

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

Université BLIDA 1

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

Département de Biologie



Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme de Master

Domaine : Sciences de la nature et de la vie

Filière : Sciences biologiques

Option : Biologie Moléculaire et Cellulaire

Thème

**Évaluation comparative des performances de l'intelligence artificielle et des radiologues
dans l'interprétation des mammographies dans le cadre du cancer du sein, avec
confirmation anatomopathologique**

Présenté par :

Kebbal Malek et Bekhiti bilal

Soutenu le 08/07/2025

Devant le jury composé de :

M^{me} BELKHITHER S.	MCB	USDB1	Présidente
M^{me} ABDUL HUSSEIN A.	MCA	USDB1	Examinatrice
M^{me} CAID N.	Professeur	USDB1	Promotrice
M^{me} GUESSAIBIA N.	MCA	UB1	Co-promotrice

2024-2025

Remercîments

*À l'aboutissement de ce travail, on tient à exprimer notre profonde reconnaissance envers **Allah, le Tout-Puissant et Miséricordieux**, pour Sa guidance, Sa force et Sa protection tout au long de cette aventure académique.*

*On adresse nos plus sincères remerciements à notre promotrice, **Madame CAID.N** Professeur en oncologie médical, pour sa disponibilité, ses conseils précieux et son accompagnement rigoureux, qui ont grandement contribué à l'élaboration et à l'enrichissement de ce mémoire.*

*On tient également à remercier chaleureusement notre Co-promotrice **Madame GUESSAIBIA N**, Maitre de conférences A au département de biologie, pour son encadrement attentif, ses orientations pédagogiques et son soutien tout au long de ce projet.*

*Nos vifs remerciements vont à Madame **BELKHITHER S**, Maitre de Conférences B au département de biologie, qui nous fait l'honneur de présider le jury de ce mémoire. Nos remerciements vont aussi à Madame **ABDUL HUSSEIN A**, Maitre de Conférences A au département de biologie, pour avoir accepté d'évaluer notre travail*

*On exprime aussi toute notre gratitude à **Madame Professeur SAADI**, Chef d'option Biologie Moléculaire, pour ses encouragements et son appui constant durant notre formation.*

*Nos remerciements vont également à **toute l'équipe du Centre Anti-Cancer du CHU Frantz Fanon de Blida**, ainsi qu'au **service d'Anatomie Pathologique de l'EHP Dr Fares Yahia de Koléa**, pour leur aide précieuse, leur disponibilité et leur collaboration scientifique, qui ont permis la concrétisation de cette étude.*

*Nous exprimons une reconnaissance particulière à **Monsieur Bounedjar**, le chef de service d'oncologie médicale du **Centre Anti Cancer du CHU Frantz Fanon**, pour son accueil, qui ont facilité notre intégration et la bonne conduite de notre travail.*

Enfin, nos pensées de gratitude s'adressent à toutes celles et ceux qui, de près ou de loin, ont contribué par leurs conseils, leur soutien et leur bienveillance à la réussite de ce travail

Dédicaces

*En premier lieu, je rends grâce à **Allah le Tout-Puissant**, qui m'a accordé la force, la patience et la persévérance pour mener ce travail à son terme.*

*À mes chers parents, **Amar et Tassadite**, pour leur amour inconditionnel, leurs sacrifices, leurs encouragements constants et leurs prières sans lesquelles rien n'aurait été possible.*

*À mon meilleur ami **Oussama**, qui est pour moi bien plus qu'un ami, un véritable frère, pour sa présence, son soutien infaillible ainsi que sa mère avec leurs encouragements à chaque étape de ce parcours.*

*À mon binôme, **Bekhiti Billel**, pour sa collaboration, sa patience et sa détermination tout au long de ce projet commun.*

À mes autres amis et à tous mes camarades de classe, pour les moments partagés, les souvenirs inoubliables et l'entraide sincère qui ont rendu ce chemin plus agréable.

À toutes les personnes qui m'ont soutenu de près ou de loin, je leur exprime ma plus profonde gratitude.

Malek

Dédicaces

Je dédie ce mémoire de fin d'études :

À ma chère famille, pilier de ma vie, pour son amour inconditionnel, ses prières constantes, son soutien indéfectible et sa patience tout au long de mon parcours. Que ce modeste travail soit le reflet de ma gratitude et de mon profond attachement.

À mes amies les plus proches, pour leur présence sincère, leur écoute, leurs encouragements et les moments de joie partagés, qui ont enrichi cette aventure humaine et académique.

*À mon binôme **Kebbal Malek**, pour sa collaboration, sa patience et sa détermination tout au long de ce projet commun.*

À mes camarades de promotion, avec qui j'ai partagé les défis, les efforts, les réussites et les souvenirs inoubliables. Merci pour votre esprit d'équipe et votre soutien tout au long de ces années

À toutes celles et ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce mémoire.

Billel

RESUME

Le cancer du sein reste une priorité majeure de santé publique, nécessitant des outils de dépistage fiables et une interprétation précise des mammographies. C'est pour cela que l'intelligence artificielle, et notamment le modèle ChatGPT+ (Transformateur génératif pré-entraîné), suscite un intérêt croissant pour l'amélioration de ces derniers, et aide à l'interprétation radiologique. Cette étude a eu pour objectif de comparer la performance de ChatGPT+ à celle d'un radiologue humain dans l'analyse de 30 patientes possédant des clichés mammographiques, avec confirmation des résultats par examen anatomopathologique. Les critères évalués incluaient la classification du Collège Américain de Radiologie, la densité mammaire, la taille des nodules, ainsi que la présence de micro et macro-calcifications. Les résultats que ChatGPT+ attribue plus fréquemment les classifications Collège Américain de Radiologie 1 et 4, tandis que le radiologue identifie davantage de cas en 5 et les taux d'accord entre ChatGPT+ et le radiologue varient fortement selon les critères, allant de 36.7 % d'accord pour la classification Collège Américain de Radiologie à 70 % pour les macrocalcifications ,et enfin la comparaison du diagnostic avec l'anatomopathologie a montré un accord total de la part du radiologue avec 30 vrais positifs sur les 30 patientes tandis que ChatGPT+ n'en a détecté que 19, et qui sont en majorité des carcinomes canaux infiltrants 93 %. Ceci dit, ces constats soulignent l'intérêt de l'intelligence artificielle comme outil de seconde lecture, mais confirment la nécessité de l'expertise humaine et de l'apport complémentaire de la biologie moléculaire et de l'examen anatomopathologique pour une prise en charge optimale.

Mots-clés : Mammographie, Intelligence Artificielle, ChatGPT+, Radiologue, Biologie Moléculaire, Dépistage Cancer du sein

ABSTRACT

Breast cancer remains a major public health priority, requiring reliable screening tools and accurate interpretation of mammograms. This is why artificial intelligence, notably the ChatGPT(Generative Pre-trained)+ model, is generating increasing interest in improving these aspects and assisting radiological interpretation. This study aimed to compare the performance of ChatGPT+ with that of a human radiologist in analyzing 30 patients with mammographic images, with confirmation of results by anatomopathological examination. The evaluated criteria included the classification of the American College of Radiology, breast density, nodule size, and the presence of micro- and macro-calcifications. The results show that ChatGPT+ more frequently assigns classifications 1 and 4 of the American College of Radiology, while the radiologist identifies more cases as classification 5, and the agreement rates between ChatGPT+ and the radiologist vary significantly depending on the criteria, ranging from 36.7% for the American College of Radiology classification to 70% for macrocalcifications. Finally, the comparison of the diagnosis with anatomopathology showed total agreement on the part of the radiologist with 30 true positives out of 30 patients, while ChatGPT+ detected only 19, which were mostly infiltrating ductal carcinomas (93%). These findings highlight the interest in artificial intelligence as a second reading tool, but confirm the necessity of human expertise and the complementary contribution of molecular biology and anatomopathological examination for optimal patient management.

Keywords: Mammography, Artificial Intelligence, ChatGPT+, Radiologist, Molecular Biology, Breast Cancer Screening

ملخص

يظل سرطان الثدي أولوية رئيسية في مجال الصحة العامة، ويتطلب أدوات موثوقة للكشف وتفسيراً دقيقاً لصور الماموغرافي. ولهذا السبب، تثير الذكاء الاصطناعي، ولا سيما نموذج ChatGPT+ (محول توليدي مدرب مسبقاً)، اهتماماً متزايداً لتحسين هذه الجوانب والمساعدة في التفسير الإشعاعي. هدفت هذه الدراسة إلى مقارنة أداء ChatGPT+ مع أداء طبيب أشعة بشري في تحليل 30 مريضة لديهن صور ماموغرافية، مع تأكيد النتائج من خلال الفحص التشريحي المرضي. شملت المعايير التي تم تقييمها تصنيف الكلية الأمريكية للأشعة، وكثافة الثدي، وحجم العقيدات، وكذلك وجود التكتلات الدقيقة والكبيرة. أظهرت النتائج أن ChatGPT+ يمنح بشكل أكثر تكراراً التصنيفين 1 و4 من تصنيف الكلية الأمريكية للأشعة، في حين أن طبيب الأشعة يحدد عدداً أكبر من الحالات تحت التصنيف 5، وتختلف معدلات الاتفاق بين ChatGPT+ وطبيب الأشعة بشكل كبير حسب المعايير، حيث تتراوح بين 36.7% لتصنيف الكلية الأمريكية للأشعة و70% للتكتلات الكبيرة. وأخيراً، أظهرت مقارنة التشخيص مع الفحص التشريحي المرضي تطابقاً كاملاً من جانب طبيب الأشعة مع 30 حالة إيجابية حقيقية من أصل 30 مريضاً، بينما كشف ChatGPT+ عن 19 حالة فقط، والتي كانت في الغالب سرطان الأفتنية الغازي بنسبة 93%. وتشير هذه الملاحظات إلى أهمية الذكاء الاصطناعي كأداة قراءة ثانية، لكنها تؤكد ضرورة الخبرة البشرية والمساهمة التكميلية لعلم الأحياء الجزيئي والفحص التشريحي المرضي لضمان رعاية مثالية.

الكلمات المفتاحية: تصوير الثدي الشعاعي، ذكاء اصطناعي، ChatGPT+، أخصائي الأشعة، علم الأحياء الجزيئي، فحص سرطان الثدي

SOMMAIRE

Résumé

Introduction

Chapitre I : Rappels bibliographiques

I.1. Généralités sur le cancer du sein

- **I.1.1.** Anatomie et structure 3
- **I.1.2.** Physiologie du sein 4
 - **I.1.2.1.** Lactation et régulation hormonale 4
 - **I.1.2.2.** Ménopause et atrophie glandulaire 4
- **I.1.3.** Le cancer du sein 5
 - **I.1.3.1.** Types de cancer du sein 5
 - **I.1.3.2.** Cancers non invasifs 5
 - **I.1.3.3.** Cancers invasifs 6
 - **I.1.3.4.** Classification moléculaire 6
 - **I.1.3.5.** Classification TNM..... 6
 - **I.1.3.6.** Le grade SBR (Scarff-Bloom-Richardson) 7
 - **I.1.3.7.** Épidémiologie 9

I.2. Imagerie médicale

- **I.2.1.** Rayons X 10
- **I.2.2.** Mammographie 11

I.3. L'intelligence artificielle

- **I.3.1.** L'intelligence artificielle dans le domaine médical 13
- **I.3.2.** L'intelligence artificielle dans l'interprétation des mammographies 15

I.4. L'histopathologie

- **I.4.1.** L'histopathologie dans le cancer du sein 16

Chapitre II : Matériel et Méthodes

II.1. Matériel	18
II.1.1. Série étudiée	18
II.1.2. Données exploitées	18
II.2. Méthodes	
II.2.1. Démarche méthodologique	19
II.2.2. Choix de l’outil d’intelligence artificielle (ChatGPT+)	20
II.2.3. Comparaison des résultats	20
II.3. Aspects éthiques et stage en anatomopathologie	20
II.3.1. Confidentialité des données	20
II.3.2. Utilisation de l’intelligence artificielle	20
II.3.3. Protocole méthodologique	21
II.3.4. Protocole d’examen histologique	22

Chapitre III : Résultats et Discussion

III.1. Taux d’accord ChatGPT+ vs Radiologues selon les différents critères	25
III.2. Répartition comparative des classifications ACR entre ChatGPT+ et radiologue	27
III.3. Taux global de ChatGPT+ vs Radiologue (ACR)	29
III.4. Corrélation de ChatGPT+ et Radiologues avec les résultats anatomopathologiques	30
III.5. Les résultats de l’examen anatomopathologique	31
Conclusion	33
Références bibliographiques	35
Annexes	

LISTE DES FIGURES

N° figure	Titre	Page
Figure 1	(A) Schéma de l'anatomie du sein adulte. (B) Schéma d'une structure en croissance du réseau canalaire mammaire	3
Figure 2	Classification TNM des cancers du sein	7
Figure 3	Architecture normale du sein et sous-types du cancer du sein	8
Figure 4	comparaison rayons lumineux et rayons X	10
Figure 5	Applications de l'IA dans le parcours de soin	13
Figure 6	Capture d'écran illustrant l'utilisation de CamScanner pour la numérisation des clichés mammographiques et de ChatGPT+ pour la génération assistée du compte rendu d'analyse	18
Figure 7	Taux d'accord et désaccord entre IA et Radiologue selon les différents critères	22
Figure 8	Distribution des classifications ACR totaux du radiologue et de l'IA	23
Figure 9	Répartition des cas selon le niveau d'accord (ACR) IA-Radiologue	25
Figure 10	Performance diagnostique IA vs radiologue	27
Figure 11	: répartition des types histologiques de cancer du sein	28
Figure 12	: répartition des types histologiques de cancer du sein	28
Figure 13	La répartition du grade SBR	29

LISTE DES TABLEAUX

N° Tableau	Titre du tableau	Page
Tableau I	La classification moléculaire du cancer du sein	6
Tableau II	Classification BIRADS dédiée à la densité mammaire	12

ABREVIATIONS

- ACR** : Classification ACR – Collège Américain de Radiologie
- AJCC** : American Joint Committee on Cancer (Comité Américain de Classification des Cancers)
- AUC-ROC** : Aire sous la courbe Receiver Operating Characteristic
- BI-RADS** : Breast Imaging Reporting and Data System (Système de Rapport et de Classification pour l’Imagerie du Sein)
- CCI** : Carcinome canalaire infiltrant
- CCIS** : Carcinome canalaire in situ
- CINOS** : Carcinome infiltrant non spécifique
- CLI** : Carcinome lobulaire infiltrant
- CLIS** : Carcinome lobulaire in situ
- CNN** : Convolutional Neural Network (Réseau Neuronal Convolutif)
- cTNM** : Classification clinique TNM
- DICOM** : Digital Imaging and Communications in Medicine
- DL** : deep Learning
- ER** : Récepteur aux œstrogènes
- GPT** : Generative Pre-trained Transforme (génératif pré entraîné)
- HER2** : Récepteur 2 du facteur de croissance épidermique humain
- IA** : Intelligence artificielle
- IA-CAD** : Intelligence artificielle – Détection/diagnostic assisté par ordinateur
- IRM** : Imagerie par résonance magnétique
- Ki-67** : Antigène nucléaire Ki-67, un marqueur de prolifération cellulaire
- M** : Métastase (TNM)
- N** : Ganglion lymphatique (TNM)
- OMS** : Organisation Mondiale de la Santé
- pTNM** : Classification histopathologique TNM
- PR** : Récepteur à la progestérone
- SBR** : Scarff-Bloom-Richardson / Grade histologique de Nottingham
- SNR** : Signal-to-Noise Ratio (Rapport signal/bruit)
- T** : Tumeur (TNM)
- TMN** : Tomosynthèse mammaire numérique
- TNM** : T (tumeur), N (ganglion lymphatique), M (métastase)

Introduction

Le cancer du sein représente l'une des principales causes de mortalité par cancer et le cancer le plus fréquemment diagnostiqué chez les femmes dans le monde(Sha *et al.*, 2024). Selon l'Organisation Mondiale de la Santé(OMS) en 2022, 670 000 décès sont causés par le cancer du sein à travers le monde (OMS,2022). Dont l'incidence en Afrique y était de 38 cas pour 100 000 femmes avec un taux de mortalité le plus élevé au monde à cause de diagnostic tardif (OMS, 2022).

La détection précoce du cancer du sein repose sur le dépistage, c'est-à-dire l'évaluation systématique de femmes asymptomatiques et en bonne santé. Un diagnostic à un stade localisé augmente le taux de survie à cinq ans à 99 % contre 23 % en cas de détection à un stade métastatique, et permet de réduire la mortalité globale d'environ 20 %. C'est pourquoi la majorité des nations recommandent une mammographie de dépistage tous les deux ans entre 50 et 74 ans (certaines le recommandent dès 40 à 74 ans en raison d'incidence élevée du cancer du sein dans ces pays)(Shah et Guraya, 2016).

L'intelligence artificielle (IA) a connu un développement considérable ces dernières années. Elle s'intègre dans de nombreux domaines de la vie, y compris dans le domaine médical. Bien que son adoption en médecine ait été plus lente au départ, elle progresse aujourd'hui de manière rapide, en raison des perspectives prometteuses qu'elle offre, notamment en ouvrant la voie à la médecine personnalisée à travers son aide au diagnostic (Barba *et al.*, 2025).

L'étude de Shen et al, montre que l'IA a une excellente capacité à distinguer les cancers à travers l'échographie mammaire, permettant de réduire les taux de faux positifs des radiologues de 37,7 % et les biopsies demandées de 27,8 %, sans compromettre la sensibilité(Shen *et al.*, 2021).

Cependant l'argument décisif qui tranche en faveur d'un diagnostic précis repose sur la détection du cancer du sein par histopathologie afin de diagnostiquer et d'évaluer la progression de la maladie (Abdullakutty *et al.*, 2024).

Compte tenu des apports de l'intelligence artificielle en général et dans le domaine de la santé en particulier, il est devenu indispensable d'intégrer cette technologie prometteuse à l'analyse des images médicales, tant pour accompagner le progrès technologique que pour améliorer la précision du diagnostic. Notre étude sert à comparer rigoureusement les performances de l'IA en utilisant ChatGPT+ à celles de radiologues expérimentés afin de valider la fiabilité de l'IA dans un contexte réel.

Le présent travail vise à :

- Déterminer les compétences de l'IA en l'occurrence ChatGPT+ en identifiant leurs points forts et leurs points faibles en mesurant le taux d'accord pour chaque critère comparatif.
- Quantifier la sensibilité ChatGPT+ et celles des radiologues.
- Mesurer le taux de faux positifs et faux négatifs entre ChatGPT+ et les radiologues en confrontant les résultats d'interprétation (IA et radiologues) aux résultats anatomopathologiques pour déterminer la valeur diagnostique réelle de chaque modalité.

Ces objectifs visent à valider l'intégration de ChatGPT+ dans l'interprétation des mammographies.

CHAPITRE I :
Rappels
Bibliographiques

I.1 Généralités sur le cancer du sein :

I.1.1. Anatomie et structure

Le sein humain est une glande mammaire symétrique située à l'avant du thorax. Son développement, plus marqué chez la femme après la puberté, mais reste rudimentaire chez l'homme (**Bazira, 2024**). Il est composé de tissus glandulaires, producteurs de lait, et de tissus adipeux, dont la proportion varie selon les individus. L'œstrogène, hormone sexuelle, joue un rôle central dans sa croissance. À la ménopause, la baisse de cette hormone entraîne une régression des tissus glandulaires (**Rivard et al., 2023**).

La glande mammaire, une structure tubulo-alvéolaire dérivée des glandes apoclines épidermiques, propre aux mammifères, assure la production de lait après la naissance. Elle se compose principalement de cellules épithéliales : luminales (transport du lait) et basales (expulsion du lait et cellules souches), ainsi que d'un stroma contenant adipocytes, fibroblastes, cellules immunitaires, endothéliales et nerfs, assure soutien, la vascularisation et la défense. Le tout est délimité par la membrane basale, qui sépare l'épithélium du stroma et participe au développement mammaire. Chez l'homme, la glande reste rudimentaire et non fonctionnelle, de structure tubulo-alvéolaire ramifiée (**Figure 1**).

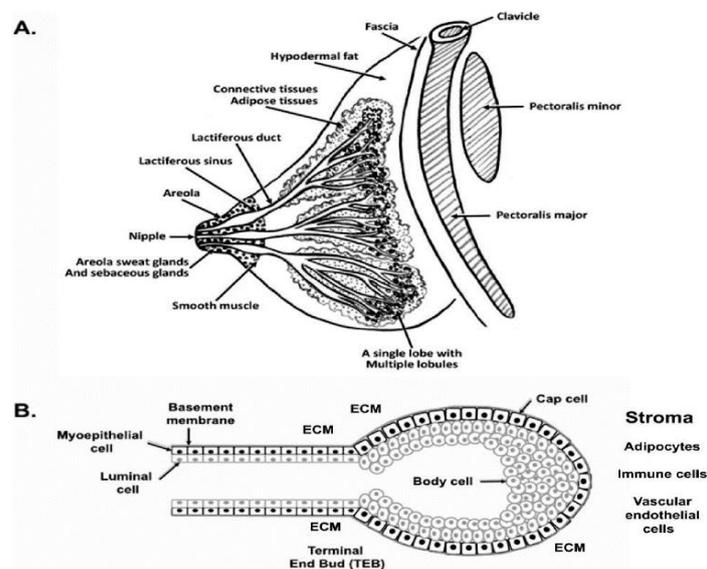


Figure 1 : (A) Schéma de l'anatomie du sein adulte. (B) Schéma d'une structure en croissance du réseau canalaire mammaire (**Biswas et al., 2022**).

I.1.2 Physiologie du sein :

I.1.2.1 La fonction lactationnelle :

À la différence des autres glandes exocrines des mammifères, qui présentent une activité sécrétoire relativement constante, la glande mammaire se caractérise par une dynamique fonctionnelle particulière, alternant des phases intermittentes de forte activité avec de longues périodes de quiescence.

La lactogénèse, processus par lequel débute la production de lait, survient au moment de l'accouchement. Elle est précédée de modifications structurales et fonctionnelles transitoires de la glande mammaire durant la grossesse, préparant cette dernière à sa fonction sécrétoire.

➤ Cycle de la lactation :

Le déclenchement de la lactation s'effectue en deux étapes successives :

1-La différenciation sécrétoire : les cellules épithéliales mammaires se différencient en lactocytes, cellules spécialisées dans la sécrétion du lait.

2-L'activation sécrétoire : ces cellules deviennent alors capables de synthétiser des composants spécifiques du lait maternel, notamment le lactose, la caséine, α -lactalbumine et divers acides gras.

Ce processus est régulé par des hormones clés. Pendant la lactation, la prolactine stimule la synthèse du lait, tandis que l'ocytocine déclenche son éjection via les cellules myoépithéliales (**Pang et Hartmann, 2007**).

I.1.2.2 Ménopause et atrophie glandulaire :

La densité mammaire désigne la quantité de tissu glandulaire et stromal présente dans les seins. Plus cette densité est élevée, plus le sein est qualifié de "dense". Une densité mammaire élevée constitue à la fois un facteur de risque de cancer du sein et un obstacle à sa détection par imagerie, notamment en mammographie.

Cette densité varie au cours de la vie, notamment avec l'âge. À la ménopause, le tissu mammaire subit un processus de vieillissement naturel, caractérisé par une diminution progressive du tissu dense. Cependant, certains facteurs de risque du cancer du sein peuvent ralentir ou perturber ce processus, entraînant le maintien d'une densité mammaire élevée, et, par conséquent, un risque accru de cancer (**Engmann et al., 2019**).

I.1.3. Les cancers du sein

Actuellement, le cancer du sein est le cancer le plus courant chez les femmes à l'échelle mondiale et représente la principale cause de mortalité liée au cancer (Yoon et Kim, 2021). Il se caractérise par une prolifération incontrôlée de cellules mammaires anormales formant des tumeurs. Si aucune intervention n'est réalisée, ces tumeurs peuvent se propager à d'autres parties du corps, entraînant potentiellement une issue fatale (OMS, 2024).

Le cancer du sein regroupe différentes tumeurs malignes affectant les glandes mammaires. La majorité des cas sont des carcinomes, tandis que les sarcomes, comme les tumeurs phyllodes et les angiosarcomes, restent rares. En effet, les angiosarcomes mammaires représentent entre 0,004 % et 1 % des tumeurs malignes du sein et constituent environ 8 à 10 % des sarcomes mammaires (Majdoubi et al., 2020).

Les signes évocateurs d'un cancer du sein incluent la présence d'une masse, des modifications cutanées, des écoulements mamelonnaires, un gonflement, des douleurs mammaires, ainsi que des symptômes systémiques tels que fatigue, insomnie, troubles gastro-intestinaux et difficultés respiratoires. Le traitement et le pronostic varient en fonction du type spécifique de tumeur maligne, de l'étendue de sa propagation et de l'état de santé général du patient. Les options thérapeutiques possibles comprennent la chirurgie, la chimiothérapie et la radiothérapie (Hoque et al., 2024).

I.1.3.1 Types du cancer du sein

Il est divisé en cancers du sein invasif et non invasif (Akram et al., 2017).

I.1.3.2 Cancers du sein non invasifs :

Il s'agit d'un cancer qui n'est pas étendu au-delà des lobules ou des canaux où il se situe, et il est subdivisé en deux principales catégories (Akram et al., 2017).

➤ Carcinome canalaire in situ CCIS :

Le carcinome canalaire in situ est une lésion du sein caractérisée par une hyperplasie des cellules épithéliales atypiques, sans potentiel métastatique. Avec la généralisation des programmes de dépistage mammographique, l'incidence du CCIS a considérablement augmenté, représentant environ 20 % de l'ensemble des cancers du sein diagnostiqués (Vonèche et al., 2024).

➤ Carcinome lobulaire in situ (CLIS) :

Le type lobulaire (CLIS) représente 10 à 15 % des cas. Dans la huitième édition de la classification TNM de l'American Joint Committee on Cancer (AJCC), les CLIS sont désormais considérés comme des lésions bénignes (Kuntz et al., 2021).

I.1.3.3 Cancers du sein invasifs :

➤ **Carcinome canalaire infiltrant (CCI) :**

Les tumeurs mammaires peuvent être classées comme "sans type spécifique" si elles ne présentent pas de caractéristiques morphologiques suffisantes, ou comme "type spécial" si elles possèdent des caractéristiques distinctives. Parmi les sous-types spéciaux les plus courants, on retrouve les carcinomes médullaire, métaplasique, apocrine, mucineux, cribriforme, tubulaire, neuroendocrine, lobulaire classique et lobulaire pléomorphe(Nascimento et Otoni, 2020).

➤ **Carcinome lobulaire infiltrant (CLI) :**

Le carcinome lobulaire infiltrant (CLI) représente 5 à 15 % des cancers du sein. Il se développe généralement chez les femmes âgées et se caractérise par sa multifocalité et sa bilatéralité. Le CLI présente une forme classique avec des cellules peu atypiques et une forme pléomorphe plus agressive(Nascimento et Otoni, 2020).

I.1.3.4 La classification moléculaire

La classification moléculaire du cancer du sein repose sur l’expression des :récepteurs hormonaux(ER,PR),de HER2 et du marqueur de prolifération Ki-67(Nascimento et Otoni, 2020).Cette dernière a permis d’identifier quatre sous types de cancer du sein : Luminal A et B qui expriment les récepteurs hormonaux (ER,PR) ,HER2+ qui exprime le facteur de croissance « Human Epidermal Groth Factor »,et le sous type le plus agressif « le triple négatif » qui n’exprime aucun des trois marqueurs (tableau I).

Tableau I : la classification moléculaire de cancer du sein(Nascimento et Otoni, 2020).

Molecular Subtypes	Luminal A	Luminal B		HER2+	TN
		(HER2-)	(HER2+)		
Biomarkers	ER+ PR+ HER2- Ki67low	ER+ PR- HER2- Ki67high	ER+ PR-/+ HER2+ Ki67low/high	ER- PR- HER2+ Ki67high	ER- PR- HER2- Ki67high
Frequency of Cases (%)	40–50	20–30		15–20	10–20
Histological Grade	Well Differentiated (Grade I)	Moderately Differentiated (Grade II)		Little Differentiated (Grade III)	Little Differentiated (Grade III)
Prognosis	Good	Intermediate		Poor	Poor
Response to Therapies	Endocrine	Endocrine Chemotherapy	Endocrine Chemotherapy Target Therapy	Target Therapy Chemotherapy	Chemotherapy PARP Inhibitors

ER: estrogen receptor; PR: progesterone receptor; HER2: human epidermal growth factor receptor 2.

I.1.3.5 la classification TNM :

Pierre Denoix, chirurgien oncologue français est considéré comme le père fondateur du système TNM entre 1943 et 1952 dans le but de créer un langage universel permettant de traduire la situation oncologique et le pronostic d’un patient selon l’extension anatomique de la tumeur.

Les paramètres TNM signifient :

T (tumeur) : représentant l'extension locale de la tumeur primitive, avec des chiffres croissants de 0 à 4.

N (ganglions lymphatiques.) : la présence ou l'absence d'atteinte ganglionnaire métastatique régionale, avec des valeurs de 0 à 3.

M (Métastases) : la présence ou l'absence d'atteinte métastatique à distance, avec deux valeurs 0 et 1.

Pour chaque site tumoral deux systèmes sont suivis pour la classification TNM : la classification clinique (cTNM) qui représente l'évaluation clinique ; endoscopique et radiologique avant le traitement. La classification histopathologique (pTNM) qui vise l'évaluation histopathologique après l'intervention chirurgicale dans le but de l'indication et l'orientation du traitement complémentaire.

La classification TNM vise à standardiser la description des cancers afin d'assurer une communication universelle entre professionnels de santé. Elle permet d'évaluer le pronostic, d'orienter les choix thérapeutiques, de comparer les réponses aux traitements, de faciliter les échanges inter-centres et de centraliser les données oncologiques (LAMBIEL.S et DULGUEROV. P, 2017).

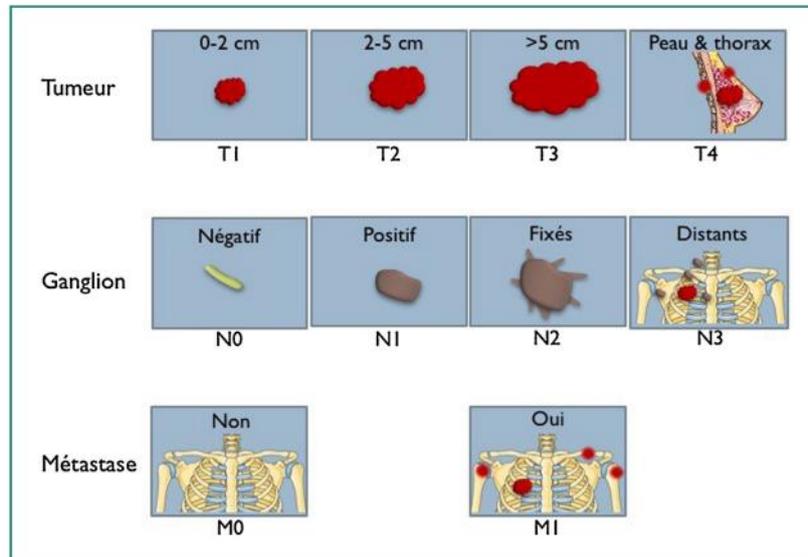


Figure 2: Classification TNM des cancers du sein (**Bazelaire et al., 2017**).

I.1.3.6 Le grade SBR (Scarff-Bloom-Richardson) :

Le système de grade histologique de Nottingham est une classification pronostique cruciale pour l'évaluation du cancer du sein : il quantifie la virulence de la tumeur en se fondant sur trois critères microscopiques : la formation tubulaire, les atypies nucléaires (la variation de la taille

et de la forme des noyaux) et la fréquence mitotique (Kim et al., 2025). Chaque caractéristique est notée de 1 à 3 et le grade est attribué comme suit :

- Grade I (bien différencié) : 3 à 5 points
- Grade II (modérément différencié) : 6 à 7 points
- Grade III (peu différencié) : 8 à 9 points (Elston, 1984).

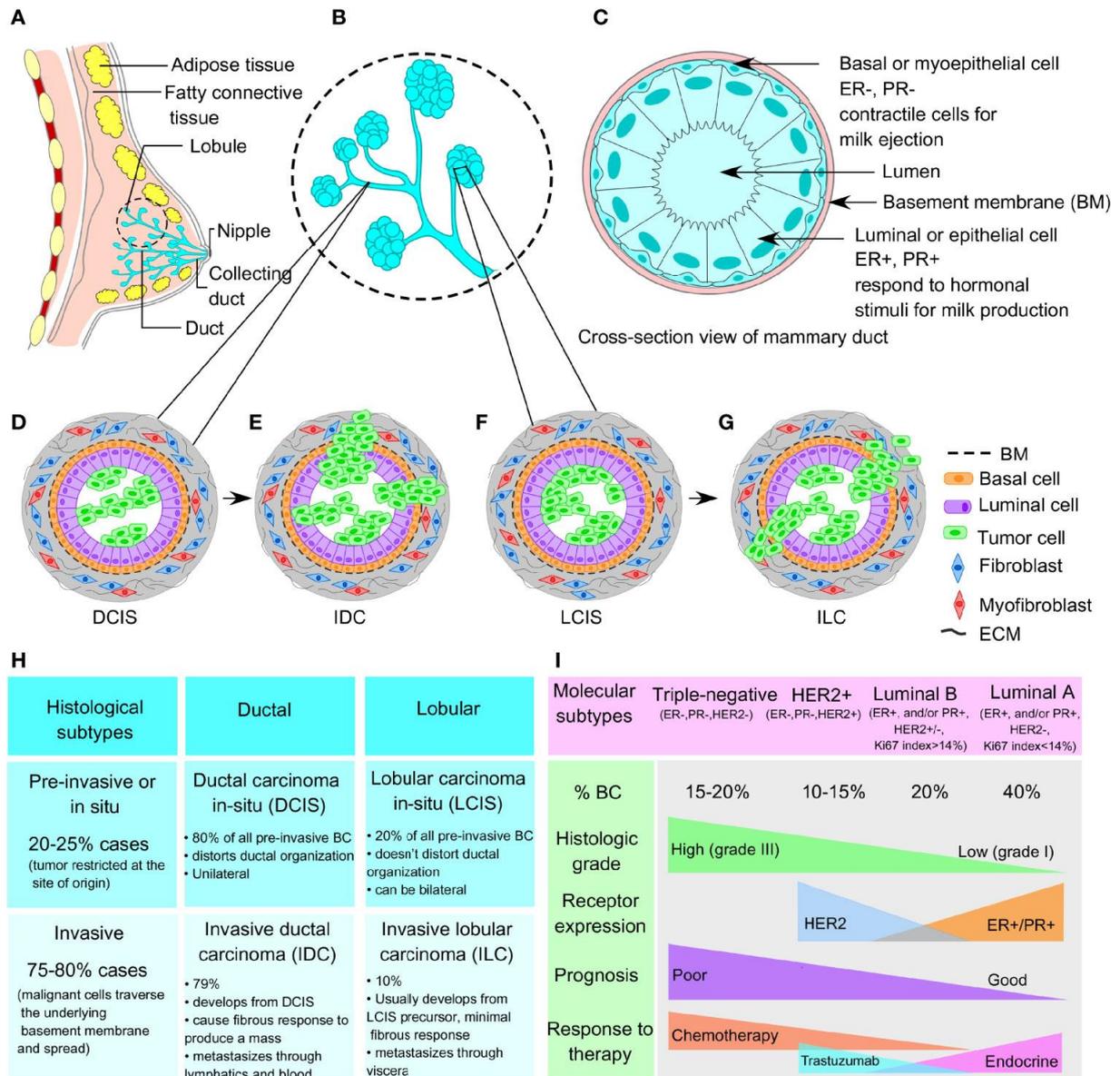


Figure 3: Architecture normale du sein et sous-types du cancer du sein (Saha et Lukong, 2022).

I.1.3.7 Epidémiologie :

En 2022, le cancer du sein a causé environ 670 000 décès à travers le monde. Il s'agit d'une maladie présente dans tous les pays et qui représente la première cause de cancer chez les femmes dans 157 pays sur 185. Environ la moitié des cas surviennent chez des femmes ne présentant aucun facteur de risque spécifique autre que le sexe et l'âge. Bien que majoritairement féminin, le cancer du sein touche également les hommes, qui représentent environ 0,5 % à 1 % des cas diagnostiqués(OMS,2024).

En Afrique : Le cancer du sein est le cancer le plus fréquent et l'une des principales causes de mortalité féminine. En 2022, l'incidence y était de 38 cas pour 100 000 femmes, avec une mortalité de 19,2 décès pour 100 000, soit le taux le plus élevé au monde. Cette mortalité élevée est principalement due à un diagnostic tardif, 77 % des patientes étant diagnostiquées à un stade avancé (III ou IV).

L'incidence varie fortement selon les pays : elle atteint 61,87 cas pour 100 000 femmes en Algérie, contre seulement 7 en Sierra Leone. En Afrique subsaharienne, le nombre de nouveaux cas devrait presque doubler d'ici 2040, en raison de la croissance démographique et de l'exposition accrue aux facteurs de risque oncogènes.

Les taux de survie à cinq ans restent faibles, avec d'importantes disparités : en Afrique subsaharienne, il est d'environ 66 %, mais tombe sous les 40 % en Afrique du Sud et sous les 20 % au Mali et en Gambie. Environ la moitié des décès surviennent avant l'âge de 50 ans, entraînant de lourdes conséquences sociales. Ces données soulignent l'urgence d'améliorer le dépistage et l'accès aux soins pour réduire la mortalité liée au cancer du sein en Afrique(OMS, 2025).

I.2 Imagerie médicale :

Le diagnostic médical repose sur l'identification des maladies à travers un examen approfondi du patient. Toutefois, de nombreuses affections concernent des zones du corps invisible à l'œil nu. L'imagerie médicale joue un rôle essentiel en permettant de visualiser ces structures internes grâce à la technologie, facilitant ainsi un diagnostic précis, ainsi que la surveillance et le traitement des pathologies(Dehbozorgi *et al.*, 2025).

L'imagerie médicale, qui comprend des techniques telles que la radiologie, permettant d'observer la densité des tissus, l'échographie, qui visualise les interfaces acoustiques, ou encore la résonance magnétique nucléaire, qui met en évidence la densité des noyaux

d'hydrogène de l'eau, joue un rôle clé. De plus, la médecine nucléaire permet l'imagerie moléculaire en ciblant des structures cellulaires spécifiques (Dubois, 2009).

I.2.1 Les rayons X :

Les rayons X sont des ondes électromagnétiques appartenant à la famille des rayonnements ionisants. Leur énergie élevée leur permet de traverser le corps humain en grande quantité (Dillenseger, 2024).

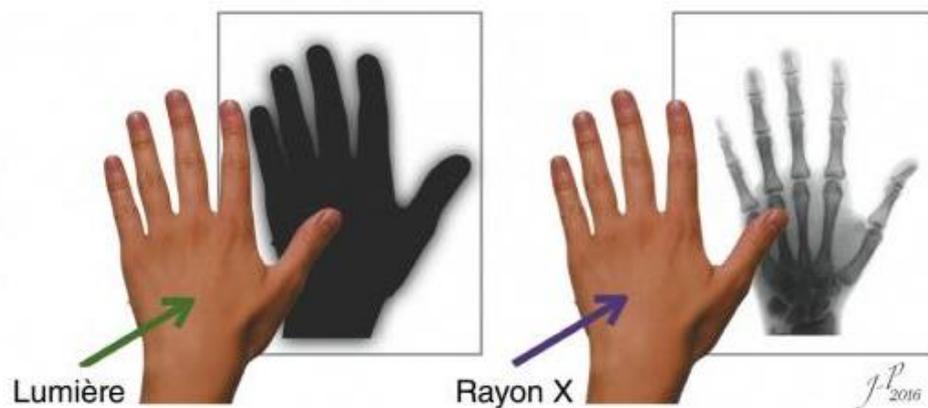


Figure 4 : Comparaison rayons lumineux et rayons X (Dillenseger, 2024).

Histoire des rayons X :

Le 8 novembre 1895, Wilhelm Conrad Röntgen découvre un rayonnement inconnu capable d'imprimer une plaque photographique lorsqu'un tube de Crookes est mis sous tension. Il le nomme rayonnement X, supposant qu'il résulte de l'interaction du faisceau cathodique avec une cible métallique. Peu après, il constate que ces rayons peuvent traverser le corps humain et réalise les premières radiographies : celle de sa propre main le 22 novembre 1895, puis la plus célèbre, celle de la main de son épouse Anna-Bertha le 22 décembre 1895. Il identifie ensuite quatre propriétés des rayons X : leur absorption et diffusion dans la matière, leur capacité à impressionner une plaque photographique et à décharger des corps électriquement chargés. Il présente ses découvertes à la communauté scientifique le 28 décembre 1895, et reçoit en 1901 le premier prix Nobel de physique pour cette avancée révolutionnaire (Dillenseger, 2024).

I.2.2 Mammographie :

Les modalités de dépistage de cancer du sein pratiquées dans le monde sont :

La mammographie de dépistage qui est la plus utilisée dans le monde, l'examen clinique des seins, la tomosynthèse mammaire numérique (TMN), l'échographie mammaire, l'imagerie par résonance magnétique (IRM), et l'identification de certains oncogènes génétiques (**Shah et Guraya, 2016**).

La qualité d'une mammographie dépend fortement de l'énergie (donc λ et ν) des rayons X. On utilise classiquement des photons de basse énergie (~ 20 keV, $\lambda \approx 0,6$ Å) car l'effet photoélectrique (très dépendant de l'énergie) y domine, accroissant fortement les différences d'atténuation entre tissus (graisse vs glande vs calcifications) et maximisant ainsi le contraste diagnostique (**Dance et al., 2009**). À l'inverse, des photons plus énergétiques ($> 35-40$ keV) traversent les tissus sans distinguer ces différences (effet Compton prédominant), ce qui réduit sensiblement le contraste (**Sechopoulos, 2013**). Cette énergie basse permet en outre d'obtenir la résolution spatiale nécessaire (~ 50 μm) pour détecter les microcalcifications fines, grâce à un foyer très fin et à un rapport signal/bruit élevé. Ces qualités d'image (contraste élevé, bruit réduit) sont cruciales pour les algorithmes d'IA en imagerie mammaire : les réseaux de neurones profonds exploitent ces détails fins pour segmenter et détecter automatiquement les lésions. Par exemple, le prétraitement IA utilise souvent des filtres d'amélioration du contraste et de réduction du bruit pour rendre les microcalcifications plus visibles, améliorant ainsi la performance des modèles CNN de détection (**Rodriguez-Ruiz et al., 2019**).

Pour améliorer la précision et l'uniformité des diagnostics, Le BI-RADS (Breast Imaging Reporting and Data System), créé par l'American College of Radiology en 1993, est un système standardisé pour les comptes rendus de mammographie. Il vise à fournir aux cliniciens et aux patients des informations claires et uniformisées sur les résultats mammographiques. Développé sur la base de données scientifiques par des experts en imagerie mammaire, il permet de décrire les anomalies détectées et de préciser la conduite à tenir en termes de suivi et de prise en charge (**Barazi et Gunduru, 2023**).

BI-RADS 0 : examen incomplet

- **BI-RADS 1** : normal, absence de cancer
- **BI-RADS 2** : anomalies bénignes (100 % bénin)
- **BI-RADS 3** : anomalie probablement bénigne (> 98 % bénin)
- **BI-RADS 4** : anomalie suspecte nécessitant une biopsie (10 à 50 % malin)

- **BI-RADS 5** : fortement suspect de malignité (> 98 % malin)
- **BI-RADS 6** : cancer confirmé par biopsie (100 % malin)(Ferkous,C et Djellali Merouani H,f, 2016)

Le dernier élément d'un rapport de mammographie selon le système de classification BI-RADS est la recommandation de prise en charge.

1. **Examens d'imagerie supplémentaires**
2. **Mammographie de routine**
3. **Suivi à court terme**
4. **Biopsie**

Chaque option est associée à un niveau croissant de suspicion de malignité et au risque estimé de cancer par le radiologue(Barazi et Gunduru, 2023).

En revanche, la classification ACR intervient après confirmation d'un cancer, en se basant sur l'analyse anatomopathologique de la tumeur. Elle permet de définir le type histologique, le grade tumoral et le stade TNM, des éléments essentiels pour orienter le traitement(Weigel *et al.*, 2017).

La densité mammaire est évaluée lors de la mammographie en estimant la proportion de tissu radiologiquement dense (principalement le tissu fibro-glandulaire) par rapport au tissu adipeux, qui présente une densité radiologique plus faible. Selon la classification BI-RADS dédiée à la densité mammaire, quatre catégories sont définies, allant des seins presque entièrement graisseux aux seins extrêmement denses (**Tableau II**)(Bleret *et al.*, 2021), (La classification repose sur les 4^e et 5^e éditions du BI-RADS, la 4^e édition incluant une estimation du pourcentage de tissu dense.)

Tableau II : Classification BIRADS dédiée à la densité mammaire(Bleret *et al.*, 2021).

Catégorie BIRADS	Description	% de tissu glandulaire
A	Graisseux	< 25 %
B	Densité fibro-glandulaire éparses	25-50 %
C	Hétérogènement dense	50-75 %
D	Extrêmement dense	> 75 %

La densité mammaire a un impact significatif sur la qualité du diagnostic, notamment en diminuant la sensibilité de la mammographie. Cela nécessite l'utilisation de la mammographie digitalisée 3D (tomosynthèse)(Bleret *et al.*, 2021).

I.3 L'intelligence artificielle :

L'idée d'une machine capable de simuler la pensée humaine remonte à **1946**, lorsque le psychiatre **Grey Walter** et le mathématicien **Alan Turing** ont, chacun de leur côté, exploré les concepts de calcul automatique et de comportement autonome. Dans son livre *Computers and Intelligence*, Turing décrit un test simple, connu plus tard sous le nom de « test de Turing », pour déterminer si les ordinateurs étaient capables d'intelligence humaine(Kaul et al., 2020)

Le commencement de l'IA moderne s'est synchronisé avec l'apparition des ordinateurs programmables après la seconde guerre mondiale. Le terme « intelligence artificielle » a été utilisé pour la première fois en 1956, lors de la conférence de Dartmouth au Etats-Unis qui est considérée comme l'acte de naissance de l'intelligence artificielle. Depuis les années 2010, l'IA a connu une évolution remarquable grâce à la combinaison de trois facteurs clés : l'apprentissage profond (*deep learning*), l'augmentation des données disponibles et l'utilisation des processeurs graphiques(François et Aubernon, 2024).

I.3.1 L'intelligence artificielle dans le domaine médical :

L'intelligence artificielle (IA) transforme profondément la médecine, portée par l'essor des données biomédicales et le développement du machine Learning, une approche permettant aux algorithmes d'apprendre à résoudre des problèmes sans programmation explicite. Longtemps perçue comme un concept abstrait, l'IA a évolué bien au-delà des premiers programmes d'échecs des années 1950, et il est probable que notre vision actuelle des modèles conversationnels devienne rapidement obsolète (Barba *et al.*, 2025).

Ses applications médicales vont de l'aide au diagnostic à la prédiction des maladies, contribuant à une médecine plus personnalisée. L'essor des modèles génératifs, comme ChatGPT, illustre cette avancée, bien que leur fiabilité en contexte clinique pose question. Exploitant diverses sources de données, ces outils soulèvent des défis méthodologiques et éthiques, rendant essentielle leur appropriation par la communauté médicale pour une intégration sécurisée et efficace(Barba *et al.*, 2025).

Les avancées technologiques récentes ont entraîné une explosion des données biomédicales disponibles, stimulée par le séquençage haut débit, l'imagerie multimodale et les objets

connectés. Ces données, variées et complexes, sont désormais exploitées par des algorithmes capables d'analyser des informations cliniques structurées (paramètres vitaux, analyses biologiques), des images médicales (radiologie, IRM, scanner), des données moléculaires (génomique, transcriptomique, protéomique), ainsi que des textes non structurés issus des dossiers médicaux (Barba *et al.*, 2025).

➤ **Principaux algorithmes et méthodes d'IA utilisés dans le domaine médical**

Convolutional Neural Networks (CNN)

Support Vector Machine (SVM)

Random Forest (RF)

Least Absolute Shrinkage and Selection Operator (LASSO)

Deep Neural Network (DNN)

Logistic Regression (LR) (Morone *et al.*, 2025)

1- Applications de l'IA en médecine :

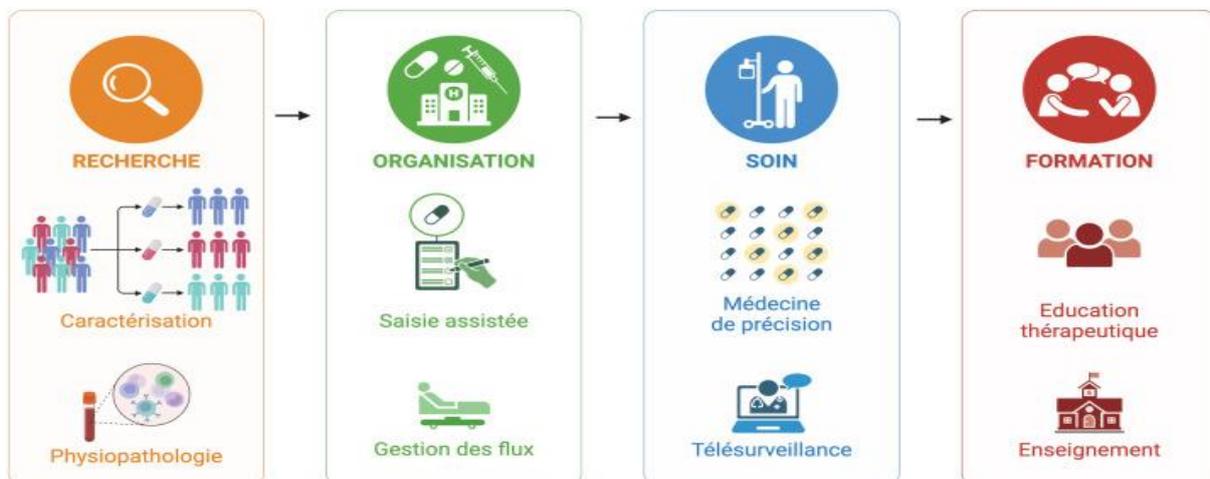


Figure 5: Applications de l'IA dans le parcours de soin (Barba *et al.*, 2025).

Loin de l'image d'algorithmes omniscients remplaçant les médecins, l'IA s'intègre à toutes les étapes du parcours de soins, de la recherche fondamentale à la prise en charge des patients. En recherche biomédicale, elle excelle dans l'identification de motifs complexes, facilitant la découverte de biomarqueurs à partir de données de séquençage ou l'analyse d'images histopathologiques. Par ailleurs, les méthodes de classification non supervisée, comme le « clustering », permettent de regrouper des patients selon des profils homogènes, ouvrant la voie

à une meilleure compréhension des maladies systémiques et à des approches thérapeutiques plus ciblées (**Barba et al., 2025**).

I.3.2 L'intelligence artificiel dans l'interprétation des mammographique :

La mammographie de dépistage joue un rôle clé dans la détection précoce du cancer du sein, permettant d'identifier les tumeurs à des stades traitables et d'améliorer les résultats pour les patientes. L'intelligence artificielle (IA) apparaît comme une technologie prometteuse pour accroître la précision diagnostique et alléger la charge de travail des radiologues dans les programmes de dépistage. Cependant, son intégration en pratique clinique demeure encore limitée, nécessitant une évaluation approfondie de ses performances (**Abeelh et Abuabeileh, 2025**).

Dans l'ensemble, l'IA pourrait renforcer l'efficacité et la fiabilité du dépistage du cancer du sein. Bien qu'elle contribue à réduire les rappels inutiles et à optimiser le travail des radiologues, des défis persistent, notamment le taux de faux positifs et les variations de précision selon les sous-groupes de patientes. Des recherches supplémentaires sont donc nécessaires pour perfectionner ces technologies. Avec des améliorations continues, l'IA pourrait devenir un outil incontournable en mammographie, en soutenant les radiologues et en améliorant la prise en charge des patientes (**Abeelh et Abuabeileh, 2025**).

L'implication de ChatGPT+ dans l'interprétation des mammographique :

ChatGPT est un modèle de langage à grande échelle développé par Open AI, basé sur l'architecture GPT (Generative Pre-trained Transformer). Ce système d'IA est capable de comprendre le langage naturel et de générer des réponses cohérentes. Aujourd'hui, ce modèle de langage est au cœur de l'attention dans le secteur de la santé et d'autres domaines. Bien qu'il présente de nombreux avantages dans le domaine de la santé et de l'enseignement médical (**Montazeri et al., 2024**).

ChatGPT+ offre des fonctionnalités plus améliorées cependant, il n'est disponible que sur abonnement payant contrairement à ChatGPT (**Spuur et al., 2025**), et délivre des performances proches du niveau humain sur de nombreux tests standardisés (**OpenAI, 2025**).

Une étude a testé les deux modèles à l'aide de 77 images de cancer du sein provenant de radiopaedia.org, incluant des mammographies et des échographies. Les images ont été analysées lors de sessions séparées afin d'éviter tout biais. Ils ont atteint une précision de 66,2

% pour tous les cas BI-RADS. La performance était maximale dans les cas BI-RADS 5, avec des scores respectifs de 84,4 % et 88,9 %. Cette étude met en évidence les limites actuelles dans la classification précise de ces images et souligne la nécessité de poursuivre les recherches sur ces technologies avant leur intégration clinique (Nguyen *et al.*, 2025).

➤ **Les principaux algorithmes d'IA utilisés dans le diagnostic du cancer du sein**

L'apprentissage profond (deep learning) présente un grand potentiel dans le diagnostic, le traitement et le pronostic du cancer du sein. Il imite le cerveau humain en utilisant des réseaux neuronaux multicouches pour extraire des caractéristiques avancées et traiter des données variées et multimodales, permettant un apprentissage à un niveau supérieur. Les algorithmes de base du DL comprennent les réseaux neuronaux convolutionnels (CNN), principalement utilisés pour le traitement et l'analyse d'images ; les réseaux antagonistes génératifs (GAN), qui génèrent des images de haute qualité via l'entraînement alternatif d'un générateur et d'un discriminateur ; les réseaux neuronaux récurrents (RNN), adaptés au traitement de données séquentielles telles que séries temporelles, texte et parole ; et l'apprentissage profond par renforcement (DRL), qui combine les avantages du DL et de l'apprentissage par renforcement pour maximiser les récompenses attendues, par exemple en détection de repères et segmentation de lésions en imagerie médicale (Jiang *et al.*, 2024)

I.4. L'histopathologie :

L'histopathologie est une discipline diagnostique essentielle en médecine, jouant un rôle clé dans la compréhension, la détection, l'évaluation et le traitement de diverses maladies, notamment le cancer, la démence et les pathologies cardiovasculaires. Historiquement, l'analyse histopathologique reposait principalement sur l'examen visuel des échantillons tissulaires par des experts utilisant un microscope optique. Cependant, depuis les années 2000, l'essor des technologies de numérisation, telles que l'imagerie de lames entières, a amorcé une transition vers une histopathologie numérique (Bahadir *et al.*, 2024).

I.4.1. L'histopathologie dans le cancer du sein :

La détection du cancer du sein par histopathologie repose sur l'examen microscopique des échantillons tissulaires afin de diagnostiquer et d'évaluer la progression de la maladie. Cette méthode implique une analyse approfondie des images histologiques, permettant aux pathologistes d'identifier des anomalies cellulaires caractéristiques d'une malignité. (Abdullakutty *et al.*, 2024).

L'étude morphologique du cancer du sein vise à déterminer si la tumeur est confinée à l'épithélium mammaire ou si elle a envahi le stroma environnant, ainsi qu'à identifier son

origine dans les canaux mammaires ou les lobules. Cependant, en pratique histopathologique, l'identification du caractère canalaire ou lobulaire de la tumeur repose davantage sur des critères tels que le type cellulaire, le nombre de cellules, la nature et la localisation des sécrétions, le profil immunohistochimique et les caractéristiques architecturales, plutôt que sur sa localisation exacte dans le tissu mammaire.

Le carcinome canalaire infiltrant représente environ 50 % à 80 % des nouveaux diagnostics de cancer du sein, tandis que le carcinome lobulaire infiltrant constitue le reste des cas. Ils sont souvent classés comme "sans type spécifique", lorsqu'ils ne présentent pas de caractéristiques morphologiques distinctes permettant de les associer à un sous-type particulier. En revanche, ils sont qualifiés de "type spécial" lorsqu'ils possèdent des caractéristiques histologiques, cellulaires et moléculaires bien définies (**Nascimento et Otoni, 2020**).

CHAPITRE II :

Matériel et Méthodes

Notre travail a été réalisé au sein du service d'oncologie médical du CAC du CHU Frantz Fanon de Blida sur une période de 3 mois (Avril – Juin 2025). Il s'agit d'une étude comparative menée sur une série de patientes atteintes d'un cancer du sein confirmé, dont l'objectif est de comparer les interprétations des mammographies par les radiologues et l'intelligence artificielle, en analysant leurs performances respectives.

Pour atteindre cet objectif, nous avons été amenés à effectuer un stage pratique dans ce service, où l'accès aux dossiers médicaux a été autorisé en présence personnelle de notre promotrice, le Professeur CAID médecin oncologue.

II.1. Matériel

II.1.1. Série étudiée

Notre étude a porté sur une série de 30 patientes diagnostiquées avec un cancer du sein. Elle repose sur une approche à la fois prospective et rétrospective. Les patientes ont été sélectionnées sur la base de dossiers cliniques complets incluant des examens paracliniques (mammographies, échographies mammaires, IRM), des clichés radiologiques et les résultats des analyses anatomopathologiques.

II.1.2. Données exploitées

Les données analysées comprennent :

- Les signes cliniques rapportés dans les dossiers médicaux ;
- Les comptes rendus d'imagerie (mammographie, échographie, IRM mammaire) ;
- Les clichés mammographiques, numérisés via l'application CamScanner ;
- Les résultats de l'examen anatomopathologique. (Annexe1)

Les mammographies interprétées par les radiologues ont permis d'évaluer : la densité mammaire, les nodules (taille, contour, spéculation), la présence de calcifications (micro ou macro), les adénopathies axillaires et la classification ACR.

Les données anatomopathologiques ont permis de préciser : la nature bénigne ou maligne des tumeurs, leur type histologique (invasif ou non), le diamètre tumoral, l'atteinte ganglionnaire, le grade SBR et la classification TNM.

Les marqueurs biologiques étudiés comprenaient les récepteurs hormonaux (RE, RP), le statut HER2 et l'indice Ki-67. Ces éléments ont permis de classer les tumeurs en sous-types moléculaires : Luminal A, Luminal B, Luminal HER2, HER2 positif et triple négatif. (Annexe1)

II.2. Méthodes

II.2.1. Démarche méthodologique (Annexe1)

L'étude a consisté à comparer les interprétations radiologiques classiques avec celles obtenues par l'intelligence artificielle. Pour ce faire, les clichés ont été numérisés avec l'application CamScanner, puis soumis à l'analyse via ChatGPT+.

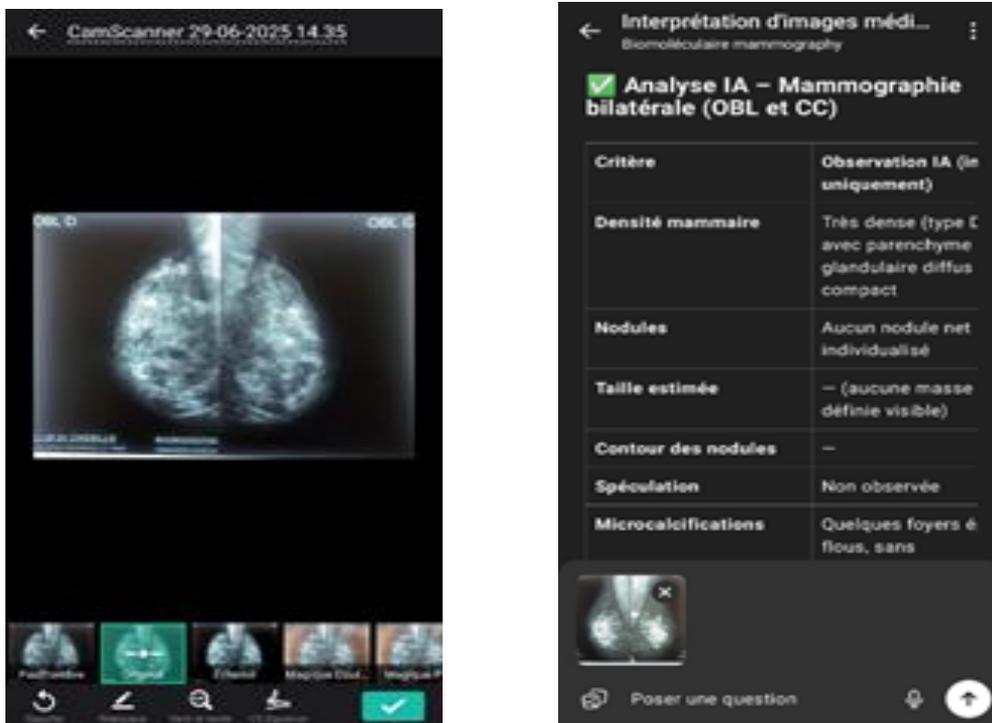


Figure 6 : Capture d'écran illustrant l'utilisation de CamScanner pour la numérisation des clichés mammographiques et de ChatGPT+ pour la génération assistée du compte rendu d'analyse

ChatGPT+ a été utilisée uniquement pour traiter l'image de manière exploratoire, à partir d'une lecture textuelle automatisée des caractéristiques visibles.

II.2.2. Choix de l'intelligence artificielle (ChatGPT+).

En raison de l'indisponibilité d'outils d'IA spécialisés dans l'analyse d'images médicales (notamment ceux nécessitant le format DICOM), nous avons opté pour l'utilisation de ChatGPT+ qui est plus accessible.

Ce choix repose sur sa capacité de raisonnement logique, son adaptabilité au langage médical et sa flexibilité d'interprétation, bien que l'outil ne soit pas conçu initialement pour l'imagerie médicale. Il a été utilisé à titre exploratoire dans le cadre d'un projet académique.

II.2.3. Comparaison des résultats

Les résultats générés par l'intelligence artificielle (ChatGPT+) ont été comparés aux interprétations faites par les radiologues. Cette double lecture a ensuite été confrontée aux données de l'anatomopathologie, considérées ici comme référence diagnostique.

II.3. Aspects éthiques

II.3.1. Confidentialité des données

Toutes les données des patientes ont été anonymisées avant toute utilisation. Aucune information personnelle n'a été conservée ou diffusée.

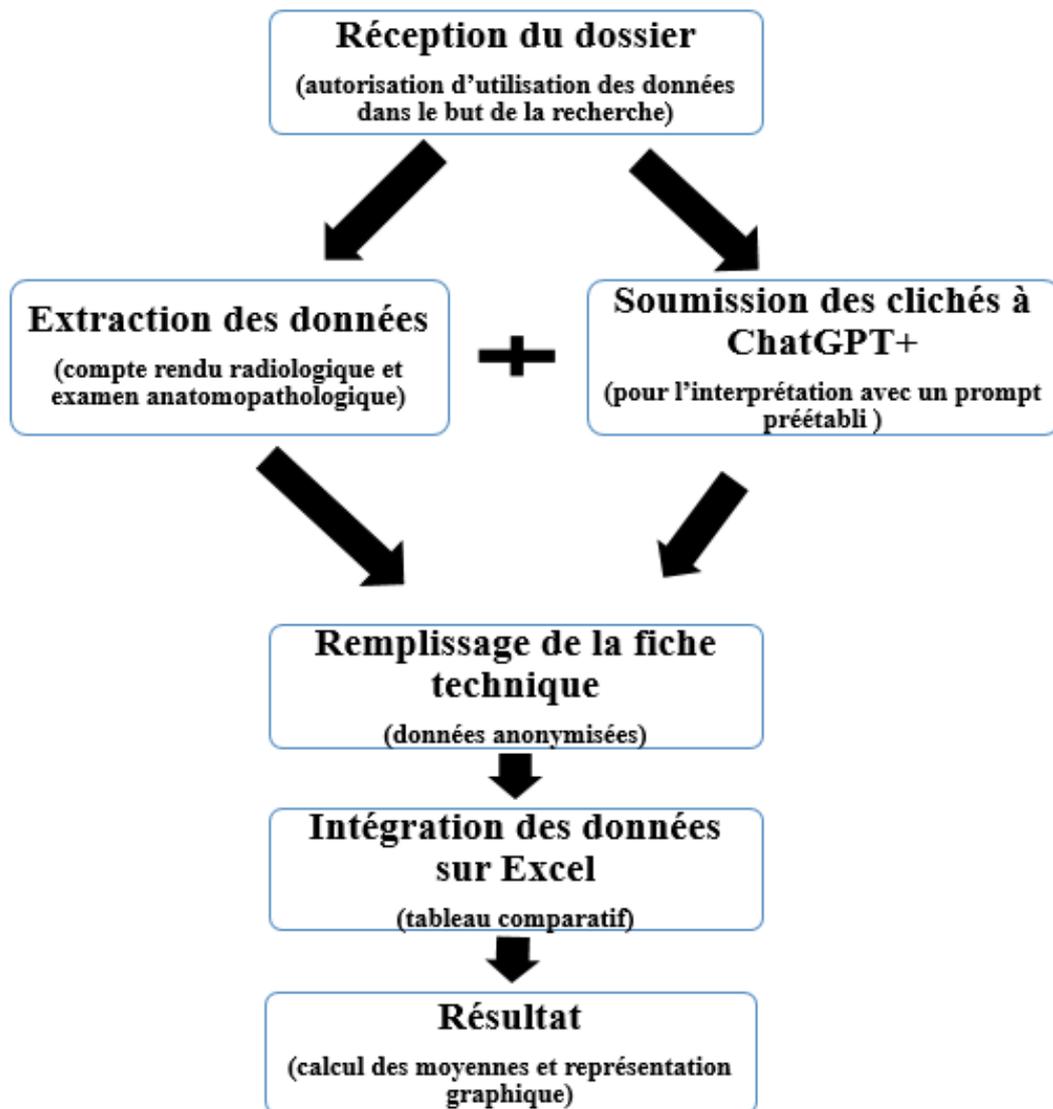
II.3.2. Utilisation de l'intelligence artificielle

L'IA a été utilisée uniquement dans le cadre académique de cette étude. Elle n'a exercé aucune influence sur les décisions médicales ni sur la prise en charge des patientes.

L'ensemble de l'étude a été encadré et supervisé par nos promotrices, afin d'assurer le respect des règles éthiques et des principes déontologiques. L'étude s'inscrit dans une démarche pédagogique et exploratoire.

II.3.3. Protocole méthodologique

Organigramme résumant les principales étapes de la collecte, de l'analyse et de la comparaison des données.



➤ **Stage complémentaire en anatomopathologie**

Dans le cadre de ce travail, un stage d'observation a été réalisé au service d'anatomie pathologique de l'hôpital FARES YAHIA de Koléa, pendant une durée de 15 jours, du 04 au 18 mai 2025.

Ce stage a permis de mieux comprendre les différentes étapes du traitement et de l'analyse histologique des tissus mammaires provenant de biopsies, de tumorectomies ou de pièces opératoires. Il a également facilité l'apprentissage des critères morphologiques utilisés pour poser le diagnostic et classer les tumeurs.

Les lames histologiques observées au cours de ce stage n'ont pas été utilisées dans l'étude comparative menée dans ce mémoire.

II.3.3. Protocole de l'examen histopathologique (Annexe 2)

Les principales étapes techniques de l'examen histologique ont été observées, depuis la réception de l'échantillon jusqu'à l'interprétation microscopique.

Chaque étape repose sur un principe fondamental permettant la conservation, la préparation et l'analyse correcte des tissus.

1. Réception des échantillons (Annexe2)

Les échantillons, fixés dans du formol, sont reçus avec la demande d'examen, la fiche opératoire et les données cliniques du patient. Toutes les informations sont saisies dans le système informatique du service.

2. Examen macroscopique(Annexe2).

- **Principe** :
- Repérer les zones représentatives ou suspectes afin d'orienter l'échantillonnage vers une analyse ciblée.
- **Mode opératoire :**

Les tissus sont observés à l'œil nu pour décrire leur aspect (taille, forme, couleur, consistance). Les zones d'intérêt sont découpées puis placées dans des cassettes contenant du formol tamponné à 10 %, assurant une bonne fixation.

3. Traitement automatisé(Annexe2).

- **Principe :**
- Remplacer l'eau contenue dans les tissus par un solvant compatible avec la paraffine, en assurant la préservation de leur architecture.
- **Mode opératoire :**

Le traitement se fait à l'aide d'un automate selon un protocole standard :

- Déshydratation dans des bains d'éthanol à concentrations croissantes
- Clarification dans un solvant organique (xylène ou toluène)
Cette étape prépare les tissus à l'inclusion.

4. Inclusion en paraffine(Annexe2).

- **Principe** :
Stabiliser les fragments dans un bloc rigide afin de permettre une coupe fine sans altérer la structure tissulaire.
- **Mode opératoire :**

Les fragments sont immergés dans de la paraffine fondue à 60 °C, moulés puis refroidis sur plaque froide. Le bloc obtenu permet un bon maintien du tissu pour l'étape suivante.

5. Coupe au microtome

- **Principe** :
Obtenir des coupes histologiques suffisamment fines pour permettre une observation claire des structures au microscope.
- **Mode opératoire :**

Les blocs sont sectionnés à l'aide d'un microtome avec une épaisseur de 3 à 5 µm. Les coupes sont étalées dans un bain d'eau chaude pour supprimer les plis, puis déposées sur des lames en verre.

6. Coloration(Annexe2).

- **Principe :**

Mettre en évidence les composants cellulaires pour faciliter l'analyse microscopique.

- **Mode opératoire :**

Les lames sont colorées automatiquement selon la méthode HE (hématoxyline-éosine) :

- L'hématoxyline colore les noyaux en bleu-violet
- L'éosine colore le cytoplasme en rose, cette coloration permet de différencier clairement les structures observées au microscope

7. Examen immunohistochimie (IHC) (Annexe2).

- **Principe :**

Mettre en évidence par marquage spécifique l'expression de protéines cibles afin d'affiner le diagnostic et le pronostic.

➤ **Mode opératoire :**

Les tissus, fixés au formol et inclus en paraffine, montées sur des lames, puis déparaffinées et réhydratées. Après ils sont incubées avec des anticorps spécifiques ciblant les récepteurs ER, PR, HER2 et le marqueur de prolifération Ki-67. Elles sont ensuite analysées au microscope pour établir le statut hormonal et guider la prise en charge thérapeutique

CHAPITRE III :
Résultats et discussion

1-Taux d'accord versus désaccord entre ChatGPT+ et les radiologues selon les différents critères

D'après nos résultats obtenus de notre série de 30 patientes, les totaux d'accord pour chaque critère sont les suivants : la densité mammaire (40%), l'estimation de la taille des nodules (46.7%), la spéculation (40.0%), les adénopathies axillaires (40%), et la classification ACR (36.7%), nodules (53.7%), micro calcification (63.3%) et la macro calcification (70%) (figure 7)

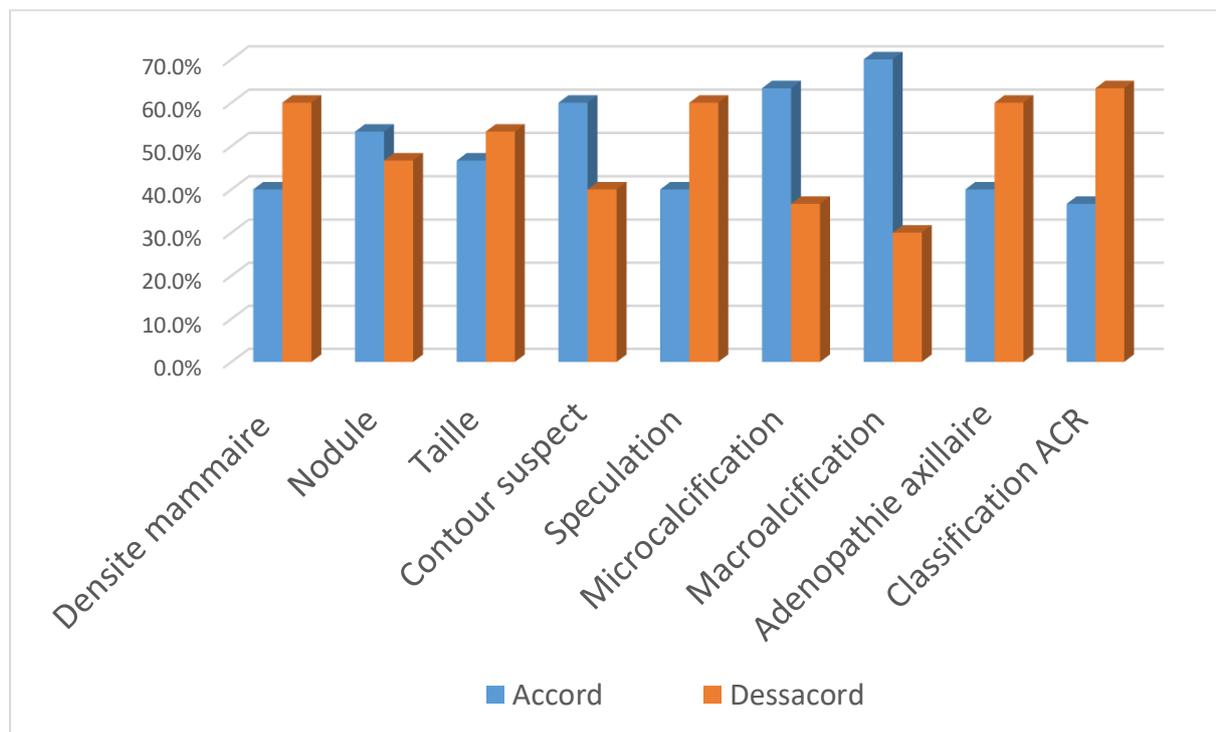


Figure 7 : Taux d'accord et désaccord entre IA et Radiologue selon les différents critères

Chaque critère d'interprétation des mammographies a été analysé de manière indépendante dans notre étude afin d'identifier avec précision les points forts et les limites de ChatGPT+ dans la détection et l'évaluation des anomalies mammaires.

Le faible accord (à 48% ou moins) entre l'IA et le radiologue souligne les points faible d'IA qu'on a observés dans les critères suivants :

➤ **Densité mammaire**

En 2023, Badawy et al ont montrés un excellent accord (80%) entre l'IA et le radiologue sur l'évaluation de la densité mammaire(Badawy *et al.*, 2023).

Contrairement à nos résultat (40% d'accord), cette contradiction peut être expliquer par le faite que la densité mammaire repose sur le jugement visuel des radiologues en prenant en considération les facteurs physiologiques influençant ce critère, tels que : l'âge, l'allaitement, le cycle menstruel, la ménopause et l'hormonothérapie. Cependant l'IA utilisée dans notre étude

se base sur ses algorithmes sans accès à ces facteurs. Il se base principalement sur l'estimation de la densité à travers l'apparence de la couleur blanche (tissu glandulaire) par rapport à la couleur foncée (tissu graisseux), cela pourrait être influencé par : la qualité d'image fournie ou la qualité du traitement d'image de l'appareil photo utilisée, le reflux de la lumière de la chambre ou la prise a été effectuée, ou bien la qualité du négatoscope utilisé.

➤ **Estimation taille nodule**

Sanli et al confirment que ChatGPT reste inefficace dans l'estimation de la taille et de la localisation de la tumeur(Sanli *et al.*, 2025).

Cette conclusion est en accord avec nos résultats : on a remarqué un écart fort entre ChatGPT+ et le radiologue dans l'estimation de la taille (46.7% d'accord). Cela est probablement expliqué par l'implication d'échographie mammaire en supplément à la mammographie et sa précision dans la détection des nodules et l'estimation de ses tailles, comparée à ChatGPT+ qui interprète les images seules.

➤ **Spéculation et les adénopathies axillaires**

Une étude Publiée par Jiang et al, en 2024, note que la détection des contours spiculés varie fortement d'un radiologue à l'autre (Jiang *et al.*, 2024).

Il en est de même dans l'étude de Sanli et al., qui confirme également l'inefficacité de ChatGPT dans la localisation des adénopathies axillaires (Sanli *et al.*, 2025).

Ces observations concordent avec nos résultats, qui montrent un taux d'accord de 40 % pour la détection des spéculations et de 36,7 % pour les adénopathies axillaires. Cette variabilité humaine dans la détection des spéculations pourrait être attribuée, dans le cas de l'IA utilisée (ChatGPT+), à la qualité des images scannées, potentiellement altérée par les tissus environnants.

➤ **La classification ACR**

L'étude Tan et al en 2025, a rappelé que l'essentiel des erreurs cliniques survient entre les catégories BI-RADS 3 et 4, ce qui reflète la frontière arbitraire de suspicion et cette subjectivité se traduit par un désaccord marqué entre radiologue, entraînant ainsi une dispersion des scores pour une même image et conduisant des sous ou sur diagnostics(Tan *et al.*, 2025).

Ce qui est cohérent avec les résultats de notre étude concernant le très faible accord de la classification ACR (36.7%), ce qui peut être expliqué par une limite de ChatGPT+ à émettre une synthèse de diagnostic globale. Autrement dit la classification ACR repose sur une intégration de plusieurs critères radiologiques et cliniques ainsi que la subjectivité de la

détection des ACR afin de conclure l'examen ; il est important de noter que l'absence de ces derniers influence la qualité de la classification.

Un accord modéré pour la détection qualitative des nodules (53.7%) et un très bon accord pour la micro calcification (63.3%) et la macro calcification (70%) soulignent les points forts de ChatGPT+.

Présence de nodules

L'étude menée en mai 2025 par Bien et al, a rapporté une concordance globale de 88,5 % entre l'IA et les radiologues pour la détection des cancers sur les mammographies (**Bien et al., 2025**). De même, une autre étude a montré que l'IA échoue principalement à détecter les petits cancers ou les lésions de taille inférieure ou égale à 2 cm, notamment chez les patientes présentant des seins denses (**Woo et al., 2025**).

En revanche, comparés à ces résultats de la littérature, nos résultats contrastent fortement, avec un taux d'accord de 53,7 % pour la détection des nodules. Cette différence notable suggère que ChatGPT+ a manqué de nombreux nodules identifiés par le radiologue.

Micro et macro calcification

Pesapane et al en 2023, ont développé un modèle d' IA atteignant des sensibilités de 0,96–0,98 (96-98%) pour la détection IA des microcalcifications, en raison de leur densité et leur disposition en groupe, ce qui les rend bien détectables par l'IA(**Pesapane et al., 2023**).

D'autre part, l'étude menée par Bien et al en 2025, a montré qu'une IA assistée par ordinateur, a réussi à détecter 81.4% de cancers (219/269) avec un taux de détection plus élevé pour les distorsions architecturales, la masse et la calcification(**Bien et al., 2025**).

Comparée à ces données de la littérature, nos résultats montrent une performance sous-optimale de ChatGPT+, avec un taux de (63.3%) pour les microcalcifications et les macrocalcifications avec (70%) de détection, mais plutôt réaliste avec le faible échantillon qu'on a eu et cela peut être expliqué par son manque d'optimisation et de spécificité.

2-Répartition comparative des classification ACR entre ChatGPT+ et radiologue

D'après nos résultats obtenus à partir d'une série de 30 patientes, la classification des ACR totaux a montré que : pour ACR1 on a 21 patientes par le radiologue et 24 par l'IA (Chat GPT). ACR2 on a 6 patientes par le radiologue et 11 par l'IA. ACR3 on a 7 patientes par le radiologue et 4 par l'IA. ACR4 on a 8 patientes par le radiologue et 13 par l'IA. ACR5 on a 18 patientes par le radiologue et 8 par l'IA. (**Figure 6**)

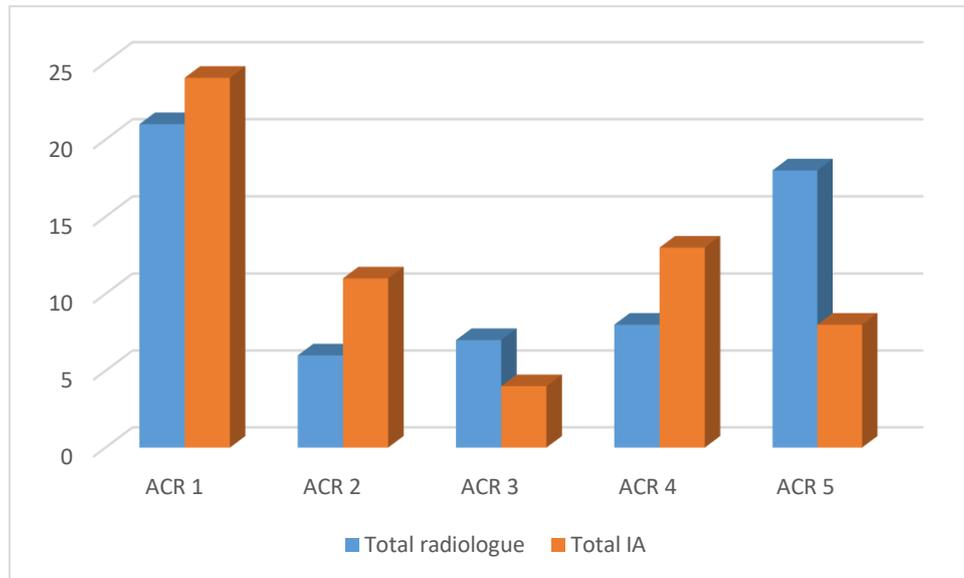


Figure 8 : Distribution des classifications ACR totaux du radiologue et de l'IA.

Badawy et al, en 2023, ont montrés que les radiologues tendent à opérer à très haute sensibilité ($\approx 81\%$) au détriment de la spécificité ($\approx 67\%$). Ce qui implique qu'ils acceptent plus de faux positifs (rappel élevé) pour éviter tout faux négatif (Badawy et al., 2023).

Comparé à l'IA, Tan et al ont montrés qu'un système IA avancé recalifie 83,1 % des fausses alertes (faux positifs) en lésions bénignes (Tan et al., 2025).

C'est pour cela que dans notre étude on note une différence majeure sur ACR 4 et 5 : l'IA utilisée classe davantage de cas comme ACR 4 (13 vs 8) et l'ACR 1 (21 vs 24), mais sous-estime l'ACR 5 (8 vs 18) contre le radiologue qui lui classe plus de cas en ACR 5, ce qui montre une plus grande prudence diagnostique, souvent recommandée en contexte clinique pour éviter de manquer un cancer.

Inversement, ChatGPT+ tend à élargir le groupe ACR 1, possiblement par son algorithme de normalité, ce qui peut minimiser le taux de faux positifs mais au risque d'un faux négatif, donc le jugement humain reste indispensables pour éviter les erreurs de classification.

3-Taux d'accord globale ChatGPT+ versus radiologue dans l'interprétation des mammographies (ACR)

D'après nos résultats obtenus pour notre série de 30 patientes, on a obtenu : 37% d'accord complet, 23% de désaccord complet et enfin 40% de désaccord unilatéral (**figure 8**)

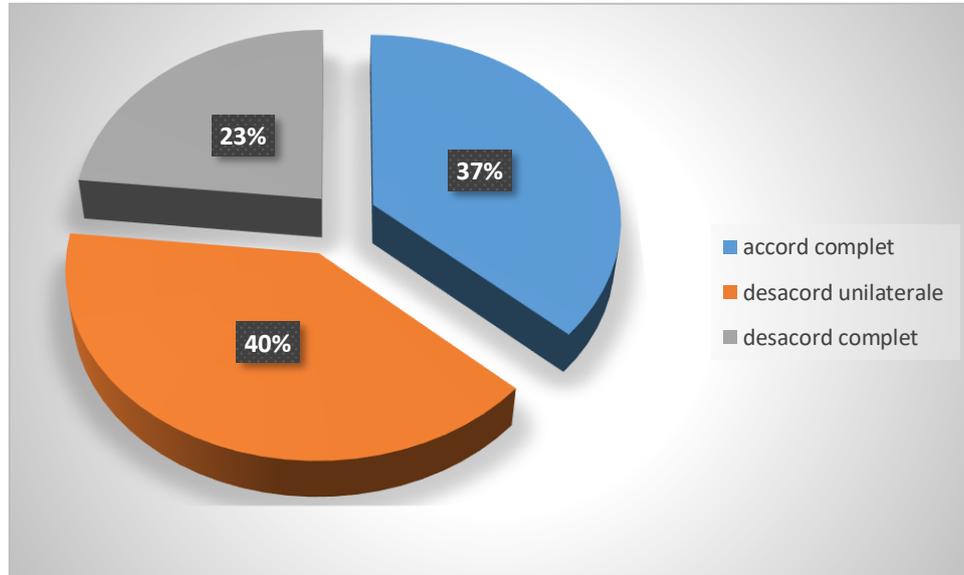


Figure 8 : Répartition des cas selon le niveau d'accord (ACR) IA-Radiologue

Une revue récente a rapporté que 94% des systèmes d'IA (34 sur 36) étudiés étaient moins précis qu'un radiologue unique et encore impossible de surpasser une analyse de 2 radiologues. Ainsi, ces systèmes d'IA ne sont pas assez performant pour remplacer la double lecture(**Freeman et al.,2021**).

Un sondage fait auprès de radiologues suggère que 75% d'entre eux préfèrent utiliser IA en 2eme lecteur plutôt qu'en première intention pour compenser la discordance possible(**Choi et al., 2023**).

Dans une étude appliquée à des échographies mammaires, un algorithme d'IA entraîné sur une large base de données a montré une excellente capacité à distinguer les cancers, permettant de réduire les taux de faux positifs des radiologues de 37,7 % et les biopsies demandées de 27,8 %, sans compromettre la sensibilité(**Shen et al., 2021**).

. Bien que cette étude porte sur l'échographie, elle illustre le potentiel de l'IA dans l'imagerie mammaire en général, y compris la mammographie, pour améliorer la précision diagnostique et réduire les interventions inutiles.

L'accord complet entre IA et radiologue n'est observé que dans 37% des cas, contre 40% de désaccord unilatéral, et 23% de désaccord bilatéral. Cela montre une importante différence dans les analyses avec 63% de divergence sur au moins un sein, ce faible taux pourrait mettre en

évidence les limites actuelles de notre IA (ChatGPT+) comme lecteur autonome de mammographie.

4-Corrélation ChatGPT+ et radiologue avec les résultats anatomopathologiques

Cette interprétation a été effectuée selon le résultat de l'examen d'anatomie pathologique qui a été considéré comme une référence tranchante entre l'IA et les radiologues.

Selon notre série de 30 patientes on a obtenue (Figure 9).

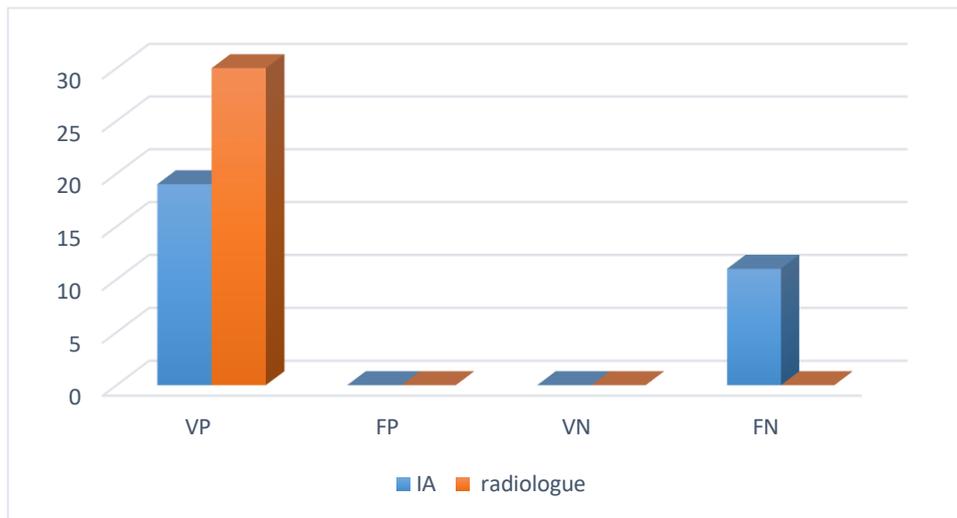


Figure 10 : Performance diagnostique IA vs radiologue

Une étude faite en Corée de sud, dans le but de réaliser une comparaison de précision de diagnostic des radiologues du sein (spécialisés) avec et sans détection assistée par ordinateur basé sur l'IA (IA-CAD), a montré sur un total de 24 543 femmes incluses dans le dépistage, que les radiologues sans IA ont détecté 123 cas, tandis que 140 cas de cancer du sein confirmé à l'aide de système d'IA utilisé, sans augmenter le taux de faux positifs. Donc la collaboration de l'IA et l'humain améliore significativement la détection de cancer du sein par 13.8% plus que celles des radiologues seuls (*Chang et al., 2025*).

Dans notre étude, Les radiologues ont détecté tous les cancers confirmés par l'examen d'anatomie pathologique (30 sur 30), tandis que l'IA n'en a détecté que 19, avec 11 faux négatifs.

cette différence majeure traduit une perte de sensibilité préoccupante chez l'IA, surtout dans des contextes de dépistage à fort enjeu.

5-Les résultats de l'examen d'anatomie pathologique :

➤ **Répartition des types histologiques de cancer du sein :**

L'analyse anatomopathologique des 30 cas inclus dans notre étude a confirmé la présence d'un cancer du sein dans 100 % des cas dont (93%) de carcinome infiltrant non spécifique et (7%) de carcinome lobulaire infiltré. (Figure 10).

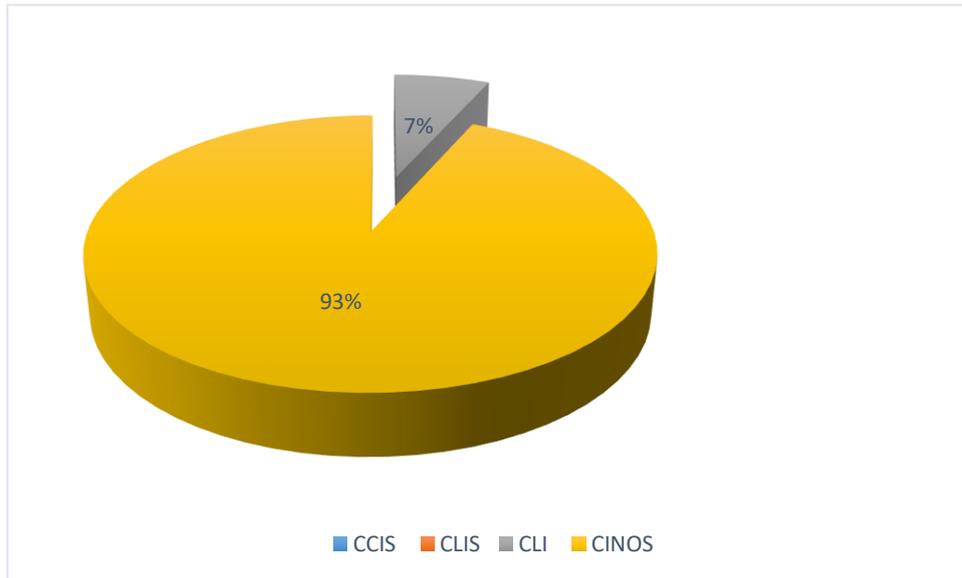


Figure 10 : répartition des types histologiques de cancer du sein

Les données épidémiologiques générales rapportent une prédominance nette du carcinome infiltrant de type non spécifique (NOS), qui constitue environ 70 à 80 % des cancers du sein invasif(Conti *et al.*, 2024).

Cette répartition est conforme à nos résultats, dont 93 % étaient des carcinomes canaux infiltrants de type non spécifique (NOS), et 7 % des carcinomes lobulaires infiltrants.

➤ **La répartition des sous types moléculaires :**

La répartition des sous types moléculaires : Luminal A (10%), Luminal B (44%), Luminal HER2 (20%), HER+ (3%), triple négatif (23%) (Figure11).

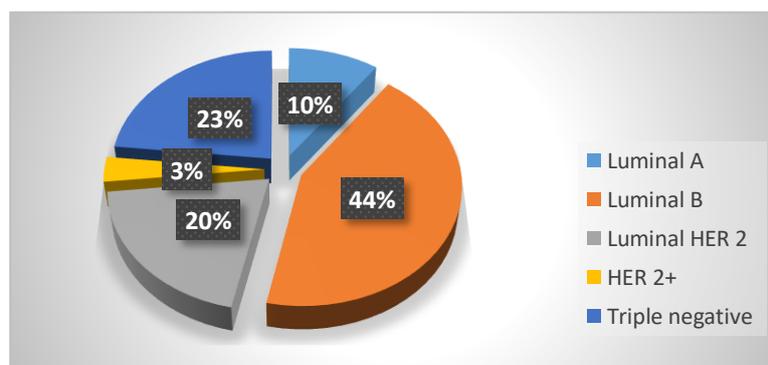


Figure 12 : La répartition des sous types moléculaires

L'étude du profil moléculaire a révélé une prédominance des cancers Luminal B (44 %), suivis par les triples négatifs (23 %), les Luminal HER2+ (20 %), les Luminal A (10 %), et enfin les HER2 enrichis (HER2+) à 3 %. Ces proportions, bien que susceptibles d'être influencées par la taille modeste de notre échantillon, reflètent la complexité et la variabilité interindividuelle des sous-types moléculaires du cancer du sein.

➤ **La répartition du grade SBR :**

La répartition du grade SBR : grade I (3%), grade II (70%) et enfin grade III à 27% (Figure 12).

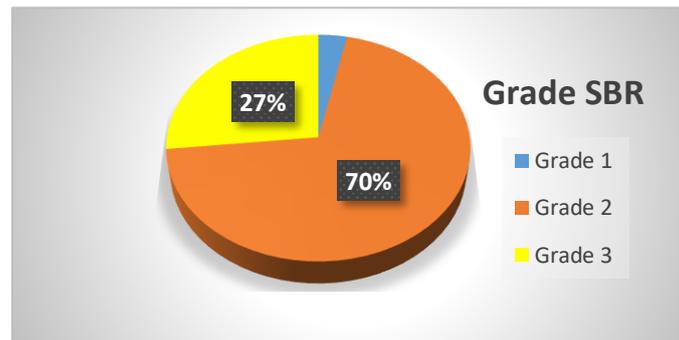


Figure 13 : La répartition du grade SBR

La répartition des grades SBR dans notre série montre une prédominance du grade II (70 %), suivi du grade III (27 %) et enfin du grade I (3 %).

Dans le cadre de notre étude, ces résultats anatomopathologiques ne sont pas un objectif en soi, mais ils représentent la référence ultime permettant de trancher l'exactitude des interprétations mammographiques, qu'elles soient faites par l'IA ou par le radiologue.

CONCLUSION

L'interprétation des mammographies joue un rôle essentiel dans le dépistage et le diagnostic précoce du cancer du sein. Cependant, l'évaluation de la performance d'une intelligence artificielle, en l'occurrence ChatGPT+, comparée à celle d'un radiologue humain, avec validation anatomo-pathologique comme référence, était très pertinente pour notre étude afin d'explorer le potentiel de l'IA dans la lecture des images mammographiques et de questionner sa fiabilité face à l'expertise médicale.

Les résultats de cette évaluation montrent que ChatGPT+ attribue plus fréquemment les classifications ACR 1 et 4, tandis que le radiologue identifie davantage de cas classés ACR 5. Les taux d'accord entre l'IA et le radiologue varient selon les critères, allant de 36,7 % pour la classification ACR à 70 % pour les macrocalcifications. La confrontation aux résultats anatomo-pathologiques a montré un accord total du radiologue (30 vrais positifs sur 30 cas), tandis que ChatGPT+ n'en a détecté que 19, dont 93 % étaient des carcinomes canauxaires infiltrants.

Ces constats confirment qu'à ce jour, une IA comme ChatGPT+, utilisée seule, ne peut remplacer l'expertise du radiologue, mais reste toutefois un outil d'assistance précieux en tant que second lecteur et soutien intelligent, au service de l'expertise humaine et des avancées de la biologie moléculaire, avec une approche plus multidisciplinaire qu'autonome. En effet, la confirmation anatomo-pathologique et l'apport de la biologie moléculaire restent indispensables pour établir un diagnostic complet, affiner le pronostic et adapter la prise en charge thérapeutique à chaque patient.

Recommandations

- Utiliser l'IA uniquement comme outil d'aide à la réflexion et en complément avec le jugement humain professionnel notamment pour les cas où les sont denses.
- Renforcer les liens interdisciplinaires entre médecins, biologistes et spécialistes IA pour exploiter au mieux l'IA.
- inclure des données biologiques et histologiques dans les modèles IA pour les rendre plus pertinents cliniquement et peut être plus performant.
- Etant donné que les résultats de cette étude reposent uniquement sur l'usage de ChatGPT+, un modèle de langage général, et non sur une IA spécialisée en imagerie médicale, une IA plus spécialisée dans le traitement de ce dernier sera meilleure.
- les images transmises à l'IA doivent être sous une extension Dicom, issus directement du mammographe, contrairement à notre étude où on a scanner les clichés sur négatoscope.

Il serait souhaitable de pouvoir :

- Envisager dans de futures études l'utilisation d'IA plus spécialisées en imagerie médicale.
- Étendre l'échantillon à un plus grand nombre de patient pour affiner les tests statistiques.
- Tester plusieurs IA (Google health ,lunut,Deepmind) pour comparer leurs performances.
- Explorer le rôle du biologiste moléculaire dans le chaînage des résultats radiologiques, IA et Anatomie pathologique.

Références

BIBLIOGRAPHIQUES

- Abdullakutty, F., Akbari, Y., Al-Maadeed, S., Bouridane, A., Talaat, I. M., & Hamoudi, R. (2024). Histopathology in focus: a review on explainable multi-modal approaches for breast cancer diagnosis. *Frontiers in Medicine*, *11*, 1450103. <https://doi.org/10.3389/FMED.2024.1450103/PDF>
- Abeelh, E. A., & Abuabeileh, Z. (2025). *Screening Mammography and Artificial Intelligence: A Comprehensive Systematic Review*. <https://doi.org/10.7759/cureus.79353>
- Akram, M., Iqbal, M., Daniyal, M., & Khan, A. U. (2017). Awareness and current knowledge of breast cancer. In *Biological Research* (Vol. 50, Issue 1). BioMed Central Ltd. <https://doi.org/10.1186/s40659-017-0140-9>
- Badawy, E., ElNaggar, R., Soliman, S. A. M., & Elmesidy, D. S. (2023a). Performance of AI-aided mammography in breast cancer diagnosis: Does breast density matter? *Egyptian Journal of Radiology and Nuclear Medicine*, *54*(1), 1–9. <https://doi.org/10.1186/S43055-023-01129-3/FIGURES/4>
- Badawy, E., ElNaggar, R., Soliman, S. A. M., & Elmesidy, D. S. (2023b). Performance of AI-aided mammography in breast cancer diagnosis: Does breast density matter? *Egyptian Journal of Radiology and Nuclear Medicine*, *54*(1), 1–9. <https://doi.org/10.1186/S43055-023-01129-3/FIGURES/4>
- Bahadir, C. D., Omar, M., Rosenthal, J., Marchionni, L., Liechty, B., Pisapia, D. J., & Sabuncu, M. R. (2024). Artificial intelligence applications in histopathology. *Nature Reviews Electrical Engineering* *2024* 1:2, *1*(2), 93–108. <https://doi.org/10.1038/s44287-023-00012-7>
- Barazi, H., & Gunduru, M. (2023). Mammography BI RADS Grading. *StatPearls*. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/sites/books/NBK539816/>
- Barba, T., Robert, M., & Hot, A. (2025a). IA en santé : guide pour l'interniste averti. *La Revue de Médecine Interne*. <https://doi.org/10.1016/J.REVMED.2025.02.002>
- Barba, T., Robert, M., & Hot, A. (2025b). IA en santé : guide pour l'interniste averti. *La Revue de Médecine Interne*. <https://doi.org/10.1016/J.REVMED.2025.02.002>
- Bien, S., Park, G. E., Kang, B. J., & Kim, S. H. (2025). Exploring the Efficacy of Artificial Intelligence-Based Computer-Aided Detection for Breast Cancer Detection on Digital Mammograms. *Journal of the Korean Society of Radiology*, *86*(3), 391–406. <https://doi.org/10.3348/JKSR.2024.0061>,
- Biswas, S. K. ;, Banerjee, S. ;, Baker, G. W. ;, Kuo, C., Kumar Biswas, S., Banerjee, S., Baker, G. W., Kuo, C.-Y., & Chowdhury, I. (2022). The Mammary Gland: Basic Structure and Molecular Signaling during Development. *International Journal of Molecular Sciences* *2022*, Vol. 23, Page 3883, *23*(7), 3883. <https://doi.org/10.3390/IJMS23073883>
- Bleret, V. C. H. U. de L.-C. >> S. de sénologie, Cusumano, P. S. de S. C. L. B., Danthine, D. C. H. U. de L.-C. >> S. médical de radiodiagnostic, Desreux, J. C. H. U. de L.-C. >> S. de sénologie, HOUET, E. C. H. U. de L.-C. >> S. médical de médecine nucléaire et imagerie onco, REMACLE, N. C. H. U. de L.-C. >> S. médical de radiodiagnostic, & Lifrange, E. C. H. U. de L.-C. >> S. de sénologie. (2021). Cancer du sein : évaluation individualisée du risque en vue d'un dépistage sur mesure. *Revue Médicale de Liège*, *76*(5–6), 502–506. <https://orbi.uliege.be/handle/2268/301875>
- Chang, Y.-W., Ryu, J. K., An, J. K., Choi, N., Park, Y. M., Ko, K. H., & Han, K. (2025). Artificial intelligence for breast cancer screening in mammography (AI-STREAM): preliminary analysis of a prospective multicenter cohort study. *Nature Communications*, *16*(1), 2248. <https://doi.org/10.1038/S41467-025-57469-3>
- Choi, W. J., An, J. K., Woo, J. J., & Kwak, H. Y. (2023). Comparison of Diagnostic Performance in Mammography Assessment: Radiologist with Reference to Clinical Information Versus Standalone Artificial Intelligence Detection. *Diagnostics*, *13*(1). <https://doi.org/10.3390/DIAGNOSTICS13010117>
- Chokri, F., & Farida, M. H. (2016). Mammographic mass classification according to Bi-RADS lexicon. *IET Computer Vision*, *11*(3), 189–198. <https://doi.org/10.1049/IET-CVI.2016.0244>
- Conti, M., Morciano, F., Amodeo, S., Gori, E., Romanucci, G., Belli, P., Tommasini, O., Fornasa, F., & Rella, R. (2024). Special Types of Breast Cancer: Clinical Behavior and Radiological

- Appearance. *Journal of Imaging* 2024, Vol. 10, Page 182, 10(8), 182.
<https://doi.org/10.3390/JIMAGING10080182>
- Dance, D. R., Young, K. C., & van Engen, R. (2009). Estimation of patient dose in digital mammography. *Physics in Medicine and Biology*, 54(11), R1–R26.
<https://doi.org/10.1088/0031-9155/54/11/R01>
- De Bazelaire, C., Albiter, M., & de Kerviler, É. (2017). Impact de l'imagerie sur le classement TNM : le M. *Journal de Radiologie Diagnostique et Interventionnelle*, 98(1–2), 50–60.
<https://doi.org/10.1016/J.JRADIO.2017.01.009>
- Dehbozorgi, P., Ryabchykov, O., & Bocklitz, T. W. (2025). A comparative study of statistical, radiomics, and deep learning feature extraction techniques for medical image classification in optical and radiological modalities. *Computers in Biology and Medicine*, 187, 109768.
<https://doi.org/10.1016/J.COMPBIOMED.2025.109768>
- Dillenseger, J. P. et al. (2024). (2024). *Guide des technologies de l'imagerie médicale et de la radiothérapie: Quand ... - Jean-Philippe Dillenseger, Elisabeth Moerschel, Valérie Schmit, Claudine Zorn - Google Livres*.
https://books.google.fr/books?hl=fr&lr=&id=uEwPEQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=information+en+imagerie+m%C3%A9dicale&ots=f7MbI5InfB&sig=CY_n9ioK9B0qNtw21b3CS3PQebI#v=onepage&q&f=true
- Dubois, P. (2009). A history of scintigraphy. In *IRBM* (Vol. 30, Issue 2, pp. 40–46). Elsevier Masson SAS. <https://doi.org/10.1016/j.irbm.2008.12.002>
- Elston, C. W. (1984). THE ASSESSMENT OF HISTOLOGICAL DIFFERENTIATION IN BREAST CANCER. *Australian and New Zealand Journal of Surgery*, 54(1), 11–15.
<https://doi.org/10.1111/J.1445-2197.1984.TB06677.X>
- Engmann, N. J., Scott, C., Jensen, M. R., Winham, S. J., Ma, L., Brandt, K. R., Mahmoudzadeh, A., Whaley, D. H., Hruska, C. B., Wu, F. F., Norman, A. D., Hiatt, R. A., Heine, J., Shepherd, J., Shane Pankratz, V., Miglioretti, D. L., Kerlikowske, K., & Vachon, C. M. (2019). Longitudinal Changes in Volumetric Breast Density in Healthy Women across the Menopausal Transition. *Cancer Epidemiology, Biomarkers & Prevention : A Publication of the American Association for Cancer Research, Cosponsored by the American Society of Preventive Oncology*, 28(8), 1324–1331. <https://doi.org/10.1158/1055-9965.EPI-18-1375>
- François, G., & Auberon, M. (2024). Brève histoire de l'intelligence artificielle. *Administration & Éducation*, 183(3), 119–124. <https://doi.org/10.3917/ADMED.183.0119>
- Freeman, K., Geppert, J., Stinton, C., Todkill, D., Johnson, S., Clarke, A., & Taylor-Phillips, S. (2021). Use of artificial intelligence for image analysis in breast cancer screening programmes: Systematic review of test accuracy. *The BMJ*, 374. <https://doi.org/10.1136/BMJ.N1872>
- Hoque, R., Das, S., Hoque, M., & Haque, E. (2024). Breast Cancer Classification using XGBoost. <https://Wjarr.Com/Sites/Default/Files/WJARR-2024-0625.Pdf>, 21(2), 1985–1994.
<https://doi.org/10.30574/WJARR.2024.21.2.0625>
- Jiang, B., Bao, L., He, S., Chen, X., Jin, Z., & Ye, Y. (2024). Deep learning applications in breast cancer histopathological imaging: diagnosis, treatment, and prognosis. *Breast Cancer Research*, 26(1), 1–17. <https://doi.org/10.1186/S13058-024-01895-6/TABLES/1>
- Kaul, V., Enslin, S., & Gross, S. A. (2020). History of artificial intelligence in medicine. *Gastrointestinal Endoscopy*, 92(4), 807–812. <https://doi.org/10.1016/J.GIE.2020.06.040>
- Kim, J. S., Lee, J. H., Yeon, Y., An, D. Y., Kim, S. J., Noh, M. G., & Lee, S. (2025). Predicting Nottingham grade in breast cancer digital pathology using a foundation model. *Breast Cancer Research*, 27(1), 1–14. <https://doi.org/10.1186/S13058-025-02019-4/FIGURES/7>
- Kuntz, L., Le Fèvre, C., Hild, C., Keller, A., Gharbi, M., Mathelin, C., Pivot, X., Noël, G., & Antoni, D. (2021). Survie globale et sans récurrence locale en cas de radiothérapie du lit tumoral des carcinomes canaux in situ du sein : revue de la littérature. *Gynécologie Obstétrique Fertilité & Sénologie*, 49(4), 255–265. <https://doi.org/10.1016/J.GOFS.2020.12.010>
- LAMBIEL S et DULGUEROV P. (2017). *REVUE MÉDICALE SUISSE*.
- Majdoubi, A., Serji, B., & Harroudi, T. El. (2020). Angiosarcome mammaire radio-induit: à propos d'un cas. *The Pan African Medical Journal*, 36, 29.
<https://doi.org/10.11604/PAMJ.2020.36.29.21599>

- Montazeri, M., Galavi, Z., & Ahmadian, L. (2024). What are the applications of ChatGPT in healthcare: Gain or loss? *Health Science Reports*, 7(2), e1878. <https://doi.org/10.1002/HSR2.1878>
- Morone, G., De Angelis, L., Martino Cinnera, A., Carbonetti, R., Bisirri, A., Ciancarelli, I., Iosa, M., Negrini, S., Kiekens, C., & Negrini, F. (2025). Artificial intelligence in clinical medicine: a state-of-the-art overview of systematic reviews with methodological recommendations for improved reporting. *Frontiers in Digital Health*, 7, 1550731. <https://doi.org/10.3389/FDGT.2025.1550731/BIBTEX>
- Nascimento, R. G. do, & Otoni, K. M. (2020). Histological and molecular classification of breast cancer: what do we know? *Mastology*, 30. <https://doi.org/10.29289/25945394202020200024>
- Nguyen, D., Rao, A., Mazumder, A., & Succi, M. D. (2025). Exploring the accuracy of embedded ChatGPT-4 and ChatGPT-4o in generating BI-RADS scores: a pilot study in radiologic clinical support. *Clinical Imaging*, 117. <https://doi.org/10.1016/j.clinimag.2024.110335>
- OMS. (2022). *Evaluation des capacités de lutte contre le cancer du sein dans la Région africaine de l'OMS | OMS | Bureau régional pour l'Afrique*. <https://www.afro.who.int/fr/publications/evaluation-des-capacites-de-lutte-contre-le-cancer-du-sein-dans-la-region-africaine-de>
- OpenAI. (2025). *GPT-4 | OpenAI*. <https://openai.com/index/gpt-4-research/>
- Organisation mondiale de la sante 2024 . (n.d.). Retrieved February 25, 2025, from <https://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/breast-cancer>
- Pang, W. W., & Hartmann, P. E. (2007). Initiation of human lactation: Secretory differentiation and secretory activation. *Journal of Mammary Gland Biology and Neoplasia*, 12(4), 211–221. <https://doi.org/10.1007/S10911-007-9054-4/METRICS>
- Pesapane, F., Trentin, C., Ferrari, F., Signorelli, G., Tantrige, P., Montesano, M., Cicala, C., Virgoli, R., D'Acquisto, S., Nicosia, L., Origgi, D., & Cassano, E. (2023). Deep learning performance for detection and classification of microcalcifications on mammography. *European Radiology Experimental*, 7(1). <https://doi.org/10.1186/S41747-023-00384-3>,
- Rivard, A. B., Galarza-Paez, L., & Peterson, D. C. (2023). Anatomy, Thorax, Breast. *StatPearls*. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK519575/>
- Rodriguez-Ruiz, A., Lång, K., Gubern-Mérida, A., Broeders, M., Gennaro, G., Clauser, P., ... & Mann, R. M. (2019). Stand-alone artificial intelligence for breast cancer detection in mammography: comparison with 101 radiologists. *JAMA Oncology*, 5(5), 654–662. <https://doi.org/10.1001/jamaoncol.2019>
- Saha, T., & Lukong, K. E. (2022). Breast Cancer Stem-Like Cells in Drug Resistance: A Review of Mechanisms and Novel Therapeutic Strategies to Overcome Drug Resistance. *Frontiers in Oncology*, 12, 856974. <https://doi.org/10.3389/FONC.2022.856974/XML/NLM>
- Sanli, D. E. T., Sanli, A. N., Yildirim, D., & Dogan, I. (2025). Can ChatGPT detect breast cancer on mammography? *Journal of Medical Screening*. <https://doi.org/10.1177/09691413251334587>
- Sechopoulos, I. (2013). A review of breast tomosynthesis. *Part I. The image acquisition process. Medical Physics*, 40(1), 014301. <https://doi.org/10.1118/1.4767940>
- Shah, T. A., & Guraya, S. S. (2016). Breast cancer screening programs: Review of merits, demerits, and recent recommendations practiced across the world. *Journal of Microscopy and Ultrastructure*, 5(2), 59. <https://doi.org/10.1016/J.JMAU.2016.10.002>
- Sha, R., Kong, X. M., Li, X. Y., & Wang, Y. B. (2024). Global burden of breast cancer and attributable risk factors in 204 countries and territories, from 1990 to 2021: results from the Global Burden of Disease Study 2021. *Biomarker Research*, 12(1), 1–12. <https://doi.org/10.1186/S40364-024-00631-8/FIGURES/6>
- Shen, Y., Shamout, F. E., Oliver, J. R., Witowski, J., Kannan, K., Park, J., Wu, N., Huddleston, C., Wolfson, S., Millet, A., Ehrenpreis, R., Awal, D., Tyma, C., Samreen, N., Gao, Y., Chhor, C., Gandhi, S., Lee, C., Kumari-Subaiya, S., ... Geras, K. J. (2021). Artificial intelligence system reduces false-positive findings in the interpretation of breast ultrasound exams. *Nature Communications*, 12(1), 5645. <https://doi.org/10.1038/S41467-021-26023-2>

- Spuur, K., Currie, G., Al-Mousa, D., & Pape, R. (2025). Suitability of ChatGPT as a Source of Patient Information for Screening Mammography. *Health Promotion Practice, 26*(4), 746–762. <https://doi.org/10.1177/15248399241285060>,
- Tan, H., Wu, Q., Wu, Y., Zheng, B., Wang, B., Chen, Y., Du, L., Zhou, J., Fu, F., Guo, H., Fu, C., Ma, L., Dong, P., Xue, Z., Shen, D., & Wang, M. (2025a). Mammography-based artificial intelligence for breast cancer detection, diagnosis, and BI-RADS categorization using multi-view and multi-level convolutional neural networks. *Insights into Imaging, 16*(1), 1–12. <https://doi.org/10.1186/S13244-025-01983-X/FIGURES/6>
- Tan, H., Wu, Q., Wu, Y., Zheng, B., Wang, B., Chen, Y., Du, L., Zhou, J., Fu, F., Guo, H., Fu, C., Ma, L., Dong, P., Xue, Z., Shen, D., & Wang, M. (2025b). Mammography-based artificial intelligence for breast cancer detection, diagnosis, and BI-RADS categorization using multi-view and multi-level convolutional neural networks. *Insights into Imaging, 16*(1). <https://doi.org/10.1186/S13244-025-01983-X>,
- Vonèche N, Martine Berlière, & Mieke Van Bockstal. (2024, July). *La perception du risque du carcinome canalaire in situ et ses conséquences cliniques et sociétales* | Louvain Médical. <https://www.louvainmedical.be/fr/article/la-perception-du-risque-du-carcinome-canalaire-situ-et-ses-consequences-cliniques-et>
- Weigel, S., Heindel, W., Heidrich, J., Hense, H. W., & Heidinger, O. (2017). Digital mammography screening: sensitivity of the programme dependent on breast density. *European Radiology, 27*(7), 2744–2751. <https://doi.org/10.1007/S00330-016-4636-4/METRICS>
- Yoon, J. H., & Kim, E. K. (2021). Deep learning-based artificial intelligence for mammography. *Korean Journal of Radiology, 22*(8), 1225–1239. <https://doi.org/10.3348/KJR.2020.1210>

Annexes

ANNEXE 1:

Fiche technique

Informations administratives :

- Numéro d'identification du patient :
- Date de l'examen :
- Age :
- Type de l'examen :
 - dépistage diagnostic
 - Autre :
 -
- Présence des symptômes cliniques : oui non
- Si oui :
 -
 -

Tableau des diagnostics :

Critères d'analyses (varies selon les dossiers)	Radiologues			IA
	Mammographie date :	Échographie date :	TDM date :	
Densité mammaire				
Nodules				
Taille nodules				
Contour des nodules				
Spéculation				
Microcalcification				
Macrocalcification				
Adénopathies axillaires				
Classification ACR				
Recommandation				

Comparaison des décisions : IA/radiologue

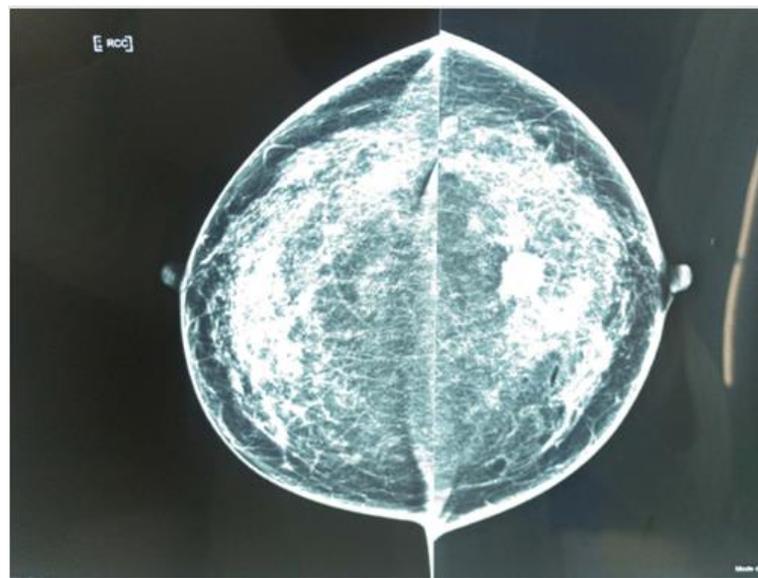
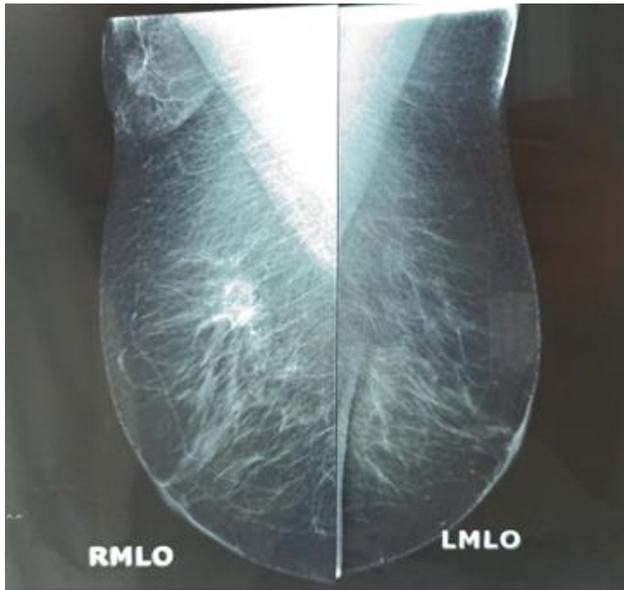
- Accord IA / radiologue : oui non
- Types désaccord :
.....
.....
.....
.....
.....
- Décision final de l'équipe ou bien de l'examen histopath :

Résultats histologique :

- Type histologique :
 - CCIS
 - CLIS
 - CCI
 - CLI
 - Autre :
.....
.....
- Grade
tumorale :.....
.....
- Stade
TNM :.....
.....
- Statut des récepteurs hormonaux :
 - RE :**
 - RP :**
 - HER2 :**
 - Ki-67 :**
- Classification moléculaire :
 - Luminal A
 - Luminal b
 - HER2+
 - Triple negative

Les resultants de l'examen d'anatomopathologie sont :

- en accord avec l'IA
- en accord avec LE RADIOLOGUE



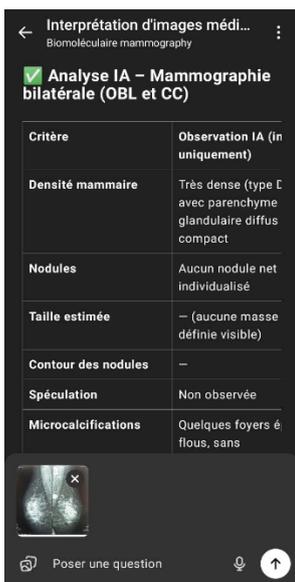
Clichée mammographie scannée



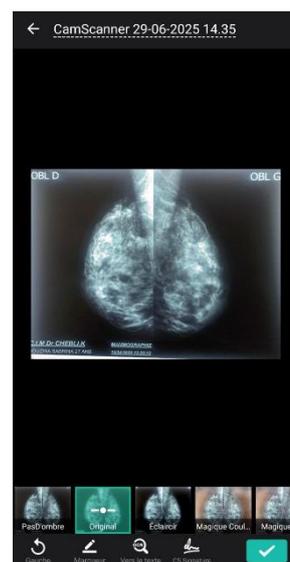
Chatgpt + (IA utilisée)



Camscanner (Outil pour scanner les clichée)



Interface d'utilisation Chatgpt +



Interface d'utilisation Camscanner

**ANNEXE 2:
Appareillage :**



Automate de circulation



Station d'inclusion



Microtome
Bain marie



Etuve



différents colorants



Prélèvements mammaires : biopsies, pièces opératoires et tumorectomies



Peice operatoire sein avec et sans coloro ration d'orientation



Tumorectomie

biopsies

Pièce opératoire



(Mastectomie)

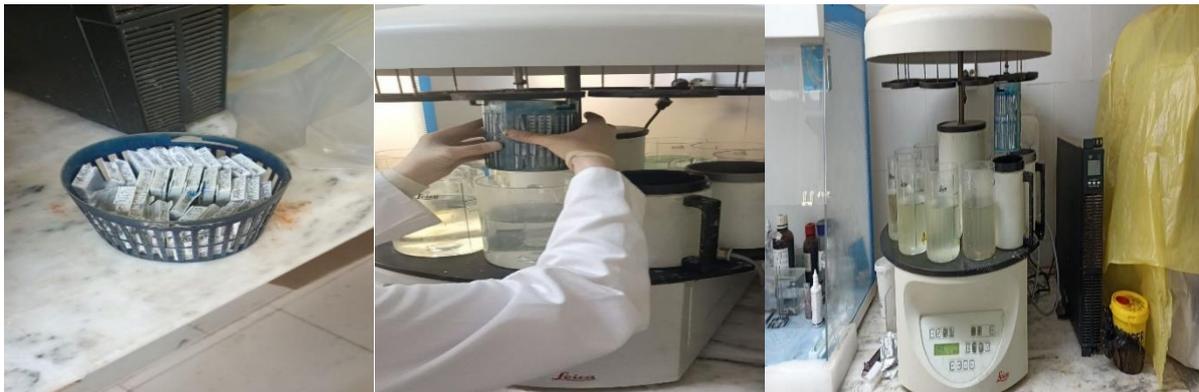
Les étapes de l'examen histopathologie :



Découpe et mise en cassettes des prélèvements (la tumorectomie)



La fixation au formol à 10 %



La mise en circulation



L'étape d'inclusion en parraine avec la mise en place dans la plaque froide



La découpe au microtome et l'étalement des coupes sur le bain d'eau, puis sur la lame.

Materiel IHC



Différents anticorps



Micro pipette et petit bac d'incubation



Feutre hydrophobe



Anticorps spécifique (Détection mammaire)



Négatoscope

1. Mode opératoire de l'automate de circulation :

Station	Réactifs	Temps
1	Formol à 10%	1h
2	Alcool 70%	2h
3	Alcool 80%	2h
4	Alcool 90%	2h
5	Alcool 100%	2h
6	Alcool 100%	2h
7	Alcool 100%	2h
8	Xylène	2h
9	Xylène	2h
10	Xylène	2h
11	Paraffine	2h
12	Paraffine	2h

2. Mode opératoire de l'automate de coloration standard (hémato-éosine) :

Tank	Réactif	Étape
1	Eau	Step 07 / Step 09 / Step 11 / Step 13
2	Eau	
3	Ammoniaque	Step 10
4	Hématoxyline	Step 08
5	Éosine	Step 12
6	Xylène (1er support)	Step 01
7	Xylène (2em support)	
8	Xylène	Step 02
9	Alcool 100°	Step 03
10	Alcool 95°	Step 04
11	Alcool 75°	Step 05
12	Alcool 70°	Step 06
13	Alcool 75°	Step 14

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

Université BLIDA 1

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département de Biologie



Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme de Master

Domaine : Sciences de la nature et de la vie

Filière : Sciences biologiques

Option : Biologie Moléculaire et Cellulaire

Thème

Évaluation comparative des performances de l'intelligence artificielle et des radiologues
dans l'interprétation des mammographies dans le cadre du cancer du sein, avec
confirmation anatomopathologique

Présenté par :

Kebbal Malek et Bekhiti bilal

Soutenu le 08/07/2025

Devant le jury composé de :

M^{me} BELKHITHER S.

MCB

USDB1

Présidente

M^{me} ABDUL HUSSEIN A.

MCA

USDB1

Examinatrice

M^{me} CAID N.

Professeur

USDB1

Promotrice

M^{me} GUESSAIBIA N.

MCA

UB1

Co-promotrice

2024-2025

M^{me} Abdel Hussein A.
Abdel Hussein A.

Visa de correction
Avis favorable
le 15/07/2025

