

UNIVERSITÉ DE LILLE
FACULTÉ DE MÉDECINE HENRI WAREMBOURG
Année 2023

THÈSE POUR LE DIPLÔME D'ÉTAT
DE DOCTEUR EN MÉDECINE

**Eye-tracking : étude descriptive et analytique préliminaire pour la
préparation des étudiants en 2^{ème} cycle d'études de médecine aux
questions d'imagerie des Épreuves Dématérialisées Nationales
(EDN)**

**Présentée et soutenue publiquement le 20 octobre 2023 à 14h00
au Pôle Formation
par Hugo SANDOR**

JURY

Président :

Monsieur le Professeur Jean-Pierre PRUVO

Assesseurs :

Monsieur le Docteur Grégory KUCHCINSKI

Monsieur le Docteur Jean-Baptiste DAVION

Monsieur le Docteur Nicolas FONNE

Directeur de thèse :

Monsieur le Docteur Riyad HANAFI

AVERTISSEMENT

La Faculté n'entend donner aucune approbation aux opinions émises dans les thèses : celles-ci sont propres à leurs auteurs.

TABLE DES MATIERES

ABREVIATIONS	5
RESUME	7
INTRODUCTION	8
I. Eye-tracking : définition et histoire.....	9
II. Bases anatomiques de la vision.....	12
III. Bases physiologiques du regard dans la technologie eye-tracking.....	16
IV. Applications en imagerie médicale et en enseignement.....	19
V. Formation en imagerie médicale en 1 ^{er} et 2 ^{ème} cycle.....	25
MATERIELS ET METHODES	34
I. Population cible et échantillon.....	34
II. Enregistrement et iconographies.....	38
III. Post-traitement et analyse descriptive des cartographies.....	43
IV. Analyse statistique.....	47
RESULTATS	49
I. Caractéristiques de l'échantillon.....	49
II. Description des enregistrements et des réponses des étudiants.....	51
A. Dossier 1 : Scanner cérébral.....	52
B. Dossier 2 : radiographie thoracique de face.....	54
C. Dossier 3 : scanner abdominal (trois coupes).....	56
D. Dossier 4 : IRM encéphalique (séquence 3D TOF).....	58
E. Dossier 5 : radiographie du coude de profil.....	59
F. Dossier 6 : radiographie thoracique de face chez un nourrisson.....	61
G. Dossier 7 : scanner cérébral d'un nourrisson (deux coupes).....	63
H. Dossier 8 : IRM encéphalique (quatre séquences).....	65
I. Dossier 9 : scanner thoracique (quatre coupes).....	67
J. Dossier 10 : radiographie thoracique de face.....	69
III. Description des enregistrements des radiologues expérimentés.....	71
A. Dossier 1 : Scanner cérébral.....	71
B. Dossier 2 : radiographie thoracique de face.....	71
C. Dossier 3 : scanner abdominal (trois coupes).....	72
D. Dossier 4 : IRM encéphalique (séquence 3D TOF).....	73
E. Dossier 5 : radiographie du coude de profil.....	74
F. Dossier 6 : radiographie thoracique de face chez un nourrisson.....	74
G. Dossier 7 : scanner cérébral d'un nourrisson (deux coupes).....	75
H. Dossier 8 : IRM encéphalique (quatre séquences).....	75
I. Dossier 9 : scanner thoracique (quatre coupes).....	76
J. Dossier 10 : radiographie thoracique de face.....	77
IV. Comparaison et analyse statistique des cartographies des radiologues expérimentés et des étudiants.....	78

A.	Dossier 1 : Scanner cérébral.....	78
B.	Dossier 2 : Radiographie thoracique de face.....	79
C.	Dossier 3 : scanner abdominal (trois coupes).....	79
D.	Dossier 4 : IRM encéphalique (séquence 3D TOF).....	80
E.	Dossier 5 : radiographie du coude de profil.....	81
F.	Dossier 6 : radiographie thoracique de face chez un nourrisson.....	81
G.	Dossier 7 : scanner cérébral d'un nourrisson (deux coupes).....	82
H.	Dossier 8 : IRM encéphalique (quatre séquences).....	83
I.	Dossier 9 : scanner thoracique (quatre coupes).....	84
J.	Dossier 10 : radiographie thoracique de face.....	85
V.	Ressenti des étudiants sur la séance et sur l'enseignement de la radiologie (questionnaire post-test).....	86
	DISCUSSION.....	91
	CONCLUSION.....	101
	ANNEXES.....	102
	ANNEXE 1 : Contenus multimédias et éléments de diagnostic positif en imagerie médicale au programme des E.D.N. selon la spécialité (60)(61).....	102
	ANNEXE 2 : Nombre et répartition des questions en imagerie médicale lors des E.C.N. de 2016 à 2023.....	105
	ANNEXE 3 : Diaporamas et iconographies présentées aux étudiants lors de l'enregistrement de leur regard.....	107
	ANNEXE 4 : Zones d'intérêts des iconographies présentées.....	111
	LISTE DES FIGURES.....	113
	BIBLIOGRAPHIE.....	116

ABREVIATIONS

A.V.C : Accident Vasculaire Cérébral

C.H.U. : Centre Hospitalier Universitaire

C.M.F. : Chirurgie Maxillo-Faciale

D.E.S. : Diplôme d'Études Spécialisées

D.F.G.S.M. : Diplôme de Formation Générale en Sciences Médicales

D.F.A.S.M. : Diplôme de Formation Approfondie en Sciences Médicales

E.C.O.S : Examens Cliniques Objectifs et Structurés

E.D. : Enseignements Dirigés

E.M.M.E : Eye Movement Modelling Examples

E.O.G. : Electro-oculographie

E.C.N. : Épreuves Classantes Nationales

E.C.N.p. : Épreuves Classantes Nationales préparatoires

E.D.N. : Épreuves Dématérialisées Nationales

F.L.A.I.R. : FLuid Attenuated Inversion Recovery (*séquence I.R.M.*)

H.S.A. : Hémorragie Sous-Arachnoïdienne

H.S.D. : Hématome Sous-Dural

I.R.M. : Imagerie par Résonance Magnétique

J.O. : Journal Officiel

O.A.P. : Œdème Aigu Pulmonaire

P.A.C. : Pneumopathie Aiguë Communautaire

P.A.S.S. : Parcours d'Accès Spécifique Santé

P.I.D. : Pneumopathie Interstitielle Diffuse

P.O.P : Parcours d'Orientation Professionnelle

Q.R.M. : Question à Réponses Multiples

SANDOR Hugo

Q.R.U. : Question à Réponse Unique

T.D.M. : Tomodensitométrie

T.O.F. : Time Of Flight

V.O.R : Réflexe vestibulo-oculaire

RESUME

Contexte

Le développement de l'imagerie médicale en fait désormais une pierre d'angle de la démarche diagnostique et thérapeutique. L'emploi de technologies innovantes telle que l'eye-tracking nous amène à nous interroger sur les informations que nous pourrions extraire et sur comment les exploiter pour perfectionner l'approche pédagogique.

Objectif

L'objectif principal de notre étude est de comparer la lecture d'imageries par les étudiants à celle de radiologues expérimentés, puis de corréler cette lecture aux diagnostics proposés par les étudiants.

L'objectif secondaire est d'apprécier la perception et les attentes des étudiants de leur formation en imagerie.

Méthodes

11 étudiants affiliés au service de Neuroradiologie du C.H.U. de Lille ont été convoqués par tranche de 20 minutes pour interpréter 10 iconographies issues des annales E.C.N. ou des conférences facultaires en revêtant les lunettes. 3 temps de lecture étaient donnés : sans contexte clinique, avec contexte et avec une Q.R.M. 3 radiologues experts (2 assistants et 1 docteur junior) ont en parallèle analysé chaque iconographie. Un questionnaire à l'issue de la session était proposé aux étudiants. Les enregistrements étaient post-traités pour l'obtention de cartographies couleurs (heat map) basées sur la durée des points de fixation. Ces cartographies étaient ensuite décrites et comparées entre experts et étudiants de façon visuelle par rapport à des zones d'intérêts de référence établies au préalable. Les durées de fixation étaient comparées entre étudiants et experts par un test de Mann-Whitney avec un niveau de significativité de 5%.

Résultats

136 cartographies ont été extraites, décrites puis comparées par rapport aux zones d'intérêts établies. 5 dossiers présentaient des différences notables entre étudiants et experts et 5 autres des cartographies similaires. Un seul dossier a montré une différence significative entre experts et étudiants (p -value = 0,02). 82% des étudiants déclarent n'avoir globalement pas regardé les iconographies de façon significative. 82% ont été orienté par la Q.R.M. 100% des participants souhaitent plus de sessions d'entraînement dédiées à l'imagerie en stage.

Conclusion

Nos résultats suggèrent une approche globale des experts par rapport aux étudiants, et que l'expérience est primordiale dans l'interprétation des anomalies détectées. Des études analytiques complémentaires à plus grande échelle à l'aide de cet outil contribueraient à renseigner sur de nombreux paramètres, dans l'optique d'améliorer les programmes d'enseignement et à la mise en place de nouveaux outils pédagogiques, d'évaluation et d'auto-évaluation pour les étudiants dans leur préparation à l'E.D.N.

INTRODUCTION

L'enseignement de la radiologie et de l'imagerie médicale occupe une place fondamentale dans le programme de formation des étudiants en médecine. En effet, son développement au cours des dernières années en fait désormais une véritable pierre d'angle de la démarche diagnostique, thérapeutique et aussi dans la recherche.

Dès les premières années du cursus, l'étudiant bénéficie de l'enseignement de l'anatomie puis des bases anatomiques radiologiques. Cette instruction demande à celui qui anime de prendre du recul sur la complexité croissante des modalités d'examens et la diversité des pathologies pour permettre à l'étudiant de tirer le plus grand bénéfice possible des leçons prodiguées.

Aussi, l'emploi de technologies innovantes peut amener à l'enseignement une nouvelle approche. L'analyse des mouvements oculaires par l'eye-tracking, méthode déjà employée dans de nombreux domaines (marketing, design, psychologie), et désormais accessible au sein de la Faculté de médecine de l'Université de Lille, nous amène à nous interroger sur les informations que nous pourrions extraire et sur comment les exploiter pour perfectionner encore l'approche pédagogique.

L'eye-tracking, en enregistrant les mouvements oculaires des apprenants pendant qu'ils examinent des images radiologiques, offre une opportunité unique d'analyser les schémas de visualisation, les points d'attention et les zones négligées. Il s'agit alors d'étudier la corrélation entre leur pattern d'observation et leurs réponses, s'assurer que la manière d'étudier les images reflète l'analyse cognitive de celles-ci. En comprenant comment ils

observent et analysent ces images, il serait envisageable de perfectionner les méthodes d'enseignement pour mieux répondre à leurs besoins, optimiser et même personnaliser leur apprentissage.

I. Eye-tracking : définition et histoire

L'eye-tracking, ou suivi oculaire, décrit dans la Revue Francophone d'Orthoptie par Blanc en 2013 (1), désigne l'ensemble des techniques qui permettent la surveillance des mouvements oculaires pendant l'exécution d'une tâche spécifique sur un support déterminé.

Il s'agit d'étudier en temps réel le centre d'attention du regard à l'aide de caméras qui suivent le reflet de la cornée, obtenu habituellement par l'émission d'un rayon infra-rouge, couplé à un ordinateur déterminant les coordonnées du centre du regard (1,2).

Historiquement, le travail de Drewes à l'Université de Munich (3) repris par Ju en 2019 (2) rapporte que dès le XVIIIème siècle des études s'intéressaient au suivi du regard. Celles-ci impliquaient généralement la mise au contact directe du matériel avec l'œil.

C'est en 1901 que la technique se perfectionne et devient non invasive en utilisant la réflexion de la lumière sur la cornée (travaux de Dodge et Cline de 1901, (4)), à la base de la technique toujours utilisée de nos jours.

En 1939, Jung met au point la première technique d'électro-oculographie (EOG) permettant l'étude en temps réel des données de suivi oculaire, en enregistrant à la fois les mouvements horizontaux et verticaux des yeux en utilisant des électrodes placées à proximité des yeux (cf. **FIGURE 1**).

FIGURE 1 : Appareil d'électro-oculographie (5).



Mais c'est finalement en 1948 que Hartridge et Thompson (6) mettent au point la technique moderne de l'eye-tracking, en autorisant les mouvements libres de la tête lors des mesures par un système de fixation du système sur les incisives (cf. **FIGURE 2**).

Les techniques se perfectionnent. Mackworth et Mackworth (7) en 1958 modernisent ces systèmes en arrivant à enregistrer simultanément le mouvement de l'œil et la scène visualisée par le sujet.

Le développement de l'informatique et des ordinateurs ont permis de continuer à développer et à perfectionner ces enregistrements, les rendant toujours plus précis et augmentant le nombre de données acquises, rendant les conditions d'études moins contraignantes.

FIGURE 2 : Schémas de l'eye-tracker mis au point par Hartridge et Thompson

(6)

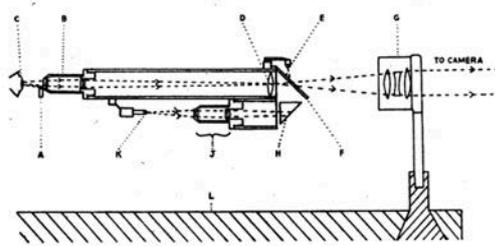


FIG. 1.

A plan of the original apparatus used by Hartridge and Thomson to measure movements of the eye.

A, light source to provide the corneal reflection; B, microscope objective; C, cornea; D, field lens; E, reference source; F, sloping glass plate to introduce reference image; G, collimator; H, right-angled prism; J, objective for the introduction of the fixation spots; K, source of light for fixation; L, optical bench.

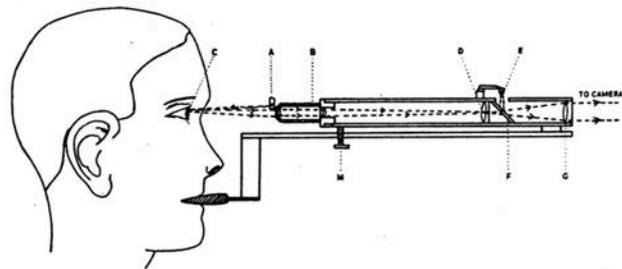
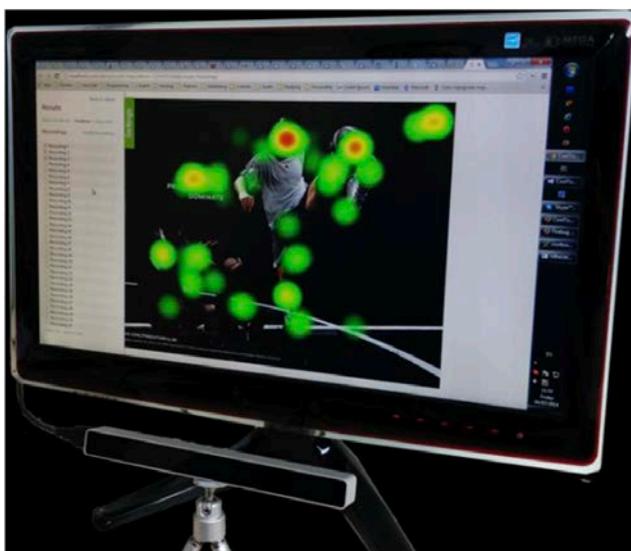


FIG. 2.

A plan of the new apparatus for measuring eye movements. Lettering as for Fig. 1, except that M indicates a screw for vertical height adjustment.

Aujourd'hui, deux technologies sont principalement employées : soit un outil fixe intégré à un écran d'ordinateur (impliquant la réalisation des tâches uniquement sur écran), soit embarqué dans une monture de lunettes, permettant de diversifier les supports et les conditions d'étude (1,2).

FIGURE 3 : Exemples d'outils d'eye-tracking stationnaire (sur écran) et sur lunette (2).



Une connaissance des bases anatomiques et physiologiques de l'œil est essentielle pour comprendre comment bien utiliser celles-ci dans le cadre de notre étude.

II. Bases anatomiques de la vision

L'organe de la vision (8) désigne l'ensemble des structures favorisant la réception et la transmission des influx visuels, sous forme de lumière.

Situé dans l'orbite qui le protège, il est constitué d'un organe principal qui est l'œil et de son nerf optique, et d'organes accessoires indispensables à son fonctionnement comme ses muscles dits oculomoteurs.

L'œil, ou bulbe oculaire, est constitué (cf. **FIGURE 4**) d'une enveloppe formée elle-même formée de trois tuniques :

- une tunique interne, correspondant à la **rétine**, sensible aux photons lumineux par ses photorécepteurs (cônes et bâtonnets).
- une tunique intermédiaire (dite vasculaire) correspondant à **l'uvée**, constituée de l'iris (jouant le rôle de diaphragme), du corps ciliaire et de la choroïde ;
- une tunique externe (dite fibreuse), formée par la **sclère** en arrière et la **cornée** en avant.

La rétine comporte (cf. **FIGURE 5**) :

- médialement la *papille* (ou tâche aveugle), au pôle inféro-médial, siège de réunion des axones neurosensoriels formant le nerf optique ;

- plus latéralement la *macula* siège d'une dépression centrale appelée **fovéa**, qui est la zone de résolution maximale de la rétine, et correspond au champ visuel principal, d'une taille de 1 degré angulaire environ (2). Lorsque l'on souhaite focaliser son regard, on bouge donc l'œil pour projeter la lumière sur cette zone.

FIGURE 4 : Représentation schématique du globe oculaire (9)

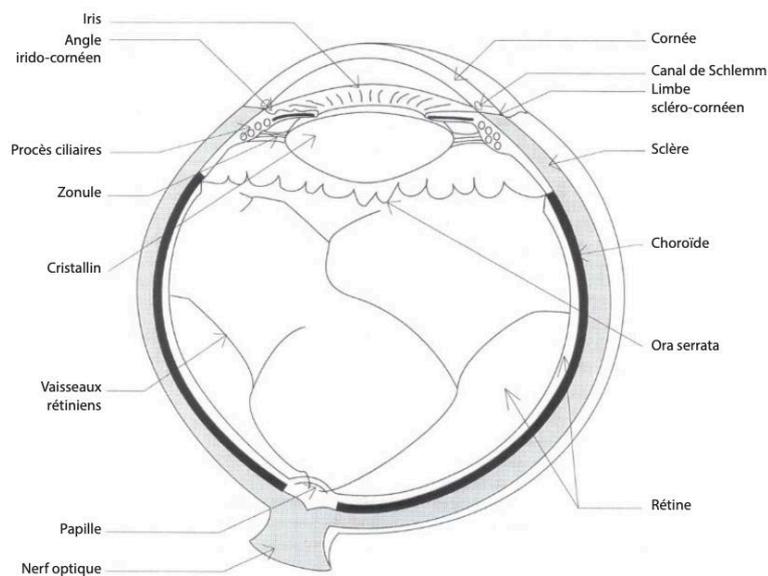
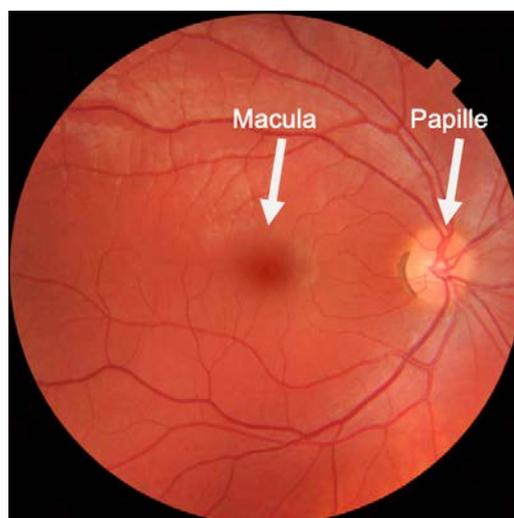
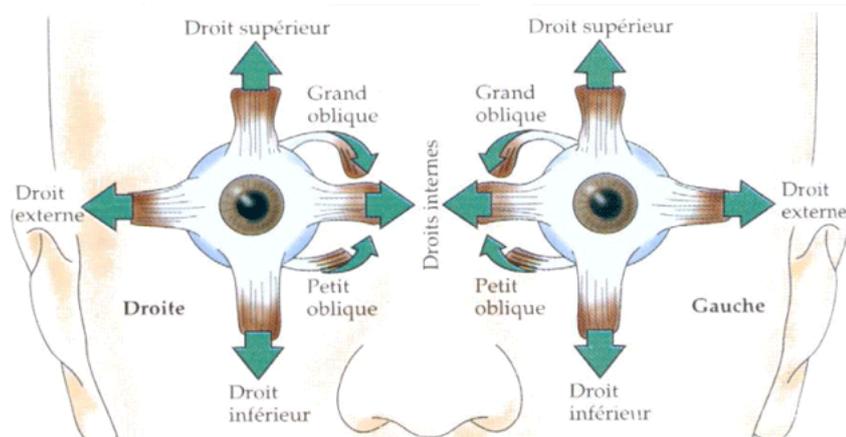


FIGURE 5 : Exemple de fond d'œil droit



Le système oculomoteur est basé sur six muscles striés : quatre muscles droits, un muscle oblique supérieur et un muscle oblique inférieur.

FIGURE 6 : Schéma des muscles oculomoteurs (10)

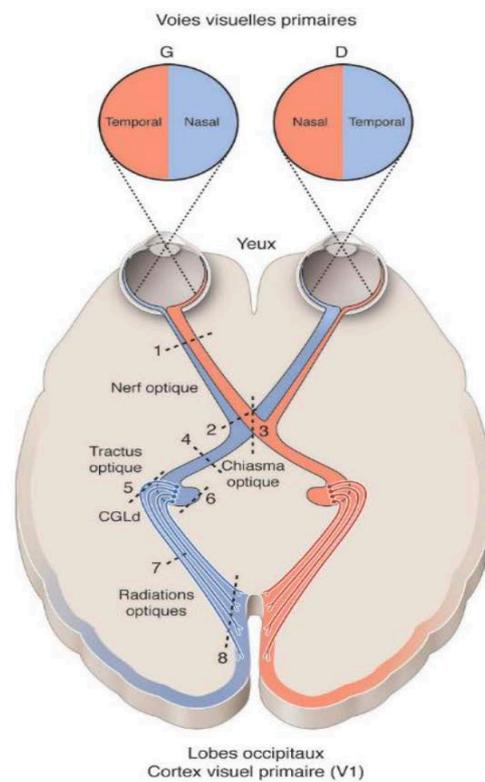


Les voies optiques sont une voie à trois neurones dite **réтино-гэниculo-corticale** (cf. **FIGURE 7**) :

- Le premier neurone est une cellule bipolaire **intra-rétinienne**, faisant le premier relai entre les cônes/bâtonnets rétiniens et le second neurone.
- Le deuxième neurone est une cellule ganglionnaire appelée **deutoneurone**. Les axones se regroupent pour former le *nerf optique*. Celui-ci passe par le canal optique, et échange des fibres avec son homologue controlatéral au-dessus et en avant de la selle turcique pour former le *chiasma optique*. En arrière, le chiasma se poursuit par deux *bandelettes optiques* dont le trajet contourne le mésencéphale. Elles font ensuite le second relai au niveau des *corps géniculés latéraux*.

- Le troisième neurone correspond aux **radiations optiques**. Elles sont issues des corps géniculés latéraux, et finissent en se projetant à la face médiale du cortex occipital de part et d'autre du sillon calcarin au niveau du cortex visuel primaire.

FIGURE 7 : Schématisation de la voie rétinogéniculocorticale (voie visuelle primaire) (9)



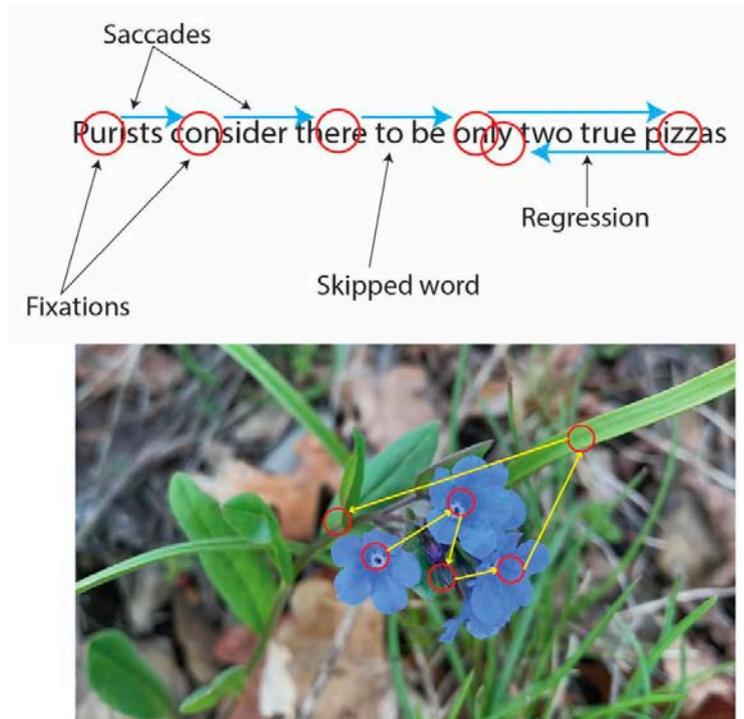
III. Bases physiologiques du regard dans la technologie eye-tracking

Carter et Luke (11) ainsi que Ju (2) décrivent deux mouvements principaux dans l'étude de l'eye-tracking (cf. **FIGURE 8**) :

- La **fixation**, qui correspond à l'instant où l'œil reste immobile et où le regard se fixe sur la zone d'intérêt. Sa durée est celle du temps nécessaire au traitement de l'information lumineuse par les voies visuelles. Comme nous l'avons vu ci-dessus, en raison de la petite taille de la fovéa, une seule fixation ne permet pas de récupérer l'ensemble de l'information, et donc des *micromouvements* sont nécessaires pour recentrer l'image sur la fovéa. Pour l'étude d'une image, chaque point de fixation dure entre 180 et 275 millisecondes, variant selon la nature de celle-ci ou son mode d'analyse (12).
- Ces fixations sont séparées par des **saccades**. Ces mouvements rapides sont filtrés lors de l'interprétation par le cortex visuel primaire, les rendant donc imperceptibles. La vitesse et la durée des saccades augmentent avec leur amplitude. Ainsi par exemple, elles sont plus courtes lors de la lecture, de l'ordre de 30 millisecondes pour 2 degrés de mouvements, mais augmentent lors de l'étude d'une image, où elles sont de l'ordre de 40 à 50 millisecondes pour 5 degrés de mouvements (11).

FIGURE 8 : Représentation des fixations (cercles) et saccades (flèches)

(11)

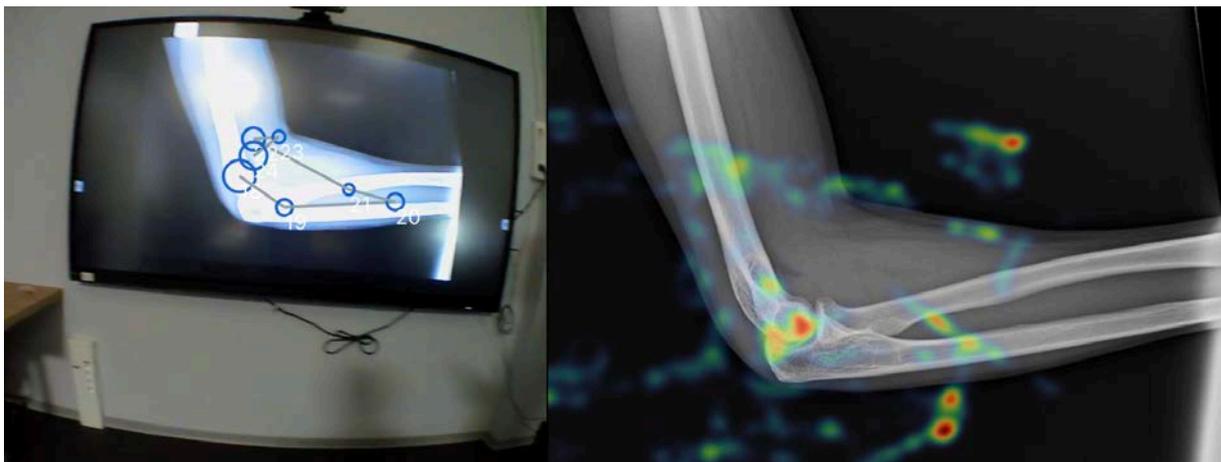


D'autres mouvements sont également parfois étudiés :

- la **poursuite lisse** (smooth pursuit) : lors de la fixation d'un objet *mobile*, impliquant une coordination des fixations et des saccades.
- le **réflexe vestibulo-oculaire** (VOR) : lorsque de la fixation d'un objet immobile, les muscles oculomoteurs compensent les mouvements de la tête (par l'intermédiaire d'interneurones entre les noyaux des nerfs oculomoteurs vers le noyau du nerf accessoire) permettant l'oculocéphalogyrie (8).

Par la technologie d'eye-tracking, il est ainsi possible d'extraire les fixations et saccades du sujet, de représenter le cheminement de son regard (ou *pattern*) et même d'en calculer une cartographie des points d'intérêts (ou *heat map*).

FIGURE 9 : Fixations-saccades et cartographie-couleur (heat map) obtenue après post-traitement

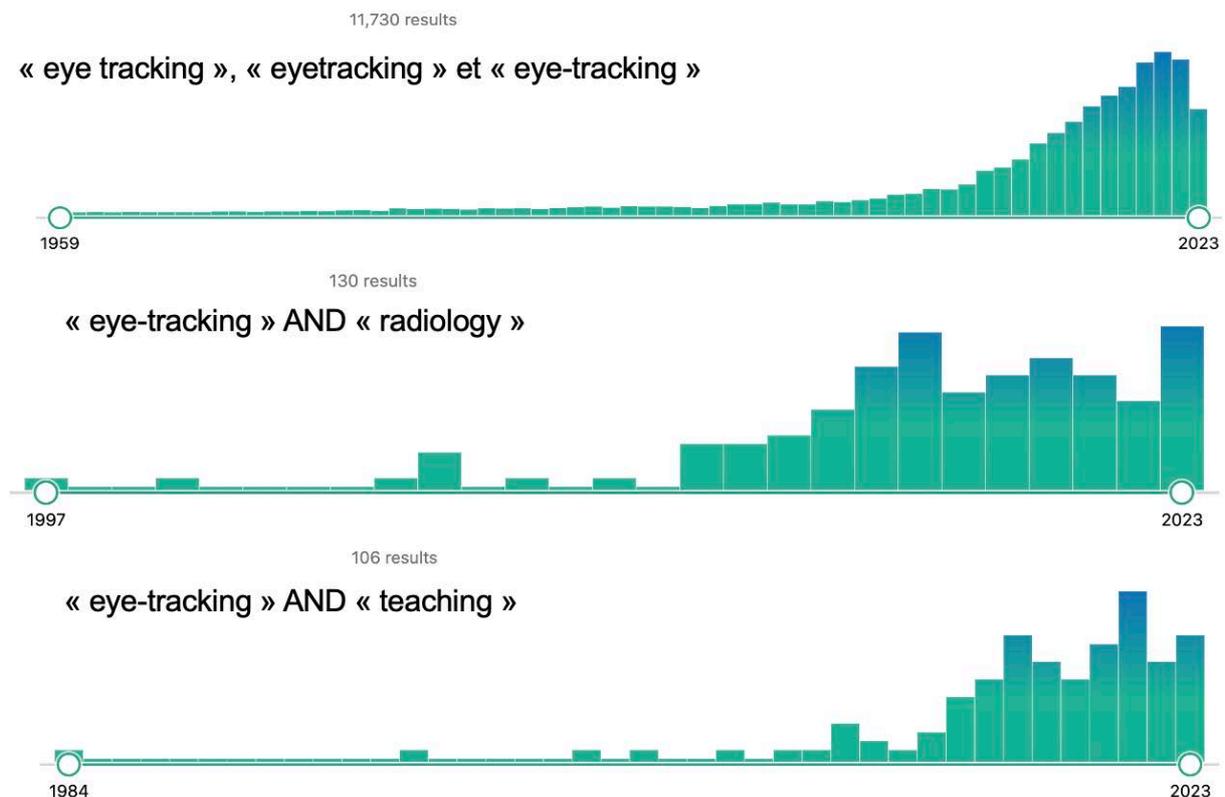


Après avoir revu les bases anatomiques et physiologiques de la vision et du regard, nous avons tout d'abord revu les différentes applications déjà établies de cette technologie.

D'autres nombreuses études ont également démontré son application notamment en design (15), en marketing (16), en psychologie et en médecine (11).

Le nombre d'études et de publications concernant l'eye-tracking dans le domaine médical s'est multiplié de façon presque exponentielle au cours des 20 dernières années, avec moins d'une centaine de publications par an répertoriées sur PubMed® en 2003 et près de 1297 en 2022 (cf. **FIGURE 11**).

FIGURE 11 : Évolution du nombre de publications répertoriées par PubMed® avec la recherche des mots clés suivants :



Rappelons par ailleurs que l'étude de Carter et Luke (11) propose une revue des bases et des bonnes pratiques à mener lors des recherches impliquant cette technologie.

Son utilisation est déjà bien établie par exemple en ophtalmologie dans la chirurgie réfractive de l'œil (17).

Plusieurs études discutent également de son application dans le diagnostic et le pronostic des maladies neurodégénératives telles que la maladie d'Alzheimer (18), la maladie de Parkinson (19) ou neuro-inflammatoires comme la sclérose en plaques(20). Des applications thérapeutiques sont également en voie d'étude, par exemple dans le cadre des Troubles Déficit de l'Attention avec Hyperactivité (21).

En radiologie spécifiquement, ces études sont moins nombreuses et restent intrinsèquement liées à la pédagogie. Cependant ces études sont nettement moins nombreuses, avec 106 résultats référencés sur PubMed® dont la majorité remontent à moins de dix ans (cf. **FIGURE 11**).

Les premiers travaux remontent à 1962 avec Tuddenham (22) qui s'intéresse aux patterns de lecture d'une radiographie thoracique, puis Kundel et al. (23,24) qui y associent les techniques d'eye-tracking pour étudier plus précisément les zones d'intérêts des radiologues.

Des auteurs comme Kevin et al. (25) se sont intéressés au processus cognitif qui sous-tend l'analyse visuelle. En effet, la question majeure qui sous-tend ces recherches, et la nôtre, est de comprendre le raisonnement qui sous-tend le regard et permet d'arriver au diagnostic. En 1994 par exemple, Barret et al. (26) utilise l'eye-tracking sur des mammographies et observe d'abord

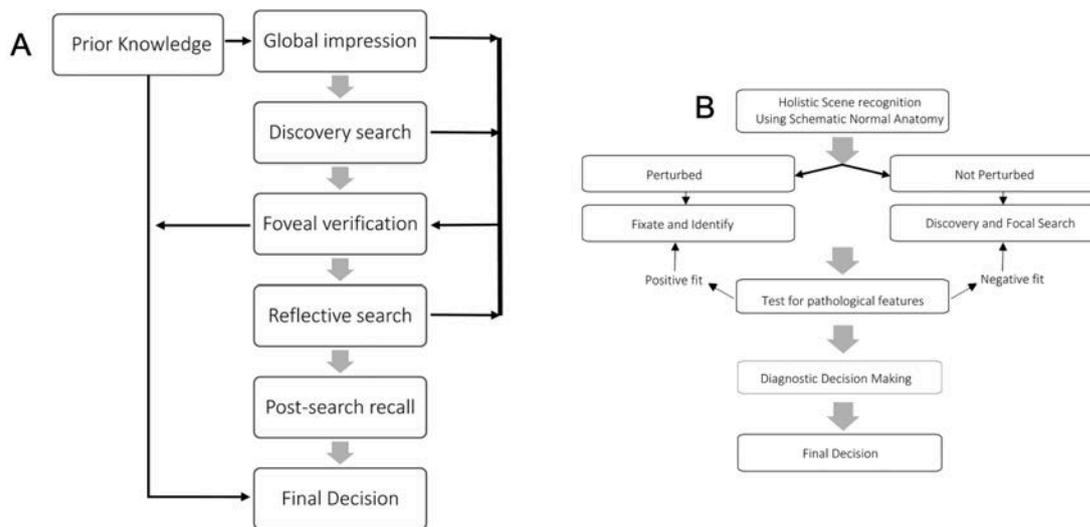
que les temps de fixation sont généralement plus longs sur les zones pathologiques.

Il se dégage ainsi trois modèles cognitifs principaux, synthétisés notamment par Gandommkar et Mello-Thoms (27) :

- Un modèle de détection en deux étapes appelé *two-stage detection model* (28), impliquant d'abord une analyse globale puis l'analyse d'une question donnée (par exemple la recherche d'un nodule pulmonaire), incomplet.
- Un modèle de recherche dit global-focal (ou *global-focal search model*), impliquant d'abord une analyse globale permettant de relever d'éventuelles anomalies, puis de se focaliser individuellement sur chacune d'elle (cf. **FIGURE 12**)
- Un modèle dit holistique (ou *holistic processing model*), une analyse globale rapide, interrompue ou non par d'éventuelles anomalies (cf. **FIGURE 12**), ou plus simplement déceler rapidement l'irruption d'une anomalie dans une image normale (29).

Une revue systématique de Van Der Gijp et al. (30) en 2017 nous rapporte que la démarche des radiologues experts se rapproche du modèle global-focal ou du modèle holistique en mammographie (29).

FIGURE 12 : Diagrammes du modèle global-focal (A) et du modèle holistique (B), repris de Gandommkar et Mello-Thoms (27)



Aussi, moins d'études ont comparé ces modèles entre radiologues expérimentés et internes ou étudiants en formation. Wood et al. (31) comparent ainsi les résultats entre des radiologues expérimentés et des internes en cours de formation sur la lecture de radiographies ostéoarticulaires, à la recherche de fractures. Ils déterminent ainsi que les experts détectent plus rapidement les anomalies mais aussi qu'ils sont plus systématiques dans leur pattern de lecture. Anderson et Shyu (32) montre que sur des images globalement symétriques, les experts ont un regard global et comparent le côté sain et éventuellement pathologique, se rapprochant ainsi du modèle holistique. Sur l'analyse de scanners abdominopelviens, Bertram et al. (33) montre que les radiologues expérimentés ont également tendance à fixer plus longtemps les anomalies et à mettre moins de temps pour les détecter. L'étude de Gnanasekaran et al. (34) s'intéresse aux étudiants en odontologie en analysant le pattern de

SANDOR Hugo

lecture des panoramiques dentaires, observant que leur analyse était peu systématique et amenait souvent à se tromper de diagnostic.

Il est alors intéressant de s'interroger sur les compétences en imagerie des étudiants en médecine de 2^{ème} cycle. Nous souhaitons donc tout d'abord reprendre les bases de la formation médicale (notamment au vu des réformes récentes) puis en imagerie médicale pour d'abord préparer au mieux les imageries à soumettre aux étudiants, en accord avec leur programme, et par la suite discuter des résultats en tenant compte des objectifs de leur formation, par l'exemple des annales issues des Épreuves Classantes Nationales (**E.C.N.**).

V. Formation en imagerie médicale en 1^{er} et 2^{ème} cycle

Les études de médecine se répartissent aujourd'hui en trois cycles

principaux :

- Le **premier cycle** encadre les trois premières années d'études pré-cliniques (P.A.S.S., MED-2 et MED-3), et délivre à la fin de la troisième année un Diplôme de Formation Générale en Sciences Médicales (D.F.G.S.M.) suite à l'arrêté du 22/03/2011 paru au J.O. du 13/04/2011 (35)
- Le **deuxième cycle** encadre ce que l'on appelait « l'externat », les quatrième, cinquième et sixième années d'études cliniques (MED-4, MED-5 et MED-6). Il est désormais encadré par l'arrêté du 19/04/2022 paru au J.O. du 21/04/2022 (36), connu sous le nom de Réforme du Deuxième Cycle des études médicales ou « R2C ».
- Le **troisième cycle** est celui de « l'internat », marqué à son terme par l'obtention d'un Diplôme d'Études Spécialisées. Il est encadré par les arrêtés du 12 et 21/04/2017, parus au J.O. du 14 et du 28/04/2017 (37).

Le deuxième cycle permet l'obtention d'un Diplôme de Formation Approfondie en Sciences Médicales (**D.F.A.S.M.**) et l'accès au troisième cycle, mais ses modalités d'obtention ont donc récemment changé :

- D'une part, celles-ci passent par les Épreuves Dématérialisées Nationales (**E.D.N.**) sur tablette, qui remplacent les Épreuves Classantes Nationales (**E.C.N.**) ;

- D'autre part, par les Examens Cliniques Objectifs et Structurés (**E.C.O.S**), une évaluation orale avec un jury composé de professeurs et de chefs de clinique ;
- Enfin, par l'attribution de points liés au Parcours d'Orientation Professionnelle (**P.O.P.**).

Au décours des examens, les étudiants présentent leurs vœux de choix de spécialité (D.E.S.) et une plateforme numérique réalise l'appariement (*matching*) de chaque étudiant à sa future spécialité en fonction de son classement et de ses choix. Le programme et l'organisation des E.D.N. et des E.C.O.S. sont définis par l'arrêté du 19/04/2022.

L'objectif est désormais d'évaluer à la fois les compétences des étudiants en plus de leurs connaissances. Ces connaissances sont également désormais hiérarchisées au sein des items (38) :

- Celles dites de **rang A** doivent être maîtrisées par tous les étudiants à l'issue du deuxième cycle, quel que soit la spécialité à laquelle ils se destinent. Elles sont au nombre de 2718, soit 55,7% du programme. La note minimale attribuée aux connaissances de rang A est fixée à 14/20. En cas de note inférieure, une session de rattrapage est prévue mais seule la première note est conservée pour le processus d'appariement.
- Celles de **rang B**, qui doivent être acquises par l'étudiant pour être apte dès le premier jour de phase socle d'un D.E.S. Elles sont au nombre de 2153, soit 46,3% environ du programme.
- Celles de **rang C**, qui regroupent les notions spécialité uniquement destinées aux étudiants du 3^{ème} cycle. *Elles ne sont donc pas au programme du 2^{ème} cycle, mais restent disponibles au sein des référentiels.*

Cette hiérarchisation participe à l'objectif d'organisation des connaissances des étudiants. De nouvelles modalités d'évaluation au sein des cas cliniques ont été introduites dès l'E.C.N. 2023 et seront reconduites aux E.D.N. (41).

Celles-ci ont été réparties et mélangées dès les E.C.N. préparatoires de 2023 et l'E.C.N. de juin 2023 au sein d'unités de composition qui faisaient auparavant l'objet d'épreuves distinctes, incluant :

- Des **Dossiers Progressifs (D.P.)** : une situation clinique de départ avec des questions apparaissant progressivement, la question suivante ne se révélant qu'une fois la réponse validée afin de reproduire la progression de la démarche diagnostique et la prise en charge. Désormais ces dossiers, plus nombreux, comportent 3 à 7 questions contre 13 à 17 jusqu'aux E.C.N. 2022.
- Des **Questions Isolées (Q.I.)** : une situation clinique de départ isolée interrogeant sur un point donné (diagnostic, sémiologie, examens paracliniques, thérapeutique etc.).
- Des **Key Feature Problem (K.F.P.)** : une situation clinique et 2 à 3 questions seulement portant sur un point précis de la situation clinique donnée ou de la prise en charge.

En imagerie médicale, les connaissances au programme des E.D.N. englobent un champ large, aussi bien de rang A que de rang B, incluant des contenus multimédias précis (cf. **ANNEXE 1**) et un item dédié à la radioprotection.

Au sein du programme officiel (38), il est tout d'abord précisé au sein du paragraphe concernant les principes de prise en charge au long cours que « l'étudiant [...] doit acquérir des connaissances de radio-anatomie, doit connaître les principales stratégies de prescription en imagerie et enfin doit connaître la séméiologie en

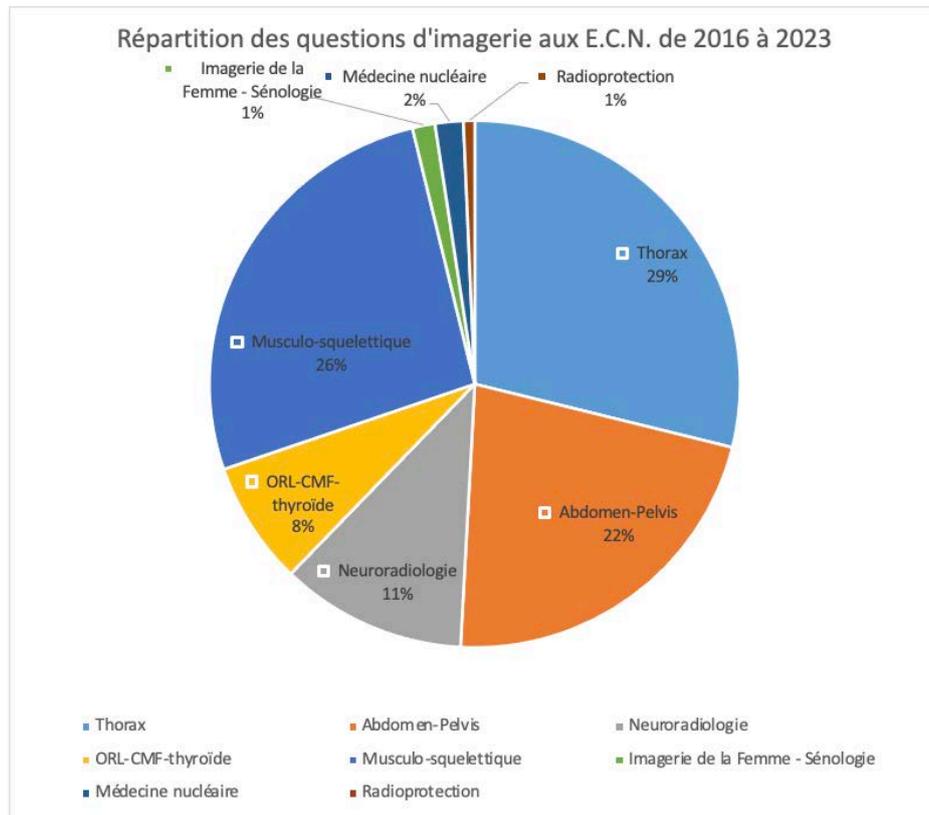
imagerie des principales urgences et pathologies qu'un médecin de premier recours pourra rencontrer ».

Ces questions d'imagerie ont fait l'objet de nombreuses questions au cours des derniers E.C.N. (cf. **ANNEXE 2**). Celles-ci se rapportent essentiellement à la prescription du bon examen complémentaire d'imagerie et à l'analyse d'iconographies (bases anatomiques, sémiologie radiologique).

Ainsi, sur un total de 210 questions environ par années de 2016 à 2022 (format Q.R.M et Q.R.U. répartis au sein des dossiers progressifs et des questions isolées), les questions portant sur la radiologie et l'imagerie médicale représentaient entre 7 et 15% de l'ensemble des questions (cf. **ANNEXE 2**).

La répartition des différentes spécialités en imagerie au cours des dernières années est résumée dans la **FIGURE 13**.

FIGURE 13 : Répartition des questions d'imagerie aux E.C.N. de 2016 à 2023 selon la spécialité



Son enseignement à la Faculté de Médecine Henri Warembourg de l'Université de Lille s'étale sur plusieurs années tout au long du cursus :

- Tout d'abord en 1^{er} cycle par l'enseignement :
 - Des bases anatomiques et en rayonnements ionisants en P.A.S.S. ainsi qu'un enseignement thématique d'anatomie en MED-2 ;
 - Des bases de radioprotection et d'indication des examens d'imagerie dans le cadre d'un enseignement intégré « Bases moléculaires et cellulaires des pathologies » en MED-2 ;
 - Par des cours dédiés intégrés au sein d'Enseignements Intégrés par spécialité en MED-2 et MED-3

- Puis se poursuit en 2^{ème} cycle :
 - Par la revue des items du programme lors d'Enseignements Dirigés ;
 - Par un enseignement libre optionnel intitulé « Stratégie des examens d'imagerie » ouvert en MED-4, MED-5 et MED-6 ;
 - Par des conférences facultaires spécialisées réalisées par des internes de la spécialité de la MED-4 à la MED-6.
 - Par une nouvelle Unité d'Enseignement dans le cadre des E.C.O.S. en MED-6 avec des Enseignements Dirigés dédiés à l'imagerie ;
 - Un séminaire dit « Best-of » proposé jusqu'alors aux MED-6 dans le cadre de leurs dernières révisions.

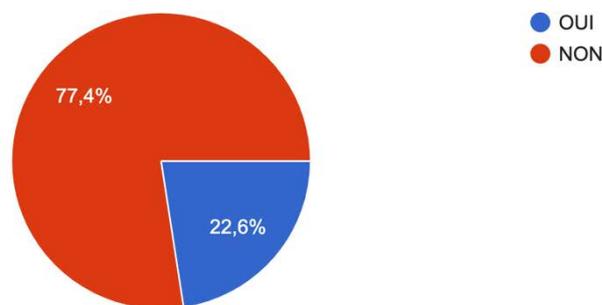
Nous avons ainsi réalisé un sondage auprès de 62 étudiants de MED-6 de la Faculté Henri Warembourg de Lille lors des séminaires de « Best-of » de mai et septembre 2023 sous forme d'un Google Form (cf. **FIGURE 14**).

On observe que 77% des étudiants en fin de 2^{ème} cycle n'ont pas eu de journée de stage dédiée à l'imagerie. De même près de 64,5% éprouvent des difficultés ou des hésitations en radio-anatomie. Il est donc essentiel de baser notre étude sur des notions au programme du 2^{ème} cycle pour se rapprocher au mieux des attentes de nos apprenants.

FIGURE 14 : Questions et résultats du sondage réalisé auprès de 44 étudiants de MED-6 de la faculté de médecine de l'Université de Lille lors du séminaire « Best-of » de radiologie (E. De Sousa), mai et septembre 2023.

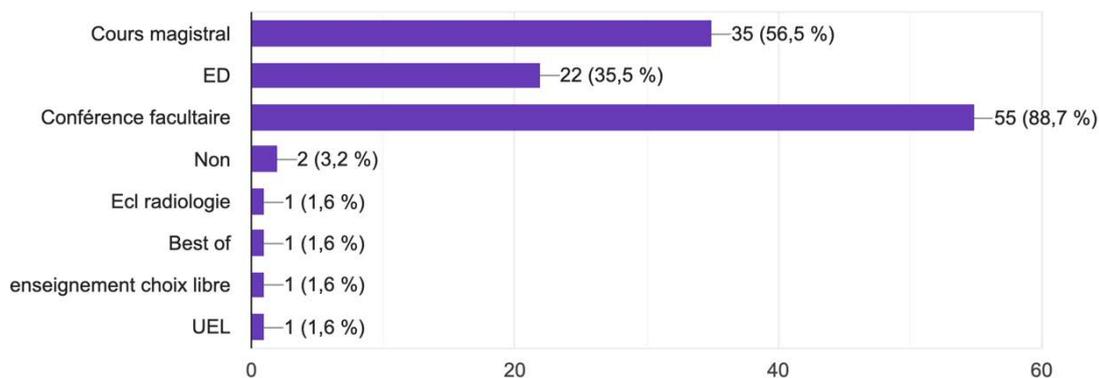
Avez-vous déjà réalisé auparavant un (ou des) stage(s) dans un service de radiologie ?

62 réponses



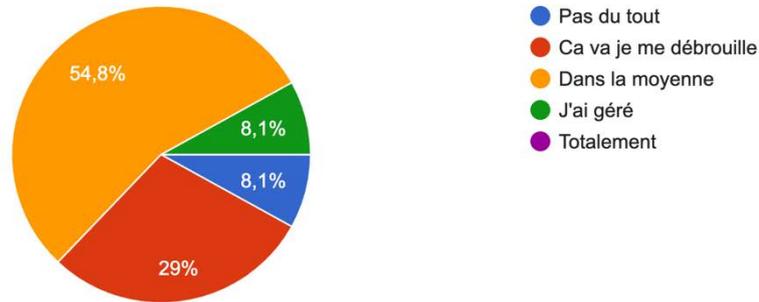
Avez-vous déjà bénéficié auparavant d'une formation théorique dédiée à l'imagerie médicale parmi les propositions suivantes ?

62 réponses



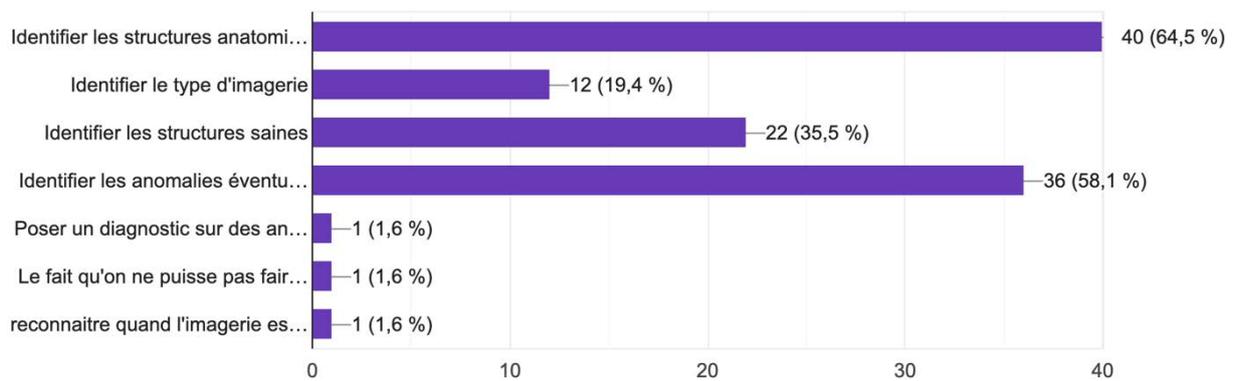
Pensez-vous que vous avez regardé méthodiquement les iconographies d'imagerie médicale ?

62 réponses



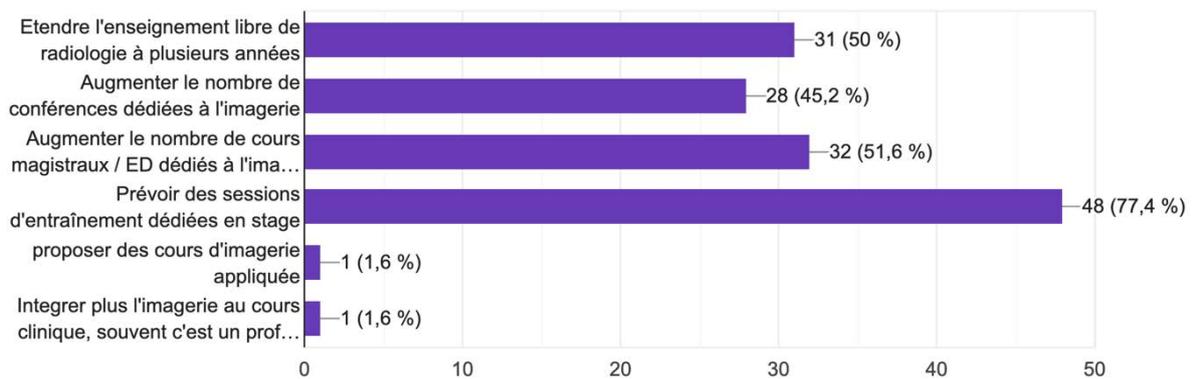
Quelles sont les principales difficultés ou hésitations que vous rencontrez sur les questions d'imagerie ?

62 réponses



Si vous aviez une suggestion pour améliorer l'enseignement universitaire de la radiologie, quelle serait-elle ? (plusieurs réponses sont possibles)

62 réponses



L'objectif principal de notre étude est alors d'étudier et de comparer la lecture d'imageries par les étudiants à celle de radiologues expérimentés, puis de corrélérer cette lecture aux diagnostics proposés par les étudiants notamment en fonction des informations à leur disposition. Dans un second temps, il sera également intéressant de discuter de la perception de leur formation et des attentes dans le cadre de l'imagerie pour exploiter cette nouvelle technologie.

MATERIELS ET METHODES

I. Population cible et échantillon

Notre population cible pour cette étude est celle des étudiants en 2^{ème} cycle des études médicales. Nous avons donc utilisé comme population source les étudiants en stage au sein du service de Neuroradiologie de l'Hôpital Roger Salengro du C.H.U. de Lille. Durant notre période de recrutement, vingt étudiants étaient affiliés au service dans le cadre de leurs stages obligatoires : dix entre avril et juin 2023, dix de juillet à septembre 2023.

Tous ont été informés que leur regard serait enregistré anonymement pour analyse et ont donné leur consentement oral.

Pour caractériser notre échantillon, chaque étudiant a d'abord rempli un questionnaire pré-test (cf. **FIGURE 15**). Nous n'avons pas relevé l'âge des participants, s'adressant à des étudiants en médecine leur âge était globalement similaire. Nous n'avons pas relevé non plus le sexe des participants, Coors et al. (42) ayant démontré l'absence de différence significative entre les sexes.

Un autre questionnaire après les enregistrements était ensuite proposé avec cinq questions concernant leur ressenti sur la séance et cinq autres questions sur leur expérience de l'enseignement de la radiologie (cf. **FIGURE 16**). Nous demandions alors leurs appréciations sur une échelle s'étalant de 0 à 5 (0 = Pas du tout d'accord ; 5 = Totalemment d'accord).

Les participants étaient convoqués par créneau de 20 minutes dans la salle de réunion du service, où un écran-PC interactif et tactile de grande taille de

la marque Speechi® (cf. **FIGURE 17**) était à notre disposition et a servi à projeter les iconographies en résolution 3840 x 2160 pixels.

Les radiologues expérimentés étaient recrutés en fonction de leur disponibilité et sur volontariat au sein de l'équipe de Neuroradiologie de l'Hôpital Roger Salengro du C.H.U. de Lille (Docteurs Junior, Assistants, Chefs de Clinique, Praticiens Hospitaliers).

FIGURE 15 : Questionnaire pré-test concernant les caractéristiques de la population échantillonnée

Bienvenue à toutes et à tous pour cette 1^{ère} séance de simulation en imagerie médicale à la faculté de médecine de Lille à l'aide de la technologie eye-tracking. Celle-ci n'a pas pour objectif de vous évaluer et dans l'esprit de confidentialité lié à cet enseignement, ce qui se déroulera lors de la séance ne sera pas diffusé. Pour continuer d'améliorer l'enseignement de la radiologie, nous utiliserons pour la 1^{ère} fois ce nouvel outil pédagogique. Nous souhaiterions tout d'abord recueillir de façon anonyme les données suivantes :

1. *Date de la séance :*

2. *Année d'études :*

MED-4

MED-5

MED-6

3. *Avez-vous déjà réalisé auparavant un (ou des) stage(s) dans un service de radiologie ?*

OUI

NON

4. *Combien de jours de stage dans le service de neuroradiologie avez-vous déjà réalisé environ jusqu'ici ?*

Moins d'une semaine

Entre 1 et 3 semaines

Plus de 3 semaines

5. *Avez-vous déjà bénéficié auparavant d'une formation théorique dédiée à l'imagerie médicale parmi les propositions suivantes ?*

Cours magistral

ED

Conférence facultaire

Autre (précisez) :

NON

6. Avez-vous déjà participé à une formation en simulation sur des scénarios ?

OUI (si oui, précisez) :

NON

FIGURE 16 : Questionnaire post-test concernant le ressenti des étudiants sur leur interprétation et l'enseignement en radiologie

QUESTIONNAIRE POST-TEST : Concernant cette session, vous diriez :

1. Que vous avez regardé méthodiquement les iconographies ?

Pas du tout 1 2 3 4 Totalement

2. Que le contexte clinique vous a orienté dans le diagnostic ?

Pas du tout 1 2 3 4 Totalement

3. Que les propositions de QCM vous ont orienté dans le diagnostic ?

Pas du tout 1 2 3 4 Totalement

4. Que les diagnostics à évoquer vous semblaient difficiles ?

Pas du tout 1 2 3 4 Totalement

Si oui, donnez l'exemple le plus marquant :

5. Que les principales difficultés ou hésitations que vous avez rencontrées étaient :

D'identifier les structures anatomiques

D'identifier le type d'imagerie

D'identifier les structures saines

D'identifier les anomalies éventuelles

Autre (précisez) :

6. Que votre formation en stage vous a été utile pour analyser les iconographies ?

Pas du tout 1 2 3 4 Totalement

7. *Que les cours magistraux / ED vous ont été utiles pour analyser les iconographies ?*

Pas du tout 1 2 3 4 Totalement Je n'en ai pas eu

8. *Que les conférences facultaires vous ont été utiles pour analyser les iconographies ?*

Pas du tout 1 2 3 4 Totalement Je n'en ai pas eu

9. *Que vous souhaiteriez plus d'entraînement type ECN/EDN dans votre formation ?*

Pas du tout 1 2 3 4 Totalement

10. *Si vous aviez une suggestion pour améliorer l'enseignement universitaire de la radiologie, quelle serait-elle ? (plusieurs réponses sont possibles)*

Étendre l'enseignement libre de radiologie à plusieurs années

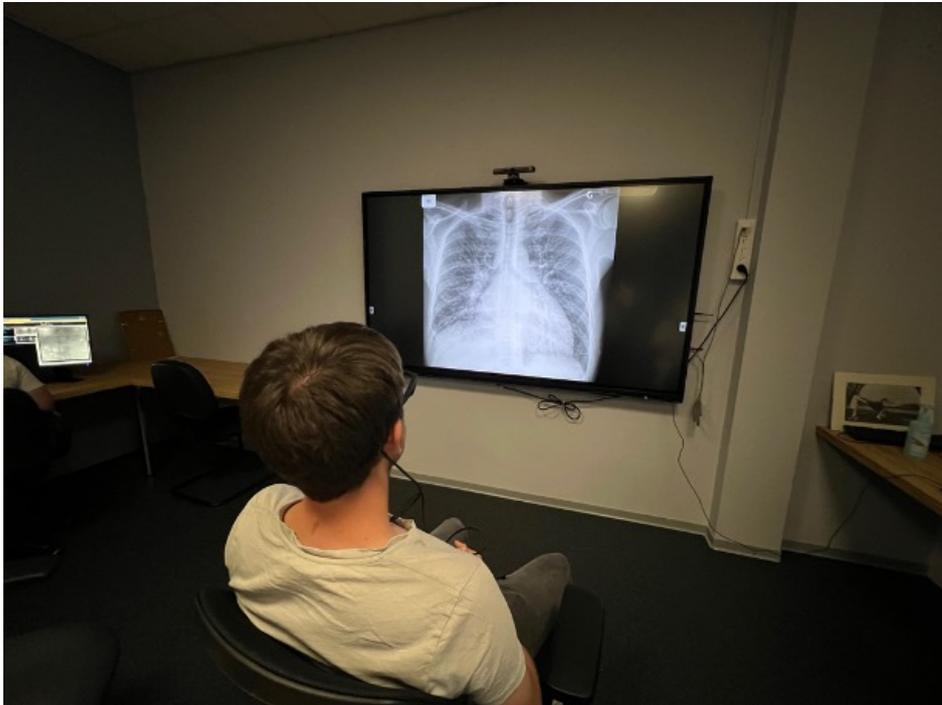
Augmenter le nombre de conférences dédiées à l'imagerie

Augmenter le nombre de cours magistraux/ED dédiés à l'imagerie

Prévoir des sessions d'entraînement dédiées en stage

Autre (précisez) :

FIGURE 17 : écran-PC tactile Speechi® du service de Neuroradiologie de l'Hôpital Roger Salengro du C.H.R.U. de Lille (avec l'accord du Docteur C. Bruge)



II. Enregistrement et iconographies

L'enregistrement était réalisé lors de la lecture de dix iconographies fixes sur un diaporama Powerpoint (sans possibilité d'interaction directe par les apprenants) au programme des E.C.N. et E.D.N., issues directement des annales de l'E.C.N. (43) ou de conférences facultaires lilloises (cf. **FIGURE 18 et ANNEXE 3**). La répartition des spécialités présentées différait de celle des E.C.N. (cf. **FIGURE 13**), les étudiants étant affiliés au service de neuroradiologie nous avons fait le choix de présenter davantage d'iconographies se rapportant à la neuro-radiologie.

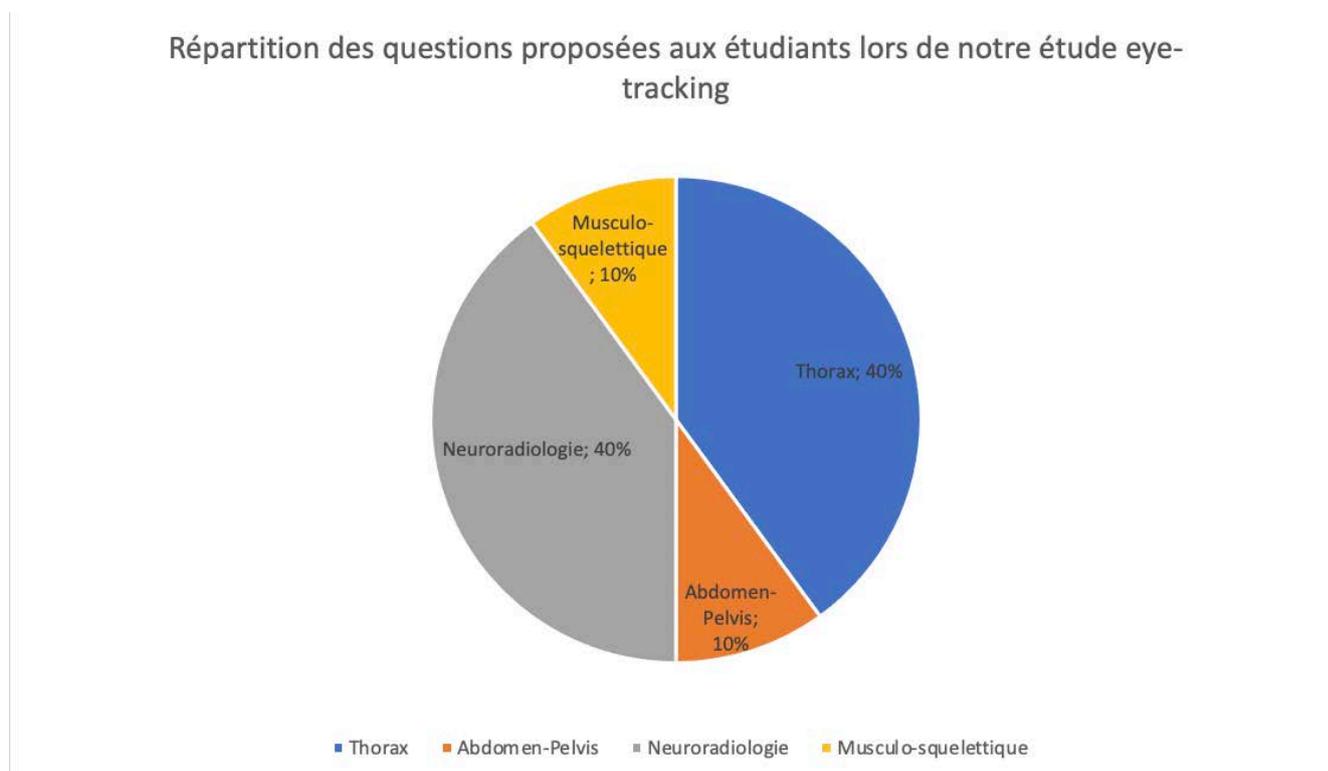
Chaque sujet a bénéficié de trois temps de lecture successifs, de vingt à cinquante secondes environ chacun, l'enregistrement étant parfois interrompu avant à la demande de l'étudiant ou de l'expert (afin de se rapprocher de conditions réelles d'interprétation, dans le cadre d'une vacation par exemple ou d'un examen facultaire) :

- Une *première lecture* d'une vingtaine de secondes environ : l'iconographie était présentée seule, sans contexte clinique.
- Une *seconde lecture* également d'une vingtaine de secondes : la même iconographie avec un contexte clinique associé.
- Une *troisième lecture* d'une cinquantaine de secondes : la même iconographie, le contexte clinique et une Q.R.M. similaire à celles posées lors des examens.

La question posée lors des deux premières lectures était d'inscrire dans un tableau le diagnostic évoqué de façon la plus exhaustive possible. Pour la dernière, il leur était proposé de répondre à la Q.R.M, afin d'orienter leur regard.

Comme lors des E.C.N. certaines iconographies présentées était normales.

FIGURE 18 : Répartition et tableau des dix iconographies présentées aux étudiants lors de l'enregistrement et diagnostics attendus

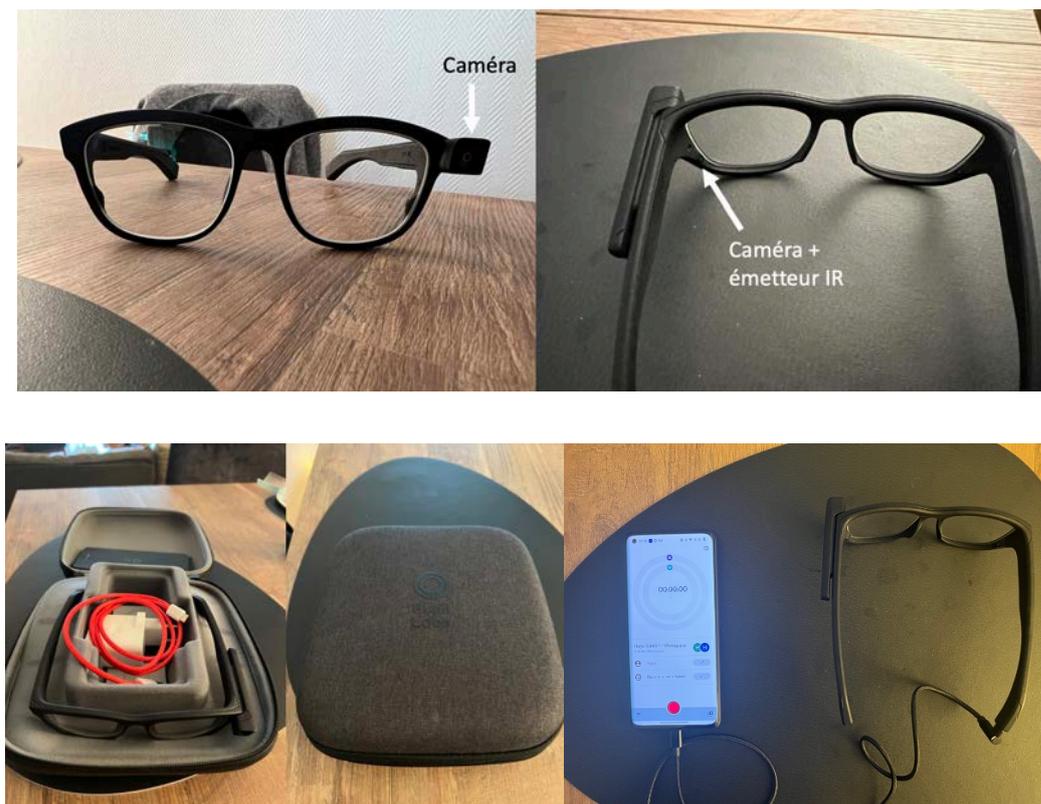


Iconographie	Description	Source	Diagnostic attendu
1	Scanner cérébral	ECN 2017 DP 1	Hémorragie sous-arachnoïdienne Hydrocéphalie et hémorragie intraventriculaire
2	Radiographie thoracique	ECN 2019 DP 2	Radiographie thoracique normale
3	Scanner abdominopelvien	ECNp 2017 DP 18	Pancréatite aiguë nécrosante Coulées de nécrose
4	IRM cérébrale	Conférence	3D TOF normal Perméabilité sans irrégularité ou anévrisme des artères du polygone de Willis
5	Radiographie du coude	Conférence	Epanchement intra-articulaire, Suspecter une fracture de la tête radiale
6	Radiographie thoracique	ECN 2019 QI 12	Radiographie thoracique et image thymique normale
7	Scanner cérébral	ECNp 2017 QI 39	Hématome sous-dural chez un nourrisson Suspecter un syndrome de bébé secoué
8	IRM cérébrale	Conférence	AVC hyperaigu sylvien superficiel gauche Occlusion de l'artère cérébrale moyenne gauche <i>Accessible à la thrombolyse et à la thrombectomie</i>
9	Scanner thoracique	ECN avril 2023 DP 13	Masse pulmonaire lobaire inférieure droite et nodules disséminés
10	Radiographie thoracique	ECN 2019 DP 17	Œdème aigu pulmonaire

Le système utilisé pour notre enregistrement sont le modèle de lunettes Pupil Invisible[®] de la marque Pupil Labs[®] (44) (cf. **FIGURE 19**).

Elles comportent une caméra amovible fixée à sur sa branche gauche, permettant d'enregistrer des images de 1088 x 1080 pixels à une fréquence de 30Hz. Les caméras et émetteurs infrarouges suivant les pupilles en temps réel sont situés à la face interne des lunettes sur le bord latéral des verres. Leur précision est de l'ordre de 4,6 degrés environ sans calibrage (soit de l'ordre d'une saccade (11)). L'avantage de ce modèle est sa facilité d'utilisation et de mise en route, ne nécessitant pas de calibrage systématique pour chaque sujet.

FIGURE 19 : Photographie et caractéristiques des lunettes Pupil Invisible[®] utilisées pour l'enregistrement (44).



Ces lunettes sont contrôlées par une application, Pupil Invisible Companion App, disponible gratuitement sur le Google Playstore® et compatibles seulement avec les smartphones OnePlus8® et OnePlus6® (un smartphone OnePlus8® est fourni avec le matériel).

Ainsi les lunettes et le smartphone sont reliés physiquement par un câble lors de l'acquisition. Nous déclenchons et arrêtons manuellement l'enregistrement via le smartphone. Une fois ce dernier connecté à Internet, les images sont envoyées en ligne sur un cloud internet appelé Pupil Cloud® (45), accessible de n'importe quel navigateur internet, et où le post-traitement est réalisé.

Les étudiants complétaient leurs grilles de réponse directement pendant l'enregistrement (cf. **FIGURE 20**), puis leurs réponses ont été répertoriées au sein d'un document Excel (cf. **ANNEXE 6**).

FIGURE 20 : Grille de réponse proposée des étudiants

	LECTURE 1	LECTURE 2 (contexte)	LECTURE 3 (QCM)
Dossier 1			A. B. C. D. E.
Dossier 2			A. B. C. D. E.
Dossier 3			A. B. C. D. E.
Dossier 4			A. B. C. D. E.
Dossier 5			A. B. C. D. E.

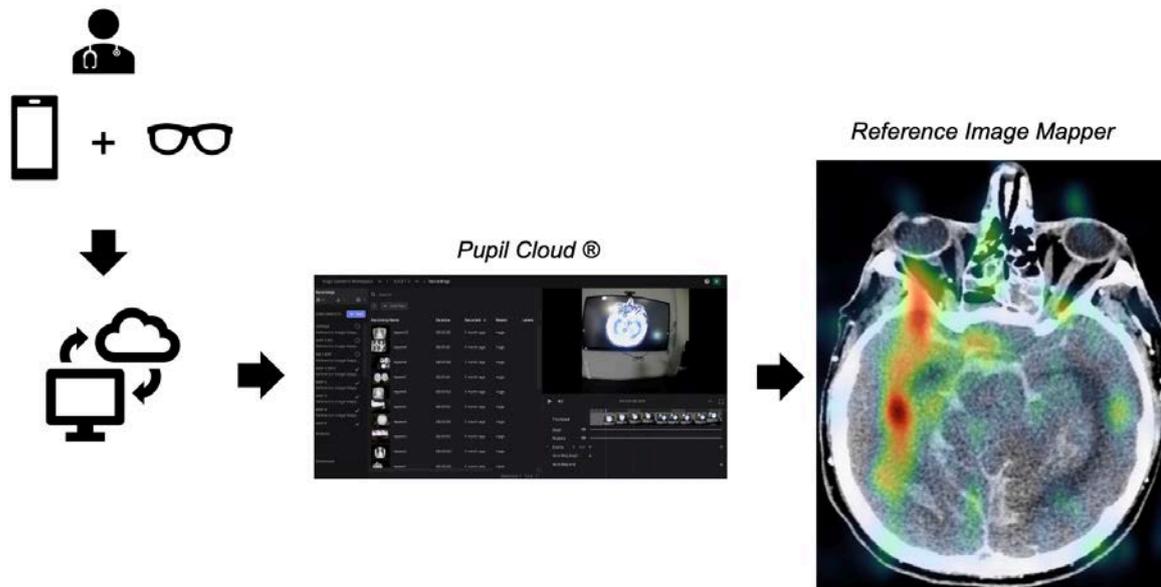
III. Post-traitement et analyse descriptive des cartographies

Nous avons ainsi regroupé par sujet (étudiants et experts) chacun des enregistrements sur ce cloud et établi une cartographie couleur des points d'intérêts sur l'image regardée via cette interface internet (46). Ces points d'intérêts correspondent aux points de fixation du regard : plus la durée augmentait plus la cartographie couleur était intense (cf. **FIGURE 20**).

La génération d'une cartographie est automatique et nécessite (46) :

- L'iconographie au format .jpg ou .png.
- L'enregistrement de l'apprenant ou de l'expert
- Un enregistrement de repérage de deux minutes environ, réalisé en portant les lunettes à la main, afin d'obtenir un enregistrement sous plusieurs angles de l'iconographie. Ceci permet notamment aux étudiants de pouvoir écrire directement durant l'enregistrement, les points de fixation sur leur grille de réponse n'étant alors pas pris en compte par le post-traitement.

FIGURE 21 : Enregistrement et post-traitement pour obtention d'une cartographie couleur du regard d'un sujet via l'interface Pupil Cloud ®



Une fois obtenue, il était possible d'ajuster manuellement l'intensité des points de fixation. Pour une plus grande précision, nous avons choisi de la diminuer afin d'obtenir plusieurs points de fixation plutôt que plusieurs plages plus imprécises (cf. **FIGURE 21**).

La couleur de la cartographie (*heat map*) est proportionnelle à la durée et au nombre de points de fixation par rapport à la durée d'enregistrement : plus la couleur est rouge, plus la fixation est intense ; inversement moins il y a de de fixation, plus la couleur tend vers le vert puis le bleu lorsqu'elle est peu marquée. Dans notre description des résultats, les fixations « intenses » correspondent à la couleur rouge, les fixations « peu intenses » aux couleurs vert et bleu.

Nous avons en parallèle déterminé pour chaque iconographie des zones d'intérêts de référence incluant les zones pièges et les zones à vérifier lors des réponses aux Q.R.M. (cf. **ANNEXE 4**).

Pour chaque enregistrement, un fichier contenant les données brutes associées (*raw data*) est récupéré, contenant notamment le nombre total de points de fixation, leurs coordonnées dans l'espace, leur durée, les degrés de mouvements des yeux, reflets des saccades. Nous avons alors relevé en parallèle pour chaque enregistrement la durée des points de fixation.

Nous avons d'abord décrit et comparé visuellement chacune des cartes obtenues selon deux grands axes (cf. **FIGURE 22**) :

- Tout d'abord la visualisation des régions d'intérêts pour chaque iconographie (est-ce que chaque regard est bien passé par ces zones d'intérêts ?) par rapport aux réponses apportées par les étudiants.
- Puis le pattern de lecture global de chaque image par rapport aux radiologues experts (y-a-t-il un ordre ou un motif de lecture qui se dégage ?).

Lorsque les points de fixation semblaient aberrants, une étude visuelle de l'enregistrement des fixations sur était réalisée.

FIGURE 22 : Diminution de l'intensité des points de fixation des cartographies couleur sur l'interface Pupil Cloud®

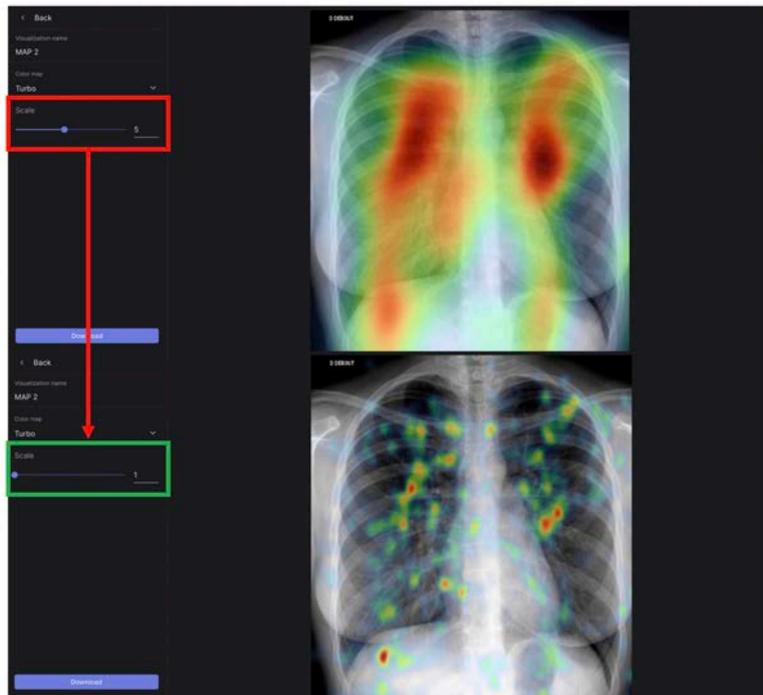
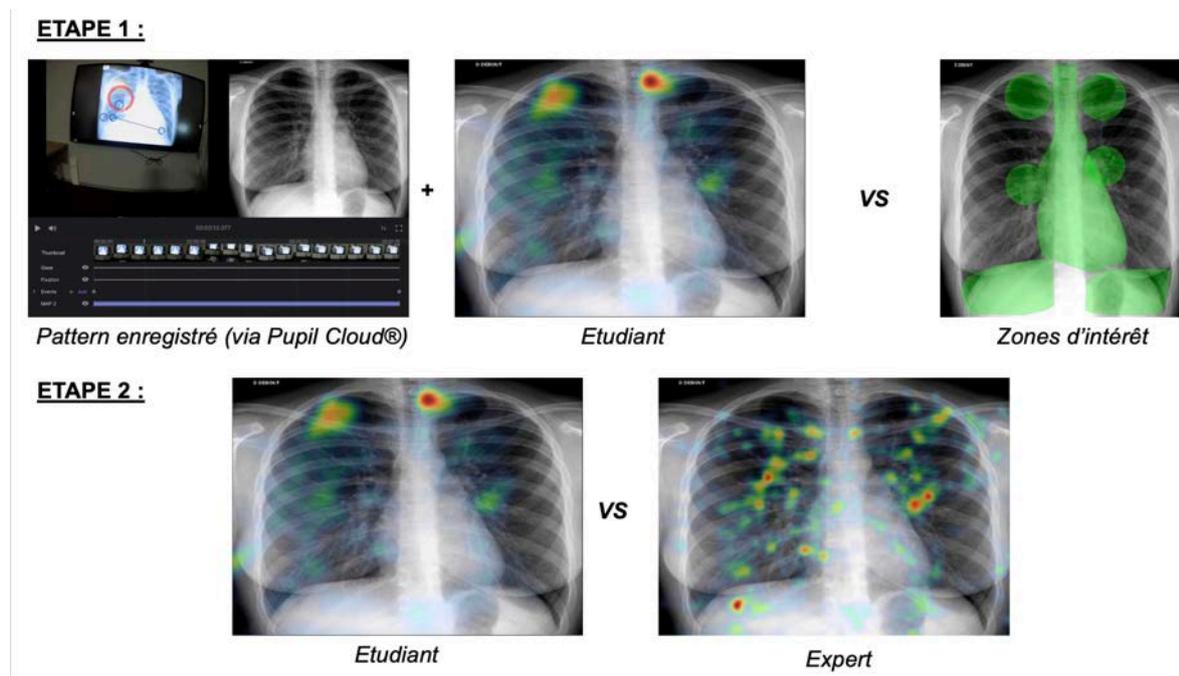


FIGURE 23 : Plan d'analyse des enregistrements et des cartographies



IV. Analyse statistique

Les paramètres qualitatifs (description des cartographies, réponses apportées lors des lectures) ont été décrits en termes d'effectif et de pourcentage.

Les paramètres quantitatifs (durées de fixation, exprimée en millisecondes) ont été décrits par sujet en termes de moyenne, écart-type, médiane et quartiles.

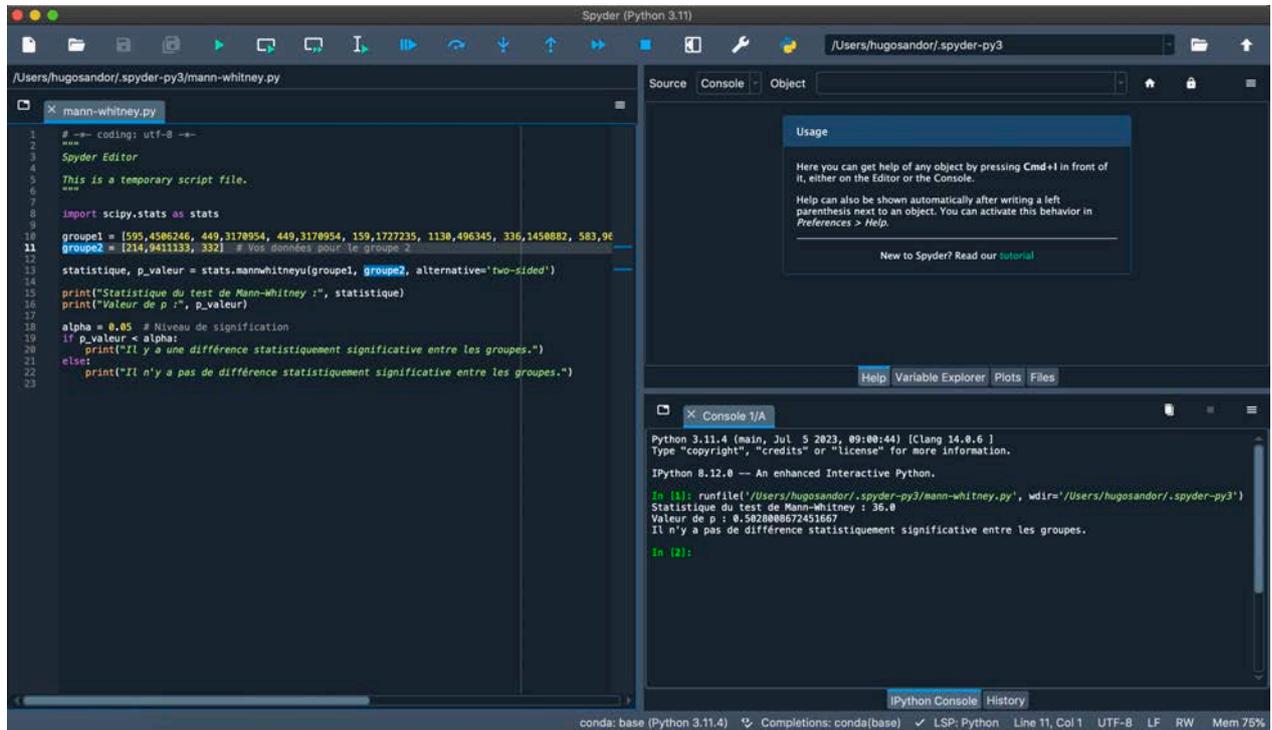
En raison de l'effectif de 11 étudiants et de 3 experts, nous avons utilisé un test non paramétrique. Partant de l'hypothèse que les durées de fixation ne suivaient probablement pas une distribution normale (47), nous avons utilisé un test de Mann-Whitney en supposant qu'il existait une différence sur la durée moyenne des points de fixation entre apprenants et experts.

Le niveau de significativité (risque alpha) a été fixé à 5%.

Les analyses statistiques ont été effectuées à l'aide du logiciel Python version 3.11 du logiciel Anaconda (cf. **FIGURE 24**).

Une moyenne des moyennes et écarts-types par groupe « étudiant » et groupe « expert » a été réalisée en parallèle.

FIGURE 24 : Interface Python version 3.11 pour la réalisation du test de Mann-Whitney



RESULTATS

I. Caractéristiques de l'échantillon

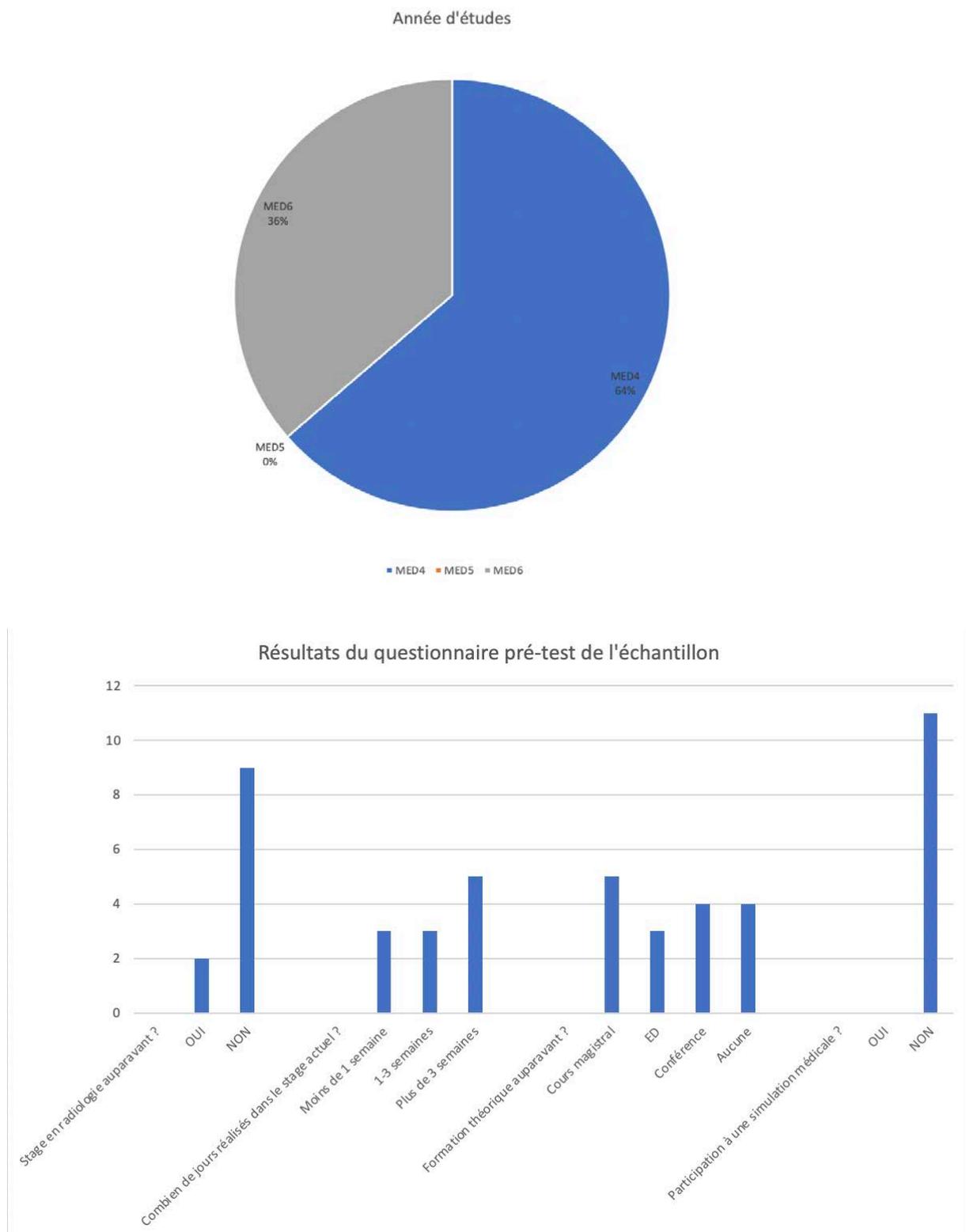
Nous avons ainsi recruté onze étudiants au total : trois sur la période d'avril à juin 2023 (dont un affilié au service d'imagerie thoracique de l'Institut Cœur Poumon du C.H.R.U. de Lille), et huit sur la période de juillet à septembre 2023.

Leurs réponses au questionnaire pré-test sont répertoriées dans la figure 22. 64% des apprenants réalisaient leur 3^{ème} ou 4^{ème} stage de MED-4 et pour autant il s'agissait de leur premier stage de radiologie dans le service de neuroradiologie, et 36% étaient en MED-6 et venaient de passer les E.C.N. 2023. Aucun n'était étudiant MED-5. 45% avaient réalisé plus de trois semaines de stage dans le service et 27% avaient réalisé moins d'une semaine de stage au moment de leur enregistrement. 36% environ n'avaient alors suivi aucun cours dédié en imagerie, que ce soit en cours magistral, E.D. ou en conférence facultaire. Enfin, aucun n'a déclaré avoir participé à une mise en situation en simulation médicale auparavant.

Deux d'entre eux étaient également porteurs de lunettes de vue et ne pouvaient les retirer lors de l'étude, les lunettes d'eye-tracking étaient alors positionnées par-dessus celles-ci.

Deux radiologues expérimentés étaient des assistants hospitalo-universitaires et un autre était Docteur Junior du service de Neuroradiologie de l'Hôpital Roger Salengro du C.H.U. de Lille. Un des trois radiologues experts a également gardé ses lunettes lors de son enregistrement.

FIGURE 24 : Résultats du questionnaire pré-test (11 étudiants de 2ème cycle).



II. Description des enregistrements et des réponses des étudiants

Sur notre période de recrutement s'étendant de juin à septembre 2023, nous avons ainsi obtenu 110 enregistrements auprès des étudiants et 30 enregistrements de radiologues expérimentés.

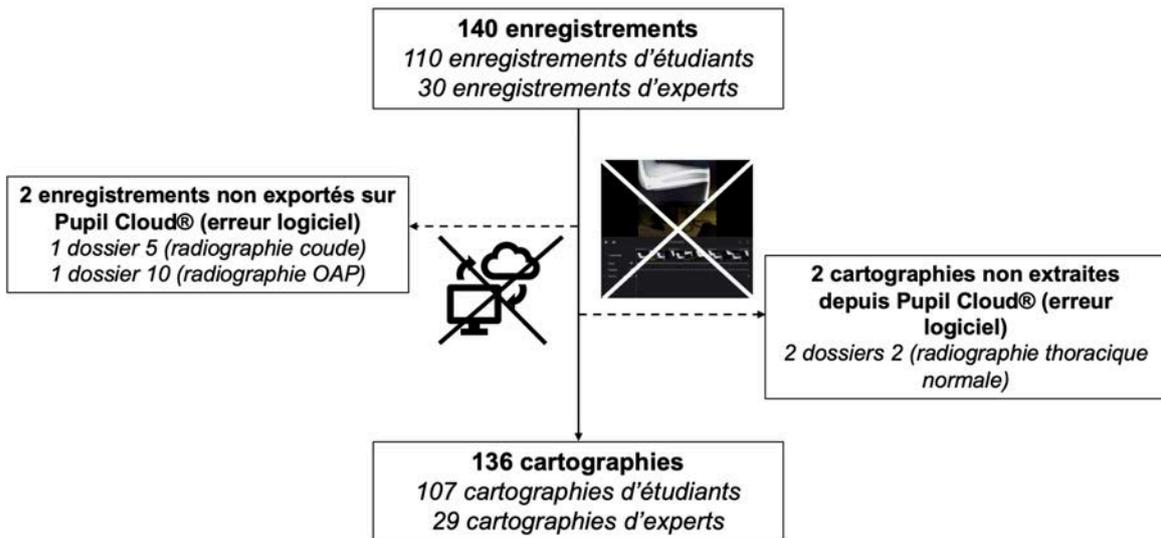
Un enregistrement d'étudiant du dossier 5 (radiographie du coude) et un autre du dossier 10 (radiographie thoracique d'œdème aigu pulmonaire) pour un étudiant n'ont pas pu être exporté sur Pupil Cloud® pour des raisons inconnues. Deux cartographies couleur du dossier 2 (radiographie thoracique normale), une pour un expert et l'autre pour un étudiant, n'ont pas pu être extraites après post-traitement malgré la répétition de l'enregistrement.

Ainsi au total, 136 cartographies ont pu être extraites à partir des enregistrements (cf. **FIGURE 24**). Les cartographies et les réponses des étudiants ont été compilées dans pour chaque dossier individuellement.

Les participants porteurs de lunettes sont marqués de l'icône .

Les chiffres correspondent aux effectifs ayant proposé la réponse, sur un total de 11 étudiants.

FIGURE 25 : Nombre d'enregistrements eye-tracking étudiés



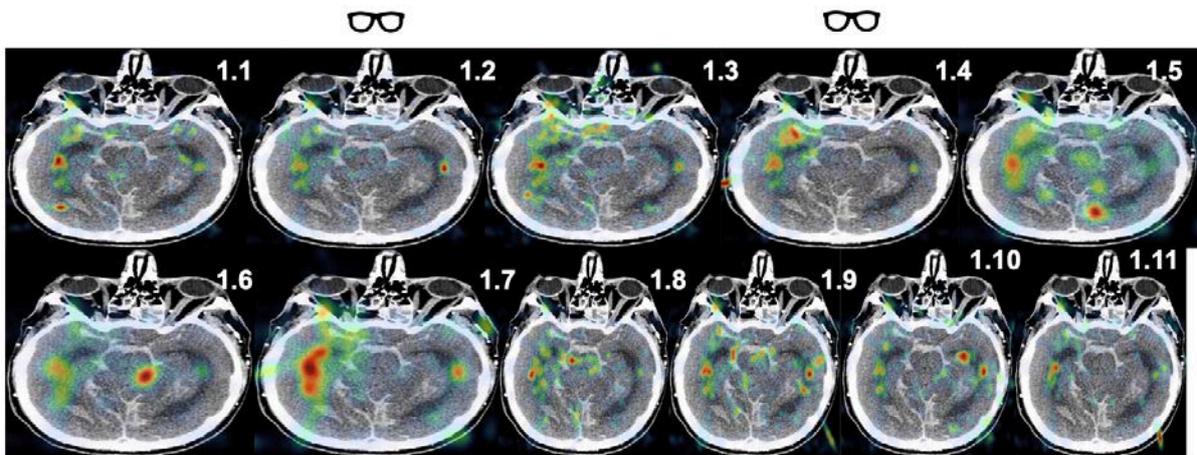
A. Dossier 1 : Scanner cérébral

11 cartographies d'apprenants ont été extraites. Sur ces 11 cartographies, la totalité présente un point de fixation sur les citernes de la base. 4 présentent une fixation plus intense (*cartes 1.3, 1.4, 1.6 et 1.9*). La totalité présente une fixation sur le système ventriculaire avec une intensité modérée à intense, plus importante sur la corne temporale droite (siège d'une hémorragie intraventriculaire) par rapport à la corne temporale gauche. Il existe quelques points de fixation moins intenses au niveau des contours hémisphériques. Aucun point de fixation n'est décelé sur les globes oculaires.

En 1^{ère} lecture, 8 étudiants sur 11 (72,7% de l'effectif) détecte l'hémorragie sous-arachnoïdienne, et le confirme en seconde lecture. Un seul détecte l'hémorragie intraventriculaire en première lecture et 2 autres en seconde lecture avec contexte clinique. Aucun ne détecte l'hydrocéphalie en première lecture et un seul la détecte en seconde lecture.

3 changements de réponses interviennent entre la 1^{ère} et la 2^{ème} lecture (soit après une interrogation soit pour compléter la réponse).

Sur la Q.R.M., 8 étudiants confirment l'hémorragie sous-arachnoïdienne, 4 l'hémorragie intraventriculaire et 2 l'hydrocéphalie.



Dossier 1	Sujet 1	Sujet 2	Sujet 3	Sujet 4	Sujet 5
Lecture 1	HSA	AVC	HSA	?	HSA
Lecture 2	HSA	AVC	HSA	hypertension intr:	HSA
Lecture 3	C	C	CD	D	C

Sujet 6	Sujet 7	Sujet 8	Sujet 9	Sujet 10	Sujet 11
HSA	HSA	HSA	HSA	?	HSA + hémorragie intraventriculaire
HSA	HSA	HSA	HSA + hémorragie	hydrocéphalie	HSA + hémorragie intraventriculaire
C	C	C	CD	E	CDE

LECTURE 1	LECTURE 2	
HSA	72,7% HSA	72,7%
AVC	9,1% AVC	9,1%
?	9,1% Hypertension intracrânienne	9,1%
hémorragie intraventriculaire	9,1% hémorragie intraventriculaire	18,2%
	hydrocéphalie	

QRM 1	Réponse attendue : CDE
Réponse A	A: hématome extra-dural temporal gauche
Réponse B	B: hématome sous-dural de la convexité droite
Réponse C	C: hémorragie des citernes de la base 72,7%
Réponse D	D: hémorragie intraventriculaire 36,4%
Réponse E	E: hydrocéphalie 18,2%

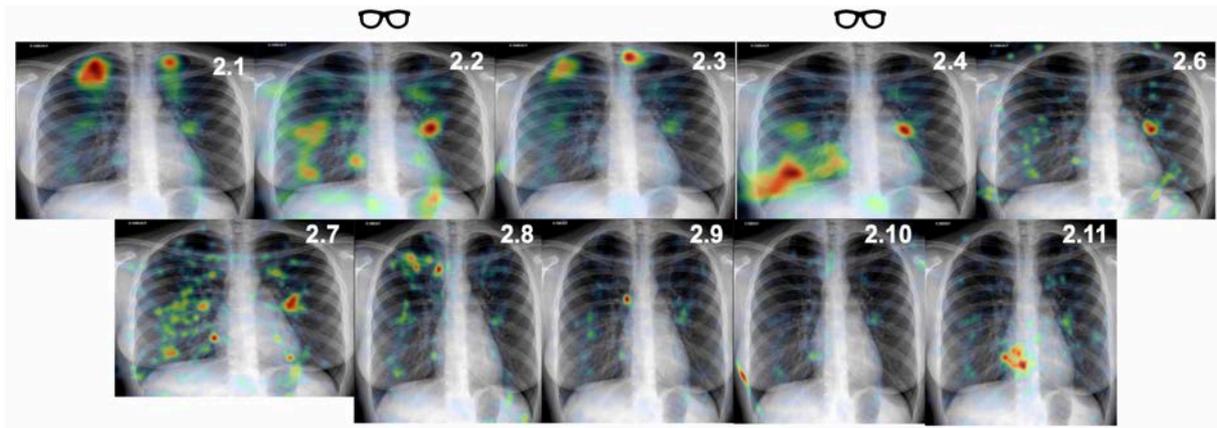
B. Dossier 2 : radiographie thoracique de face

10 cartographies ont été extraites, la *cartographie 2.5* n'a pas pu être construite en raison d'une erreur logicielle. 7 présentent des points de fixation des apex pulmonaires (*cartes 2.1, 2.3, 2.6, 2.7, 2.8, 2.9 et 2.11*) dont deux une fixation intense (*cartes 2.1 et 2.3*). 6 présentent des points de fixation peu intenses au niveau des culs-de-sac pleuraux latéraux (*cartes 2.2, 2.4, 2.6, 2.7, 2.8 et 2.10*) et quatre parmi eux d'autres points de fixation rétro-diaphragmatiques (*2.2, 2.4, 2.7 et 2.8*). La totalité présente des points de fixation peu intenses des bords de la silhouette cardiomédiastinale. 3 présentent des points peu intenses en projection de la silhouette cardiaque (*2.2, 2.6, 2.7*) et une autre plus intense (*2.11*). La totalité présente des points de fixation au niveau des hiles dont 4 une fixation plus intense au niveau du hile gauche (*2.2, 2.4, 2.6, 2.7*).

4 étudiants (36%) décrivent la radiographie comme normale en première lecture, 3 autres décrivent un pneumothorax apical sans en préciser la latéralité. En seconde lecture, toujours 4 décrivent la radiographie comme normale et 4 autres rapportent un pneumothorax. Un étudiant rapporte une opacité droite, un autre une pneumopathie lobaire inférieure droite.

Un seul changement de réponses est relevé parmi les participants entre la 1^{ère} et la 2^{ème} lecture (après une interrogation).

Sur la Q.R.M., 10 étudiants considèrent la radiographie comme normale, un seul coche la proposition « pneumothorax apical gauche ».



	Sujet 1	Sujet 2	Sujet 3	Sujet 4	Sujet 5
Dossier 2					
Lecture 1	Pneumothorax D	Pneumothorax	Pneumothorax	Opacité droite	?
Lecture 2	Pneumothorax D	Pneumothorax	Pneumothorax	Opacité droite	Pneumothorax bilatéral
Lecture 3	E	C	E	E	E

Sujet 6	Sujet 7	Sujet 8	Sujet 9	Sujet 10	Sujet 11
Normale	Normale	Normale	Normale	?	pneumopathie lobe inf D
Normale	Normale	Normale	Normale	?	pneumopathie lobe inf D
E	E	E	E	E	E

LECTURE 1	LECTURE 2	
Pneumothorax (sans précision)	27,3% PNO	36,4%
Opacité droite	9,1% Opacité droite	9,1%
?	18,2% normale	36,4%
normale	36,4% ?	9,1%
Pneumopathie lobaire inférieure droite	9,1% Pneumopathie lobaire inférieure droite	9,1%

QRM 2	Réponse attendue : E	
Réponse A	A : foyer alvéolaire lobaire supérieur droit	
Réponse B	B : épanchement pleural droit	
Réponse C	C : pneumothorax gauche	9,1%
Réponse D	D : nodule excavé apical gauche	
Réponse E	E : radiographie normale	90,9%

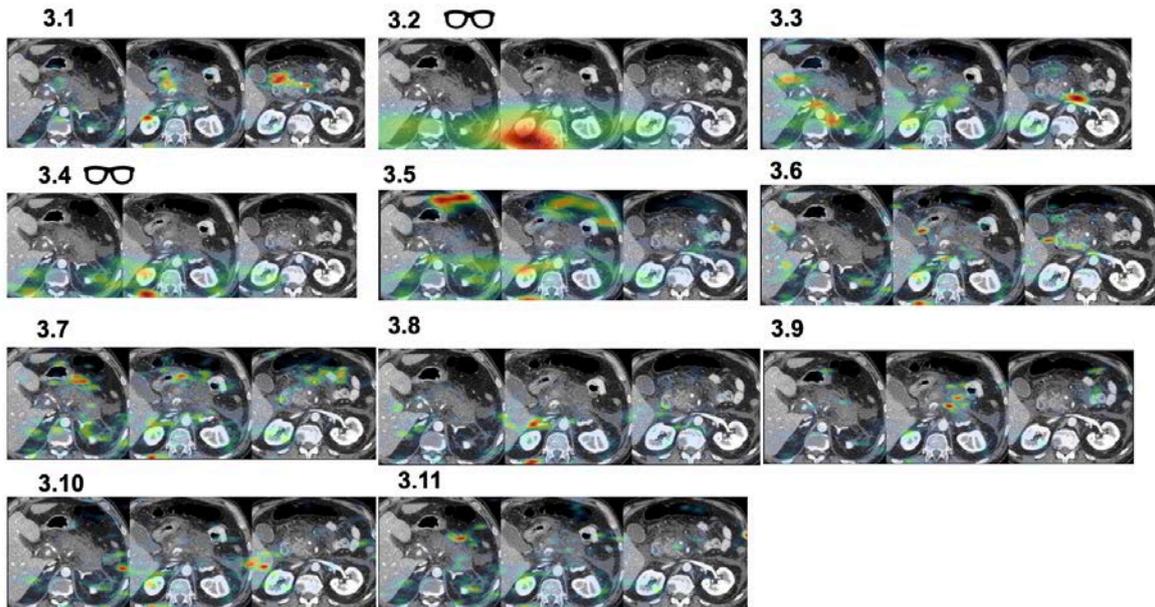
C. Dossier 3 : scanner abdominal (trois coupes)

11 cartographies ont été extraites. 6 présentent des points de fixation sur le pancréas globalement peu intenses (*cartes 3.1, 3.3, 3.6, 3.7, 3.9, 3.11*). 7 présentent des points de fixation d'intensité modérée à marquée sur les coulées de nécrose péri-pancréatiques ou des gouttières pariéto-coliques (*3.1, 3.3, 3.6, 3.7, 3.9, 3.10, 3.11*). Une cartographie présente une fixation intense sous la paroi abdominale antérieure au niveau du colon transverse (*3.5*).

5 étudiants décrivent une pancréatite dès la première lecture, 2 autres étudiants rapportent une pancréatite aiguë nécrotique. En seconde lecture ces étudiants confirment leur diagnostic. Un rapporte une pancréatite aiguë, un autre une pancréatite calcifiante, et un dernier une perforation digestive (correspondant à la cartographie *3.5*).

3 changements de réponses interviennent entre la 1^{ère} et la 2^{ème} lecture.

Sur la Q.R.M., 8 des apprenants cochent bien la pancréatite aiguë nécrotique, 4 d'entre eux ont identifié les surrénales et 5 la vésicule biliaire. 2 d'entre eux ont coché la proposition « pancréatite aiguë œdémateuse ».



	Sujet 1	Sujet 2	Sujet 3	Sujet 4	Sujet 5
Dossier 3					
Lecture 1	Pancréatite	Pancréatite	Pancréatite aiguë	Pancréatite	?
Lecture 2	Pancréatite	Pancréatite	Pancréatite aiguë	Pancréatite calcifi	Perforation
Lecture 3	ACE	D	ADE	D	ADE

	Sujet 6	Sujet 7	Sujet 8	Sujet 9	Sujet 10	Sujet 11
Pancréatite		?	pancréatite nécrotique	pancréatite aiguë	?	pancréatite aiguë nécrosante
Pancréatite		?	pancréatite nécrotique	pancréatite aiguë	pancréatite aiguë	pancréatite aiguë nécrosante
D		BE	D	C	D	ADE

LECTURE 1		LECTURE 2	
pancréatite (sans précision)	45,5%	pancréatite (sans précision)	45,5%
?	27,3%	pancréatite calcifiante	9,1%
pancréatite aiguë nécrosante	18,2%	perforation	9,1%
pancréatite aiguë	9,1%	?	9,1%
		pancréatite aiguë nécrosante	18,2%
		pancréatite aiguë	9,1%

QRM 3	Réponse attendue : ADE	
Réponse A	A : surrénales visibles	36,4%
Réponse B	B: thrombose veineuse rénale gauche	9,1%
Réponse C	C: pancréatite œdémateuse	18,2%
Réponse D	D: pancréatite nécrotique	72,7%
Réponse E	E: vésicule biliaire visible	45,5%

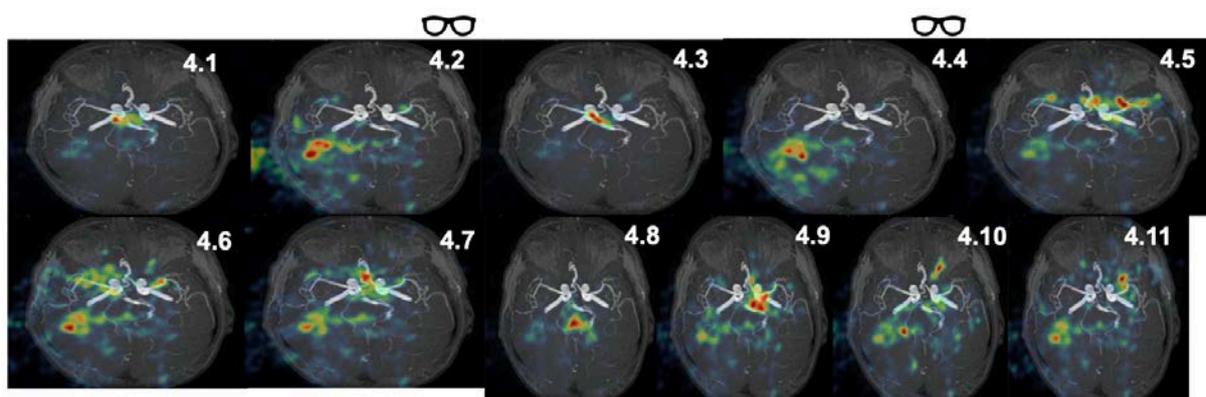
D. Dossier 4 : IRM encéphalique (séquence 3D TOF)

11 cartographies ont été extraites. 8 présentent une fixation au niveau des siphons carotidiens, de l'origine des artères cérébrales antérieures et moyennes (cartes 4.1, 4.3, 4.5, 4.6 – 4.11). 8 présentent également des points de fixation au niveau des branches distales de l'artère cérébrale moyenne droite (segments M3-M4) (4.2, 4.4, 4.5, 4.6, 4.7, 4.9 – 4.11). 7 ont des points de fixation sur le réseau cérébral postérieur (4.2, 4.6 – 4.11), dont une présentant une fixation intense (4.8).

3 étudiants décrivent une imagerie normale en 1^{ère} lecture, les autres rapportent des A.V.C. ou des occlusions artérielles, par exemple de l'artère vertébrale gauche ou de l'artère cérébrale postérieure droite. En seconde lecture, 2 autres étudiants changent leur diagnostic et considèrent l'imagerie comme normale. 6 considèrent qu'il existe un AVC et 3 ne se prononcent pas.

5 changements de réponses interviennent entre la 1^{ère} et la 2^{ème} lecture.

Sur la Q.R.M., 10 étudiants sur 11 reconnaissent la bonne perméabilité de l'artère cérébrale moyenne, 4 cochent la proposition « perméabilité des artères du polygone de Willis ».



	Sujet 1	Sujet 2	Sujet 3	Sujet 4	Sujet 5
Dossier 4					
Lecture 1	AVC postérieur D	AVC	artère vertébrale g	Normale	?
Lecture 2	AVC postérieur D	AVC	?	Normale	?
Lecture 3	B	BC	BE	B	D

Sujet 6	Sujet 7	Sujet 8	Sujet 9	Sujet 10	Sujet 11
3D TOF normal	occlusion cérébrale	AVC sylvien G	Normale	thrombose	AVC ischémique
3D TOF normal	?	AVC sylvien G	AVC	AVC pariétal G	sylvien G
BE	B	B	BE	ABE	B

LECTURE 1	LECTURE 2	
AVC cérébral postérieur droit	9,1% AVC cérébral postérieur droit	9,1%
AVC (sans précision)	9,1% AVC (sans précision)	18,2%
artère vertébrale gauche non visualisée	9,1% ?	27,3%
Normal	27,3% Normal	18,2%
?	9,1% AVC sylvien gauche	27,3%
occlusion artère cérébrale postérieure droite	9,1%	
AVC sylvien gauche	9,1%	
thrombose (sans précision)	9,1%	
AVC ischémique	9,1%	

QRM 4	Réponse attendue : BE	
Réponse A	A : tronc basilaire non visualisé	9,1%
Réponse B	B : perméabilité de l'artère cérébrale moyenne gauche	90,9%
Réponse C	C : occlusion de l'artère cérébrale antérieure droite	9,1%
Réponse D	D : anévrisme carotidien bilatéral	9,1%
Réponse E	E : pas d'occlusion des artères du polygone de Willis	36,4%

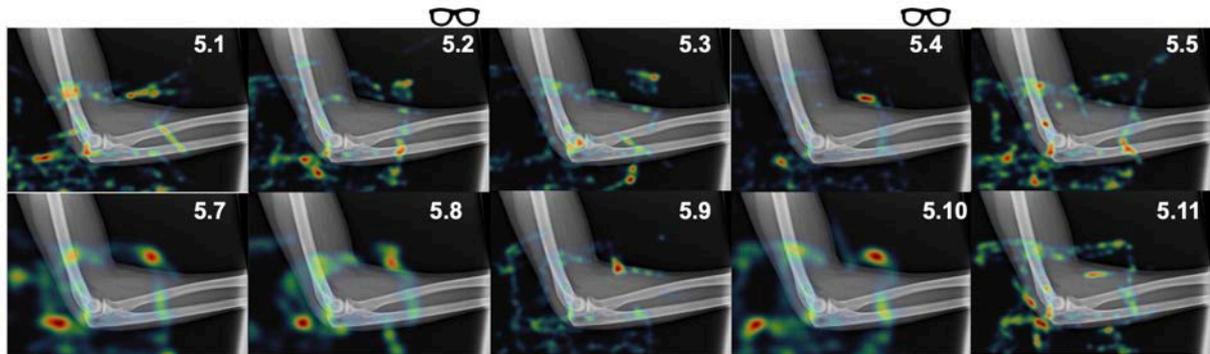
E. Dossier 5 : radiographie du coude de profil

10 cartographies ont été extraites, la *cartographie 5.6* n'ayant pas pu être exportée sur Pupil Cloud®. 5 présentent un point de fixation intense sur la palette humérale (*cartes 5.1, 5.2, 5.3, 5.5, 5.11*), les autres cartographies présentent des points de fixation moins intenses. L'ensemble des fixations représente un cadre autour des parties molles de l'articulation du coude.

En 1^{ère} lecture, 5 étudiants décrivent la radiographie comme normale, 2 décrivent une hémarthrose et un autre parle d'épanchement. En seconde lecture, 3 décrivent la radiographie comme normale et 2 parlent d'épanchement.

4 changements de réponses interviennent entre la 1^{ère} et la 2^{ème} lecture (soit après une interrogation soit pour compléter la réponse).

Sur la Q.R.M., 9 étudiants sur 11 cochent la proposition « épanchement intra-articulaire ». 2 cochent la proposition « radiographie normale » et 1 décrit une fracture de l'olécrâne.



Dossier 5	Sujet 1	Sujet 2	Sujet 3	Sujet 4	Sujet 5
Lecture 1	Normale	Normale	?	Normale	Normale
Lecture 2	Normale	Normale	Epanchement ?	Normale	Epanchement
Lecture 3	A	E	A	E	A

Sujet 6	Sujet 7	Sujet 8	Sujet 9	Sujet 10	Sujet 11
Hémarthrose	Epanchement	Epanchement	Normale	Ostéocondensation	Normale
Hémarthrose	Epanchement	Epanchement	Normale	?	Epanchement
A	A	AD	A	A	A

LECTURE 1	LECTURE 2
normal	45,5% normal
?	9,1% épanchement
hémarthrose	18,2% ?
épanchement	9,1%
ostéocondensation	9,1%

QRM 5	Réponse attendue : A
Réponse A	A : épanchement intra-articulaire 81,8%
Réponse B	B: fracture du tiers distal de l'humérus
Réponse C	C: luxation antérieure de la tête du radius
Réponse D	D: fracture de l'olécrâne 9,1%
Réponse E	E: radiographie normale 18,2%

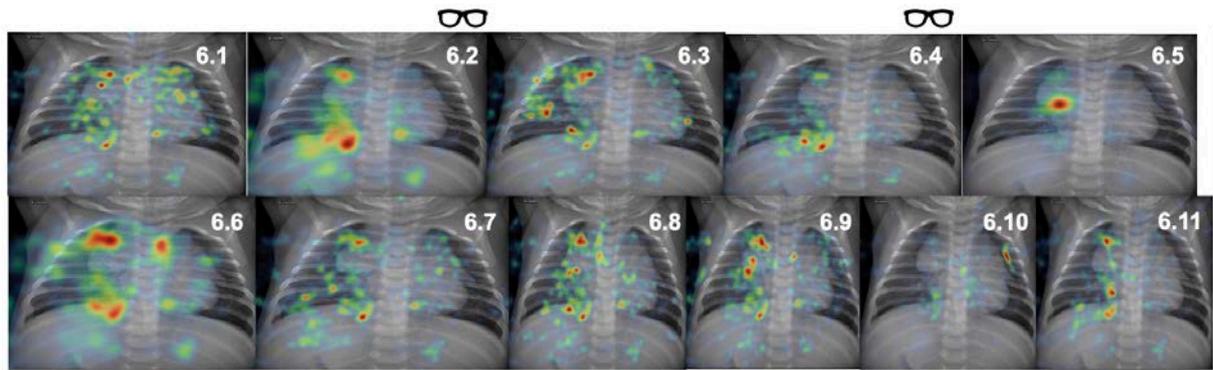
F. Dossier 6 : radiographie thoracique de face chez un nourrisson

11 cartographies ont été extraites. 9 présentent des points de fixation au pourtour de la silhouette thymique (*cartes 6.1, 6.2, 6.3, 6.4, 6.6 – 6.9, 6.11*), avec des fixations plus intenses sur son bord droit pour 6 d'entre elles (6.2, 6.3, 6.6, 6.8, 6.9, 6.11). Une cartographie retrouve un point de fixation prédominant en regard du bord inférieur du thymus vers la région hilare droite (6.5) et une autre plutôt sur le bord gauche de la silhouette (6.10). Aucun point de fixation intense n'est relevé au niveau des apex pulmonaires. 9 présentaient des points de fixation plus intenses en regard des coupes diaphragmatiques (6.1 – 6.4, 6.6 – 6.9, 6.11).

En 1^{ère} lecture, 2 étudiants décrivent la radiographie comme normale et 2 autres parlent de thymus. Un étudiant rapporte une cardiomégalie et un autre une masse médiastinale. Les autres réponses sont diverses, mentionnant une infiltration interstitielle ou un foyer de pneumopathie. En 2^{ème} lecture, un autre étudiant décrit le thymus, un autre de bronchiolite trois autres parlent de syndrome alvéolaire ou de pneumopathie aiguë communautaire.

6 changements de réponses interviennent entre la 1^{ère} et la 2^{ème} lecture.

Sur la Q.R.M., seuls 2 étudiants cochent la proposition « pneumopathie lobaire aiguë gauche », 7 cochent la proposition « élargissement physiologique médiastinal supérieur » et 5 « radiographie normale pour l'âge ».



Dossier 6	Sujet 1	Sujet 2	Sujet 3	Sujet 4	Sujet 5
Lecture 1	?	infiltration bilaté	thymus	Cardiomégalie	Normale
Lecture 2	syndrome alvéolaire	PAC	thymus	bronchiolite	Foyer lobaire inférieur D
Lecture 3	ACDE	BD	CDE	B	CD

Sujet 6	Sujet 7	Sujet 8	Sujet 9	Sujet 10	Sujet 11
Normal enfant / m	masse médiastinale	masse thymique	BPCO	PID	pneumopathie lobe moyen + épanchement
Thymus ?	masse médiastinale	masse thymique	syndrome alvéola	?	pneumopathie lobe moyen + épanchement
AE	ADE	ACE	ACD	ACD	ACD

LECTURE 1	LECTURE 2	
?	9,1% syndrome alvéolaire	18,2%
infiltration bilatérale	9,1% PAC	9,1%
infection	9,1% thymus	27,3%
thymus	18,2% bronchiolite	9,1%
cardiomégalie	9,1% foyer lobaire inférieur droit	18,2%
normale	18,2% masse médiastinale	9,1%
masse médiastinale	9,1% ?	9,1%
BPCO	9,1% épanchement pleural droit	9,1%
PID	9,1%	
PNP lobaire supérieure droite	9,1%	
épanchement pleural droit	9,1%	

QRM 6	Réponse attendue : ACDE	
Réponse A	A : élargissement physiologique du médiastin supéri	63,6%
Réponse B	B: pneumopathie lobaire aigue gauche	18,2%
Réponse C	C: petite scissure en place	63,6%
Réponse D	D: trachée en place	72,7%
Réponse E	E: radiographie normale pour l'âge	45,5%

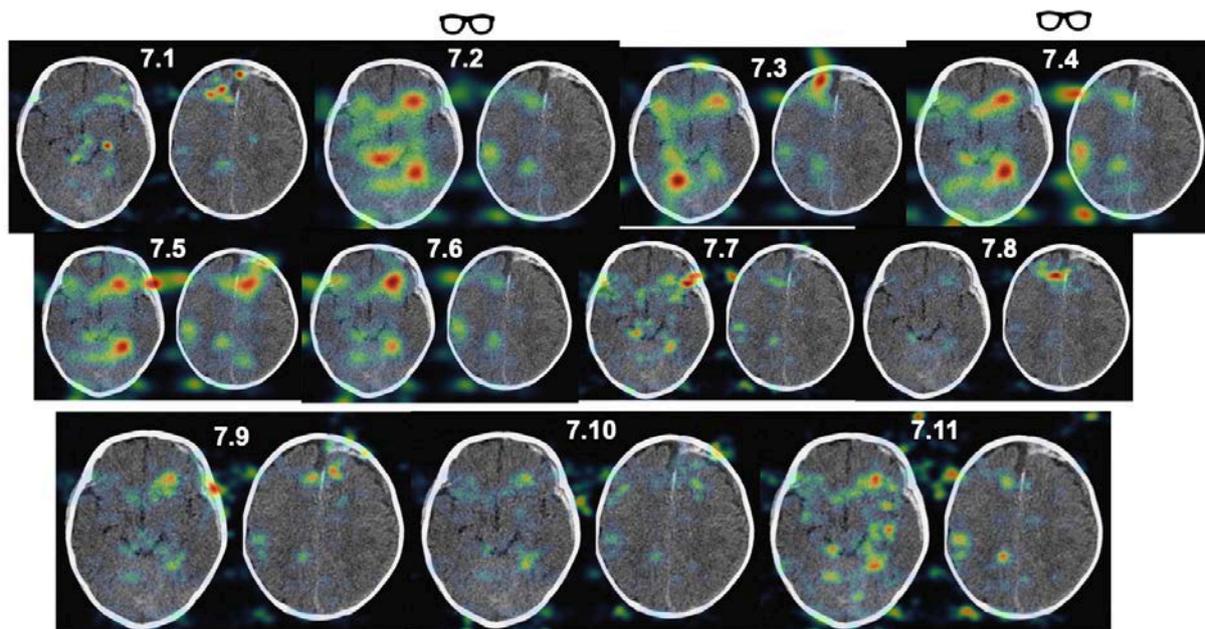
G. Dossier 7 : scanner cérébral d'un nourrisson (deux coupes).

11 cartographies ont été extraites. 4 présentent des points de fixation plus intenses sur l'hématome sous-dural hémisphérique gauche (*cartes 7.1, 7.5, 7.7, 7.9*) et 6 sur la lame d'hémorragie para-falcorielle adjacente (*7.1, 7.3, 7.5, 7.8, 7.9, 7.11*). 5 cartographies présentent la majorité de leurs points de fixation intense sur l'iconographie de gauche, et sont centrés sur les citernes de la base (*7.2, 7.4, 7.5, 7.7, 7.11*).

En 1^{ère} lecture, 7 étudiants ont relevé un hématome sous-dural aigu frontal gauche. 3 autres ont indiqué un hématome sous-dural sans autre précision et un simplement « hématome ». En 2^{ème} lecture, ceux qui avaient indiqué l'hématome sous-dural ne changent pas de diagnostic. 3 suspectent un syndrome du bébé secoué, 2 indiquent la présence d'une hypertension intracrânienne et un décrit un effet de masse avec engagement sous-falcoriel débutant.

3 changements de réponses interviennent entre la 1^{ère} et la 2^{ème} lecture.

Sur la Q.R.M., la totalité des apprenants coche la proposition « hématome sous-dural hémisphérique gauche », 6 d'entre eux la proposition « lame d'hématome inter-hémisphérique ». Un coche la proposition « hématome intra-parenchymateux pariétal gauche » et un autre « hémorragie des citernes de la base ».



Dossier 7	Sujet 1	Sujet 2	Sujet 3	Sujet 4	Sujet 5
Lecture 1	HSD G	HSD	HSD frontal G	HSD	HSD frontal G + HSA
Lecture 2	HSD G	?	& faux cerveau	HSD	syndrome du bébé secoué
Lecture 3	B	BD	BCD	B	BD

Sujet 6	Sujet 7	Sujet 8	Sujet 9	Sujet 10	Sujet 11
HSD G	HSD	HSD frontal G	HSD aigu G	hématome	HSD g
HSD G	HSD	HSD frontal G	bébé secoué + hypertension intracrânienne	HSD / bébé secoué	effet de masse/engagement
B	B	D	BD	BE	BD

LECTURE 1	LECTURE 2	
HSD (sans précision)	27,3% ?	9,1%
HSD aigu frontal gauche	63,6%	27,3%
hématome (sans précision)	9,1%	9,1%
	Hémorragie falcarielle	27,3%
	HSD (sans précision)	27,3%
	bébé secoué	18,2%
	hypertension intracrânienne	9,1%
	Effet de masse / engagement	

QRM 7	Réponse attendue : BD
Réponse A	A : hématome extra-dural droit
Réponse B	B : hématome sous-dural hémisphérique gauche 100,0%
Réponse C	C : hémorragie des citernes de la base 9,1%
Réponse D	D : lame d'hématome inter-hémisphérique 54,5%
Réponse E	E : hématome intra-parenchymateux pariétal gauche 9,1%

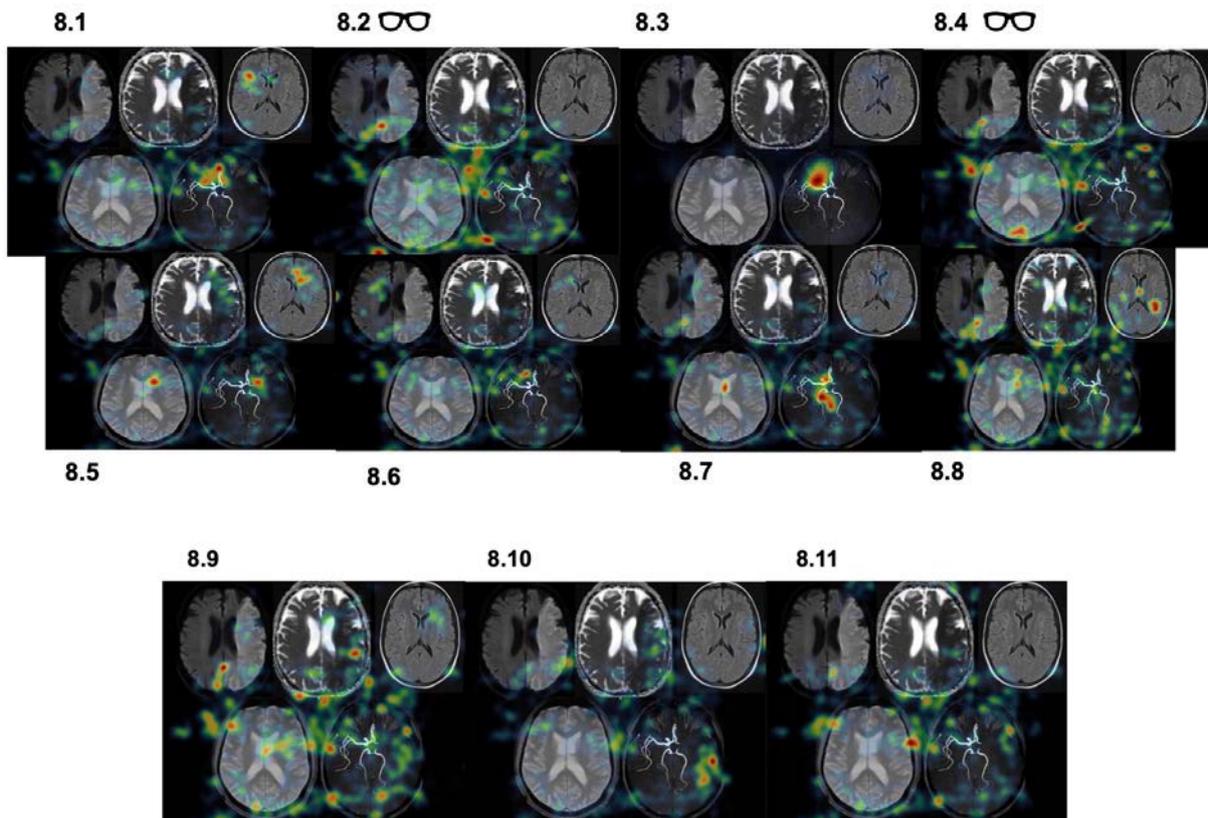
H. Dossier 8 : IRM encéphalique (quatre séquences)

11 cartographies ont été extraites. 6 présentent des points de fixation plus intenses sur la séquence 3D TOF (*cartes 8.1, 8.3, 8.5, 8.6, 8.7, 8.10*), s'agissant du seul point intense pour 2 d'entre elles (*8.1 et 8.3*). 3 présentent des points plus intenses sur la séquence FLAIR (*8.1, 8.5, 8.8*) dont 2 dans le territoire cérébral moyen gauche (*8.5 et 8.8*). 7 présentent plusieurs autres points moins intenses et diffus sur l'ensemble des séquences (*8.2, 8.4, 8.6, 8.8 – 8.11*).

En 1^{ère} lecture, 9 étudiants déclarent qu'il s'agit d'un A.V.C ischémique cérébral moyen gauche, dont 2 précise qu'il remonte à moins de 4 heures 30 minutes. Un étudiant supplémentaire précise cette information en 2^{ème} lecture. Un seul précise l'occlusion de l'artère cérébrale moyenne gauche en 1^{ère} lecture, puis 2 autres supplémentaires en 2^{ème} lecture.

Aucun changement significatif de réponse n'intervient entre la 1^{ère} et la 2^{ème} lecture.

Sur la Q.R.M., la totalité des participants coche la proposition « AVC sylvien total gauche récent », 9 la proposition « AVC < 4h30 » et 10 la proposition « une thrombectomie percutanée peut être discutée ».



Dossier 8	Sujet 1	Sujet 2	Sujet 3	Sujet 4	Sujet 5
Lecture 1	AVC sylvien G < 4:30	AVC sylvien G	AVC sylvien G	AVC ischémique	AVC ischémique sylvien G
Lecture 2	AVC sylvien G < 4:30	AVC sylvien G	AVC sylvien G	AVC sylvien G	< 4:30
Lecture 3	BDE	BD	BDE	B	BDE

Sujet 6	Sujet 7	Sujet 8	Sujet 9	Sujet 10	Sujet 11
AVC sylvien G < 4: AVC gauche	AVC sylvien G	AVC sylvien total G	AVC sylvien total G	AVC ischémique gauche / occlusion ACM	AVC sylvien G < :30
Occlusion sur TOF	AVC sylvien G	AVC sylvien total G	AVC sylvien total G < 4:30	occlusion cérébrale moyenne	occlusion artère cérébrale moyenne G
BDE	BDE	BE	BDE	BDE	BDE

LECTURE 1	LECTURE 2	
AVC sylvien total G	AVC sylvien G	54,5%
AVC récent < 4h30	AVC récent < 4h30	27,3%
AVC cérébral postérieur G	occlusion artère cérébrale moyenne gauche	27,3%
AVC ischémique		
occlusion artère cérébrale moyenne gauche		

QRM 8	Réponse attendue : BDE	
Réponse A	A : séquelle ischémique ancienne	
Réponse B	B: AVC sylvien total gauche récent	100,0%
Réponse C	C: remaniements hémorragiques	
Réponse D	D: AVC < 4h30	81,8%
Réponse E	E: une thrombectomie percutanée peut être discuté	90,9%

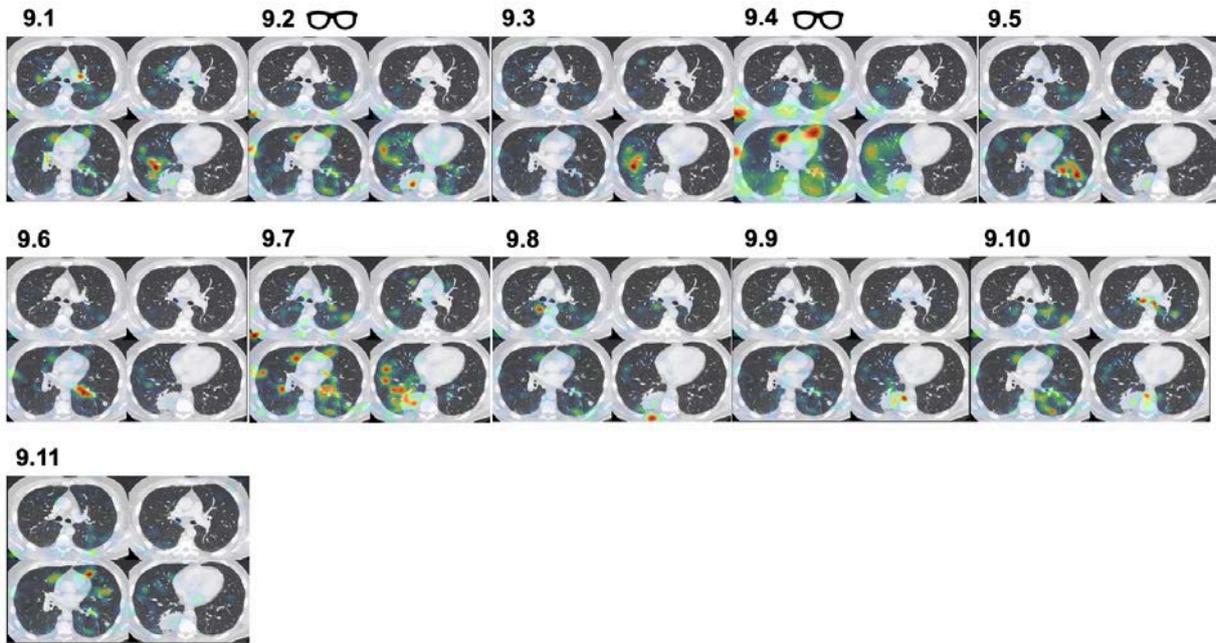
I. Dossier 9 : scanner thoracique (quatre coupes)

11 cartographies ont été extraites. La totalité des cartographies enregistre un point de fixation sur la masse lobaire inférieure droite, plus intense sur 4 d'entre elles (*cartes 8.2, 8.7, 8.8, 8.9*). 5 présentent des points plus intenses au sein du lobe inférieur gauche (*8.4 – 8.7, 8.10*). 4 cartes présentent des points de fixation au niveau des régions plus antérieures en projection du lobe moyen et de la lingula (*8.2, 8.4, 8.7, 8.11*). Une carte présente des points d'intérêts en région sous-carinaire (*8.10*).

En 1^{ère} lecture, 3 relèvent une condensation ou masse lobaire inférieure droite dont un qui parle de lésion cancéreuse, un parle d'apex droit et un autre de lobe supérieur droit. 2 relèvent un nodule lobaire inférieur gauche. En seconde lecture, un étudiant supplémentaire relève la masse lobaire inférieure droite, un autre le nodule lobaire inférieur gauche et un dernier indique une tumeur pulmonaire.

5 changements de réponses interviennent entre la 1^{ère} et la 2^{ème} lecture.

Sur la Q.R.M., la totalité des participants coche la proposition « masse lobaire inférieure droite », 5 relèvent finalement un nodule lobaire inférieur gauche, 2 cochent la proposition « dissection de l'aorte ascendante » et un la proposition « masse lobaire moyenne ».



	Sujet 1	Sujet 2	Sujet 3	Sujet 4	Sujet 5
Dossier 9					
Lecture 1	condensation D	?	foyer base D & br	Normale	Nodule G
Lecture 2	condensation D	tumeur / bronche	foyer lobe moyen ?		Nodule lobe inférieur G
Lecture 3	A	AC	A	A	A

Sujet 6	Sujet 7	Sujet 8	Sujet 9	Sujet 10	Sujet 11
Nodule lobe inf G	nodule pulmonaire	masse apex D	cancer lobaire inf droit	PID mucoviscidose	nodule lobaire supérieur G
Nodule lobe inf G	nodule pulmonaire	masse apex D	cancer lobaire inf droit	masse pulmonaire droite	masse lobe inférieur D
AB	AB	AE	AB	A	ABD

LECTURE 1	LECTURE 2	
condensation basale droite	18,2%	condensation basale droite
?	9,1%	bronchectasie
bronchectasie	9,1%	tumeur pulmonaire
normal	9,1%	?
Nodule lobaire inférieur gauche	18,2%	Nodule LIG
nodule pulmonaire (sans précision)	9,1%	nodule (sans précision)
masse apex droit	9,1%	masse apex droit
Cancer lobe inférieur droit	9,1%	Masse lobaire inférieure droite
PID	9,1%	épanchement pleural droit
mucoviscidose	9,1%	
nodule lobaire supérieur droit	9,1%	

QRM. 9	Réponse attendue : AB	
Réponse A	A : masse lobaire inférieure droite	100,0%
Réponse B	B : nodule lobaire inférieur gauche	45,5%
Réponse C	C : dissection de l'aorte ascendante	18,2%
Réponse D	D : épanchement pleural bilatéral	9,1%
Réponse E	E : masse lobaire moyenne	9,1%

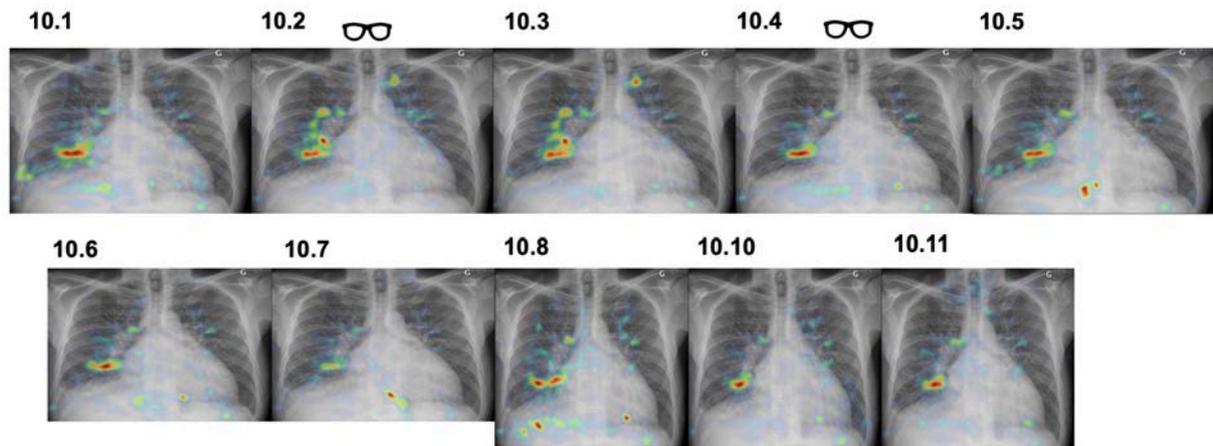
J. Dossier 10 : radiographie thoracique de face

10 cartographies ont été extraites, la *cartographie 10.9* n'a pas été extraite en raison d'une erreur d'exportation sur Pupil Cloud ®. La totalité des cartographies présente un point de fixation intense au niveau du bord droit du cœur, d'autres moins intenses en région péri-hilaire droite et quelques autres peu marqués aux apex. 3 cartes présentent des points de fixation diaphragmatiques droits (*10.1, 10.4, 10.8*) et une carte présente un point de fixation d'intensité modérée au niveau du cul-de-sac pleural latéral droit (*10.1*).

Lors de la 1^{ère} lecture, 3 étudiants rapportent la présence d'un épanchement pleural droit, 2 la présence d'une cardiomégalie et 2 un syndrome interstitiel. Un seul décrit un œdème aigu pulmonaire. Lors de la 2^{ème} lecture, 2 autres décrivent l'œdème aigu pulmonaire et un autre rapporte un épanchement pleural droit. 3 décrivent une pneumopathie lobaire moyenne, 2 une pneumopathie basale droite.

2 changements de réponses interviennent entre la 1^{ère} et la 2^{ème} lecture .

Sur la Q.R.M., 8 cochent la proposition « cardiomégalie », 5 la proposition « épanchement pleural » et 7 la proposition « pneumopathie lobaire moyenne ».



	Sujet 1	Sujet 2	Sujet 3	Sujet 4	Sujet 5
Dossier 10					
Lecture 1	?	syndrome interst	cardiomégalie	Opacité lobaire moyenne	syndrome interstitiel + épanchement CDS D
Lecture 2	Foyer D	OAP	& foyer lobe moy	PAC	cardiomégalie
Lecture 3	AE	AE	ADE	CE	AC

	Sujet 6	Sujet 7	Sujet 8	Sujet 9	Sujet 10	Sujet 11
OAP		foyer base D	foyer lobaire inférieur D	bronchectasie + épanchement pleural	cardiomégalie	épanchement pleural D
OAP		foyer base D	trachée déviée	OAP	épanchement pleural D	caverne D + adénopathies médiastinales
AB	E	ABE	CDE		ABC	AC

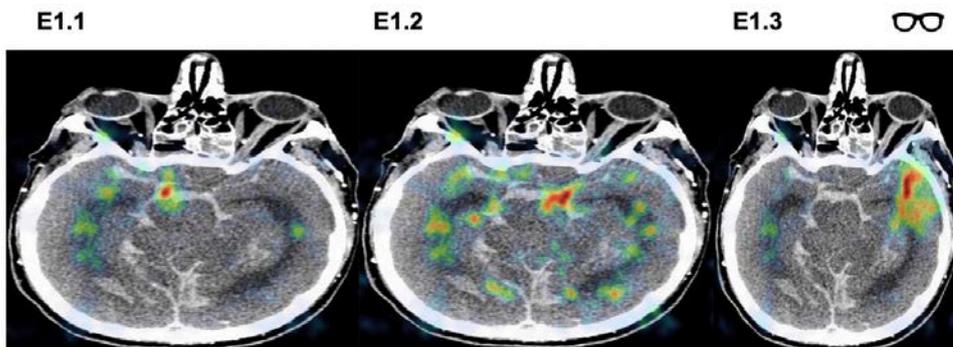
LECTURE 1	LECTURE 2
syndrome interstitiel	18,2% OAP
?	9,1% Pneumopathie basale droite
cardiomégalie	18,2% foyer lobaire moyen
nodule excavé	9,1% cardiomégalie
opacité lobaire moyenne	9,1% épanchement pleural droit
épanchement pleural droite	27,3% caverne droite
Œdème aigu pulmonaire	9,1% Adénomégalies médiastinales
Pneumopathie lobaire inférieure droite	18,2%
bronchectasie	9,1%

QRM 10	Réponse attendue : AC	
Réponse A	A : cardiomégalie	72,7%
Réponse B	B: déviation de la trachée	27,3%
Réponse C	C: épanchement pleural	45,5%
Réponse D	D: nodule apical gauche	27,3%
Réponse E	E: pneumopathie lobaire moyenne aiguë	63,6%

III. Description des enregistrements des radiologues expérimentés

A. Dossier 1 : Scanner cérébral

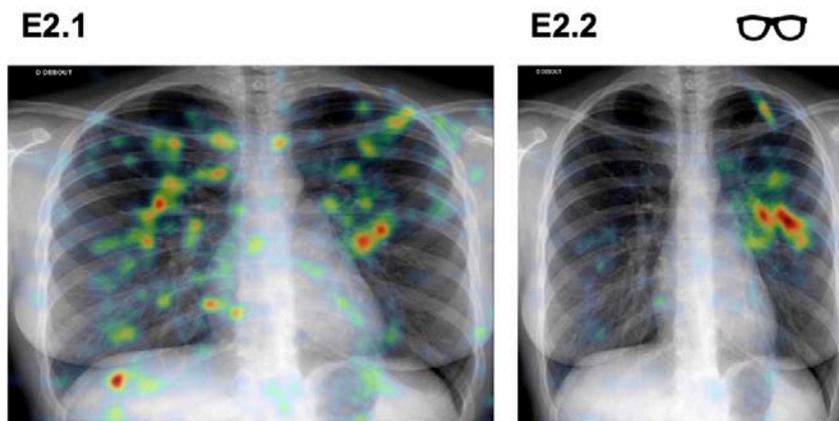
3 cartographies ont été extraites. 2 présentent un point de fixation intense au niveau des citernes de la base (*cartes E.1.1 et E1.2*). La dernière présente quelques points moins intenses (*E1.3*). Chacune présente des points de fixation modérés à intenses au niveau du système ventriculaire : une plutôt sur la corne temporale droite (*E1.1*) ; une de façon focale répétée sur chaque corne temporale de façon symétrique (*E1.2*) ; la dernière plutôt sur la corne temporale gauche et le lobe temporal gauche (*E1.3*). Aucune ne présente de point de fixation sur les globes oculaires.



B. Dossier 2 : radiographie thoracique de face

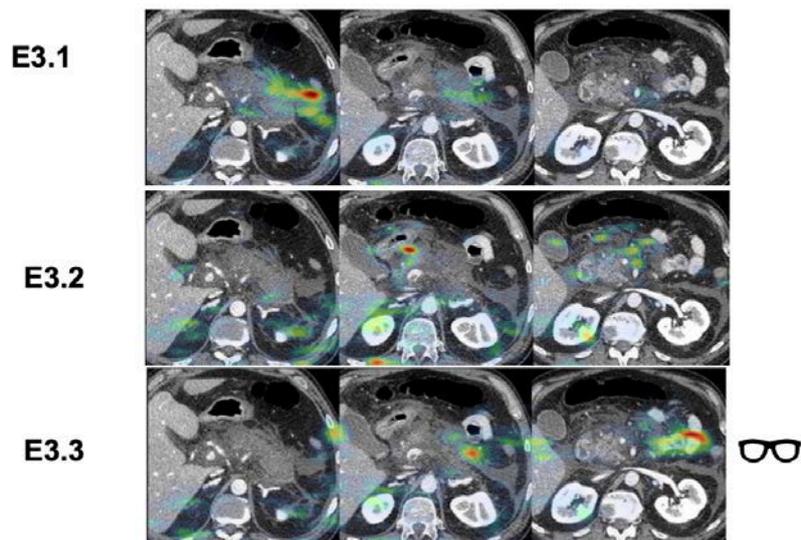
2 cartographies ont été extraites, une erreur logicielle empêchant la construction de la cartographie *E2.1*. La *carte E2.2* présente plusieurs points de fixation modérés à intenses des apex prédominant à gauche, des champs pulmonaires prédominant plutôt dans les régions supérieurs et péri-hilaires gauches, un point de fixation intense diaphragmatique droit et plus modéré à gauche. Des points plus modérés se trouvent au sein de la silhouette

cardiomédiastinale. D'autres points moins intenses se situent en périphérie des champs pulmonaires et des aires axillaires. La *carte E2.3* présente des points plus intenses du champ pulmonaire gauche au niveau de la région périhilaire gauche, un point intense au niveau de l'apex gauche et d'autres points moins intenses diffus des deux champs pulmonaires et en regard des coupes diaphragmatiques.



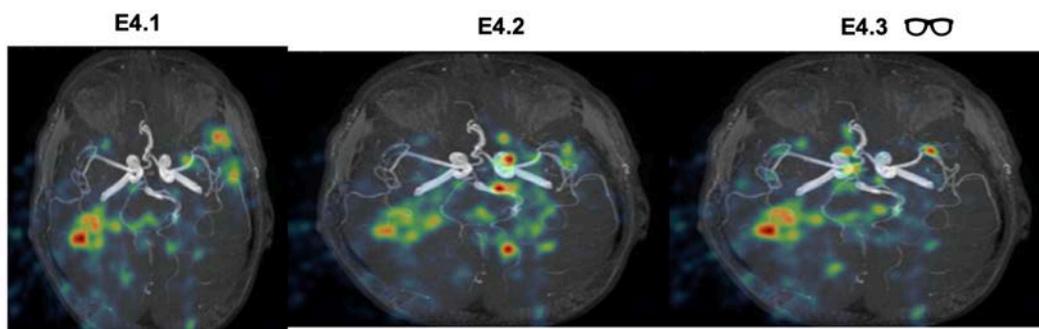
C. Dossier 3 : scanner abdominal (trois coupes)

3 cartographies ont été extraites. Les points de fixation sont plus nombreux et intenses en regard des coulées de nécrose notamment de la gouttière pariéto-colique gauche (*cartes E3.1 et E3.3*) et en région péricéphalique pancréatique (*carte E3.2*). Il existe quelques autres points de fixation plus modérés de l'espace rétropéritonéal et de la vésicule biliaire (*carte E3.2*).



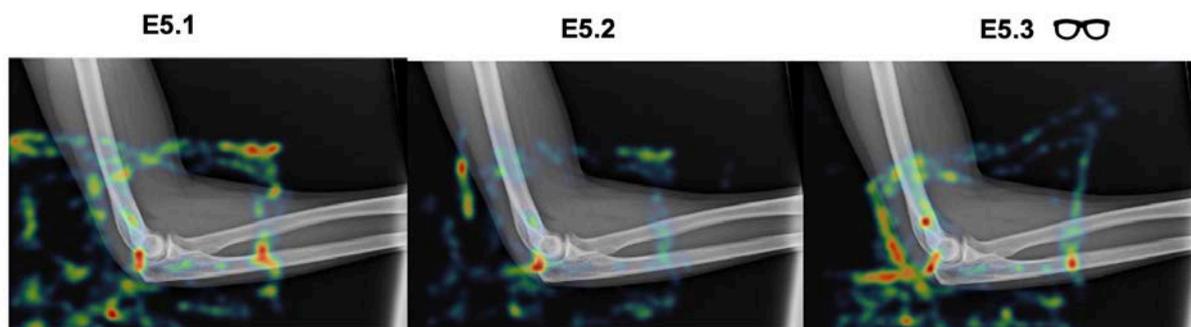
D. Dossier 4 : IRM encéphalique (séquence 3D TOF)

3 cartographies ont été extraites. Les points de fixation sont plus intenses au niveau des siphons carotidiens (*cartes E4.2 et E4.3*), de la bifurcation sylvienne gauche (*E4.1 et E4.3*) et des branches distales de l'artère cérébrale moyenne droite (*E4.1 – E4.3*). Une cartographie présente un point de fixation plus intense sur le tronc basilaire et l'artère cérébrale postérieure gauche (*E4.2*).



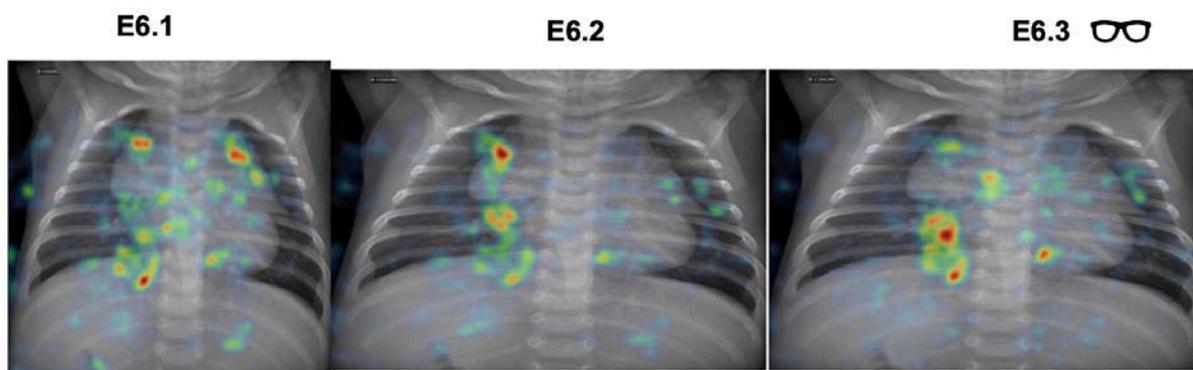
E. Dossier 5 : radiographie du coude de profil

3 cartographies ont été extraites. Toutes présentent un point de fixation intenses sur la région de la palette humérale. Les autres points sont d'intensité plus modérées et réalisent un cadre autour du tiers distal de l'humérus et l'extrémité proximal des os de l'avant-bras. D'autres points de fixation plus intenses de la région olécrânienne sont retrouvés la *carte E5.3*.



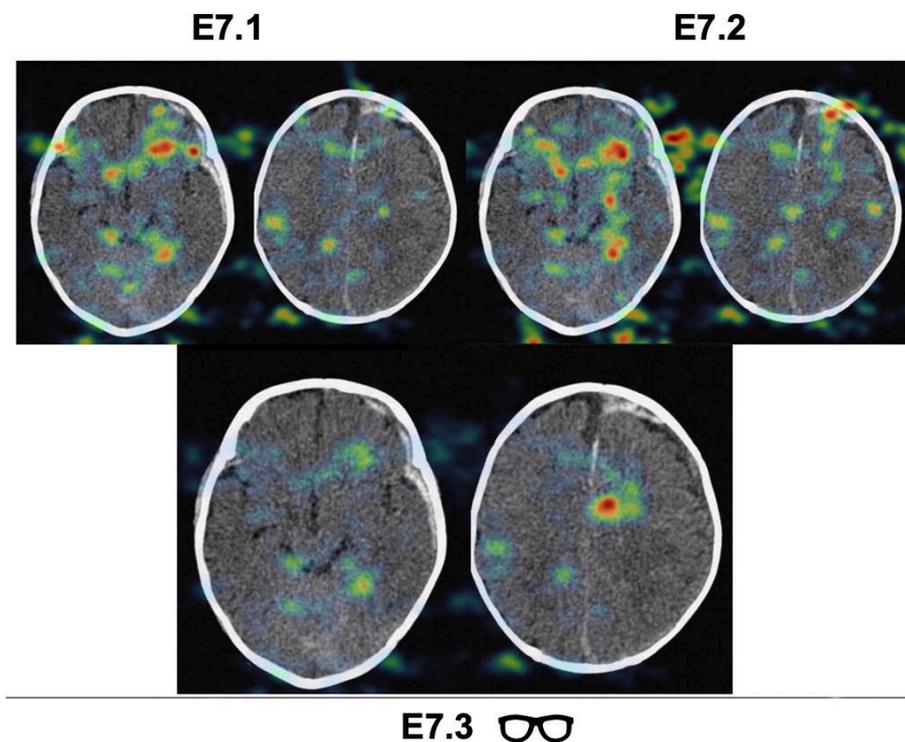
F. Dossier 6 : radiographie thoracique de face chez un nourrisson

3 cartographies ont été extraites. Des points de fixation d'intensité modérée se trouvent au pourtour de la silhouette thymique, de façon un peu plus intense sur la *carte E6.1*. Chaque cartographie présente des points de fixation sur le bord inférieur droit du cœur, plus intense sur la *carte E6.3*. D'autres points d'intensité plus modérée voire faible se trouvent en regard des coupes diaphragmatiques et des régions apicales.



G. Dossier 7 : scanner cérébral d'un nourrisson (deux coupes).

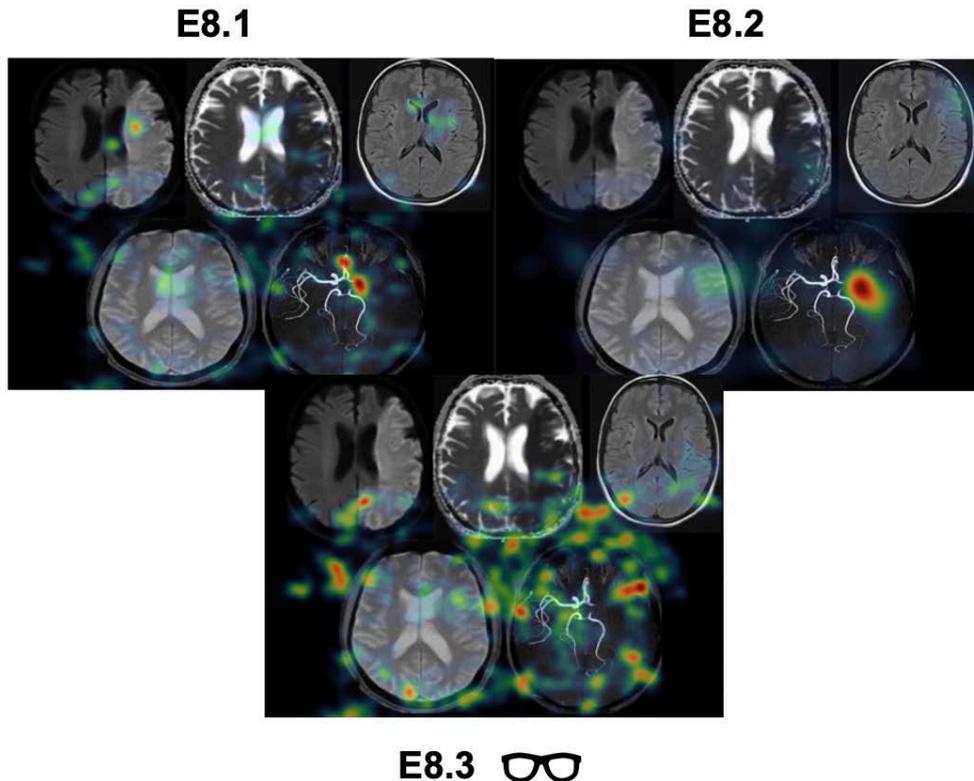
3 cartographies ont été extraites. Chaque cartographie présente des points de fixation sur l'hématome sous-dural aigu gauche, de façon plus intenses sur deux cartes (E7.1 et E7.2). Deux cartographies (E7.1 et E7.2) présentent également des points de fixation plus intenses sur l'image de gauche au niveau de la citerne périmésencéphalique. Une carte (E7.3) présente un point de fixation plus marqué sur la faux du cerveau sur l'image de droite en regard de la lame d'hémorragie parafalcorielle.



H. Dossier 8 : IRM encéphalique (quatre séquences)

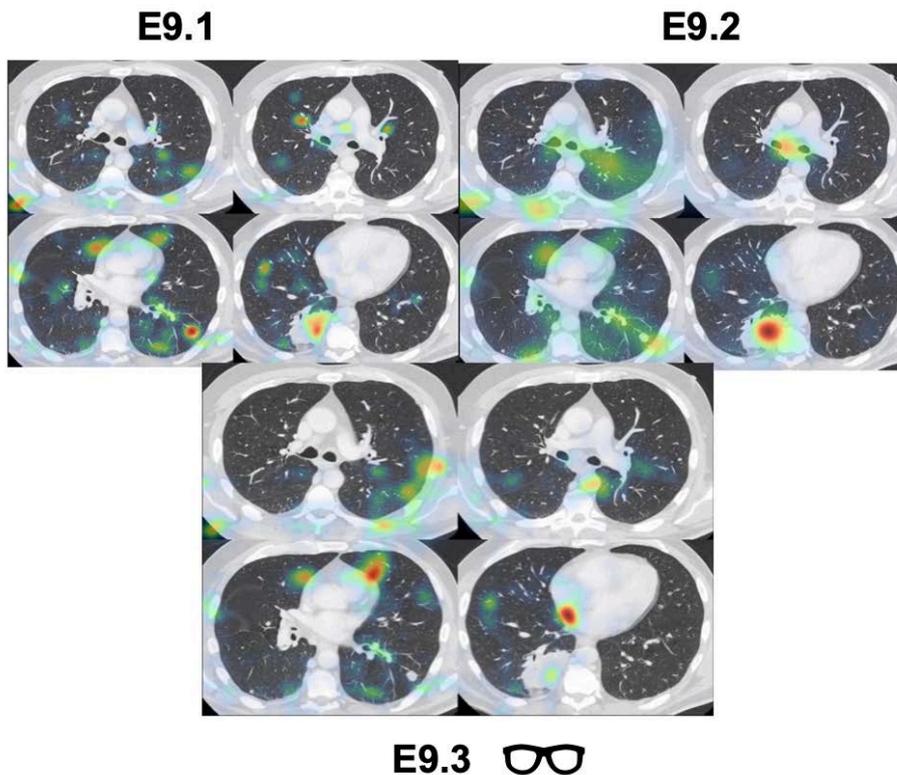
3 cartographies ont été extraites. La carte E8.3 présente plusieurs points de fixation intenses diffus prédominant la séquence 3D TOF. Les autres cartes (E8.1 et E8.2) présentent des points de fixation intense uniquement au niveau de la séquence 3D TOF en regard de l'occlusion du segment M1

gauche et des artères cérébrales antérieures pour une (*carte E8.1*). D'autres points d'intensité faible ou modérée se retrouvent au niveau de l'hypersignal b1000 (*E8.1 et E8.3*), sur la séquence FLAIR et T2* en regard du territoire sylvien gauche.



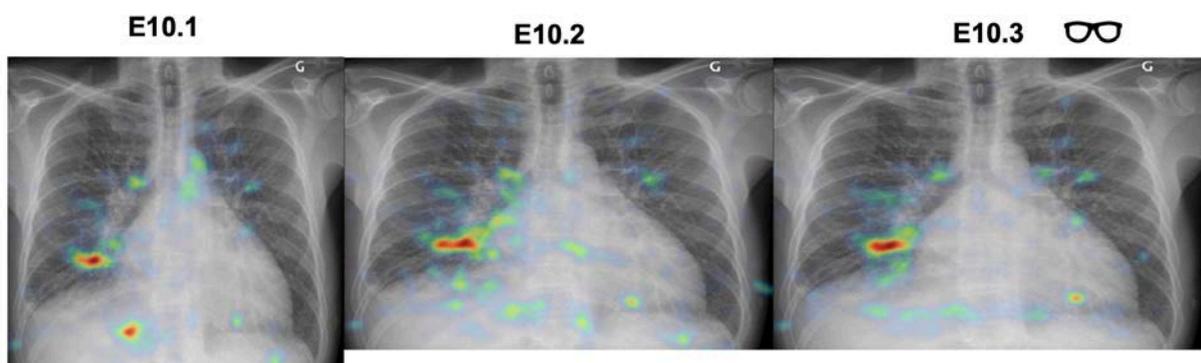
I. Dossier 9 : scanner thoracique (quatre coupes)

3 cartographies ont été extraites. Chacune présente un point de fixation sur la masse lobaire inférieure droite, plus intense sur 2 d'entre elles (*cartes E9.1 et E9.2*). La carte E9.1 présente un point intense sur le nodule lobaire inférieur gauche. Les cartes E9.1 et E9.2 présente un point de fixation plus modéré au niveau sur les adénomégalies médiastinales. La carte E9.3 présente un point de fixation plus intense sur la région atriale droite et plus modéré sur l'aorte thoracique descendante.



J. Dossier 10 : radiographie thoracique de face

3 cartographies ont été extraites. La totalité des cartographies présente un point de fixation intense au niveau du bord droit du cœur. Les autres points sont d'intensité plus modérée et prédominant en projection des coupes diaphragmatiques dont un plus intense (E10.1) et d'autres plus modérés (E10.2 et E10.3). D'autres points se trouvent en projection des régions hilaires et plus discrètement au niveau des apex.



IV. Comparaison et analyse statistique des cartographies des radiologues expérimentés et des étudiants

Le nombre de points de fixation et leurs durées chez l'expert 3 étaient nettement supérieures aux autres participants, ces données n'ont pas été prises en compte dans l'analyse statistique.

A. Dossier 1 : Scanner cérébral

Les cartographies des étudiants apparaissent équivalentes, présentant des points de fixation similaires dans chaque zone d'intérêt avec cependant une intensité plus marquée sur le ventricule latéral droit, les experts présentant une plus grande homogénéité dans l'intensité des points de fixation, sauf pour la carte *E1.3* (sujet porteur de lunettes).

Il n'existe pas de différence significative entre les durées moyennes de fixation des étudiants et des experts ($p\text{-value} = 0,69$) ou les écarts-types ($p\text{-value} = 0,14$).

La moyenne de durée de fixation des étudiants est de 356,03 millisecondes et celle des experts de 453,07 millisecondes. La moyenne des écarts-types de durée de fixation chez les étudiants était de 485 millisecondes, celle des experts de 404,22 millisecondes.

en ms	Sujet 1	Sujet 2	Sujet 3	Sujet 4	Sujet 5	Sujet 6	Sujet 7	Sujet 8	Sujet 9	Sujet 10	Sujet 11	Expert 1	Expert 2	Expert 3	Moyenne étudiants	Moyenne experts	P-value
Dossier 1																	
Moyenne	482,64	140,73	307,60	202,61	395,90	306,49	310,85	437,26	419,39	427,56	485,33	421,84	484,30	1678,21	356,03	453,07	0,69
Ecart-type	920,69	87,02	220,69	156,77	420,21	267,44	351,13	395,72	789,61	439,01	1284,84	342,74	465,70	2037,36	484,83	404,22	0,14
Q1	167,00	80,00	167,00	92,00	193,75	163,25	147,00	223,50	141,00	220,25	188,00	179,00	227,00	227,00			
Q3	499,00	171,00	352,00	255,00	447,00	375,00	348,75	541,50	392,00	474,25	430,75	603,00	564,25	2078,00			
Médiane	287,00	112,00	252,00	159,00	297,50	241,50	219,00	330,00	211,00	326,00	248,00	260,00	314,00	785,00			

B. Dossier 2 : Radiographie thoracique de face

Après étude de l'enregistrement, la cartographie de l'expert E2.1 est artéfactée par le port des lunettes (saccades mal détectées, laissant la fixation figée). La répartition des points de fixation de la cartographie expert E2.1 est plus homogène. Les cartographies des étudiants présentent également des points de fixation des apex pulmonaires. La cartographie E2.1 présente davantage de points de fixation au niveau des coupoles diaphragmatiques tandis que celles des étudiants prédominent plutôt sur les culs-de-sac pleuraux latéraux.

Il n'existe pas de différence significative entre les durées moyennes de fixation des étudiants et des experts (*p-value* = 0,97) ou les écarts-types (*p-value* = 0,86).

La moyenne de durée de fixation des étudiants est de 378,27 millisecondes et celle des experts de 375,51 millisecondes. La moyenne des écarts-types de durée de fixation chez les étudiants était de 436,48 millisecondes, celle des experts de 240,58 millisecondes.

Dossier 2	Sujet 1	Sujet 2	Sujet 3	Sujet 4	Sujet 5	Sujet 6	Sujet 7	Sujet 8	Sujet 9	Sujet 10	Sujet 11	Expert 1	Expert 2	Expert 3	Moyenne étudiants	Moyenne experts	P-value
Moyenne	354,00	143,81	391,13	192,88	490,83	343,86	372,21	603,60	452,62	380,32	435,76	358,04	392,98	1367,73	378,27	375,51	0,97
Ecart-type	363,36	96,32	425,74	185,75	513,68	367,38	540,68	847,24	580,32	401,65	479,19	217,96	263,20	1263,51	436,48	240,58	0,86
Q1	168,00	76,00	171,00	96,00	199,00	159,00	167,00	207,50	159,00	191,00	175,75	180,00	233,50	271,00			
Q3	396,25	180,00	432,00	231,00	544,00	420,00	371,00	551,50	492,00	421,75	487,25	531,00	434,75	2047,75			
Médiane	239,00	116,00	240,00	135,00	300,00	235,50	252,00	304,00	276,00	286,00	273,50	288,00	308,00	872,00			

C. Dossier 3 : scanner abdominal (trois coupes)

Après étude de l'enregistrement, la cartographie du participant 3.2 est artéfactée par le port des lunettes. Les points de fixation des cartes des étudiants sont d'intensité plus modérée, diffuse sur les trois coupes. Les points de fixation des experts sont d'intensité modérée et se concentrent sur les coulées de nécrose. 7 cartes

d'étudiants présentent également ces points de fixation. Les autres présentent des points de fixation sur la glande pancréatique ou la région rétropéritonéale.

Il n'existe pas de différence significative entre les durées moyennes de fixation des étudiants et des experts ($p\text{-value} = 0,59$) ou les écarts-types ($p\text{-value} = 1,00$).

La moyenne de durée de fixation des étudiants est de 401,48 millisecondes et celle des experts de 535,53 millisecondes. La moyenne des écarts-types de durée de fixation chez les étudiants était de 525,06 millisecondes, celle des experts de 475,18 millisecondes.

Dossier 3	Sujet 1	Sujet 2	Sujet 3	Sujet 4	Sujet 5	Sujet 6	Sujet 7	Sujet 8	Sujet 9	Sujet 10	Sujet 11	Expert 1	Expert 2	Expert 3	Moyenne étudiants	Moyenne experts	P-value
Moyenne	370,54	145,37	386,77	186,42	464,40	447,14	439,60	524,99	553,52	381,24	516,34	536,70	534,36	6204,86	401,48	535,53	0,59
Ecart-type	338,66	94,36	360,83	167,45	645,33	454,37	474,63	814,97	991,68	507,73	925,66	432,72	517,64	5591,63	525,06	475,18	1,00
Q1	140,00	80,00	161,50	92,00	191,00	171,00	171,75	188,00	160,00	181,00	183,00	209,50	203,00	2034,00			
Q3	465,50	172,00	441,50	211,00	511,75	536,00	534,75	596,00	508,50	443,00	546,00	866,50	700,00	10721,50			
Médiane	228,00	112,00	267,00	132,00	297,50	296,00	295,50	290,00	243,00	279,00	274,00	379,00	384,00	3776,00			

D. Dossier 4 : IRM encéphalique (séquence 3D TOF)

Après étude de l'enregistrement, les *cartographies 4.2 et 4.4* sont artéfactées par le port de lunette de vue. Les points de fixation des cartes experts prédominent sur la région des siphons carotidiens et la bifurcation sylvienne gauche, comme 7 cartes étudiants (4.1, 4.3, 4.5, 4.6, 4.7, 4.9 et 4.11). Les autres prédominent sur le réseau cérébral postérieur (4.8) et cérébral moyen droit (4.6, 4.7, 4.10 et 4.11).

Il n'existe pas de différence significative entre les durées moyennes de fixation des étudiants et des experts ($p\text{-value} = 0,64$) ou les écarts-types ($p\text{-value} = 0,25$).

La moyenne de durée de fixation des étudiants est de 395,72 millisecondes et celle des experts de 446,30 millisecondes. La moyenne des écarts-types

de durée de fixation chez les étudiants était de 478,10 millisecondes, celle des experts de 482,64 millisecondes.

Dossier 4	Sujet 1	Sujet 2	Sujet 3	Sujet 4	Sujet 5	Sujet 6	Sujet 7	Sujet 8	Sujet 9	Sujet 10	Sujet 11	Expert 1	Expert 2	Expert 3	Moyenne étudiants	Moyenne experts	P-value
Moyenne	400,42	156,88	500,39	173,28	525,58	398,38	380,92	536,95	412,66	453,91	413,51	369,81	522,79	6860,00 ^F	395,72 ^F	446,30	0,64
Ecart-type	560,57	105,72	582,58	120,55	485,00	502,95	484,17	956,01	516,07	485,37	460,11	325,35	639,92	8090,17 ^F	478,10 ^F	482,64	0,25
Q1	151,25	80,00	175,50	99,25	222,25	175,00	157,25	184,00	139,50	188,75	173,00	148,00	212,00	2348,00			
Q3	366,75	187,75	557,00	200,00	627,00	411,00	400,75	435,00	469,50	473,00	505,25	472,00	533,00	10162,00			
Médiane	208,00	131,00	279,00	132,00	342,00	248,00	247,00	272,00	239,00	275,00	269,50	248,00	288,00	4440,00			

E. Dossier 5 : radiographie du coude de profil

Les cartographies des experts et des étudiants présentent un aspect globalement similaire, avec des points de fixation au niveau de la région de la palette humérale et aussi de la région olécrânienne. Il se dessine également l'aspect en cadre au pourtour de l'articulation.

Il n'existe pas de différence significative entre les durées moyennes de fixation des étudiants et des experts ($p\text{-value} = 0,67$) ou les écarts-types ($p\text{-value} = 0,70$).

La moyenne de durée de fixation des étudiants est de 497,70 millisecondes et celle des experts de 599,92 millisecondes. La moyenne des écarts-types de durée de fixation chez les étudiants était de 772,70 millisecondes, celle des experts de 629,40 millisecondes.

Dossier 5	Sujet 1	Sujet 2	Sujet 3	Sujet 4	Sujet 5	Sujet 6	Sujet 7	Sujet 8	Sujet 9	Sujet 10	Sujet 11	Expert 1	Expert 2	Expert 3	Moyenne étudiants	Moyenne experts	P-value
Moyenne	416,31	174,97	431,61	156,35	544,37		560,67	864,96	668,75	641,12	517,89	420,36	779,48	7275,50 ^F	497,70 ^F	599,92	0,67
Ecart-type	538,58	110,17	461,29	174,98	1046,62		1036,52	1507,32	1196,42	927,22	727,87	405,78	853,01	3841,20 ^F	772,70 ^F	629,40	0,70
Q1	151,00	92,00	167,75	82,25	208,00		167,00	208,00	139,00	171,50	186,25	183,00	247,00	6746,00			
Q3	431,50	227,00	470,00	176,75	514,00		511,00	847,00	525,75	643,25	599,25	482,00	967,00	9187,00			
Médiane	228,00	151,00	281,00	120,00	302,00		314,00	359,00	203,50	277,50	319,00	270,00	446,00	8657,50			

F. Dossier 6 : radiographie thoracique de face chez un nourrisson

Les cartographies des experts et des étudiants sont globalement similaires. En majorité les points de fixation se trouvent le long du bord droit de la silhouette thymique et du bord droit du cœur, avec un étudiant ayant essentiellement focalisé à

ce niveau (*carte 6.5*) et inversement un autre s'étant concentré sur le bord gauche de la silhouette thymique (*carte 6.10*).

Il n'existe pas de différence significative entre les durées moyennes de fixation des étudiants et des experts ($p\text{-value} = 0,34$) ou les écarts-types ($p\text{-value} = 0,44$).

La moyenne de durée de fixation des étudiants est de 375,32 millisecondes et celle des experts de 407,55 millisecondes. La moyenne des écarts-types de durée de fixation chez les étudiants était de 538,52 millisecondes, celle des experts de 404,57 millisecondes.

Dossier 6	Sujet1	Sujet2	Sujet3	Sujet4	Sujet5	Sujet6	Sujet7	Sujet8	Sujet9	Sujet10	Sujet11	Expert1	Expert2	Expert3	Moyenne étudiants	Moyenne experts	P-value
Moyenne	294,66	167,37	398,30	163,32	518,04	423,18	404,70	507,10	440,82	351,72	459,34	377,54	437,56	2628,00	375,32	407,55	0,34
Ecart-type	258,10	108,37	417,09	181,53	791,29	564,40	707,83	904,84	730,02	316,47	943,76	350,08	459,06	3193,01	538,52	404,57	0,44
Q1	151,00	95,00	180,00	91,00	202,50	176,75	168,75	196,00	147,00	179,00	184,00	204,75	247,00	312,25			
Q3	325,00	208,00	407,50	188,00	560,75	454,00	399,75	463,00	439,00	381,50	484,00	420,00	483,00	3924,00			
Médiane	215,00	137,50	260,00	119,00	333,00	266,00	268,00	280,00	239,00	255,00	267,00	305,50	336,00	1473,50			

G. Dossier 7 : scanner cérébral d'un nourrisson (deux coupes).

Les cartographies des experts et des étudiants sont globalement similaires, avec des points de fixation diffus sur les deux coupes présentées. 7 cartes d'étudiants (7.2 – 7.7 et 7.11) et 2 cartes d'experts (E7.1 et E7.2) se sont concentrées essentiellement sur l'iconographie de gauche à hauteur du mésencéphale, avec des points de fixation prédominant au niveau de la citerne péri-mésencéphalique.

Il n'existe pas de différence significative entre les durées moyennes de fixation des étudiants et des experts ($p\text{-value} = 0,51$) ou les écarts-types ($p\text{-value} = 0,17$).

La moyenne de durée de fixation des étudiants est de 415,59 millisecondes et celle des experts de 368,31 millisecondes. La moyenne des écarts-types

de durée de fixation chez les étudiants était de 660,79 millisecondes, celle des experts de 254,83 millisecondes.

Dossier 7	Sujet 1	Sujet 2	Sujet 3	Sujet 4	Sujet 5	Sujet 6	Sujet 7	Sujet 8	Sujet 9	Sujet 10	Sujet 11	Expert 1	Expert 2	Expert 3	Moyenne étudiants	Moyenne experts	P-value
Moyenne	375,12	225,31	395,16	202,17	526,01	359,94	428,07	592,19	408,38	478,75	580,39	312,64	423,98	3159,33	415,59	368,31	0,51
Ecart-type	612,23	183,72	354,67	189,66	915,02	754,32	671,98	874,42	592,51	663,84	1456,30	156,07	353,60	3298,27	660,79	254,83	0,17
Q1	157,50	100,00	180,00	92,00	198,25	163,75	154,25	184,00	148,75	175,00	179,00	215,75	216,00	980,00			
Q3	403,00	299,25	470,00	227,00	484,75	298,75	422,00	487,25	382,75	460,00	489,75	381,00	507,75	4495,00			
Médiane	216,00	159,50	276,00	148,00	303,00	217,50	253,50	307,50	228,00	275,50	274,00	277,50	299,00	1849,50			

H. Dossier 8 : IRM encéphalique (quatre séquences)

Les cartographies des experts présentent des points de fixation plus intenses sur la séquence 3D TOF en regard de l'occlusion proximale du segment M1 de l'artère cérébrale moyenne gauche. Les autres points sont peu intenses sur le reste des séquences, sauf pour la *carte E8.3* où ils sont un peu plus marqués.

Les cartographies des étudiants présentent des points de fixation plus nombreux et globalement plus diffus sur l'ensemble des séquences, avec une prédominance cependant sur la séquence 3D TOF pour les points intenses sauf pour une *carte (8.8)* où le point de fixation le plus intense est sur la séquence FLAIR.

Il n'existe pas de différence significative entre les durées moyennes de fixation des étudiants et des experts ($p\text{-value} = 0,84$) ou les écarts-types ($p\text{-value} = 0,54$).

La moyenne de durée de fixation des étudiants est de 453,53 millisecondes et celle des experts de 450,80 millisecondes. La moyenne des écarts-types de durée de fixation chez les étudiants était de 677,28 millisecondes, celle des experts de 462,92 millisecondes.

Dossier 8	Sujet 1	Sujet 2	Sujet 3	Sujet 4	Sujet 5	Sujet 6	Sujet 7	Sujet 8	Sujet 9	Sujet 10	Sujet 11	Expert 1	Expert 2	Expert 3	Moyenne étudiants	Moyenne experts	P-value
Moyenne	410,10	315,71	489,41	155,53	643,06	526,08	483,15	541,36	405,46	468,11	548,67	386,30	515,30	2122,09	453,33	450,80	0,84
Ecart-type	542,35	297,39	527,60	125,16	1095,10	851,16	822,10	866,48	554,26	741,86	1026,57	374,16	551,67	1206,23	677,28	462,92	0,54
Q1	145,50	107,00	173,00	80,00	192,00	176,00	164,00	187,00	139,00	168,00	175,00	193,00	230,75	1134,00			
Q3	427,00	407,00	629,50	179,00	638,00	529,50	471,00	532,00	391,00	428,00	418,00	419,00	626,00	2935,50			
Médiane	203,00	216,00	247,00	120,00	308,00	259,00	291,00	272,00	207,00	271,00	264,00	287,00	325,50	2183,00			

I. Dossier 9 : scanner thoracique (quatre coupes)

L'étude parenchymateuse comporte des points de fixation globalement similaires entre les experts et les étudiants, avec des points de focalisation sur la masse lobaire inférieure droite et le nodule lobaire inférieur gauche notamment.

Les experts présentent tous des points de fixation sur la région médiastinale notamment dans la région sous-carinaire pour la carte E9.2, une seule carte d'étudiant retrouve un point de fixation à ce niveau (carte 9.10).

Il n'existe pas de différence significative entre les durées moyennes de fixation des étudiants et des experts ($p\text{-value} = 0,68$) ou les écarts-types ($p\text{-value} = 0,45$).

La moyenne de durée de fixation des étudiants est de 429,58 millisecondes et celle des experts de 429,68 millisecondes. La moyenne des écarts-types de durée de fixation chez les étudiants était de 509,97 millisecondes, celle des experts de 360,90 millisecondes.

Dossier 9	Sujet 1	Sujet 2	Sujet 3	Sujet 4	Sujet 5	Sujet 6	Sujet 7	Sujet 8	Sujet 9	Sujet 10	Sujet 11	Expert 1	Expert 2	Expert 3	Moyenne étudiants	Moyenne experts	P-value
Moyenne	429,78	516,88	430,44	146,15	428,40	368,13	472,73	570,58	499,46	457,14	405,71	391,94	467,42	1573,00	429,58	429,68	0,68
Ecart-type	682,38	620,69	425,94	98,70	479,46	409,84	589,66	738,42	574,73	593,79	396,05	243,43	478,38	2720,73	509,97	360,90	0,45
Q1	158,25	189,00	163,00	87,00	191,00	166,25	171,75	189,50	149,50	179,00	174,50	218,00	199,25	278,25			
Q3	483,75	607,00	555,00	180,00	488,00	403,75	541,75	573,50	623,50	454,00	448,25	539,75	567,50	952,00			
Médiane	253,00	334,00	255,00	116,00	284,00	237,50	287,00	285,00	280,00	260,00	259,00	320,50	331,50	518,00			

J. Dossier 10 : radiographie thoracique de face

Les cartographies des experts et des étudiants sont globalement similaires, avec des points de fixation prédominant au niveau de la région hilare droit et sur le bord droit du cœur. Chaque expert présente des points de fixation d'intensité modérée (plus marquée pour la carte E10.1) sur les coupes diaphragmatiques, 4 cartes d'étudiant présentent un aspect globalement similaire à ce niveau (cartes 10.1, 10.4, 10.5, 10.8).

Il existe une différence significative entre les durées moyennes de fixation des étudiants et des experts ($p\text{-value} = 0,02$). Il n'existe pas de différence significative entre les écarts-types moyens de fixation ($p\text{-value} = 0,50$).

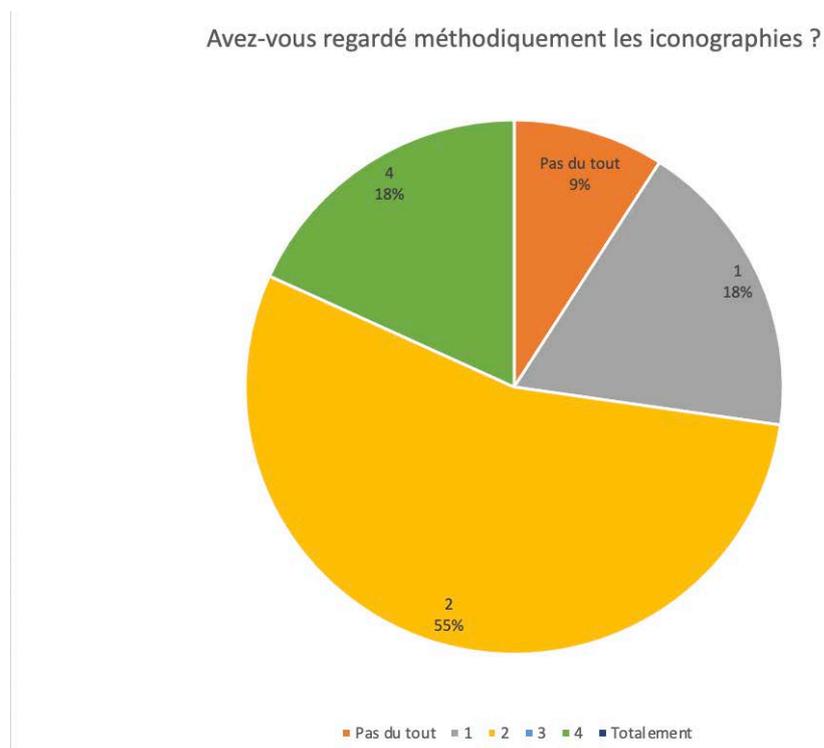
La moyenne de durée de fixation des étudiants est de 410,35 millisecondes et celle des experts de 391,28 millisecondes. La moyenne des écarts-types de durée de fixation chez les étudiants était de 574,05 millisecondes, celle des experts de 273,48 millisecondes.

Dossier 10	Sujet 1	Sujet 2	Sujet 3	Sujet 4	Sujet 5	Sujet 6	Sujet 7	Sujet 8	Sujet 9	Sujet 10	Sujet 11	Expert 1	Expert 2	Expert 3	Moyenne étudiants	Moyenne experts	P-value
Moyenne	342,83	443,26	443,26	179,46	574,89	317,20	389,42	530,91		414,86	467,45	342,25	440,31	1185,88	410,35	391,28	0,02
Ecart-type	595,45	449,32	449,32	159,17	1130,50	336,15	583,96	775,34		495,02	766,26	214,94	332,02	1014,13	574,05	273,48	0,50
Q1	159,00	179,00	179,00	88,00	207,00	160,25	161,00	172,00		185,50	187,00	184,00	240,00	323,00			
Q3	378,75	516,00	516,00	215,50	472,00	328,00	398,00	499,00		453,00	476,00	452,75	539,00	1632,00			
Médiane	223,50	268,00	268,00	135,00	268,00	217,00	249,50	292,00		260,00	272,00	271,00	339,00	871,00			

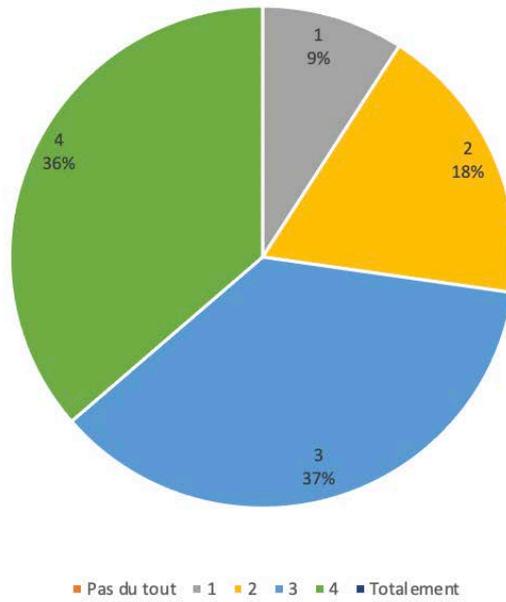
V. Ressenti des étudiants sur la séance et sur l'enseignement de la radiologie (questionnaire post-test)

Concernant le ressenti des apprenants sur leur séance d'enregistrement avec des lunettes d'eye-tracking (cf. FIGURE), 82% des étudiants déclarent que leur méthode de lecture n'était pas systématique lors des enregistrements. 73% rapportent avoir été orienté au moins en partie par le contexte clinique, et 82% au moins partiellement par la Q.R.M. proposée en troisième lecture. 46% des apprenants ont trouvé que les diagnostics attendus étaient plutôt difficiles. 82% d'entre eux éprouvent des difficultés à identifier des anomalies éventuelles au sein des iconographies, et 36% à identifier les structures anatomiques.

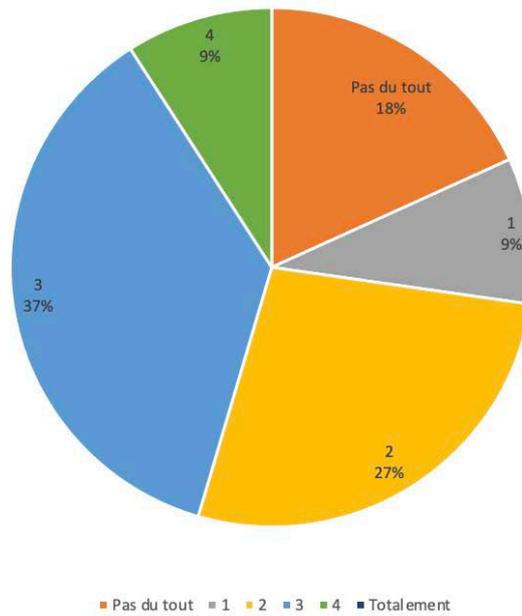
FIGURE 26 : Questionnaire post-test sur le ressenti des étudiants sur leur séance d'eye-tracking (questions 1 à 5)



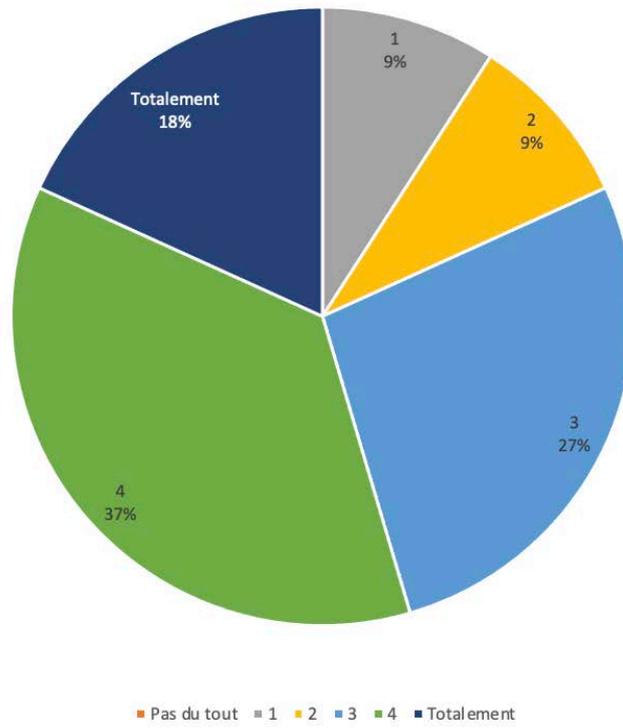
Le contexte clinique a-t-il orienté votre diagnostic ?



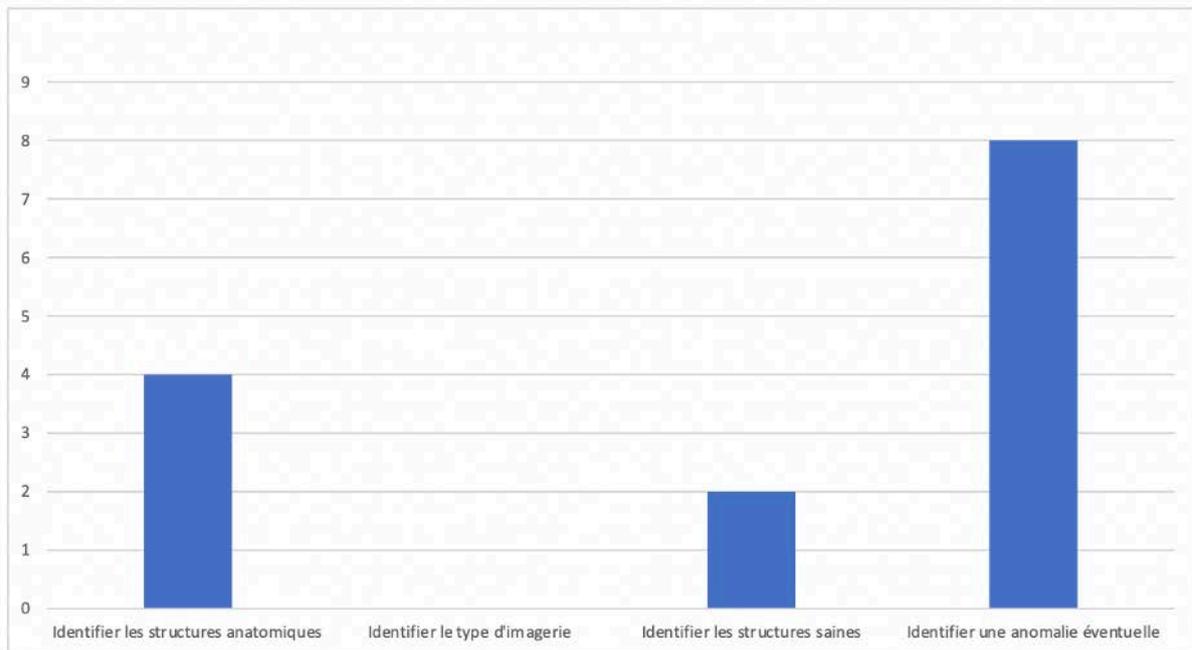
Les diagnostics à évoquer vous semblaient-ils difficiles ?



La Q.R.M. a-t-elle orienté votre diagnostic ?



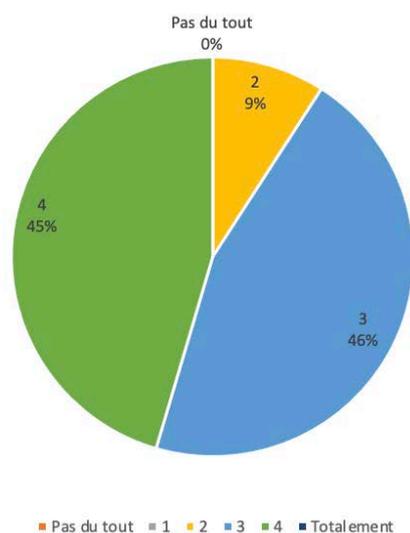
Quelles ont été les principales difficultés ou hésitations que vous avez rencontrées ?



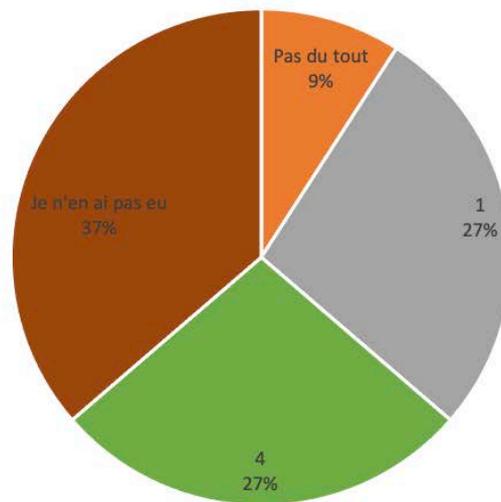
Concernant leur expérience sur l'enseignement dont ils ont pu bénéficier en radiologie, 91% considèrent que leur stage dans le service de neuroradiologie leur a été utile pour répondre aux questions posées. 27% considèrent que les cours magistraux et E.D. ont été utiles, 37% n'en ont pas bénéficié. 45% considèrent que les conférences facultaires leur ont été utiles mais 37% n'en ont pas bénéficié. La totalité des apprenants souhaitent avoir plus d'entraînement type E.C.N. / E.D.N. pendant leur formation, 91% souhaitent notamment bénéficier de sessions d'entraînement dédiées en stage. 63% souhaitent voir augmenter le nombre de conférences facultaires dédiées à l'imagerie, 54% le nombre de cours magistraux et d'E.D., et un étudiant suggère la mise en place d'une plateforme d'entraînement par les enseignants.

FIGURE 27 : Questionnaire post-test sur l'expérience des étudiants sur l'enseignement dont ils ont pu bénéficier en radiologie (questions 6 à 10)

Le stage a-t-il été utile pour analyser les iconographies

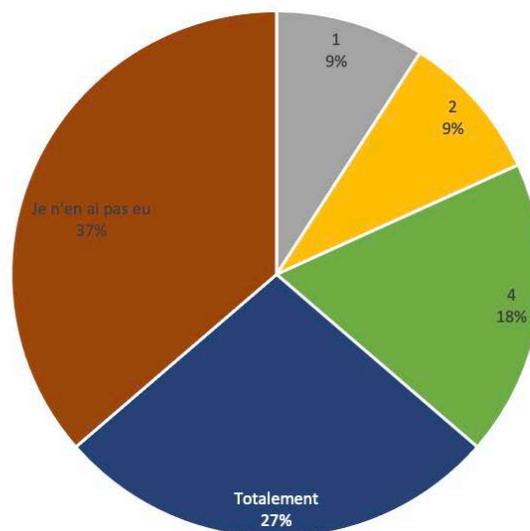


Les cours magistraux / E.D. ont-ils été utiles pour analyser les iconographies ?



■ Cours magistraux / ED ont été utiles ■ Pas du tout ■ 1 ■ 2 ■ 3 ■ 4 ■ Totalement ■ Je n'en ai pas eu

Les conférences facultaires ont-elles été utiles pour analyser les iconographies ?



■ Pas du tout ■ 1 ■ 2 ■ 3 ■ 4 ■ Totalement ■ Je n'en ai pas eu

DISCUSSION

Nous avons réussi grâce au dispositif de lunettes d'eye-tracking Pupil Invisible ®, disponible à la Faculté de Médecine de Lille, à décrire et comparer 107 cartographies d'étudiants avec 29 cartographies de radiologues expérimentés.

A notre connaissance, il s'agit de la première étude exploitant la technologie eye-tracking pour la préparation et l'évaluation d'étudiants sur des imageries au programme de l'E.C.N./E.D.N.

Tout d'abord, nous observons visuellement des différences entre les cartographies des experts et des étudiants pour 5 dossiers :

- Sur le dossier 2 (*radiographie thoracique ; normale*), les points de fixation des étudiants prédominent aux bases sur les culs-de-sac pleuraux latéraux tandis qu'à ce niveau le nombre de points de fixation des experts est plus nombreux sur les coupes diaphragmatiques, en projection des bases pulmonaires. Les réponses des étudiants restent cohérentes avec initialement des suspicions de pneumothorax apicaux, probablement liées au fenêtrage de l'iconographie (directement issue de l'ECN 2019, non modifiable).
- Sur le dossier 3 (*scanner abdomino-pelvien ; pancréatite aiguë nécrotique*), la majorité des points de fixation des experts se trouvent là où ils cherchent les complications de la pancréatite, ici au niveau des coulées de nécrose, tandis que la moitié des étudiants focalise davantage sur la glande pancréatique. De même, 18,2% des étudiants parlent de pancréatite œdémateuse alors qu'ils ont fixé la glande pancréatique, par exemple pour la *carte 3.1*.

- Sur le dossier 4 (*IRM encéphalique ; séquence 3D TOF normale*), les points de fixation des experts se trouvent sur les régions siège de complications, notamment d'anévrismes ; ceux des étudiants sont globalement plus diffus.
- Sur le dossier 8 (*IRM encéphalique ; 4 séquences ; AVC cérébral moyen gauche complet*), les experts focalisent peu sur les séquences de diffusion, FLAIR et T2* et davantage sur la séquence 3D TOF et l'occlusion artérielle. Les réponses des étudiants sont néanmoins satisfaisantes avec 100% de l'effectif détectant l'AVC, sa caractérisation étant moins évidente avec 27,3% précisant qu'il s'agit un AVC hyperaigu (< 4h30) en 1^{ère} et 2^{ème} lecture, ce taux remontant à 81,8% à l'issue de la Q.R.M.
- Sur le dossier 9 (*scanner thoracique ; 4 coupes ; masse et nodules pulmonaires*), les experts ont tous regardé également le médiastin même si la fenêtre d'exploration n'était pas dédiée, à la recherche d'adénomégalies.

Les experts montrent globalement moins de points de focalisation intenses et davantage sur les zones d'intérêts, ce qui peut être en rapport avec une approche globale-focale comme le rapporte Van der Gijp et al. (30). Par ailleurs, les étudiants éprouvent des difficultés à reconnaître les structures radio-anatomiques, comme l'indiquent 64,5% des étudiants lors du questionnaire du séminaire Best-of de mai et septembre 2023 (cf. **FIGURE 14**) et 36,3% de notre étude sur le questionnaire post-test (cf. **FIGURE 26**).

Par cette nouvelle technologie à disposition, nous pourrions envisager une nouvelle approche de l'enseignement de la radio-anatomie et de la démarche diagnostique. Par exemple, Jarodzka et al. (48,49) ont proposé de superposer en temps réel l'enregistrement eye-tracking d'un enseignant avec celui de l'étudiant, une technologie appelée « Eye Movement Modelling Examples (E.M.M.E.) ».

Ensuite, les 5 autres cartographies sont globalement similaires entre experts et étudiants. Nous relevons cependant quelques divergences dans les réponses apportées par les étudiants :

- Pour le dossier 1 (*scanner cérébral ; hémorragie sous-arachnoïdienne*), une minorité seulement rapporte la présence de l'hémorragie intraventriculaire ou de l'hydrocéphalie même avec la Q.R.M., cœur du pronostic de l'hémorragie sous-arachnoïdienne, alors que des points de fixation y sont relevés.
- Pour le dossier 6 (*radiographie thoracique d'un nourrisson ; image thymique normale*), sur les premières lectures, 63,6% des étudiants rapportent la présence d'une pneumopathie ou d'un épanchement.
- Pour le dossier 10 (*radiographie thoracique ; œdème aigu pulmonaire*), une minorité d'apprenants note le diagnostic attendu (4 à l'issue des deux premières lectures). L'effacement du bord droit du cœur peut effectivement faire suspecter un foyer alvéolaire lobaire moyen comme le rapportent 45,5% des étudiants à l'issue des deux premières lectures, et 63,6% la coche en QRM. Une majorité note la cardiomégalie mais 45,5% seulement relèvent l'épanchement pleural.

Une part d'expérience du participant est certainement à prendre en compte pour arriver au diagnostic. La majorité des participants de notre étude étant en MED-4 (cf. **FIGURE 24**), il s'agit d'un point intéressant à relever pour sensibiliser davantage encore les étudiants dans leur apprentissage.

Une autre part intrinsèquement liée peut être liée au biais de satisfaction, comme l'ont démontré Samuel et al. (23) dans l'interprétation des radiographies thoraciques : les anomalies évidentes ne posent généralement pas de problème diagnostique, mais alors il existe une diminution de la détection des anomalies plus subtiles.

Concernant les experts, Tourassi et al. (50) ont démontré qu'il existe bien une corrélation entre la démarche cognitive et diagnostique d'un radiologue expérimenté et le suivi en eye-tracking de son regard dans l'interprétation d'une mammographie. Nous pouvons émettre l'hypothèse d'une démarche cognitive similaire chez les radiologues experts, pour les dossiers à la cartographie similaire aux étudiants.

Par ailleurs, nous avons retrouvé uniquement sur le dossier 10 une différence significative entre les moyennes de durée de fixation des étudiants et des experts. Toutes les autres moyennes ou écarts-types ne présentaient pas de différence significative. Ces constatations peuvent s'expliquer par notre faible effectif, mais aussi par le faible nombre d'experts par rapport au nombre de participants, d'autant plus que les enregistrements d'un des experts ont été artéfactés par le port simultané de lunettes de vue.

Negi et Mitra (47) ont montré que l'étude des durées de fixation restait un reflet imparfait du processus cognitif et d'apprentissage. Par ailleurs, Kundel et al. (29) comparent sur des mammographies le regard de radiologues expérimentés avec d'autres moins expérimentés, avec l'hypothèse que les « experts » pratiquent un modèle holistique dans leur recherche, reflété par la longueur des saccades qui correspond aux degrés de mouvement des yeux. Ils montrent alors que les longueurs initiales des saccades pour arriver à la lésion étaient plus grandes chez les experts. Il serait intéressant à plus grande échelle de comparer ses longueurs de saccades sur nos iconographies avec un plus grand nombre d'experts, même si certaines études n'ont pas retrouvé cette différence significative (51,52).

La mise en place de notre étude a été facilitée par une organisation intégrée au stage clinique au sein du service de Neuroradiologie du C.H.U. de Lille. Il est tout à fait envisageable de proposer une organisation étendue à l'ensemble des étudiants des services de radiologie du C.H.U. en vue par exemple de travaux futurs. Dans le cadre de la préparation aux E.D.N., il pourrait être intéressant d'utiliser cette technologie pour récolter des données à destination de l'enseignement mais aussi en tant que technique d'auto-évaluation. Grima-Murcia et al. (53) l'ont proposé par exemple dans le cadre des E.C.O.S. Plusieurs pistes sont ouvertes dans le cadre de la radiologie par Grégory et al. (54) pour évaluer certes les connaissances, mais aussi les compétences relationnelles, interprofessionnelles ou de procédure.

L'utilisation de ce modèle de lunettes est en effet aisée, ne nécessitant pas de calibrage systématique pour chaque participant, le recueil des enregistrements a été facilité et rapide avec une durée de passage par étudiant de 20 minutes environ pour 10 dossiers d'imagerie. Cette participation pourrait s'envisager dans le cadre d'entraînements dédiés à l'imagerie en stage, comme le souhaitent 77,4% des étudiants du Best-Of et la totalité de nos participants.

Néanmoins, notre étude comporte plusieurs limites. Il s'agit tout d'abord d'une première étude descriptive et analytique exploitant la technologie d'eye-tracking sur des iconographies au programme des E.C.N. / E.D.N. L'analyse proposée comporte une partie non quantitative, le regard des zones d'intérêts étant déterminé manuellement et a posteriori après post-traitement des enregistrements. Il subsiste en effet une part de subjectivité dans l'analyse visuelle, étudier les différents paramètres disponibles entre eux et entre experts et participants permet de se rapprocher d'une approche quantitative (47). Une mise à jour prochaine de l'outil

Pupil Cloud® (mise à jour v6.1) va par exemple permettre d'intégrer directement les régions d'intérêt sur les images de référence directement au post-traitement, et permettra également de quantifier (et non seulement qualitativement) la durée moyenne de chaque fixation sur la cartographie (cf. **FIGURE 28**).

Sanzalone et al. (55) ont par exemple analysé le regard des radiologues sur la détection de métastases lors de l'interprétation de scanners thoraco-abdomino-pelviens en ayant une approche quantitative des points de fixation, utilisant une technologie d'eye-tracking stationnaire fixée à un écran d'interprétation et basée sur un nuage de point, chaque nuage de point correspondant à une fixation de 16 ms (cf. **FIGURE 29**). Ce travail pourrait tout à fait être réalisé a posteriori sur les données collectées par notre étude.

L'absence de calibrage systématique à chaque sujet entraîne nécessairement des différences. Harrar et al. (56) trouve par exemple que des lunettes calibrées pour un sujet et utilisées par un autre amène à une perte de précision de l'ordre de 2 à 4 degrés. La précision de notre système était de l'ordre de 4,6 degrés environ sans calibrage et sujet à certaines imprécisions, par exemple sur le *dossier 5 (radiographie du coude de profil)* où les points de fixation étaient focalisés sur l'humérus distal plutôt que le triangle graisseux coronoïdien. Les principales corrections de calibrage sont reprises par Holmqvist et al. (57). Ces imprécisions étaient encore plus marquées pour les participants porteurs de lunettes et ne pouvant les retirer, notamment pour l'expert 3. L'émetteur infrarouge calibrant mal la pupille de ceux-ci en raison des reflets liés aux verres de la lunette de vue. Un système d'eye-tracking stationnaire pourrait permettre d'outrepasser cette contrainte, sinon l'utilisation de verres adaptés sur notre modèle (néanmoins difficilement envisageable en pratique). Un autre système d'eye-tracking par lunettes est

également disponible à la Faculté de Médecine de Lille, le modèle Pupil Core® (58), plus précis (de l'ordre de 0,6 degré), permettant une étude en temps réel, mais nécessitant un calibrage pour chaque participant et un post-traitement logiciel plus long, rendant plus difficile son utilisation sur un grand effectif (cf. **FIGURE 30**).

FIGURE 28 : Mise à jour v6.1 de Pupil Cloud® (45)

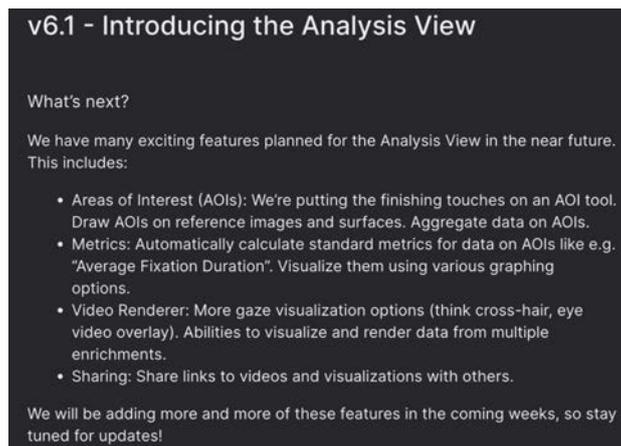
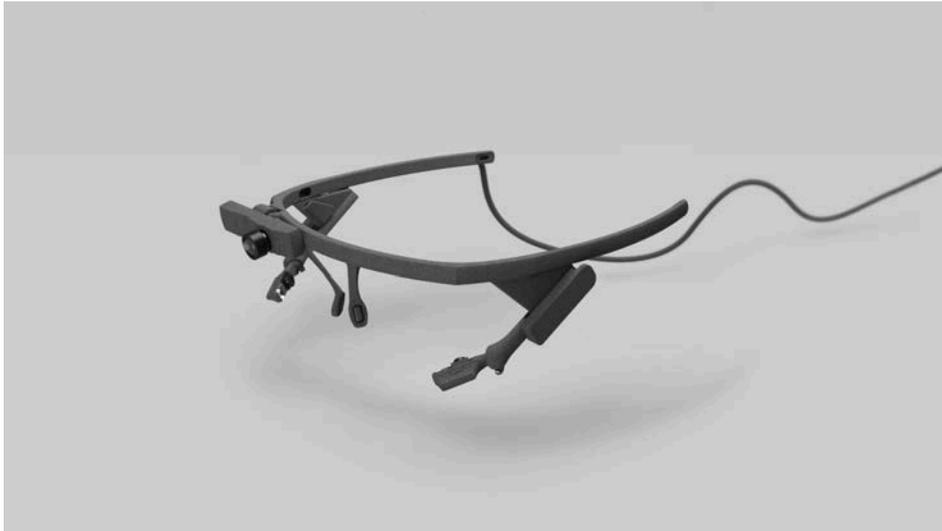


FIGURE 29 : Système Eye Tracker Tobii X-120, utilisé par Sanzalone et al. (55)



FIGURE 30 : Modèle Pupil Core ® (58)



Les conditions d'enregistrements étaient différentes de conditions réelles d'interprétation. En effet, elles étaient réalisées dans une salle de réunion sur grand écran, il n'était pas possible pour les participants d'interagir sur l'iconographie présentée (zoom, fenêtrage etc.). Le délai entre chaque lecture était laissé libre, ne nous permettant pas une analyse satisfaisante des différences de nombre de points de fixation entre étudiants et avec les experts, mais permettait de se rapprocher de conditions réelles, l'intensité des points de fixation en cartographie restant proportionnelle à la durée d'enregistrement.

De plus, les étudiants écrivaient leur réponse sur leur grille durant l'enregistrement. Ces points de fixation n'apparaissent pas sur la cartographie mais étaient relevés dans les *raw data*. Ceci contribue notamment à se rapprocher des conditions réelles, où des stimuli externes peuvent survenir, comme l'expliquent Anderson et Shyu (32). Nous pourrions envisager une autre méthode de recueil du diagnostic pour ne pas interférer sur le nombre de points de fixation, par exemple un recueil oral spontané (59).

Notre étude comporte peu de participants. Le faible nombre d'experts reste donc probablement peu représentatif de l'ensemble des approches et patterns possibles, mais la facilité d'utilisation des lunettes permet d'envisager un effectif plus grand pour des travaux à venir, voire même la constitution d'une banque d'E.M.M.E. pour chaque surspécialité, à l'image du modèle de Jarodzka et al. (49).

Notre échantillon n'est pas complètement représentatif de notre population cible, aucun MED-5 par exemple n'ayant été recruté, de même qu'une majorité était en MED-4. Nous pourrions envisager un échantillon plus important et plus représentatif, par exemple étendu à l'ensemble des étudiants en stage de radiologie ou au sein de la Faculté dans le cadre de l'enseignement libre optionnel d'imagerie médicale.

Par ailleurs, certains étudiants étaient en début de stage de radiologie avec moins d'une semaine de présence tandis que d'autres étaient en fin de stage avec plus de trois semaines de présences. Nous n'avons pas comparé les différences entre ces catégories mais il serait envisageable de réaliser une nouvelle étude respectant un nombre équivalent de MED-4, MED-5 et MED-6, et de comparer par exemple l'analyse des étudiants en début de stage contre celle des étudiants en fin de stage (91% considérant que leur stage leur a servi au moins partiellement pour l'analyse des iconographies, cf. **FIGURE 27**).

De même, la répartition des spécialités radiologiques présentées en iconographie était différente de celle des derniers E.C.N (cf. **FIGURE 13** et **18**). S'agissant d'étudiants en stage de neuroradiologie, nous avons souhaité augmenter le nombre d'iconographies s'y rapportant, afin de garder l'intérêt pédagogique de l'étude pour les participants. Cette approche contribue également à diversifier les iconographies, ne permettant pas d'extrapoler ces analyses à l'ensemble des images similaires. Il

pourrait être intéressant d'envisager une étude à but pédagogique pour chaque type d'iconographie.

Nous avons aussi choisi de garder plusieurs images pour certains dossiers (*dossiers* 3, 7, 8, 9) comme elles étaient proposées lors des E.C.N. ou des conférences. Cela a probablement contribué à la dispersion du regard des étudiants sur ces iconographies, mais nous rapprochaient des conditions d'examens. Les Q.R.M. étaient présentées à côté de l'iconographie sur la même projection. L'interface Pupil Cloud ® détectait quand le regard sortait de l'image étudiée, n'interférant pas dans le post-traitement de l'enregistrement.

CONCLUSION

Nous avons ainsi réussi à comparer grâce à la technologie eye-tracking la lecture d'imageries par les étudiants en médecine par rapport à des radiologues expérimentés sur des iconographies aux programmes des E.C.N / E.D.N. Nos résultats suggèrent une approche globale-focale des experts par rapport aux étudiants, mais aussi que l'expérience est primordiale dans l'interprétation des anomalies détectées.

Des études analytiques complémentaires à plus grande échelle à l'aide de cet outil riche contribueraient à renseigner sur de nombreux paramètres, dans l'optique d'améliorer les programmes d'enseignement et à la mise en place de nouveaux outils pédagogiques, d'évaluation et d'auto-évaluation pour les étudiants dans leur préparation à l'E.D.N.

ANNEXES

ANNEXE 1 : Contenus multimédias et éléments de diagnostic positif en imagerie médicale au programme des E.D.N. selon la spécialité (60)(61)

- **Imagerie thoracique**

- Rang A :

- Savoir reconnaître une pneumonie sur une radiographie thoracique
- Exemple de radiographie thoracique de face d'un épanchement pleural liquidien
- Exemple de radiographie thoracique de face d'un adénocarcinome pulmonaire (imagerie typique)
- Radiographies d'hémithorax et de pneumothorax
- Exemple de radiographie de face dans un contexte de corps étranger
- Exemple de cliché thoracique d'œdème aigu pulmonaire d'origine hémodynamique
- Opacités pulmonaires :
 - Reconnaître une opacité pulmonaire chez l'enfant et l'adulte
 - Savoir diagnostiquer un épanchement pleural liquidien chez l'enfant et l'adulte
 - Savoir diagnostiquer un épanchement pleural gazeux chez l'enfant et l'adulte
 - Savoir quand demander une radiographie thoracique en urgence

- Rang B :

- Exemple de radiographie thoracique de BPCO
- Exemple de TDM en fenêtre parenchymateuse de tumeur primitive du poumon
- TDM pulmonaire de fibrose pulmonaire idiopathique (PIC)
- Imagerie pulmonaire de pneumocystose
- Opacités pulmonaires :
 - Reconnaître une fracture de côte chez l'enfant et l'adulte
 - Savoir diagnostiquer un syndrome alvéolaire
 - Savoir diagnostiquer un syndrome interstitiel
 - Savoir repérer une anomalie médiastinale
 - Savoir diagnostiquer une atélectasie
 - Savoir identifier une image thymique normale sur une radiographie thoracique de face chez un nourrisson
 - Savoir identifier une image médiastinale anormale chez le nourrisson et l'enfant et prescrire un scanner thoracique

- **Imagerie ostéo-articulaire**

- Rang A :

- Exemples de radiographie de coxarthrose, de gonarthrose, d'arthrose des interphalangiennes distales
 - Exemple de radiographie de la hanche de face d'une fracture du col fémoral
 - Exemple de radiographie de poignet avec fracture de Poutteau-Colles
 - Exemple d'ostéoporose avec fracture vertébrale en radiographie
 - Connaître la présentation d'une lésion lytique de myélome en radiographie
 - Savoir reconnaître un syndesmophyte

- Rang B :

- Exemple de radiographie avec entorse grave de la cheville
 - Exemple de radiographie avec luxation antéro-inférieure de l'épaule
 - Chondrocalcinose : calcifications du ligament triangulaire du carpe, méniscale et cartilagineuse du genou, de la symphyse pubienne et des cartilages fémoraux
 - Polyarthrite rhumatoïde : radiographie d'une main et d'un avant-pied révélant des érosions et un pincement articulaire
 - Exemple d'ostéoporose avec fracture vertébrale en IRM
 - Savoir reconnaître une coxite (cliché de De Sèze)
 - Exemple de radiographie d'un traumatisme non accidentel (syndrome de Silverman)

- **Neuro-imagerie**

- Rang A

- Exemple d'hématome sous-dural chronique en TDM
 - Exemples d'HSA en TDM

- Rang B

- Exemple d'AVC ischémique en phase aiguë en IRM
 - Exemple d'hémorragie intracrânienne en TDM
 - Reconnaître un effet de masse et un engagement cérébral en TDM
 - Exemple d'IRM de compression médullaire et de syndrome typique de la queue de cheval ; de hernie discale
 - Exemple de SEP typique en IRM
 - Exemple de TDM dans un « syndrome du bébé secoué » chez un nourrisson
 - Imagerie cérébrale d'une toxoplasmose

- **Imagerie ORL**

- Rang B

- Illustration de l'anatomie fonctionnelle du nerf facial
 - Iconographie typique d'une tumeur parotidienne compliquée d'une paralysie faciale périphérique
 - Scanner d'une fracture de mandibule (coupe ou reconstruction)
 - Scanner d'une fracture du plancher de l'orbite

- **Imagerie abdomino-pelvienne**

- Rang B

- Exemple TDM d'une pancréatite aiguë nécrosante
 - Exemple TDM de CHC typique chez un patient porteur de cirrhose
 - Exemples TDM de métastases hépatiques, de kystes hépatiques typiques
 - Exemples bili-IRM d'un empierrement cholédocien ; en échographie de cholécystite aiguë
 - Connaître les signes TDM d'occlusion et leur présence en fonction du siège de l'occlusion ; ASP d'occlusion du grêle
 - Exemples en échographie d'un kyste rénal simple
 - Exemples typiques de causes fréquentes d'hématurie en imagerie

ANNEXE 2 : Nombre et répartition des questions en imagerie médicale lors des E.C.N. de 2016 à 2023

TOTAL	mars-16		juin-16		mars-17		juin-17		mars-18	
	DP	QI	DP	QI	DP	QI	DP	QI	DP	QI
Thorax - cardiovasculaire										
Abdomen-Pelvis	5	2	3	2	2	9	3	4	3	3
Neuro	3		2		2	5	1	4	3	1
ORL-CMF-thyroïde	1	1	2			1	1	4	1	5
MSK	4	5	2		1	2	3	2	2	6
Imagerie femme - Séno										
Médecine nucléaire					1		1	1		
Radioprotection							1		1	
Radio VS World	13	8	9	6	16	12	17	14	19	9
	14%	10%	10%	7%	18%	13%	19%	15%	21%	13%
DP2: FPI	nodule thyroïde	DP2: PNO	scinti thyroïde	DP1: BPCO	ext rectum	DP1: HSA vasospas	myocardite	DP4: LCA	fract motte de beurr	
DP6: PNP	arthrose	DP3: pneumopérito	surv néo thyroïde	DP3: cirrhose	gonarthrose	DP3: SDRA/OAP	racine dentaire	DP5: médulloblasto	amiante	
DP7: ORL ext	méta osseuses	DP5: neuroblastom	fract col fémoral	DP7: sclérodemi	radio poignet	DP4: bb secoué	ATM	DP8: bilan chute	gonarthrose	
DP8: myéliome	lombalgies	DP6: SEP	tumeur rein	DP8: PNP enfant	nodule pulm	DP5: pano mandib	pano mandib	DP9: tumeur pancré	SpA	
DP9: HED	silverman	DP11: myéliome	masse médiastinale	DP10: hémoptysi	bobé secoué	DP6: PNP BK	sévérité pancréatite	DP10: palu infarct s	omarthrose	
DP11: TV ostéoporose	luxation post	DP12: méta prostate		DP12: hémionelios	fract zygoma	DP9: ext rectum IRA	RT sarcoidose	DP11: nodule vascu	PKC	
DP13: méningite post TC	anat thorax			DP15: extension	nodule pulm TEP	DP10: CN	CHC	DP15: asthme	PNO	
DP17: TVC				DP16: PR	lymphome tho	DP11: arthrite	spondylodiscite	DP16: wallenberg +1	coarthrose	
DP18: BK				DP18: pancréatit	hypothyroïdie	DP12: ME herpétiq	EP anat TDM	DP17: appendicite +	tumeur rein	
					EPF ado	DP13: ext prostate	PR écho	DP18: EP		
					pneumonectomie	DP16: ADP Hodgki	radioprotection grossesse			
						DP17: sarcoidose	IRM parotide			
							tumeurs pancréas			
							ETF			

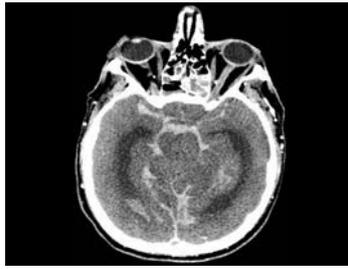
juin-18		juin-19		juin-20		juin-21	
DP	QI	DP	QI	DP	QI	DP	QI
	7	2	3	4	5		6
	5	2	5	6	3	2	1
	2		1		3		2
	2		2	1	1		1
	6	5	3	4	3	7	2
					1		1
	1						1
	23	9	14	15	16	9	13
	26%	15%	16%	14%	18%	12%	14%
DP1: tumeur rein	EP	DP2: asthme	TDM thorax	DP1: bilan AOMI	HNF	DP1: MAP col utérin	TDM tho amiante
DP2: PNO enfant + EP	FPI	DP3: coiffe épaule lu	arthrite	DP2: tumeur ovaire	scoliose	DP2: HSD	fract rein
DP4: anat thorax BK	écho mamm f jeune	DP6: épilepsie	thymus	DP6: bilan chute + fract	branche ischio pub	DP3: TDM thorax sarcoï	nécrobiose myome
DP5: fract poignet + f	méta osseuse	DP8: occlusion	AAA	DP8: RT + ext CBP	entorse	DP6: genou chondrocal	fract plancher orb
DP6: bronchiolite	fract cheville	DP11: PN obs	adénome pléomorph	DP9: anat TDM abdo	Rx bassin	DP8: IRMc horton	ext prostate
DP7: nodule thyroïde	sacro-iliite	DP12: thrombose V	PE anurie	DP10: anat TDM abdo	SDRC	DP9: RT PNP	PNP
DP8: ext CCR + méta f	jersey finger	DP13: abcès pulm	fract fémur	DP13: PCC anat	SpA signes Rx	DP11: écho IIA+PNP	pleurésie
DP9: TDM rochers	fract enfant	DP17: OAP	OAP	DP14: pleurésie enfan	coxarthrose	DP14: fract polytrau + R	Thymus
DP10: lymphome	diverticulite	DP18: larynx + ext	chondrocalcinosse poi	DP15: GW	fract cheville	DP17: scinti basedow	
DP12: SDRA			genou trauma	DP16: anat sinus	kyste rein	DP18: RT méta	
DP14: pneumocystose			masse médiast enfant	DP17: RT BPCO			
DP15: AVC			tumeur rein	DP18: SpA indic			
DP17: CHC			anat abdo				
			t hépatique				
			diverticulite				

	juin-22		mars-23	avr-23	juin-23
DP	QI		DP/QI/QROC	DP/QI/QROC	DP/QI/QROC
	8	1	2	2	3
	6	1	2	5	2
	6			1	2
		1	2	1	1
	5	3	1	3	3
	1				1
	26	6	7	12	12
	29%	15%	4%	8%	4%
DP1: CSP + cholangio	coude		ascite	ext ORL	nodule thyroïde
DP3: PNP RT TDM	tumeurs hépatiques		pancréass/ascite	SEP IRM	prothèse hanche
DP4: AOMI	méta oss		SDRC	CN	fract poignet
DP5: rhumatisme pso	anat face		OMA indications im	spondylodiscite	EP TDM
DP6: IRM hypophyse	TV ostéoporose		fract massif facial	ext t pancréas	HSDD
DP7: appendicite	pleurésie		TDM PIC PR	hémoptysie tumeur	TDM
DP8: RT BPCO + nodule			TDM PNP	tdm œsophage	TDM PN obstructive
DP10: AVC TDM + fract fémur				lésion méniscale	bilan radio PR
DP11: infarct rénal				ascite écho	HSA TDM
DP12: polytraum genou + ostéosynthèse				imagerie MICI	tumeur rénale
DP13: PIC PR + PNP				bilan cervicalgies	ext cancer col
DP14: HSD + fract côte					RT TDM EP
DP15: SEP					TDM pancoast tobias
DP16: anat encéphale					
DP17: gonarthrose + néo sein					

ANNEXE 3 : Diaporamas et iconographies présentées aux étudiants lors de l'enregistrement de leur regard.



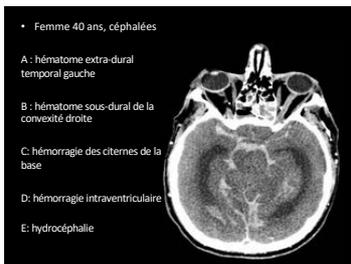
1



2



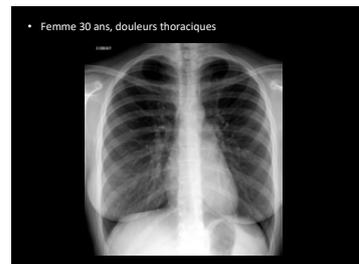
3



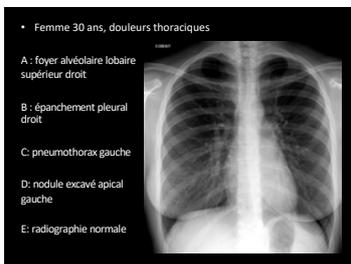
4



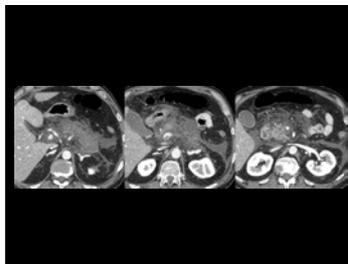
5



6



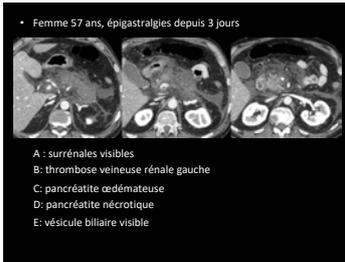
7



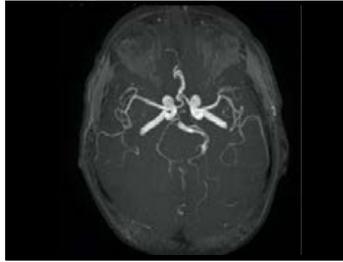
8



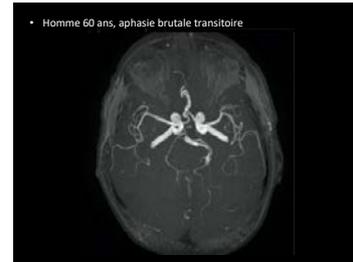
9



10



11



12



13



14



15



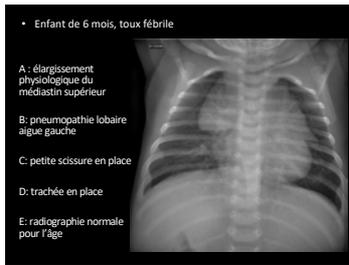
16



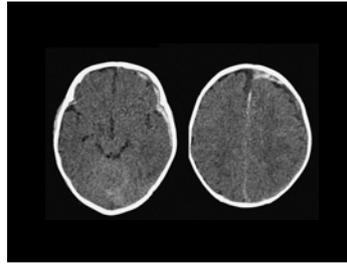
17



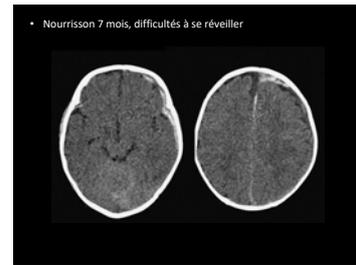
18



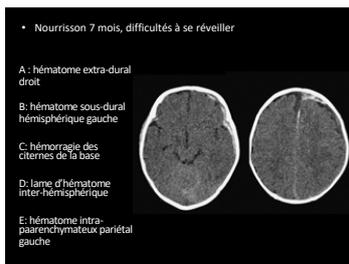
19



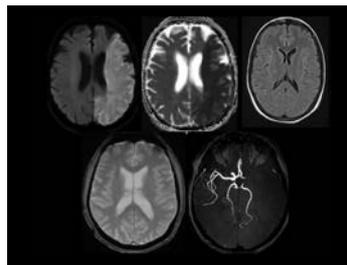
20



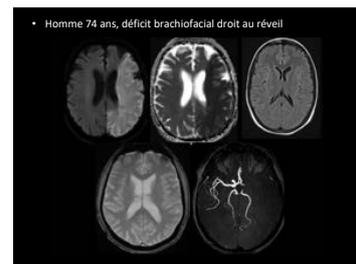
21



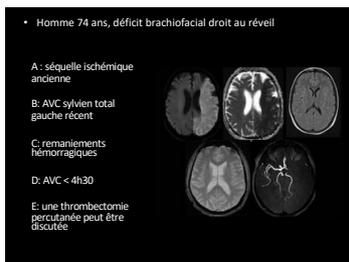
22



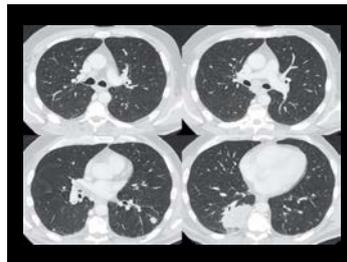
23



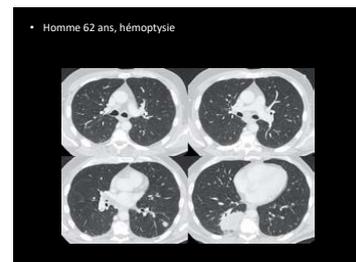
24



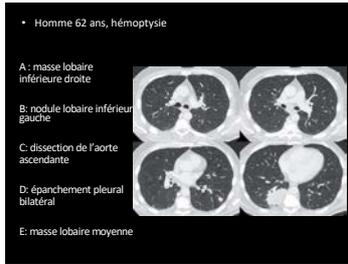
25



26



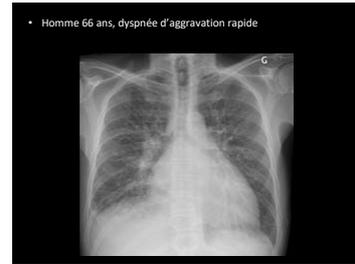
27



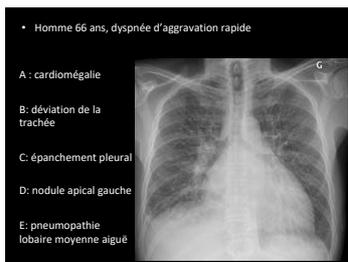
28



29

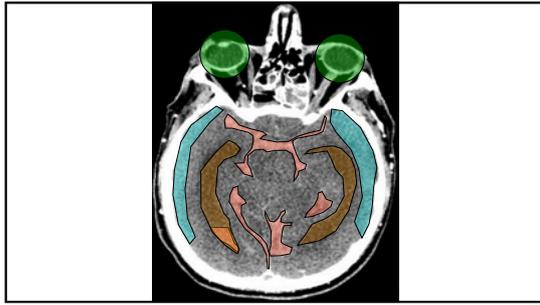


30

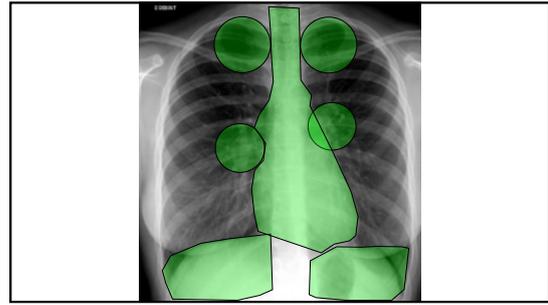


31

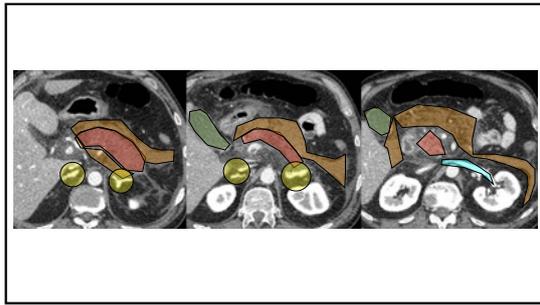
ANNEXE 4 : Zones d'intérêts des iconographies présentées



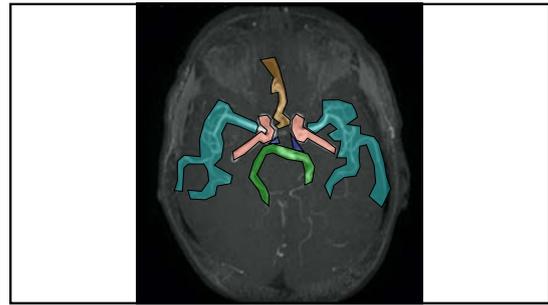
1



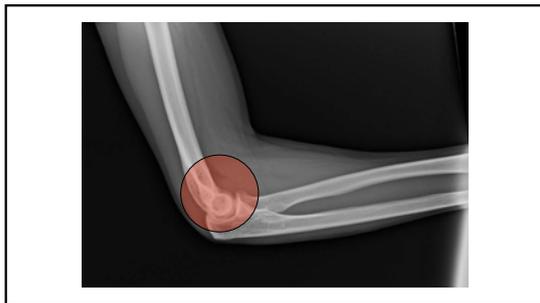
2



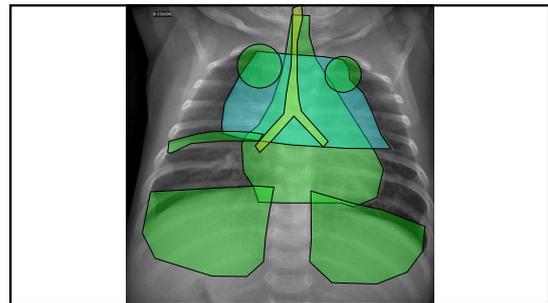
3



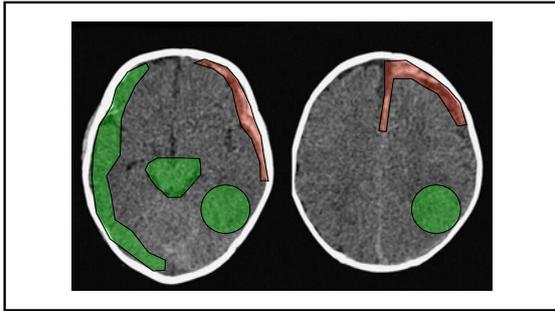
4



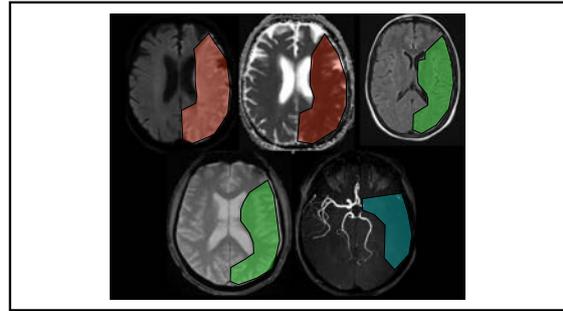
5



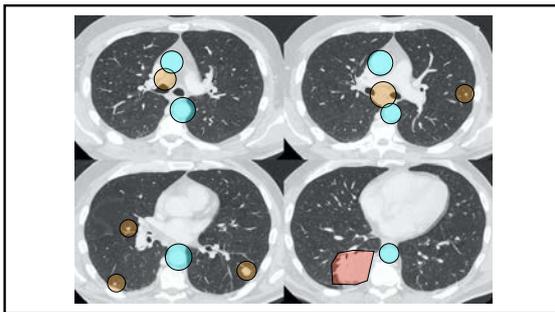
6



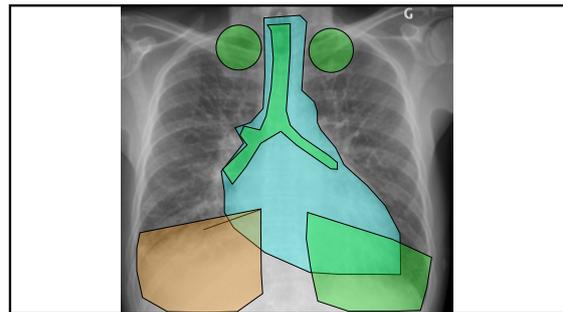
7



8



9



10

LISTE DES FIGURES

FIGURE 1 : Appareil d'électro-oculographie (5)

FIGURE 2 : Schémas de l'eye-tracker mis au point par Hartridge et Thompson (6)

FIGURE 3 : Exemples d'outils d'eye-tracking stationnaire (sur écran) et sur lunette (2)

FIGURE 4 : Représentation schématique du globe oculaire (9)

FIGURE 5 : Exemple de fond d'œil droit

FIGURE 6 : Schéma des muscles oculomoteurs (10)

FIGURE 7 : Schématisation de la voie rétino-géniculo-corticale (voie visuelle primaire) (9)

FIGURE 8 : Représentation des fixations (cercles) et saccades (flèches) (11)

FIGURE 9 : Fixations-saccades et cartographie-couleur (heat map) obtenue après post-traitement

FIGURE 10 : Exemple du « Triangle D'or » (13)

FIGURE 11 : Évolution du nombre de publications répertoriées par PubMed® avec la recherche des mots clés suivants :

FIGURE 12 : Diagrammes du modèle global-focal (A) et du modèle holistique (B), repris de Gandommkar et Mello-Thoms (27)

FIGURE 13 : Répartition des questions d'imagerie aux E.C.N. de 2016 à 2023 selon la spécialité

FIGURE 14 : Questions et résultats du sondage réalisé auprès de 44 étudiants de MED-6 de la faculté de médecine de l'Université de Lille lors du séminaire « Best-of » de radiologie (E. De Sousa), mai et septembre 2023

FIGURE 15 : Questionnaire pré-test concernant les caractéristiques de la population échantillonnée

FIGURE 16 : Questionnaire post-test concernant le ressenti des étudiants sur leur interprétation et l'enseignement en radiologie

FIGURE 17 : écran-PC tactile du service de Neuroradiologie de l'Hôpital Roger Salengro du C.H.R.U. de Lille (avec l'accord du Docteur C. Bruge)

FIGURE 18 : Répartition et tableau des dix iconographies présentées aux étudiants lors de l'enregistrement et diagnostics attendus

FIGURE 19 : Photographie et caractéristiques des lunettes Pupil Invisible ® utilisées pour l'enregistrement (44).

FIGURE 20 : Grille de réponse proposée des étudiants

FIGURE 21 : Enregistrement et post-traitement pour obtention d'une cartographie couleur du regard d'un sujet via l'interface Pupil Cloud ®

FIGURE 22 : Diminution de l'intensité des points de fixation des cartographies couleur sur l'interface Pupil Cloud®

FIGURE 23 : Plan d'analyse des enregistrements et des cartographies

FIGURE 24 : Interface Python version 3.11 pour la réalisation du test de Mann-Whitney

FIGURE 25 : Résultats du questionnaire pré-test (11 étudiants de 2ème cycle)

FIGURE 26 : Nombre d'enregistrements eye-tracking étudiés

FIGURE 27 : Questionnaire post-test sur le ressenti des étudiants sur leur séance d'eye-tracking (questions 1 à 5)

FIGURE 28 : Questionnaire post-test sur l'expérience des étudiants sur l'enseignement dont ils ont pu bénéficier en radiologie (questions 6 à 10)

FIGURE 29 : Mise à jour v6.1 de Pupil Cloud® (45)

FIGURE 30 : Système Eye Tracker Tobii X-120, utilisé par Sanzalone et al. (55)

BIBLIOGRAPHIE

1. Blanc S. Les techniques d'oculométrie (ou Eye-tracking). *Revue Francophone d'Orthoptie*. juill 2013;6(3):133-5.
2. Ju Q. Utilisation de l'eye-tracking pour l'interaction mobile dans un environnement réel augmenté.
3. Drewes H. *Eye Gaze Tracking for Human Computer Interaction*.
4. Jacob RJK, Karn KS. Commentary on Section 4. Eye tracking in human-computer interaction and usability research: Ready to deliver the promises. 2002;
5. EO_01.jpg (480×300) [Internet]. [cité 16 août 2023]. Disponible sur: https://metrovision.fr/images/480x300/EO_01.jpg?i=66098
6. Hartridge H, Thomson LC. METHODS OF INVESTIGATING EYE MOVEMENTS. *Br J Ophthalmol*. sept 1948;32(9):581-91.
7. Mackworth JF, Mackworth NH. Eye Fixations Recorded on Changing Visual Scenes by the Television Eye-Marker. *J Opt Soc Am*. 1 juill 1958;48(7):439.
8. Pierre K, Kamina P. *Anatomie clinique . Tome 2. [Tête, cou, dos]. 3e édition. Anatomie clinique . Tome 2 . [Tête, cou, dos]. Paris: Maloine; 2006.*
9. Corinne MD, Christophe C, Pierre-Yves R, Michel-Dot C. *Ophtalmologie. 5e édition. Ophtalmologie. Issy-les-Moulineaux: Elsevier Masson; (<<Les >>référentiels des Collèges).*
10. Le support anatomique des mouvements oculaires — Site des ressources d'ACCES pour enseigner les Sciences de la Vie et de la Terre [Internet]. [cité 23 août 2023]. Disponible sur: http://acces.ens-lyon.fr/acces/thematiques/neurosciences/actualisation-des-connaissances/perception-sensorielle-1/vision/comprendre/VisionMarseille/supp_anato_mvts_ocul
11. Carter BT, Luke SG. Best practices in eye tracking research. *International Journal of Psychophysiology*. sept 2020;155:49-62.
12. Rayner K. The 35th Sir Frederick Bartlett Lecture: Eye movements and attention in reading, scene perception, and visual search. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*. août 2009;62(8):1457-506.
13. Hotchkiss G, Alston S, Edwards G. Eyetools, Enquiro, et Did-it, «Eyetools, Enquiro, and Did-it uncover Search's Golden Triangle. », 2005 [Internet]. 2005. Disponible sur: <https://searchengineland.com/wp-content/seloads/2007/09/hotchkiss-eye-tracking-2005.pdf>
14. Sagot S. Contribution à la conception et à la maîtrise du processus de référencement Web.
15. Malhotra NK. *Review of Marketing Research, Volume 4*.
16. Gheorghe CM, Purcărea VL, Gheorghe IR. Using eye-tracking technology in Neuromarketing. *Rom J Ophthalmol*. 2023;67(1):2-6.
17. Mrochen M, Eldine MS, Kaemmerer M, Seiler T, Hütz W. Improvement in photorefractive corneal laser surgery results using an active eye-tracking system. *Journal of Cataract and Refractive Surgery*. juill 2001;27(7):1000-6.
18. Davis R, Sikorskii A. Eye Tracking Analysis of Visual Cues During Wayfinding in Early Stage Alzheimer's Disease. *Dement Geriatr Cogn Disord*. 2020;49(1):91-7.

19. LANDSCAPE Consortium, Gorges M, Müller HP, Lulé D, Pinkhardt EH, Ludolph AC, et al. The association between alterations of eye movement control and cerebral intrinsic functional connectivity in Parkinson's disease. *Brain Imaging and Behavior*. mars 2016;10(1):79-91.
20. Clough M, Millist L, Lizak N, Beh S, Frohman TC, Frohman EM, et al. Ocular motor measures of cognitive dysfunction in multiple sclerosis I: inhibitory control. *J Neurol*. mai 2015;262(5):1130-7.
21. García-Baos A, D'Amelio T, Oliveira I, Collins P, Echevarria C, Zapata LP, et al. Novel Interactive Eye-Tracking Game for Training Attention in Children With Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder. *Prim Care Companion CNS Disord* [Internet]. 3 juill 2019 [cité 30 août 2023];21(4). Disponible sur: <http://www.psychiatrist.com/PCC/article/Pages/2019/v21n04/19m02428.aspx>
22. Tuddenham WJ. Visual Search, Image Organization, and Reader Error in Roentgen Diagnosis: Studies of the Psychophysiology of Roentgen Image Perception Memorial Fund Lecture. *Radiology*. mai 1962;78(5):694-704.
23. Samuel S, Kundel HL, Nodine CF, Toto LC. Mechanism of satisfaction of search: eye position recordings in the reading of chest radiographs. *Radiology*. mars 1995;194(3):895-902.
24. Kundel HL, Nodine CF, Toto L. Searching for Lung Nodules: The Guidance of Visual Scanning. *Investigative Radiology*. sept 1991;26(9):777-81.
25. Kevin OJ, Ariane LS, O'Regan JK. Eye movements from physiology to cognition : selected / edited proceedings of the Third European Conference on Eye Movements, Dourdan, France, September 1985. Eye movements from physiology to cognition : selected / edited proceedings of the Third European Conference on Eye Movements, Dourdan, France, September 1985. Amsterdam New York: North-Holland; 1987.
26. Barrett JR, deParedes ES, Dwyer SJ, Merickel MB, Hutchinson TE. Unobtrusively tracking eye gaze direction and pupil diameter of mammographers. *Academic Radiology*. sept 1994;1(1):40-5.
27. Gandomkar Z, Mello-Thoms C. Visual search in breast imaging. *Br J Radiol*. oct 2019;92(1102):20190057.
28. Swensson RG. A two-stage detection model applied to skilled visual search by radiologists. *Perception & Psychophysics*. janv 1980;27(1):11-6.
29. Kundel HL, Nodine CF, Conant EF, Weinstein SP. Holistic Component of Image Perception in Mammogram Interpretation: Gaze-tracking Study. *Radiology*. févr 2007;242(2):396-402.
30. Van Der Gijp A, Ravesloot CJ, Jarodzka H, Van Der Schaaf MF, Van Der Schaaf IC, Van Schaik JPJ, et al. How visual search relates to visual diagnostic performance: a narrative systematic review of eye-tracking research in radiology. *Adv in Health Sci Educ*. août 2017;22(3):765-87.
31. Wood G, Knapp KM, Rock B, Cousens C, Roobottom C, Wilson MR. Visual expertise in detecting and diagnosing skeletal fractures. *Skeletal Radiol*. févr 2013;42(2):165-72.
32. Anderson B, Shyu CR. A Preliminary Study to Understand Tacit Knowledge and Visual Routines of Medical Experts Through Gaze Tracking. *Annual Symposium proceedings/AMIA Symposium AMIA Symposium* p 21–25.
33. Bertram R, Kaakinen J, Bensch F, Helle L, Lantto E, Niemi P, et al. Eye Movements of Radiologists Reflect Expertise in CT Study Interpretation: A Potential Tool to Measure Resident Development. *Radiology*. déc 2016;281(3):805-15.

34. Gnanasekaran F, Nirmal L, P S, R B, Ms M, Cho VY, et al. Visual interpretation of panoramic radiographs in dental students using eye-tracking technology. *Journal of Dental Education*. juill 2022;86(7):887-92.
35. Légifrance - Publications officielles - Journal officiel - JORF n° 0087 du 13/04/2011 [Internet]. [cité 27 juin 2023]. Disponible sur: <https://www.legifrance.gouv.fr/download/pdf?id=wJ8xMJuoi4DXSjoM5bZ2V92jrTMm77dcSXD8mIaldq8=>
36. Légifrance - Publications officielles - Journal officiel - JORF n° 0093 du 21/04/2022 [Internet]. [cité 27 juin 2023]. Disponible sur: https://www.legifrance.gouv.fr/download/pdf?id=JtsFPHhdfsS4FU14RW9ge7w3yK_PLxR0hN1ut-xPoP4=
37. Légifrance - Publications officielles - Journal officiel - JORF n° 0100 du 28/04/2017 [Internet]. [cité 27 juin 2023]. Disponible sur: <https://www.legifrance.gouv.fr/download/pdf?id=T6XrBK2fn0xPxaIPx4AkZGSwOeCkt4FYJF3AsstU8dc=>
38. Programme 2ème cycle R2C Nouvelle numérotation MESRI [Internet]. Disponible sur: <https://cerf.radiologie.fr/sites/cerf.radiologie.fr/files/Enseignement/pdf/Programme%202e%20cycle-R2C-nouvelle%20numerotation-MESRI-def.pdf>
39. Hierarchisation R2C 05042019 Luc Mouthon.pdf [Internet]. [cité 27 juin 2023]. Disponible sur: <https://info-sides.uness.fr/sites/default/files/2019-05/Hierarchisation%20R2C%2005042019%20Luc%20Mouthon.pdf>
40. Programme 2e cycle-R2C-nouvelle numerotation-MESRI-def.pdf.
41. R2C - Docimologie et correction - validé COSUI.pdf [Internet]. [cité 5 juill 2023]. Disponible sur: <https://www.cng.sante.fr/sites/default/files/media/2023-02/R2C%20-%20Docimologie%20et%20correction%20-%20valid%C3%A9%20COSUI.pdf>
42. Coors A, Merten N, Ward DD, Schmid M, Breteler MMB, Ettinger U. Strong age but weak sex effects in eye movement performance in the general adult population: Evidence from the Rhineland Study. *Vision Research*. janv 2021;178:124-33.
43. Centre National de Gestion. Annales des ECN [Internet]. Disponible sur: <https://www.cng.sante.fr/candidats/internats/concours-medicaux/etudiants/epreuves-classantes-nationales-ecn>
44. Pupil Labs. Pupil Invisible [Internet]. Disponible sur: <https://pupil-labs.com/products/invisible/>
45. Pupil Labs. Pupil Cloud [Internet]. Disponible sur: <https://cloud.pupil-labs.com/>
46. Pupil Labs. Pupil Labs Enrichments, Reference Image Mapper [Internet]. Disponible sur: <https://docs.pupil-labs.com/enrichments/reference-image-mapper/>
47. Negi S, Mitra R. Fixation duration and the learning process: an eye tracking study with subtitled videos. *JEMR* [Internet]. 16 août 2020 [cité 17 sept 2023];13(6). Disponible sur: <https://bop.unibe.ch/JEMR/article/view/JEMR.13.6.1>
48. Jarodzka H, Balslev T, Holmqvist K, Nyström M, Scheiter K, Gerjets P, et al. Conveying clinical reasoning based on visual observation via eye-movement modelling examples. *Instr Sci*. sept 2012;40(5):813-27.

49. Jarodzka H, Van Gog T, Dorr M, Scheiter K, Gerjets P. Learning to see: Guiding students' attention via a Model's eye movements fosters learning. *Learning and Instruction*. juin 2013;25:62-70.
50. Tourassi G, Voisin S, Paquit V, Krupinski E. Investigating the link between radiologists' gaze, diagnostic decision, and image content. *J Am Med Inform Assoc*. nov 2013;20(6):1067-75.
51. Kok EM, Jarodzka H. Before your very eyes: the value and limitations of eye tracking in medical education. *Med Educ*. janv 2017;51(1):114-22.
52. Kok EM, De Bruin ABH, Robben SGF, Van Merriënboer JJG. Looking in the Same Manner but Seeing it Differently: Bottom-up and Expertise Effects in Radiology. *Applied Cognitive Psychology*. nov 2012;26(6):854-62.
53. Grima-Murcia MD, Sanchez-Ferrer F, Ramos-Rincón JM, Fernández E. Use of Eye-Tracking Technology by Medical Students Taking the Objective Structured Clinical Examination: Descriptive Study. *J Med Internet Res*. 21 août 2020;22(8):e17719.
54. Grégory J, Sartoris R, Ronot M, Bijot JC, Nuzzo A, Nguyen Y, et al. Les Examens Cliniques Objectifs et Structurés (ECOS) : un outil adapté pour évaluer les compétences en radiologie des étudiants en 2e cycle d'études de médecine. *Journal d'imagerie diagnostique et interventionnelle*. déc 2021;4(6):362-7.
55. Sanzalone, Bouhris M, Roccamatysi P, Revel D, Valette PJ, Douek P, et al. Société Française de Radiologie. 2012 [cité 23 août 2023]. ONCO-WS-13 - Analyse « eye tracking » des zones les moins regardées sur un scanner thoraco-abdomino-pelvien oncologique. Disponible sur: <http://lamediatheque.radiologie.fr/mediatheque/media.aspx?mediaId=5264&channel=3277>
56. Harrar V, Le Trung W, Malienko A, Khan AZ. A nonvisual eye tracker calibration method for video-based tracking. *Journal of Vision*. 11 sept 2018;18(9):13.
57. Holmqvist K, Örbom SL, Hooge ITC, Niehorster DC, Alexander RG, Andersson R, et al. Eye tracking: empirical foundations for a minimal reporting guideline. *Behav Res Methods*. 2023;55(1):364-416.
58. Pupil Labs. Pupil Core Tech Specs [Internet]. Disponible sur: <https://pupil-labs.com/products/core/tech-specs/>
59. Ericsson KA, Simon HA. Verbal reports as data. *Psychological Review*. mai 1980;87(3):215-51.
60. Collège des Enseignants en Radiologie de France. R2C - MESRI - items et rangs [Internet]. Disponible sur: <https://cerf.radiologie.fr/sites/cerf.radiologie.fr/files/Enseignement/pdf/R2C-MESRI-def.xlsx>
61. Imagerie médicale : radiologie et médecine nucléaire. 3e édition. Imagerie médicale : radiologie et médecine nucléaire. Issy-les-Moulineaux: Elsevier Masson; 2022. (<<Les >>Référentiels des collèges).

AUTEUR : Nom : SANDOR

Prénom : HUGO

Date de soutenance : 20/10/2023

Titre de la thèse : Eye-tracking : étude descriptive et analytique pour la préparation des étudiants en 2ème cycle d'études de médecine aux questions d'imagerie des Épreuves Dématérialisées Nationales (EDN)

Thèse - Médecine - Lille 2023

Cadre de classement : *Thèse pour le Diplôme d'État de Docteur en Médecine*

DES : *Radiologie et Imagerie médicale*

Mots-clés : eye-tracking ; EDN ; radiologie ; imagerie

Contexte : L'emploi de technologies innovantes telle que l'eye-tracking nous amène à nous interroger sur les informations que nous pourrions extraire et sur comment les exploiter pour perfectionner l'approche pédagogique en imagerie médicale.

Objectif : L'objectif principal de notre étude est de comparer la lecture d'imageries par les étudiants à celle de radiologues expérimentés, puis de corréliser cette lecture aux diagnostics proposés par les étudiants. L'objectif secondaire est d'apprécier la perception et les attentes des étudiants de leur formation en imagerie.

Méthodes : 11 étudiants du service de Neuroradiologie du C.H.U. de Lille ont interprété 10 iconographies issues des annales E.C.N. ou des conférences facultaires en revêtant les lunettes. 3 temps de lecture étaient donnés : sans contexte clinique, avec contexte et avec une Q.R.M. 3 radiologues experts (2 assistants et 1 docteur junior) ont en parallèle analysé chaque iconographie. Un questionnaire à l'issue de la session était proposé aux étudiants. Les enregistrements étaient post-traités pour l'obtention de cartographies couleurs (*heat map*) basées sur la durée des points de fixation. Ces cartographies étaient décrites et comparées entre experts et étudiants de façon visuelle par rapport à des zones d'intérêts de référence établies au préalable. Les durées de fixation étaient comparées entre étudiants et experts par un test de Mann-Whitney avec un niveau de significativité de 5%.

Résultats : 136 cartographies ont été extraites, décrites puis comparées par rapport aux zones d'intérêts établies. Un seul dossier a montré une différence significative entre experts et étudiants ($p\text{-value} = 0,02$). 5 dossiers présentaient visuellement des différences notables entre étudiants et experts et 5 autres des cartographies similaires.

Conclusion : Nos résultats suggèrent une approche globale des experts par rapport aux étudiants, et que l'expérience est primordiale dans l'interprétation des anomalies détectées. Des études analytiques complémentaires à plus grande échelle à l'aide de cet outil contribueraient à renseigner sur de nombreux paramètres, dans l'optique d'améliorer les programmes d'enseignement et à la mise en place de nouveaux outils pédagogiques, d'évaluation et d'auto-évaluation pour les étudiants dans leur préparation à l'E.D.N.

Composition du Jury :

Président : Pr Jean-Pierre PRUVO

Assesseurs : Dr Grégory KUCHCINSKI ; Dr Jean-Baptiste DAVION ; Dr Nicolas FONNE

Directeur de thèse : Dr Riyad HANAFI