
- Valeur prédictive positive : 72,2% (IC 95% 0,61- 0,83).
- Valeur prédictive négative 96,4% (IC 95% 0,94 - 0,98).

L'emplacement le plus proximal de l'embolie était tronculaire dans 18 sur 74 cas (soit 24,3%), lobaire dans 25 sur 74 cas (soit 33,7%), segmentaire dans 20 sur 74 cas (soit 27,0 %), et sous-segmentaire dans 11 sur 74 cas (soit 14,9 %).

## 2. Analyse en sous-groupes

### 2.1 Niveau de l'embolie

Une analyse par sous-groupe en fonction de l'étage le plus proximal de l'embolie a été réalisée, les résultats sont donnés dans le tableau 1 :

	Sensibilité	Spécificité	VPP	VPN
Tronculaire (N=18)	0,94 (0,89- 0,98)	0,97 (0,95-0,98)	0,46 (0,31- 0,61)	0,99 (0,99-1,00)
Lobaire (N=25)	0,96(0,89- 0,99)	0,97 (0,95-0,98)	0,55 (0,39- 0,70)	0,99(0,99-1,00)
Segmentaire (N=20)	0,40 (0,23 - 0,57)	0,97 (0,95-0,98)	0,29 (0,15 - 0,42)	0,98 (0,97-0,99)
Sous-segmentaire (N=11)	0,27 (0,12-0,42)	0,97 (0,95-0,98)	0,13 (0,05-0,20)	0,99 (0,98- 0,99)
<b>Total (N=74)</b>	<b>0,70 (0.61-0.79)</b>	<b>0,97 (0,95-0,98)</b>	<b>0,72 (0,61- 0,83)</b>	<b>0,96 (0,94-0,98)</b>

TABLEAU 1 : PERFORMANCES DIAGNOSTIQUES EN FONCTION DU NIVEAU DE L'EMBOLIE

Au niveau tronculaire et lobaire, le logiciel d'IA était relativement fiable avec un seul FN à chaque étage pour respectivement 17 et 24 VP.

En revanche aux étages plus distaux, l'analyse était moins fiable avec respectivement 8 VP pour 12 FN à l'étage segmentaire et 3 VP pour 8 FN à l'étage sous-segmentaire.

Cette sous analyse révèle que les performances diagnostiques pour détecter l'embolie pulmonaire sont bien plus élevées pour les étages les plus proximaux (tronculaire et lobaire) avec des sensibilités de respectivement 94,4% et 96% que pour les étages les plus distaux (segmentaires et sous segmentaires) avec des sensibilités de respectivement 40% et 27,3%.

## 2.2 Sexe

Une analyse par sous-groupe en fonction du genre est donnée dans le tableau 2 :

	Sensibilité	Spécificité	VPP	VPN
Homme (N=336)	0,64 (0,49-0,79)	0,97 (0,95-0,99)	0,74 (0,57-0,89)	0,95 (0,93-0,97)
Femme (N=343)	0,77 (0,64-0,90)	0,96 (0,94-0,98)	0,71 (0,56-0,86)	0,97 (0,95-0,98)
<b>Total</b>	0,70 (0,61-0,79)	0,97 (0,95-0,98)	0,72 (0,61- 0,83)	0,96 (0,94-0,98)

TABLEAU 2 : PERFORMANCES DIAGNOSTIQUES EN FONCTION DU SEXE

Il existe une petite différence entre les sexes avec une moins bonne détection de l'embolie au détriment du sexe masculin. La spécificité, la VPP et la VPN étaient globalement comparables.

## 2.3 Âge

Une analyse par sous-groupe en fonction de la tranche d'âge est donnée dans le tableau 3 :

	Sensibilité	Spécificité	VPP	VPN
18-49 ans (N= 112)	0,71 (0,50-0,93)	0,98 (0,96-0,99)	0,83 (0,64-0,98)	0,96 (0,92-0,98)
50 -69 ans (N = 197)	0,73 (0,61-0,86)	0,95 (0,92-0,98)	0,70 (0,53-0,87)	0,96 (0,94-0,98)
≥ 70 ans (N=370)	0,66 (0,50-0,82)	0,97 (0,95-0,99)	0,70 (0,53-0,87)	0,96 (0,95-0,98)
<b>Total</b>	0,70 (0,61-0,79)	0,97 (0,95-0,98)	0,72 (0,61- 0,83)	0,96 (0,94-0,98)

TABLEAU 3 : PERFORMANCES DIAGNOSTIQUES EN FONCTION DE L'ÂGE

Il n'existe pas de franche différence de performances globales entre les différentes catégories d'âge étudiées (18-49, 50-69 et ≥ 70 ans).



On remarquera qu'une majorité de nos patients (N=370/679) étaient âgés de 70 ans ou plus.

### 3. Causes d'erreurs du logiciel

#### 3.1 Faux positifs

Les différentes causes des 20 cas de faux positifs de la cohorte sont résumées dans le tableau 4 :

<i>Causes Faux positifs</i>	<i>Nombre de cas</i>
<i>Artéfacts cinétiques (doubles contours)</i>	8
<i>Lésion tumorale (primaire et/ou secondaire)</i>	3
<i>Formations ganglionnaires péri vasculaire</i>	3
<i>Artéfacts de flux</i>	3
<i>Lésion infectieuse</i>	2
<i>Matériel chirurgical</i>	1

**TABLEAU 4 : CAUSE DE FAUX POSITIFS**

Une grande partie (n=8) des faux positifs étaient en rapport avec des artéfacts respiratoires et/ou cinétiques entraînant des doubles contours que le logiciel analysait à tort comme une EP (figure 3).

Les autres faux positifs étaient respectivement dus à des lésions tumorales (n=3) (figure 4), formations ganglionnaires(n=3) (figure 5), artéfacts de flux (n= 3), des lésions infectieuses (n=2) et à du matériel chirurgical (n=1) (figure 6).



FIGURE 3 : FAUX POSITIF (ARTEFACTS CINETIQUES)



FIGURE 4 : FAUX POSITIF (LESION TUMORALE)



FIGURE 5 : FAUX POSITIF (FORMATION GANGLIONNAIRE)



FIGURE 6 : FAUX POSITIF (MATERIEL CHIRURGICAL)

### 3.2 Faux négatifs

Les différentes causes des 22 faux négatifs de notre cohorte sont résumées dans le tableau

5 :

<i>Causes faux négatifs</i>	<i>Nombre de cas</i>
<i>Artéfacts respiratoires/cinétiques</i>	14
<i>EP distale</i>	6
<i>Inexpliquée</i>	2

**TABLEAU 5 : CAUSE DE FAUX NEGATIFS**

Les faux négatifs étaient principalement dus à des artéfacts cinétiques/respiratoires (n=14) (figure 7). Une localisation trop distale de l'embolie pulmonaire était retenue dans 6 cas (figure 8) et 2 cas, les 2 cas les plus proximaux (figure 9), restent inexpliqués.



**FIGURE 7 : FAUX NEGATIF (ARTEFACTS CINETIQUES/RESPIRATOIRES)**



FIGURE 8 : FAUX NEGATIF (EMBOLIE PULMONAIRE DISTALE)

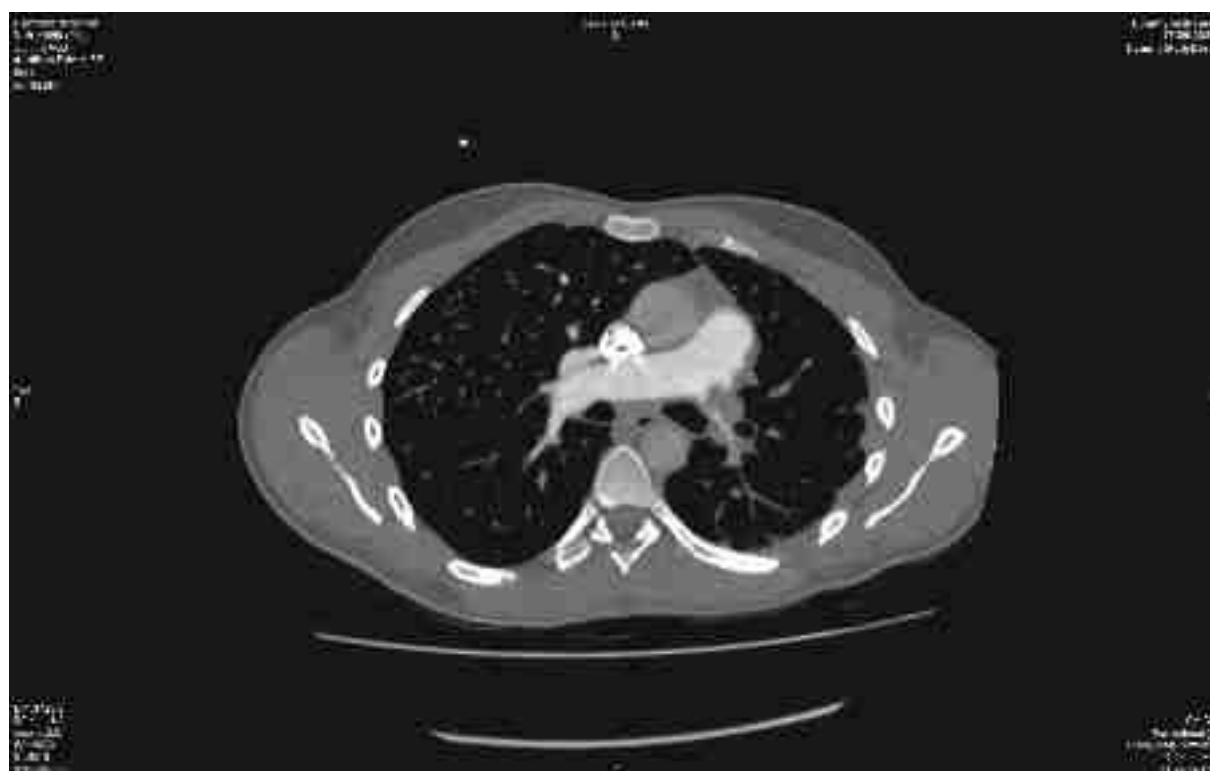


FIGURE 9 : FAUX NEGATIF (INEXPLIQUEE)

#### 4. Causes de non-analyse

Un nombre significatif d'examens n'a pas pu être analysé par le logiciel (196/875 soit 22,4% de la cohorte initiale).

Les raisons de non-analyses du logiciel étaient les suivantes :

- Analyse par un autre logiciel "concurrent" dédié à la dissection aortique : 119 (13.6%) – il s'agit d'une erreur de paramétrage dans l'adressage des examens à l'analyse.
- Temps d'injection trop tardif ou artéfacts entraînant une diminution de la densité au sein du tronc de l'artère pulmonaire : 34 (3,9%).
- Erreur de reconnaissance (examen réalisé en doublon d'un scanner AP) avec non-reconnaissance par le logiciel de l'angioscanner thoracique : 4 (0,5%).
- Inexpliqués : 56 (6,4%).

## IV. Discussion

La détection rapide et fiable des embolies pulmonaires est essentielle pour une prise en charge rapide des patients, cette pathologie pouvant être possiblement mortelle notamment dans les atteintes les plus proximales.(14)

Sur notre série monocentrique consécutive de 679 patients ayant bénéficié d'un angioscanner pour suspicion d'embolie pulmonaire, nous retrouvons une sensibilité à 0,70 (0,61-0,79), une spécificité à 0,97 (0,95-0,98), une VPP à 0,72 (0,61- 0,83) et une VPN à 0,96 (0,94-0,98). Aux étages les plus proximaux (tronculaires et lobaires), l'algorithme apparait plus performant qu'aux étages les plus distaux (segmentaires et sous segmentaires) avec des sensibilités de respectivement 0,94 (0,89- 0,98) et 0,96 (0,89-0,99) contre 0,40 (0,23 - 0,57) et 0,27 (0,12-0,42).

Cette étude en vie réelle portant sur l'analyse d'un logiciel de Deep Learning en cours de développement, montre des résultats globalement moins efficaces pour la sensibilité que ce qui a été démontré auparavant, comme sur la méta-analyse de Soffert et al. (15) ou encore dans d'autres études (16–19). Ces données sont résumées dans le tableau 6 pour la spécificité et la sensibilité :

	Nombre de cas	Sensibilité	Spécificité
Ma et al. (2022)	7229	0,86 (0,84-0,88)	0,85 (0,83-0,87)
Ajmera et al. (2022)	251	0,80 (0,68-0,89)	0,74 (0,68, 0,80)
Grenier et al. (2023)	387	0,91 (0,86-0,95)	0,92 (0,87-0,95)
Langius-Wiffen et al. (2023)	3316	0,97 (0,96-0,98)	1,00 (0,99-1,00)
Soffert et al. (2021)	36 847	0,88 (0,80-0,92)	0,86 (0,76-0,92)
<b>Notre étude</b>	<b>679</b>	<b>0,70 (0,61-0,79)</b>	<b>0,97 (0,95-0,98)</b>

TABLEAU 6 : PERFORMANCES DIAGNOSTIQUES DES DIFFERENTES ETUDES

Une des explications possibles de la différence de résultats entre notre étude en "vie réelle" et les données de la littérature suscitées peut résider dans le recrutement des patients, qui

étaient en moyenne assez âgés (médiane à 71 ans), et ne présentaient pas toujours une compliance optimale afin de réaliser l'examen dans des conditions idéales (non - compréhension des instructions d'apnée afin d'éviter les artéfacts, confusion ...). Cependant comme le prouve Ebrahimian et al. , les performances de ce type d'algorithme ne seraient pas franchement influencées par une acquisition optimale ou non (20).

En effet dans leur étude, il n'a pas été prouvé de différence significative en comparant les performances diagnostiques d'un logiciel d'IA que les scanners soient artéfactés ou non.

Une différence notable de la sensibilité en fonction du sexe a été détectée au détriment des hommes (Se = 0,64 vs 0,77). Nous n'expliquons pas cette différence et aucune donnée de la littérature ne la rapporte également.

En revanche, aucune différence notable n'a été relevée dans les différentes classes d'âge étudiées.

Un des aspects surprenant de notre étude a aussi été de noter l'important nombre d'examens non analysés par logiciel (196/875 soit 22,4%) en grande partie dû à un logiciel concurrent de détection de la dissection aortique (119/875 soit 13,6%). Ceci montre l'importance de la phase de paramétrage et les difficultés rencontrées pour l'intégration de ce type d'outils dans le workflow du radiologue.

Même si Batra et al. ont prouvé que ce type d'algorithme permet une interprétation plus rapide des examens positifs par le radiologue (21) , son intérêt réel pour une prise en charge plus rapide des patients reste cependant équivoque comme l'ont montré Schmuelling et al. (22). En effet, dans cette étude, les auteurs ont prouvé que l'implantation d'un logiciel d'IA aux performances relativement similaires au notre (Se = 0,79 et Sp = 0,95) n'a pas significativement changé le temps entre l'acquisition des images et



l'interprétation du radiologue, la transmission des résultats au médecin prescripteur ou encore la durée avant mise en place de l'anticoagulation.

Cependant à l'avenir on peut imaginer qu'avec l'amélioration des machines de scanner, grâce notamment à l'IA , une meilleure détection de l'EP par ces logiciels pourrait advenir (23).

Les principales limites de notre étude résident dans son caractère rétrospectif et monocentrique avec un seul protocole et une seule machine de scanner, réduisant d'autant la variabilité des données analysées.

De plus, une étude portant sur l'analyse de plusieurs logiciels d'IA aurait pu être intéressante, afin de comparer en vie réelle leurs performances.

## V. Conclusion

Dans cette série rétrospective portant sur 875 angioscanners pulmonaires consécutifs acquis en situation d'urgence, un système d'intelligence artificielle de détection automatique des embolies pulmonaires par Deep Learning a permis une analyse de 78% des examens. Les performances diagnostiques (prévalence de l'embolie pulmonaire à 11%) montrent une sensibilité à 70%, une spécificité à 97%, une VPP à 72% et une VPN à 96%. Les faux négatifs étaient en très grande majorité rencontrés dans les cas d'embolies pulmonaires segmentaires et sous segmentaires. Les faux positifs étaient dus à de nombreuses raisons dont la principale était les artéfacts cinétiques et/ou respiratoires. Ce travail a permis de quantifier en vie réelle les performances diagnostiques d'un système d'IA commercial, en pointant les forces mais également les faiblesses.

VU

Strasbourg, le 03/07/2023

Le président du jury de thèse

Professeur Catherine ROY



Vu et approuvé  
Strasbourg, le 03/07/2023  
Doyen de la Faculté de Médecine, Maternité et  
Sciences de la Santé  
Professeur Jean SIBILLA



## Bibliographie

1. Sanchez O, Benhamou Y, Bertoletti L, Constant J, Couturaud F, Delluc A, et al. Recommandations de bonne pratique pour la prise en charge de la maladie veineuse thromboembolique chez l'adulte. Version courte. *Rev Mal Respir.* 1 févr 2019;36(2):249-83.
2. Essien EO, Rali P, Mathai SC. Pulmonary Embolism. *Med Clin North Am.* mai 2019;103(3):549-64.
3. Stein PD, Fowler SE, Goodman LR, Gottschalk A, Hales CA, Hull RD, et al. Multidetector Computed Tomography for Acute Pulmonary Embolism. *N Engl J Med.* juin 2006;354(22):2317-27.
4. Patel P, Patel P, Bhatt M, Braun C, Begum H, Wiercioch W, et al. Systematic review and meta-analysis of test accuracy for the diagnosis of suspected pulmonary embolism. *Blood Adv.* 22 sept 2020;4(18):4296-311.
5. Zantonelli G, Cozzi D, Bindi A, Cavigli E, Moroni C, Luvarà S, et al. Acute Pulmonary Embolism: Prognostic Role of Computed Tomography Pulmonary Angiography (CTPA). *Tomography.* 14 févr 2022;8(1):529-39.
6. Wittram C, Maher MM, Yoo AJ, Kalra MK, Shepard JAO, McLoud TC. CT Angiography of Pulmonary Embolism: Diagnostic Criteria and Causes of Misdiagnosis. *RadioGraphics.* sept 2004;24(5):1219-38.
7. Chan HP, Samala RK, Hadjiiski LM, Zhou C. Deep Learning in Medical Image Analysis. In: Lee G, Fujita H, éditeurs. *Deep Learning in Medical Image Analysis [Internet].* Cham: Springer International Publishing; 2020 [cité 3 août 2023]. p. 3-21. (Advances in Experimental Medicine and Biology; vol. 1213). Disponible sur: [http://link.springer.com/10.1007/978-3-030-33128-3\\_1](http://link.springer.com/10.1007/978-3-030-33128-3_1)
8. Lee JY, Kim JS, Kim TY, Kim YS. Detection and classification of intracranial haemorrhage on CT images using a novel deep-learning algorithm. *Sci Rep.* 25 nov 2020;10(1):20546.
9. Yanagawa M. Artificial Intelligence Improves Radiologist Performance for Predicting Malignancy at Chest CT. *Radiology.* sept 2022;304(3):692-3.
10. Soun JE, Chow DS, Nagamine M, Takhtawala RS, Filippi CG, Yu W, et al. Artificial Intelligence and Acute Stroke Imaging. *Am J Neuroradiol.* janv 2021;42(1):2-11.
11. Zhang Y, Jiang B, Zhang L, Greuter MJW, De Bock GH, Zhang H, et al. Lung Nodule Detectability of Artificial Intelligence-assisted CT Image Reading in Lung Cancer Screening. *Curr Med Imaging Former Curr Med Imaging Rev.* mars 2022;18(3):327-34.
12. Cheikh AB, Gorincour G, Nivet H, May J, Seux M, Calame P, et al. How artificial intelligence improves radiological interpretation in suspected pulmonary embolism. *Eur Radiol.* sept 2022;32(9):5831-42.

13. Liu W, Liu M, Guo X, Zhang P, Zhang L, Zhang R, et al. Evaluation of acute pulmonary embolism and clot burden on CTPA with deep learning. *Eur Radiol.* juin 2020;30(6):3567-75.
14. Gupta R, Ammari Z, Dasa O, Ruzieh M, Burlen JJ, Shunnar KM, et al. Long-term mortality after massive, submassive, and low-risk pulmonary embolism. *Vasc Med.* avr 2020;25(2):141-9.
15. Soffer S, Klang E, Shimon O, Barash Y, Cahan N, Greenspan H, et al. Deep learning for pulmonary embolism detection on computed tomography pulmonary angiogram: a systematic review and meta-analysis. *Sci Rep.* 4 août 2021;11(1):15814.
16. Ma X, Ferguson EC, Jiang X, Savitz SI, Shams S. A multitask deep learning approach for pulmonary embolism detection and identification. *Sci Rep.* 29 juill 2022;12(1):13087.
17. Ajmera P, Kharat A, Seth J, Rathi S, Pant R, Gawali M, et al. A deep learning approach for automated diagnosis of pulmonary embolism on computed tomographic pulmonary angiography. *BMC Med Imaging.* 11 nov 2022;22(1):195.
18. Grenier PA, Ayobi A, Quenet S, Tassy M, Marx M, Chow DS, et al. Deep Learning-Based Algorithm for Automatic Detection of Pulmonary Embolism in Chest CT Angiograms. *Diagnostics.* 3 avr 2023;13(7):1324.
19. Langius-Wiffen E, De Jong PA, Hoesein FAM, Dekker L, Van Den Hoven AF, Nijholt IM, et al. Retrospective batch analysis to evaluate the diagnostic accuracy of a clinically deployed AI algorithm for the detection of acute pulmonary embolism on CTPA. *Insights Imaging.* 6 juin 2023;14(1):102.
20. Ebrahimian S, Digumarthy SR, Homayounieh F, Bizzo BC, Dreyer KJ, Kalra MK. Predictive values of AI-based triage model in suboptimal CT pulmonary angiography. *Clin Imaging.* juin 2022;86:25-30.
21. Batra K, Xi Y, Bhagwat S, Espino A, Peshock RM. Radiologist Worklist Reprioritization Using Artificial Intelligence: Impact on Report Turnaround Times for CTPA Examinations Positive for Acute Pulmonary Embolism. *Am J Roentgenol.* sept 2023;221(3):324-33.
22. Schmuelling L, Franzeck FC, Nickel CH, Mansella G, Bingisser R, Schmidt N, et al. Deep learning-based automated detection of pulmonary embolism on CT pulmonary angiograms: No significant effects on report communication times and patient turnaround in the emergency department nine months after technical implementation. *Eur J Radiol.* août 2021;141:109816.
23. Koetzier LR, Mastrodicasa D, Szczykutowicz TP, Van Der Werf NR, Wang AS, Sandfort V, et al. Deep Learning Image Reconstruction for CT: Technical Principles and Clinical Prospects. *Radiology.* 1 mars 2023;306(3):e221257.

# DÉCLARATION SUR L'HONNEUR



Faculté de médecine  
maïeutique et sciences de la santé  
Université de Strasbourg

Document avec signature originale devant être joint :

- à votre mémoire de D.E.S.
- à votre dossier de demande de soutenance de thèse

Nom : SEBAE Prénom : Nathan

Ayant été informé(e) qu'en m'appropriant tout ou partie d'une œuvre pour l'intégrer dans mon propre mémoire de spécialité ou dans mon mémoire de thèse de docteur en médecine, je me rendrais coupable d'un délit de contrefaçon au sens de l'article L335-1 et suivants du code de la propriété intellectuelle et que ce délit était constitutif d'une fraude pouvant donner lieu à des poursuites pénales conformément à la loi du 23 décembre 1901 dite de répression des fraudes dans les examens et concours publics,

Ayant été avisé(e) que le président de l'université sera informé de cette tentative de fraude ou de plagiat, afin qu'il saisisse la juridiction disciplinaire compétente,

Ayant été informé(e) qu'en cas de plagiat, la soutenance du mémoire de spécialité et/ou de la thèse de médecine sera alors automatiquement annulée, dans l'attente de la décision que prendra la juridiction disciplinaire de l'université

J'atteste sur l'honneur

Ne pas avoir reproduit dans mes documents tout ou partie d'œuvre(s) déjà existante(s), à l'exception de quelques brèves citations dans le texte, mises entre guillemets et référencées dans la bibliographie de mon mémoire.

**A écrire à la main :** « J'atteste sur l'honneur avoir connaissance des suites disciplinaires ou pénales que j'encours en cas de déclaration erronée ou incomplète ».

*"J'atteste sur l'honneur avoir connaissance des suites disciplinaires ou pénales que j'encours en cas de déclaration erronée ou incomplète"*

Signature originale :

À STRASBOURG, le 13 juin 2023

**Photocopie de cette déclaration devant être annexée en dernière page de votre mémoire de D.E.S. ou de Thèse.**

## RÉSUMÉ

**Objectif :** La maladie thrombo-embolique (MTVEV) est une maladie fréquente dont une des formes les plus graves est l'embolie pulmonaire (EP).

L'angioscanner thoracique, réalisé en urgence, fait partie intégrante de la stratégie diagnostique. Le développement récent de l'intelligence artificielle et du Deep Learning pourrait être une aide pour le radiologue afin de détecter au mieux les embolies pulmonaires dans le contexte d'urgence.

Le but de cette étude est d'évaluer les performances diagnostiques du logiciel d'IA Automation Platform avec l'application CINA-PE de l'entreprise INCEPTO pour la détection des embolies pulmonaires dans le cadre de l'urgence en vie réelle.

**Matériel et méthode :** 875 patients ayant présenté une suspicion d'embolie pulmonaire aux urgences du centre hospitalo-universitaire du Nouvel Hôpital Civil à Strasbourg entre février 2023 et mai 2023 ont été recrutés rétrospectivement.

Les performances du logiciel pour la détection des embolies pulmonaires ont été calculées par rapport à une interprétation de référence réalisée par un radiologue senior du service de radiologie B du NHC de Strasbourg.

**Résultats :** 679 des 875 (78%) examens ont été analysés par le logiciel et ont été inclus dans notre étude.

Une embolie pulmonaire était présente chez 74 des 679 patients (10,9%).

Les sensibilité et spécificité du logiciel d'IA pour la détection des embolies pulmonaires étaient respectivement de 0,70 et 0,97 avec une VPP à 0,72 et une VPN à 0,96.

Les faux positifs étaient majoritairement rencontrés en cas d'artéfacts cinétiques ou respiratoires.

Les faux négatifs étaient principalement rencontrés dans les cas d'embolies pulmonaires segmentaires et sous segmentaires.

**Conclusion :** Le logiciel d'IA étudié a analysé 77 % des examens réalisés pour la recherche d'embolie pulmonaire.

Il présente une très bonne spécificité mais une sensibilité moindre notamment dans le cas d'embolies pulmonaires segmentaires et sous-segmentaires.

Ce travail a permis de quantifier en vie réelles les performances diagnostiques d'un système d'IA commercial, en pointant les forces mais également les faiblesses.

---

Rubrique de classement : RADIODIAGNOSTIC ET IMAGERIE MÉDICALE

Mots-clés : embolie pulmonaire, angioscanner pulmonaire, intelligence artificielle, Deep learning

Président : Pr Catherine ROY (PU-PH)

Assesseurs : Pr Mickaël OHANA (PU-PH), Dr Aïssam LABANI (PH), Dr Philippe SCHINKEWITCH-SORBIER

Adresse de l'auteur : 18 rue Schweighaeuser, 67000 STRASBOURG