

ACADÉMIE D'ORLÉANS-TOURS

UNIVERSITÉ DE TOURS

FACULTE DE PHARMACIE « Philippe-Maupas »

Année 2025/2026

N° 114

THÈSE D'EXERCICE

pour le

DIPLÔME D'ÉTAT DE DOCTEUR EN PHARMACIE

Par Louis MONDAMERT

PRÉSENTÉE ET SOUTENUE PUBLIQUEMENT LE 12 décembre 2025

L'IMPACT DE L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE DANS LA DETECTION PRECOCE DU
MELANOME CUTANE

JURY

Présidente :

- Isabelle Dimier-Poisson, Professeur des Universités et co-fondatrice de LovalTech – Tours

Membres :

- Dr CHRISTOPHE Mathilde – pharmacienne, chargée d'affaires réglementaires chez Laboratoires Bouchara-Recordati à Paris
- Dr OUARAB Soufiane – pharmacien, pharmacien titulaire d'officine à Saint Jean de Braye
- Mr BOULE Bryan – CTO et co fondateur de Huvy à Royan

ANNEE : 2025 - 2026

Directeur : Pr Denys BRAND

Directeur Adjoint : M. Matthieu JUSTE

Assesseurs : M. Gildas PRIE, Mme Amélie FOUCAULT, Mme Emilie ALLARD-VANNIER, M. Bruno GIRAUDEAU, Mme Claire POUPLARD, Mme Audrey OUDIN, Mme GERMON Stéphanie

ENSEIGNANTS

18 PROFESSEURS D'UNIVERSITÉ

ALLARD-VANNIER	Emilie	PHARMACIE GALENIQUE
ALLOUCHI	Hassan	CHIMIE PHYSIQUE
BOUDESOCQUE-DELAYE	Leslie	PHARMACOGNOSIE
BRAND	Denys	MICROBIOLOGIE
BRAIBANT	Martine	MICROBIOLOGIE
CHEVALIER	Stéphane	BIOCHIMIE GENERALE & BIOTHERAPIE
CHOURPA	Igor	CHIMIE ANALYTIQUE
CLASTRE	Marc	BIOLOGIE CELLULAIRE & BIOCHIMIE VEGETALE
DENEVAULT	Caroline	CHIMIE THERAPEUTIQUE
DIMIER-POISSON	Isabelle	PARASITOLOGIE & MYCOLOGIE MEDICALES, IMMUNITE ANTI-
DUMAS	Jean-François	BIOCHIMIE GENERALE ET BIOTHERAPIE
ENGUEHARD-GUEIFFIER	Cécile	CHIMIE THERAPEUTIQUE
MAHEO	Karine	PHYSIOLOGIE
MAUPOIL-DAVID	Veronique	PHARMACOLOGIE
MUNNIER	Émilie	PHARMACIE GALENIQUE
TAUBER	Clovis	BIOPHYSIQUE & BIOINFORMATIQUE
VELGE-ROUSSEL	Florence	IMMUNOLOGIE PARASITAIRE
VIAUD-MASSUARD	Marie-Claude	CHIMIE ORGANIQUE

6 PROFESSEURS D'UNIVERSITÉ ET PRATICIENS HOSPITALIERS

ANTIER	Daniel	PHARMACIE CLINIQUE
ARLICOT	Nicolas	BIOPHYSIQUE & BIOINFORMATIQUE
EMOND	Patrick	BIOPHYSIQUE & BIOINFORMATIQUE
GIRAUDEAU	Bruno	SANTÉ PUBLIQUE, BIOSTATISTIQUE & ÉPIDÉMIOLOGIE
LANOTTE	Philippe	MICROBIOLOGIE
POUPLARD	Claire	HEMATOLOGIE

2 PROFESSEURS ÉMERITES

BARIN	Francis	MICROBIOLOGIE
THIBAUT	Gilles	IMMUNOLOGIE

31 MAITRES DE CONFÉRENCES

AUBREY	Nicolas	BIOCHIMIE GENERALE & BIOTHERAPIE
BESSON	Pierre	PHYSIOLOGIE
BIRER-WILLIAMS	Caroline	BIOLOGIE CELLULAIRE & BIOCHIMIE VEGETALE
BONNIER (disponibilité)	Franck	CHIMIE ANALYTIQUE
BORDY	Romain	PHARMACOLOGIE & TOXICOLOGIE
BREDELOUX	Pierre	PHARMACOLOGIE
DAVID	Stéphanie	PHARMACIE GALENIQUE
DEBIERRE-GROCKIEGO	Françoise	PARASITOLOGIE & MYCOLOGIE MEDICALES, IMMUNITE ANTI-
DELAYE	Pierre-Olivier	CHIMIE THERAPEUTIQUE
DOUZIECH-EYROLLES	Laurence	AFFAIRE REGLEMENTAIRE ET MANAGEMENT DE LA QUALITE

GERMON	Stéphanie	PARASITOLOGIE & MYCOLOGIE MEDICALES, IMMUNITE ANTI-
GLEVAREC	Gaëlle	BIOLOGIE CELLULAIRE & BIOCHIMIE VEGETALE
HERVE-AUBERT	Katel	CHIMIE ANALYTIQUE
JUSTE	Matthieu	PARASITOLOGIE & MYCOLOGIE MEDICALES, IMMUNITE ANTI-
LAJOIE	Laurie	IMMUNOLOGIE
LANNOY	Damien	GALENIQUE
LANOUE	Arnaud	BIOLOGIE CELLULAIRE & BIOCHIMIE VEGETALE
MARC	Jillian	BIOMOLECULES ET BIOTECHNOLOGIES VEGETALES
MAVEL	Sylvie	CHIMIE THERAPEUTIQUE
LOUDIN	Audrey	BIOLOGIE CELLULAIRE & BIOCHIMIE VEGETALE
POUPET	Cyril	BIOLOGIE CELLULAIRE & BIOCHIMIE VEGETALE
PASQUALIN	Côme	PHARMACOLOGIE
PRIE	Gildas	CHIMIE ORGANIQUE
SAHLI	Ramla	PHARMACOGNOSIE
SIEROCKI	Pierre	CHIMIE ORGANIQUE
SOUCE	Martin	CHIMIE ANALYTIQUE
VERCOUILLIE	Johnny	BIOPHYSIQUE & BIOINFORMATIQUE
VERGER	Alexis	PHARMACIE GALENIQUE
VERGOTE	Jackie	AFFAIRE REGLEMENTAIRE ET MANAGEMENT DE LA QUALITE
VIERRON	Emilie	SANTÉ PUBLIQUE, BIOSTATISTIQUE & ÉPIDÉMIOLOGIE
ZHANG	Bei-Li	PHARMACOLOGIE

1 MAST

CAMUS GABRIEL	Mathilde	Filière Officine
---------------	----------	------------------

1 EAST

CHOTTIN	Emilie	Pharmacologie
SENECHAL	Olivier	Pharmacologie

5 MAITRES DE CONFÉRENCES ET PRATICIENS HOSPITALIERS

FOUCAULT-FRUCHARD	Laura	PHARMACIE CLINIQUE
FOUCAULT	Amélie	HEMATOLOGIE
MARLET	Julien	MICROBIOLOGIE
POUPIN	Pierre	SANTÉ PUBLIQUE, BIOSTATISTIQUE & ÉPIDÉMIOLOGIE
VEYRAT DUREBEX	Charlotte	BIOCHIMIE CLINIQUE

3 AHU (Assistant Hospitalier Universitaire)

BOULARD	Pierre	IMMUNOLOGIE
DOUEZ	Emmanuel	PHARMACIE GALENIQUE
TULOUP	Vianney	PHARMACIE CLINIQUE

2 ATER

DUSSART	Romain	CHIMIE ANALYTIQUE
PIATELLI	Emma	MICROBIOLOGIE - BACTERIOLOGIE

1 PRAG

WALTERS-GALOPIN	Susan	ANGLAIS
-----------------	-------	---------

1 CONTRAT D'ENSEIGNEMENT

THIERNEY	Mégane	ANGLAIS
----------	--------	---------

3 CHARGÉS DE RECHERCHE

EPARDAUD
MEVELEC
MOIRE

Mathieu
Marie-Noëlle
Nathalie

INRAE
INRAE
INRAE



SERMENT DE GALIEN

En présence des Maîtres de la Faculté, je fais le serment :

D'honorer ceux qui m'ont instruit(e) dans les préceptes de mon art et de leur témoigner ma reconnaissance en restant fidèle aux principes qui m'ont été enseignés et d'actualiser mes connaissances ;

D'exercer, dans l'intérêt de la santé publique, ma profession avec conscience et de respecter non seulement la législation en vigueur, mais aussi les règles de Déontologie, de l'honneur, de la probité et du désintéressement ;

De ne jamais oublier ma responsabilité et mes devoirs envers la personne humaine et sa dignité ;

En aucun cas, je ne consentirai à utiliser mes connaissances et mon état pour corrompre les mœurs et favoriser des actes criminels ;

De ne dévoiler à personne les secrets qui m'auraient été confiés ou dont j'aurais eu connaissance dans l'exercice de ma profession ;

De faire preuve de loyauté et de solidarité envers mes collègues pharmaciens ;

De coopérer avec les autres professionnels de santé ;

Que les Hommes m'accordent leur estime si je suis fidèle à mes promesses. Que je sois couvert(e) d'opprobre et méprisé(e) de mes confrères si j'y manque.

Date : 12/12/2025

L'étudiant Louis Mondamert

Le Doyen de la Faculté
Professeur Denys BRAND

Remerciements

A ma directrice de thèse,

Madame Isabelle Dimier-Poisson,

Je tiens à vous remercier sincèrement pour votre disponibilité et votre engagement durant ce travail de thèse. Depuis le premier jour, lorsque je vous ai présenté le projet, vous m'avez accordé votre confiance, et vos conseils avisés m'ont permis de l'aborder avec davantage de clarté. Je vous souhaite le meilleur pour le développement de LovalTech, que je suivrai de près.

Aux membres du jury,

Monsieur Bryan Boulé,

Merci de m'avoir ouvert les portes de votre société et de m'avoir permis de travailler sur un sujet d'actualité qui me tiens particulièrement à cœur. Je souhaite également remercier **Madame Léonie Schröder**, avec qui j'ai eu mes premiers échanges au sein de Huvy. Vos avis d'experts ont été essentiels à la rédaction de ce document. Bon courage pour la phase de commercialisation de votre IA, qui, j'en suis convaincu, rencontrera un beau succès.

Madame Mathilde Christophe,

Merci d'avoir accepté de faire partie de ce jury de thèse et d'avoir partagé avec moi tes précieuses connaissances en matière de réglementation de l'IA. Malgré la distance et nos emplois du temps chargés, je suis fier de voir que notre amitié perdure et reste solide — au point de fêter bientôt ses 25 ans.

Monsieur Soufiane Ouarab,

Je te remercie sincèrement pour ta présence au sein de ce jury et pour ton soutien indéfectible tout au long de ce travail. Ton point de vue de titulaire d'officine a été particulièrement précieux ; il m'a permis de mieux cerner les attentes concrètes des professionnels de santé vis-à-vis de l'IA sur le terrain.

A ma famille,

Ma mère,

Je te remercie pour tout l'amour et les valeurs que tu as transmis à Paul-Henri, Juliette et à moi-même. Merci aussi pour le soutien indéfectible dont tu as toujours fait preuve, malgré les épreuves de la vie. C'est malheureusement ton passé qui m'a inspiré le choix de ce sujet, mais tout cela est désormais derrière toi. Ton combat contre ce cancer nous a montré, une fois encore, à quel point tu étais forte et courageuse. C'est donc logiquement que je te dédis ce travail.

Je t'aime, maman.

Ma sœur Juliette et mon frère Paul-Henri,

Merci pour votre soutien constant tout au long de ces années. Vos encouragements m'ont souvent donné l'énergie nécessaire pour poursuivre ce travail. Je suis profondément reconnaissant de vous avoir à mes côtés.

Je vous aime.

A Rose et Jean,

Merci à mes grands-parents pour votre bienveillance et l'amour constant dont vous nous avez entouré. Je garde précieusement toutes les lettres d'encouragement que vous m'avez envoyées durant la PACES et je souris encore quand je les relis. Je vous dois une grande part de la détermination qui m'a permis d'achever cette thèse.

A mes amis,

Anthony, Jean Marc, Mathilde, Louis B, Soufiane, Alex, Rush, Mathis, Célia, Corentin, Dimitri, Nicolas, Anis, Zakari, Guillaume, Rudy, Robin, Sofia, Salma, Louis G, Olivia, Hélène, Piter et ma filleule de cœur Maïssa,

Je ne saurais comment vous remercier suffisamment pour tous ces moments passés ensemble. Une citation que j'aime bien dit : « Il n'y a pas de plus beau trésor qu'un ami », et vous en êtes la plus belle preuve. Merci pour votre soutien, vos rires, vos conseils et votre présence sans faille tout au long de ces années. Vous avez largement contribué à rendre ce parcours plus léger.

A Anaëlle,

Depuis notre rencontre en PACES en 2016, tu n'as jamais cessé de m'encourager et de me soutenir. Ton écoute, ta patience et tes mots rassurants m'ont porté dans tous les moments de doute. Tu as été mon pilier tout au long de ce parcours exigeant, et je suis profondément reconnaissant pour tout ce que tu as fait. Une nouvelle page s'ouvre, et je suis profondément heureux de pouvoir l'écrire à tes côtés.

Merci à chacun d'entre vous d'avoir cru en moi.

Enfin, je tiens à exprimer ma plus profonde gratitude envers toutes les personnes qui ont contribué de manière significative à la réalisation de cette thèse.

Table des matières

INTRODUCTION	13
PARTIE 1 : LE MÉLANOME CUTANÉ	14
A) DÉFINITION	14
B) EPIDÉMIOLOGIE	14
B.1) Dans le monde	14
B.2) En France	16
C) FACTEURS DE RISQUE	17
C.1) Facteurs de risques intrinsèques ou non modifiables	18
C.1.1) Phototype de l'individu	18
C.1.2) Antécédents personnels ou familiaux de mélanome cutané	20
C.1.2.1) Antécédents personnels	20
C.1.2.2) Antécédents familiaux	20
C.1.3) Naevus atypique	21
C.1.4) Nombre de grains de beauté sur le corps	21
C.1.5) Xeroderma pigmentosum	22
C.2) Facteurs de risques extrinsèques ou modifiables	22
C.2.1) Exposition aux rayons UV (naturel et artificiel)	22
C.2.2) Obésité	23
C.2.3) La consommation d'alcool	23
C.2.4) Immunodépression	24
C.2.5) Exposition à des biphényles polychlorés (BPC)	24
C.2.6) Situation économique du patient	25
D) LES PRINCIPAUX TYPES DE MÉLANOMES	26
D.1) Le mélanome superficiel extensif (SSM)	26
D.2) Le mélanome nodulaire (NM)	28
D.3) Le mélanome de Dubreuilh	30
D.4) Le mélanome acrolentigineux	31
D.5) Le mélanome amélanotique	32
E) DIAGNOSTIC DU MÉLANOME CUTANÉ	33
E.1) Dépistage	33
E.2) Examen clinique	35
E.2.1) La règle ABCDE	36
E.2.2) La liste revisitée de Glasgow	37
E.2.3) La démarche cognitive visuelle ou règle du « vilain petit canard »	38
E.3) Examen histologique	38
E.4) Bilan d'extension	40
E.4.1) Classification TNM	41
E.4.2) Recommandations en fonction du stade du mélanome	44
E.5) Examen moléculaire	44
E.5.1) Mutations du gène BRAF	44
E.5.2) Mutations du gène NRAS	45
E.5.3) Mutations du gène NF1	45
E.5.4) Mutations du gène c-KIT	46
E.6) Limites des méthodes traditionnelles	46
E.6.1) Variabilité inter-observateur	46
E.6.2) Limites des examens invasifs	47

E.6.3)	Analyse moléculaire partielle	47
E.6.4)	Dépistage tardif	47
E.6.5)	Délai d'attente des résultats de biopsie	47
F)	PRISE EN CHARGE THÉRAPEUTIQUE DU MÉLANOME CUTANÉ	48
F.1)	Chirurgie	48
F.2)	Thérapie ciblée	49
F.2.1)	Inhibiteurs de BRAF	49
F.2.1.1)	Vémurafenib (ZELBORAF)	50
F.2.1.2)	Dabrafenib (TAFINLAR)	51
F.2.1.3)	Encorafenib (BRAFTOVI)	52
F.2.2)	Inhibiteurs de MEK	52
F.2.2.1)	Trametinib (MEKINIST)	52
F.2.2.2)	Cobimetinib (COTELLIC)	53
F.2.2.3)	Binimetinib (MEKTOVI)	53
F.3)	Immunothérapie	54
F.3.1)	Anticorps monoclonaux anti CTLA-4	54
F.3.2)	Anticorps monoclonaux anti PD1	56
F.3.2.1)	Nivolumab (OPDIVO®)	57
F.3.2.2)	Pembrolizumab (KEYTRUDA®)	58
F.3.3)	Interféron alpha (ROFERON-A)	58
F.3.4)	Traitement associant anticorps anti CTLA-4 et anti PD-1	59
F.4)	Chimiothérapie	59
F.4.1)	Dacarbazine (DETICENE)	60
F.4.2)	La combinaison carboplatine-paclitaxel (TAXOL®)	60
G)	STRATÉGIE DE CHOIX DU TRAITEMENT DU MÉLANOME	61
G.1)	Stade 1	61
G.2)	Stade 2	61
G.3)	Stade 3	61
G.4)	Stade 4	64
G.5)	Bilan des recommandations actuelles	64
	PARTIE 2 : L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE EN SANTÉ ET EN DERMATOLOGIE	65
A)	INTRODUCTION À L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE, AU MACHINE LEARNING ET AU DEEP LEARNING	65
A.1)	Définitions	65
A.1.1)	L'intelligence artificielle	65
A.1.2)	Le machine learning	66
A.1.3)	Le deep learning	67
A.2)	Brève historique de l'intelligence artificielle en santé	69
A.2.1)	La naissance du terme intelligence artificielle	69
A.2.2)	La naissance des systèmes experts	70
A.2.3)	La naissance des premiers algorithmes	71
A.2.4)	La naissance du machine learning	71
A.2.5)	La naissance du deep learning	72
A.2.6)	Les applications actuelles de l'intelligence artificielle en santé	72
A.2.7)	Les perspectives de l'IA en santé	74
B)	APPLICATION DE L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE DANS LE DIAGNOSTIC PRÉCOCE DU MÉLANOME CUTANÉ : EXEMPLE DE HUVY®	75
B.1)	Présentation de la société	75
B.2)	Etat des lieux de la dermatologie en France	75
B.2.1)	Une pénurie de dermatologues	75
B.2.2)	Une fracture territoriale dans l'accès aux spécialistes	75
B.2.3)	Délais d'attente	76
B.2.4)	Conséquences	76
B.3)	Histoire de Huvy	76
B.4)	Objectifs de Huvy	1

B.5) <i>Fonctionnement de Huvy et parcours de soin</i>	1
B.5.1) <i>Parcours d'utilisation type du dispositif</i>	1
B.5.2) <i>Une intelligence artificielle certifiée au niveau européen</i>	1
B.5.3) <i>Études cliniques menées sur le dispositif médical</i>	2
B.5.4) <i>Huvy aujourd'hui</i>	3
B.6) <i>Avenir de Huvy</i>	3
PARTIE 3 : ETUDE TERRAIN	4
A) <i>MÉTHODOLOGIE DE L'ENQUÊTE</i>	4
A.1) <i>Objectifs</i>	4
A.2) <i>Elaboration du questionnaire</i>	5
A.3) <i>Questionnaire dermatologue</i>	5
B) <i>PARTICIPATION À L'ÉTUDE</i>	7
B.1) <i>Modalités de recueil des données</i>	7
B.2) <i>Profil des répondants</i>	7
B.3) <i>Biais liées à l'étude</i>	9
C) <i>ANALYSE DES RÉSULTATS DE L'ÉTUDE</i>	9
PARTIE 4 : DISCUSSION	25
A) <i>AVANTAGES DE L'IA DANS LE DIAGNOSTIC PRÉCOCE DU MÉLANOME CUTANÉ</i>	25
A.1) <i>Amélioration de la précision diagnostique</i>	25
A.2) <i>Amélioration de la rapidité diagnostique</i>	26
A.3) <i>Accessibilité au dépistage</i>	27
B) <i>LIMITES ACTUELLES DE L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE EN DERMATOLOGIE</i>	28
B.1) <i>Les bases de données d'entraînement</i>	28
B.1.1) <i>Qualité et quantité des bases de données</i>	28
B.1.2) <i>Représentativité des bases de données</i>	28
B.1.3) <i>Confidentialité des bases de données</i>	29
B.2) <i>Validation scientifique</i>	29
B.3) <i>Questions éthiques, légales et réglementaires</i>	30
B.3.1) <i>Protection des données</i>	30
B.3.2) <i>Consentement des patients</i>	32
B.3.3) <i>Sécurité juridique des professionnels de santé</i>	32
B.3.4) <i>Conformité réglementaire</i>	33
B.3.4.1) <i>MDR 2017/45</i>	33
B.3.4.2) <i>IA Act</i>	33
B.3.4.3) <i>ISO 13485</i>	35
B.3.4.4) <i>ISO 42001</i>	35
B.3.4.5) <i>ISO 27001</i>	36
C) <i>INTÉGRATION DE L'IA DANS LE PARCOURS DE DÉTECTION DU MÉLANOME</i>	37
C.1) <i>La formation des pharmaciens</i>	37
C.1.1) <i>Le développement professionnel continu</i>	37
C.1.2) <i>Le diplôme universitaire</i>	38
C.1.3) <i>Les formations partenaires</i>	38
C.2) <i>Analyse économique</i>	38
C.2.1) <i>Investissement</i>	38
C.2.2) <i>Rémunération</i>	39
C.3) <i>Défis réglementaires et éthiques</i>	39
C.2.1) <i>Défis réglementaires</i>	39
C.2.2) <i>Défis éthiques</i>	40
CONCLUSION	41
ANNEXES	53
BIBLIOGRAPHIE	54

Liste des abréviations

UV : Ultraviolet

ASR : Age-Standardised Rate = Taux standardisé selon l'âge

CIRC : Centre International de Recherche sur le Cancer

INC : Institut National du Cancer

LLC : Leucémie Lymphoïde Chronique

FAMMM : Syndrome des mélanomes atypiques multiples familiaux

ADN : Acide Désoxyriboucléique

VIH : Virus de l'Immunodéficience Humaine

BPC : Biphényle Polychloré

SSM : Mélanome Superficiel Extensif

NM : Mélanome Nodulaire

HAS : Haute Autorité de Santé

RGPD : Règlement Général sur la Protection des Données

HAP : Hydrocarbure Aromatique polycyclique

PU-PH : Professeur des Universités - Praticien Hospitalier

LT : Lymphocyte

IV : Intraveineux

CTO : Chief Technology Officer

IA : Intelligence Artificielle

AMM : Autorisation de Mise sur le Marché

CHU : Centre Hospitalier Universitaire

CHRU : Centre Hospitalier Régional Universitaire

CE : Conformité Européenne

NHS : National Health Service

SFD : Société Française de Dermatologie

MDR : Medical Devices Regulation

ISO : International Organization for Standardization

UE : Union Européenne

DPC : Développement Professionnel Continu

CRCDC : Centre Régional de Coordination des Dépistages des Cancers

DU : Diplôme Universitaire

TROD : Test Rapide d'Orientation Diagnostique

ROSP : Rémunération sur Objectifs de Santé Publique

AJCC : American Join Committee on Cancer

IRM : Imagerie par Résonance Magnétique

LDH : Lacticodéshydrogénase

PCR : Polymerase Chain reaction

CSF : Stem Cell Factor

NCCN : National Comprehensive Cancer Network

ESMO : European Society for Medical Oncology

Introduction

Le mélanome cutané représente aujourd'hui un enjeu majeur de santé publique à l'échelle mondiale. Tumeur maligne issue de la prolifération anarchique des mélanocytes, il s'agit du cancer cutané le plus agressif, dont le pronostic vital dépend essentiellement de la précocité du diagnostic : détecté à un stade initial, le mélanome est curable dans la grande majorité des cas.

Cependant, le parcours de soin actuel montre plusieurs limites. La France fait face à une pénurie croissante de dermatologues et à une fracture territoriale marquée, entraînant des délais d'attente importants pour l'accès aux dermatologues.

Face à cette problématique, l'intelligence artificielle s'impose progressivement comme une solution innovante susceptible de transformer le parcours de détection du mélanome. Ces technologies, capables d'analyser en quelques secondes des milliers de caractéristiques invisibles à l'œil nu, suscitent un grand croissant dans le dépistage des mélanomes.

C'est dans ce contexte que s'inscrit ce travail de thèse, qui se propose d'analyser l'impact de l'intelligence artificielle dans la détection précoce du mélanome cutané. Après avoir présenté les caractéristiques épidémiologiques, cliniques et thérapeutiques du mélanome ainsi que les principales caractéristiques de l'IA en santé, nous exposerons les résultats d'une enquête terrain menée auprès de dermatologues afin d'évaluer leur perception et leur acceptabilité vis-à-vis de ces nouvelles technologies. Nous discuterons ensuite des avantages, des limites et des défis que représente l'intégration de l'IA dans le parcours de détection du mélanome, avant d'envisager leur place future dans l'écosystème de santé, notamment dans les officines.

Partie 1 : Le mélanome cutané

A) Définition

Le mélanome cutané est la forme la plus agressive des cancers de la peau. Il s'agit d'une tumeur maligne résultant de la prolifération anarchique des mélanocytes, cellules pigmentaires de l'épiderme responsables de la production de la mélanine. [1]

La dangerosité de cette tumeur maligne réside principalement dans son fort potentiel métastatique, capable d'atteindre rapidement les ganglions lymphatiques et divers organes à distance, engageant ainsi le pronostic vital. C'est une pathologie quasi inexistante chez l'enfant et rare chez l'adulte avant 20 ans. Au-delà, elle est susceptible de se développer à tous les âges possibles. [2]

B) Epidémiologie

B.1) Dans le monde

L'incidence du mélanome cutané ne cesse d'augmenter dans le monde, au point de constituer un enjeu majeur de santé publique. Preuve en est : c'est le cancer qui possède la plus forte augmentation en termes d'incidence. En 2022 dans le monde, 332 000 nouveaux cas ont été diagnostiqués, dont une majorité chez les hommes (55 %). [3]

Notons toutefois que l'incidence du mélanome varie énormément en fonction de la zone géographique et de la composition ethnique d'une population. En effet, pour 100 000 habitants d'une zone, on observe en moyenne : [2]

- 0.4 cas en Afrique Noire
- 0.4 cas en Asie
- 11 cas en Europe
- 13 cas en Amérique du Nord
- 34 cas en Australie et Nouvelle Zélande

Cette disparité géographique s'explique principalement par deux facteurs. Dans les pays du sud, l'exposition au soleil est quasi quotidienne et prolongée, alors que dans les pays du nord, elle survient par intermittence mais est souvent brutale (expositions ponctuelles et prolongées lors des loisirs). Le deuxième facteur est que, dans les régions très exposées aux UV (notamment proches de l'équateur et

certaines zones de l'hémisphère sud), la sélection naturelle a favorisé une peau plus pigmentée, offrant une meilleure protection contre les rayonnements UV. [4]

Les pays avec le plus grand nombre de nouveaux cas sont : [5]

- Australie (37 nouveaux cas de mélanome pour 100 000 habitants par an)
- Norvège (30.6 nouveaux cas de mélanome pour 100 000 habitants par an)
- Nouvelle Zélande (29.8 nouveaux cas de mélanome pour 100 000 habitants par an)

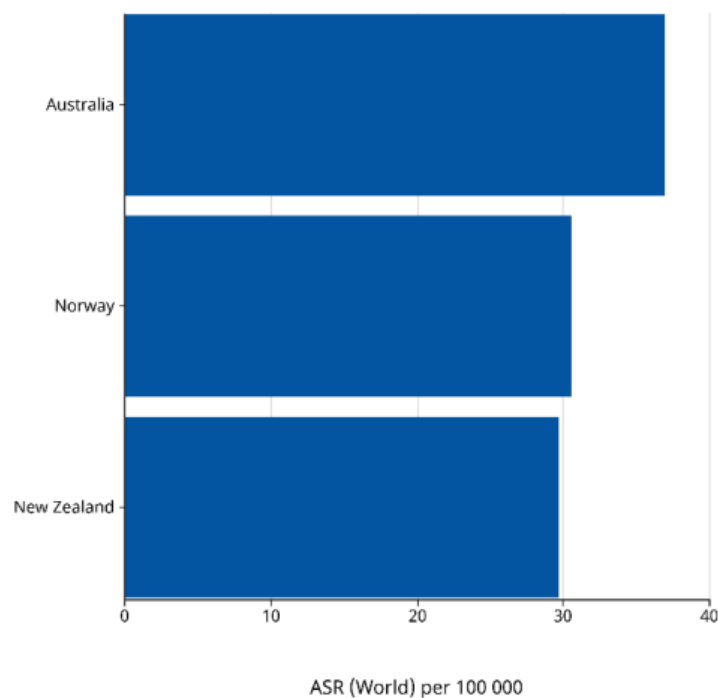


Figure 1 : Diagramme présentant les 3 pays affichant le taux standardisé par âge (ASR) le plus élevé pour 100 000 habitants dans le monde [5]

On note également une hausse du taux de mortalité chez les patients atteints de mélanome cutané. Par exemple, aux États-Unis, entre 1977 et 1990, ce taux a augmenté en moyenne de 1,4 % par an. À partir de 1990, une légère baisse a été observée, avec une diminution annuelle de 0,3 %. Depuis 2002, la mortalité liée au mélanome cutané est globalement en baisse, grâce notamment à une meilleure sensibilisation aux risques liés aux rayonnements UV, à l'adoption massive de mesures de prévention solaire et au dépistage précoce permettant des diagnostics à des stades moins avancés. Cependant, cette baisse concerne principalement les pays développés, où la communication scientifique, la recherche et l'accès aux nouveaux traitements sont plus disponibles. [6]

Entre 2003 et 2007, l'âge médian au décès lié à un mélanome malin était de 68 ans.

Les hommes présentent un taux de mortalité significativement plus élevé que les femmes. Chez les hommes, la mortalité mondiale a augmenté de 2,3 % par an entre 1975 et 1989, puis de 0,2 % entre 1989 et 2007. En comparaison, chez les femmes, la hausse était plus modérée : + 0,8 % par an entre 1975 et 1989, suivie d'une baisse annuelle de 0,6 % entre 1989 et 2007. [7]

La localisation anatomique préférentielle du mélanome varie selon le sexe : chez les hommes, la région dorsale est la plus fréquemment touchée, tandis que chez les femmes, ce sont les bras et les jambes qui sont les plus concernés. [8]

Enfin, selon une étude réalisée au Centre International de Recherche sur le Cancer (CIRC), le nombre de nouveaux cas de mélanome cutané devrait augmenter de plus de 50 % entre 2020 et 2040. Cette hausse ne reflète pas nécessairement une augmentation du risque individuel, mais résulte majoritairement de l'accroissement de la population mondiale. [9]

Cependant, sur cette même période, il est aussi prévu une hausse du taux de mortalité de plus de 50 % si les comportements à risque persistent et si les mesures de prévention restent insuffisantes. Cette tendance est aussi en partie expliquée par le vieillissement de la population mondiale. Il est important de souligner que cette hausse de mortalité pourrait être limitée grâce à la mise en œuvre de politiques de prévention efficaces, à un dépistage précoce plus fréquent et aux progrès thérapeutiques. [10]

B.2) En France

En France, le mélanome cutané représente environ 10% des cancers de la peau et près de 2 à 3% de l'ensemble des cancers tous organes confondus.

En 2023, l'Institut National du Cancer comptabilise 17 922 nouveaux cas de mélanomes cutanés, dont 9 109 hommes et 8 813 femmes. [11]

Ce même organisme note également 1980 décès en 2018, dont 57% chez l'homme. [12]

Au sein même de notre pays, nous pouvons observer des différences significatives en fonction des zones géographiques : [13]

- Bretagne : la région présente un nombre de cas de mélanome environ trois fois supérieur à la moyenne nationale. Cela s'explique en partie par des facteurs sociétaux : l'ensoleillement perçu comme modéré conduit certains

habitants à négliger la protection solaire, alors que les rayons UV sont bien présents. Par ailleurs, la population bretonne est majoritairement à phototype clair (I et II), ce qui augmente la sensibilité aux UV,

- Loire Atlantique,
- Seine Maritime, Calvados, Manche et
- Var : la mortalité y est élevée en raison d'une population vieillissante exposée à un fort ensoleillement et souvent insuffisamment protégée, notamment à travers des activités de plein air professionnelles ou de loisirs.

La disparité géographique de l'incidence du mélanome cutané entre le nord-ouest et le sud de la France s'explique par plusieurs facteurs principaux : [14]

- Phototype cutané de la population : Les populations du nord-ouest de la France présentent majoritairement des phototypes clairs, ce qui les rend plus sensibles aux effets nocifs des UV et, donc, plus à risque de développer des mélanomes
- Comportements face à l'exposition solaire : Malgré un ensoleillement modéré, ces régions présentent un risque accru car leurs habitants sous-estiment la nocivité des UV
- Facteurs professionnels et sociaux : Les métiers de plein air (pêcheurs, agriculteurs, ouvriers du bâtiment) sont très présents dans ces régions et exposent davantage à des doses quotidiennes d'UV
- Prédispositions génétiques : Un plus grand nombre de nævus, la fréquence des formes de peau claire, ainsi que certains antécédents familiaux contribuent à accroître le risque individuel dans ces zones géographiques

C) Facteurs de risque

Il existe de multiples facteurs de risque de mélanome cutané. On les classe en deux grandes catégories : facteurs intrinsèques ou non modifiables et facteurs extrinsèques ou modifiables.

C.1) Facteurs de risques intrinsèques ou non modifiables

C.1.1) Phototype de l'individu

Le phototype correspond à la classification de la peau selon sa réaction à l'exposition au soleil, notamment sa capacité à bronzer et à brûler. Cette classification, établie selon l'échelle de Fitzpatrick, permet de distinguer six phototypes allant du type I (peau très claire, brûle toujours, ne bronze jamais) au type VI (peau noire, brûle rarement, bronze très facilement). [15]

	Phototypes
Classification de Fitzpatrick	
PHOTOTYPE I	
Réaction au soleil :	ne bronze pas, attrape systématiquement des coups de soleil.
Type :	peau très claire, taches de rousseur, cheveux blonds ou roux
PHOTOTYPE II	
Réaction au soleil :	bronze difficilement, attrape souvent des coups de soleil
Type :	peau très claire, cheveux blonds ou châtain, des taches de rousseur apparaissent au soleil, yeux clairs
PHOTOTYPE III	
Réaction au soleil :	a parfois des coups de soleil, bronze progressivement
Type :	peau claire, cheveux blonds ou châtain
PHOTOTYPE IV	
Réaction au soleil :	attrape peu de coups de soleil, bronze bien
Type :	peau mate, cheveux châtain ou bruns, yeux foncés
PHOTOTYPE V	
Réaction au soleil :	a rarement des coups de soleil, bronze facilement
Type :	peau foncée, yeux foncés
PHOTOTYPE VI	
Réaction au soleil :	peau foncée, n'a jamais de coups de soleil
Type :	peau noire
Référence : Fitzpatrick TB. The validity and practicality of sun-reactive skin types I through VI. Arch Dermatol 1988; 124:869-71.	
Validé le 15/09/2015 (E. Mahé)	

Figure 2 : Classification de Fitzpatrick permettant de classer les peaux par phototype [16]

Les individus de phototype clair (types I et II) présentent un risque significativement plus élevé de développer un mélanome cutané comparé à ceux ayant un phototype foncé (types V et VI). Cela s'explique par une concentration plus faible en mélanine, pigment produit par les mélanocytes, qui joue un rôle essentiel de filtre naturel contre les rayons UV. [17]

La deuxième raison est la production de la phéomélanine. Deux types de mélanine sont présents dans la peau : l'eumélanine (photoprotectrice) et la phéomélanine (moins protectrice). Par exemple, les personnes à cheveux roux et teint clair produisent davantage de phéomélanine, ce qui les rend plus vulnérables aux dommages causés par les UV. [18]

Les caractéristiques phénotypiques associées à un risque accru comprennent donc :

- une peau pâle,
- des taches de rousseur apparentes,
- des yeux de couleur claire (bleus, verts, gris),
- des cheveux blonds ou roux.

L'incidence du mélanome est particulièrement élevée chez les personnes ayant ce profil, en raison de leur faible capacité à se protéger naturellement contre les expositions aux UV. De plus, une exposition intermittente mais intense au soleil, notamment pendant l'enfance et l'adolescence, augmente encore ce risque. Cela s'explique par le fait que les enfants ont un système pigmentaire immature et que leur peau est encore très fine. [19]

En revanche, bien que les personnes à la peau foncée (types V et VI) présentent un risque globalement inférieur de mélanome, elles ne sont pas pour autant protégées. Chez ces populations, les mélanomes se manifestent plus fréquemment sous des formes particulières, comme le mélanome lentigineux acral. Ce sous-type rare se développe principalement sur les surfaces non exposées au soleil (paumes des mains, plantes des pieds, bords des ongles), ce qui peut retarder le diagnostic. [20]

Il est donc important de noter que si la vigilance doit être prioritairement portée sur les sujets à risque élevé, toutes les populations restent potentiellement concernées par ce cancer.

C.1.2) Antécédents personnels ou familiaux de mélanome cutané

C.1.2.1) Antécédents personnels

Les individus ayant déjà été atteints d'un cancer de la peau présentent un risque accru de développer un nouveau mélanome cutané primitif. [21]

D'après une étude publiée en 2010, les personnes avec des antécédents personnels de mélanome ont un risque environ neuf fois plus élevé de développer un second mélanome comparativement à la population générale. Ce risque accru s'étend également aux individus ayant déjà souffert d'autres cancers cutanés, tels que le carcinome basocellulaire ou le carcinome épidermoïde. [22]

De plus, les patients atteints de leucémie lymphoïde chronique (LLC) présentent un risque accru de développer un mélanome, en particulier au cours des cinq années suivant le diagnostic de cette pathologie. Cette augmentation du risque pourrait s'expliquer par l'immunodépression induite par la maladie elle-même, compromettant la surveillance immunitaire contre les cellules tumorales.

C.1.2.2) Antécédents familiaux

L'antécédent familial constitue un facteur de risque important dans la survenue du mélanome cutané. Il est défini par le diagnostic de mélanome chez deux ou plusieurs parents au premier degré (père, mère, frère, soeur et enfants), ou chez trois membres de la famille, quel que soit le lien de parenté. On estime qu'environ 10 % des cas de mélanome surviennent dans un contexte de prédisposition génétique familiale. [23]

Cette prédisposition familiale s'explique en partie par des mutations héréditaires dans des gènes suppresseurs de tumeur comme CDKN2A, BAP1 et CDK4. De plus, des mutations des gènes MITF et MC1R modifient également le risque, en particulier en relation avec le phototype clair. [24]

Il existe aussi le syndrome du nævus dysplasique, également appelé syndrome des mélanomes atypiques multiples familiaux (FAMMM). Affection héréditaire qui prédispose au développement de mélanomes, ses caractéristiques sont la présence : [25]

- de nombreux nævus (plus de 50 en général),
- d'au moins un mélanome chez un parent proche,

- de nævi présentant certains critères histologiques (fibrose sous épidermique, hyperplasie mélanocytaire avec des mélanocytes en fuseau ou épithélioïdes, agrégation en nids de taille variable, infiltration lymphocytaire, ...)

C.1.3) Naevus atypique

Un naevus atypique est un grain de beauté dont l'aspect clinique et histologique est particulier. En général, sa taille dépasse 6 mm, possède des bords inégaux et non définis. Cependant, ce type de grain de beauté est tout à fait bénin. Le risque avec ce genre de naevus est que leur présence en trop grand nombre fait augmenter le risque de mélanome. [26]



Figure 3 : Photo d'un naevus atypique.

Il présente une asymétrie ainsi que des bords irréguliers et des nuances de marron [27]

C.1.4) Nombre de grains de beauté sur le corps

La présence d'un grand nombre de nævus sur le corps, qu'ils soient normaux ou atypiques, est un facteur reconnu d'augmentation du risque de développer un mélanome malin. Bien que la majorité des grains de beauté soit bénin, leur accumulation en nombre important accroît de façon significative la probabilité qu'ils puissent se transformer en mélanome malin. [28]



Figure 4 : Photographie du dos d'un patient présentant de nombreux naevus [29]

C.1.5) Xeroderma pigmentosum

Le *xeroderma pigmentosum* est une maladie génétique rare caractérisée par une hypersensibilité aux rayons ultraviolets du soleil, due à un défaut héréditaire de réparation de l'ADN endommagé par ces rayonnements. Cette incapacité à réparer les lésions induites par les UV entraîne une accumulation rapide de mutations dans les cellules cutanées, augmentant fortement le risque de cancers de la peau, notamment le mélanome cutané. [30]

C.2) Facteurs de risques extrinsèques ou modifiables

C.2.1) Exposition aux rayons UV (naturel et artificiel)

L'exposition aux rayonnements ultraviolets (UV), qu'ils soient d'origine naturelle (émis par le soleil) ou artificielle (cabines de bronzage, lampes solaires), constitue le principal facteur de risque extrinsèque du mélanome cutané. En France, en 2015, 83 % des cas de mélanome ont été attribués à l'exposition au soleil.

Le risque de développer un mélanome est particulièrement associé aux expositions solaires intermittentes mais intenses, en particulier celles provoquant des coups de soleil. Ce type d'exposition semble avoir un impact encore plus marqué lorsqu'il

survient durant l'enfance ou l'adolescence, périodes où la peau est plus vulnérable aux dommages causés par les UV.

D'autre part, les cabines de bronzage sont une réelle menace à cause de l'intensité importante des UV émis. L'indice UV dans une cabine peut atteindre 12 à 15, alors qu'il varie entre 8 et 10 pour le soleil en plein été, exposant la peau à des doses d'UVA et d'UVB souvent supérieures à celles reçues lors d'une exposition solaire intense. Cette forte exposition induit un stress oxydatif sur les cellules cutanées et peut provoquer des lésions de l'ADN, favorisant l'apparition de mutations génétiques à l'origine de certains cancers de la peau, dont le mélanome. Ce type de cabine a été impliqué dans 1,5 % des cas de mélanome chez les hommes et 4,6 % chez les femmes. Le risque est particulièrement élevé lorsque la première exposition survient avant l'âge de 35 ans : il est alors accru de 75%. En outre, plusieurs études montrent que plus la fréquence et la durée d'utilisation augmentent, plus le risque de mélanome s'élève. [31]

Dans ce contexte, les campagnes de prévention insistent sur l'importance de la photoprotection, en particulier chez les enfants, et déconseillent fortement le recours aux cabines de bronzage, qui sont désormais classées comme cancérogènes certains pour l'homme (groupe 1 du CIRC). [32]

C.2.2) Obésité

L'obésité est identifiée comme un facteur de risque potentiel du mélanome. Plusieurs études, dont une méta-analyse, ont démontré que le surpoids et l'obésité augmentent le risque de développer un mélanome chez les hommes. [33]

Chez les femmes, ce risque est moins identifiable car ces dernières s'exposent moins que les hommes au soleil. De plus, l'obésité favorise l'agressivité tumorale générale. Des chercheurs ont montré que les adipocytes chez les personnes obèses contribuent à la progression du mélanome en diminuant fortement l'expression de la protéine suppresseur de tumeur p16. De plus, les adipocytes nourrissent les cellules cancéreuses, sécrètent des facteurs pro-inflammatoires et modifient leur environnement génétique, ce qui accélère la croissance tumorale et les métastases. [34]

C.2.3) La consommation d'alcool

La consommation d'alcool est associée à une augmentation modérée mais significative du risque de mélanome. Une étude de l'American Association for Cancer Research, publiée dans *Cancer Epidemiology, Biomarkers & Prevention* et

portant sur plus de 200 000 participants sur 18 ans, montre que chaque verre d'alcool quotidien augmente le risque de mélanome d'environ 14 %, avec un risque particulièrement marqué pour le vin blanc (+13 % par verre par jour). [35]

Le mécanisme probable implique l'acétaldéhyde, un métabolite de l'éthanol reconnu comme cancérigène, qui peut endommager l'ADN et entraver sa réparation. Par ailleurs, l'alcool favoriserait aussi la fragilisation cutanée face aux UV, ce qui augmenterait indirectement le risque de cancer de la peau. Le vin blanc semble être la boisson la plus impliquée, possiblement en raison de niveaux plus élevés d'acétaldéhyde ou d'une moindre présence d'antioxydants comparée au vin rouge.

Ces données soulignent l'importance de la modération dans la consommation d'alcool chez les personnes présentant déjà d'autres facteurs de risque de mélanome.

C.2.4) Immunodépression

Les personnes immunodéprimées (VIH, traitements immunosuppresseurs après greffe, sous chimiothérapie ou pour maladies auto-immunes) présentent un risque accru de mélanome cutané. [36]

Cette vulnérabilité s'explique par un système immunitaire affaibli, moins capable de détecter et d'éliminer les cellules cancéreuses, ainsi que par une moindre réparation des dommages à l'ADN induits par les rayons UV. De plus, certains traitements immunosuppresseurs peuvent stimuler indirectement la prolifération cellulaire, renforçant encore le risque de mélanome.

C.2.5) Exposition à des biphényles polychlorés (BPC)

Les biphényles polychlorés sont une famille de composés chimiques fabriqués depuis les années 1920 et largement utilisés à l'échelle industrielle entre 1930 et 1970. Ces molécules sont des polluants organiques persistants, c'est-à-dire qu'ils s'accumulent dans les sols et ne sont pas détruits par l'environnement. [37]

En 2016, le Centre International de Recherche sur le Cancer considère les biphényles polychlorés comme cancérogènes car ces derniers conduisent à des mélanomes malins. [38]

On distingue trois types de biphényles polychlorés en fonction de leur nombre d'atomes de chlore : [39]

- Les PCB faiblement chlorés (1 à 3 atomes de chlore) sont facilement métabolisés par certaines enzymes. Ces transformations chimiques produisent des composés réactifs qui peuvent se lier aux protéines ou à l'ADN et provoquer un stress oxydatif dans les cellules.
- Les PCB moyennement chlorés sont les plus courants. Ils présentent une forte affinité pour le récepteur AhR et provoquent des effets toxiques similaires à ceux des dioxines (lésions cutanées sévères, altération de la fonction hépatique). Ils sont partiellement métabolisés par l'organisme.
- Les PCB très fortement chlorés sont peu métabolisés par l'organisme. Ils ne peuvent pas se fixer sur le récepteur AhR. A la place, ils se fixent sur le récepteur CAR et peuvent perturber certaines enzymes et la communication entre les cellules.

C.2.6) Situation économique du patient

La situation socio-économique influence le risque de développer un mélanome cutané. [40]

En effet, une étude menée sur près de 15 millions de personnes âgées de 30 à 64 ans entre 1961 et 2005 a analysé les liens entre niveau social professionnel et risque de mélanome. Un statut socio-économique élevé est souvent associé à un plus grand risque de mélanome, car ces personnes ont généralement plus de moyens pour voyager ou pratiquer des activités de loisir en plein air. Cela les expose à des épisodes de soleil intenses et intermittents, comme pendant les vacances dans des régions très ensoleillées, favorisant les coups de soleil et le développement de mélanome.

En revanche, ce constat est à nuancer puisque ce même statut plus élevé est lié à un meilleur accès au dépistage précoce et aux soins, ce qui améliore le pronostic. [41]

D) Les principaux types de mélanomes

D.1) Le mélanome superficiel extensif (SSM)

Le mélanome superficiel extensif (SSM) est la forme la plus fréquente de mélanome cutané, représentant environ 70 à 80% des cas diagnostiqués de mélanome. Il touche généralement des adultes entre 30 et 50 ans, avec une prédominance sur des zones exposées au soleil, notamment le tronc chez l'homme et les membres inférieurs chez la femme. [42]

Au niveau visuel, le SSM se présente sous la forme d'une tâche plane ou légèrement surélevée avec des contours irréguliers, de couleur non homogène (brun, noir, rouge, gris ou blanc parfois). Il peut prendre naissance à partir d'un grain de beauté préexistant ou sur une peau apparemment saine. [43]

Ce type de mélanome est invasif : la lésion va croître dans l'épiderme (on parle alors de croissance horizontale ou radiale) sur une longue période (3-7 ans en moyenne). Aucune douleur ni aucun symptôme n'est ressenti par le patient. La deuxième phase est la phase de croissance verticale. Elle n'apparaît que si le mélanome n'a pas été correctement traité.

Le mélanome superficiel extensif est souvent découvert par les patients eux-mêmes ou par un membre de leur famille (plus de 50 % des cas sont décelés d'abord par les patients ou leurs proches) à l'aide des critères ABCDE (décrits plus loin).



Figure 5 : Photo d'un mélanome superficiel extensif asymétrique, à bords irréguliers multicolores. Il résulte d'un naevus préexistant chez une patiente de 57 ans. [44]



Figure 6 : Photo d'un mélanome superficiel extensif retrouvé sur le haut du dos d'un patient de 67 ans. Nous pouvons voir que ce SSM possède une asymétrie évidente, des couleurs multiples et des bordures et des textures irrégulières. Par la suite, ce patient a été traité par immunothérapie. [44]

D.2) Le mélanome nodulaire (NM)

Le mélanome nodulaire représente environ 10 à 20% des mélanomes cutanés. C'est le deuxième type de mélanome le plus répandu. Il touche généralement les adultes entre 40 et 50 ans. Contrairement au mélanome superficiel extensif, il se présente dès les premiers stades, sous la forme d'un nodule bombé, ferme et surélevé, souvent de couleur sombre (noir, brun foncé), mais il peut également être achromique (rose ou couleur chair). Dans certains cas, il peut aussi saigner. Les localisations les plus courantes sont le tronc, la tête et le cou. [42]

Ce type de mélanome est considéré comme plus agressif que le SSM et se développe souvent rapidement. Il est caractérisé par une croissance rapide en profondeur (croissance verticale dès le début), ce qui entraîne une invasion rapide du derme et un risque précoce de métastases. Le mélanome nodulaire peut apparaître comme une nouvelle lésion sans lien avec un grain de beauté préexistant. Il est souvent symétrique, bien délimité et de couleur uniforme, de petit diamètre ce qui rend les critères classiques ABCDE moins adaptés pour sa détection, sauf pour le critère d'évolution. [45]

Les signes cliniques d'alerte incluent notamment un nodule à croissance rapide, d'apparence ferme, parfois douloureux, avec des épisodes de saignement ou d'ulcération. Le pronostic du mélanome nodulaire est généralement plus sombre que celui des autres types de mélanomes, en raison de son développement rapide et de sa tendance à envahir rapidement les tissus profonds.

L'acronyme EFC est utilisé pour décrire les caractéristiques cliniques les plus courantes du mélanome nodulaire. Il regroupe trois signes typiques :

- Lésion en relief (elevated en anglais),
- Ferme à la palpation,
- Croissance continue sur une période d'un mois



Figure 7 : Photo d'un mélanome nodulaire chez une patiente née en 1956. On y distingue une tumeur bombée de 3 cm de longueur environ et de couleur brun/foncé. D'après la patiente, la tumeur est apparue en 3 semaines, sans naevus préexistant, ce qui montre une évolution très rapide. [46]



Figure 8 : Photo d'un mélanome nodulaire situé sur la jambe d'une patiente de 76 ans. On peut voir l'aspect bombé et rouge caractéristique de ce type de cancer. [47]

D.3) Le mélanome de Dubreuilh

Le mélanome de Dubreuilh est le troisième type de mélanome le plus fréquent. Il représente environ 5 à 10% des mélanomes cutanés. Ce type de mélanome se développe à partir d'une lésion pigmentée superficielle, souvent chronique, sur des zones de peau exposées chez les personnes âgées. Il survient principalement sur les régions exposées au soleil comme le visage, les joues, les tempes, le front ou parfois les mains. [48]

Une prédisposition familiale et certains facteurs génétiques, comme des mutations du gène CDKN2A (gène suppresseur de tumeur), peuvent aussi augmenter le risque. [49]

Dans un premier temps, le mélanome se développera lentement et de manière superficielle (croissance horizontale). Cette phase peut durer plusieurs années. Puis, si la tumeur n'est pas traitée, une invasion est possible en profondeur, au niveau du derme (croissance verticale). Elle devient alors invasive, présentant alors un risque métastatique équivalent à celui des autres types de mélanome. Son diagnostic est difficile en raison d'un aspect clinique peu spécifique et qui ressemble à des taches cutanées. [50]



Figure 9 : Photo d'un mélanome de Dubreuilh sur la joue droite d'une patiente. On peut y voir une grande tache plane, brune et de forme très irrégulière. La couleur est hétérogène. [51]



Figure 10 : Photo d'un mélanome de Dubreuilh sur la région malaire gauche d'une patiente. Il possède des bords irréguliers et une couleur hétérogène. [52]

D.4) Le mélanome acrolentigineux

Le mélanome acrolentigineux est le quatrième type de mélanome le plus fréquent, représentant environ 5% des mélanomes dans les populations caucasiennes. [53]

Ce type de pathologie se développe principalement sur les extrémités du corps, d'où son nom "acral" signifiant "extrémité" en grec. Il est localisé principalement au niveau des paumes des mains, des plantes des pieds et sous les ongles. Cette forme est remarquable par sa prévalence élevée chez les personnes à peau foncée ou d'origine asiatique, où elle constitue le type de mélanome le plus fréquent, alors qu'elle reste rare chez les sujets à peau claire.

Au niveau clinique, le mélanome acrolentigineux débute le plus souvent par une tache brunâtre à noire, avec des bordures irrégulières, qui s'étend progressivement sur les zones exposées à la pression ou à la friction, comme les talons, la plante du pied ou encore les doigts de la main. Quand il est sous les ongles, il peut se manifester par la présence d'une bande foncée sur l'ongle et qui résiste aux traitements. Il est donc généralement détecté visuellement. Le mélanome acrolentigineux a une évolution lente et discrète, ce qui retarde le diagnostic. [54]

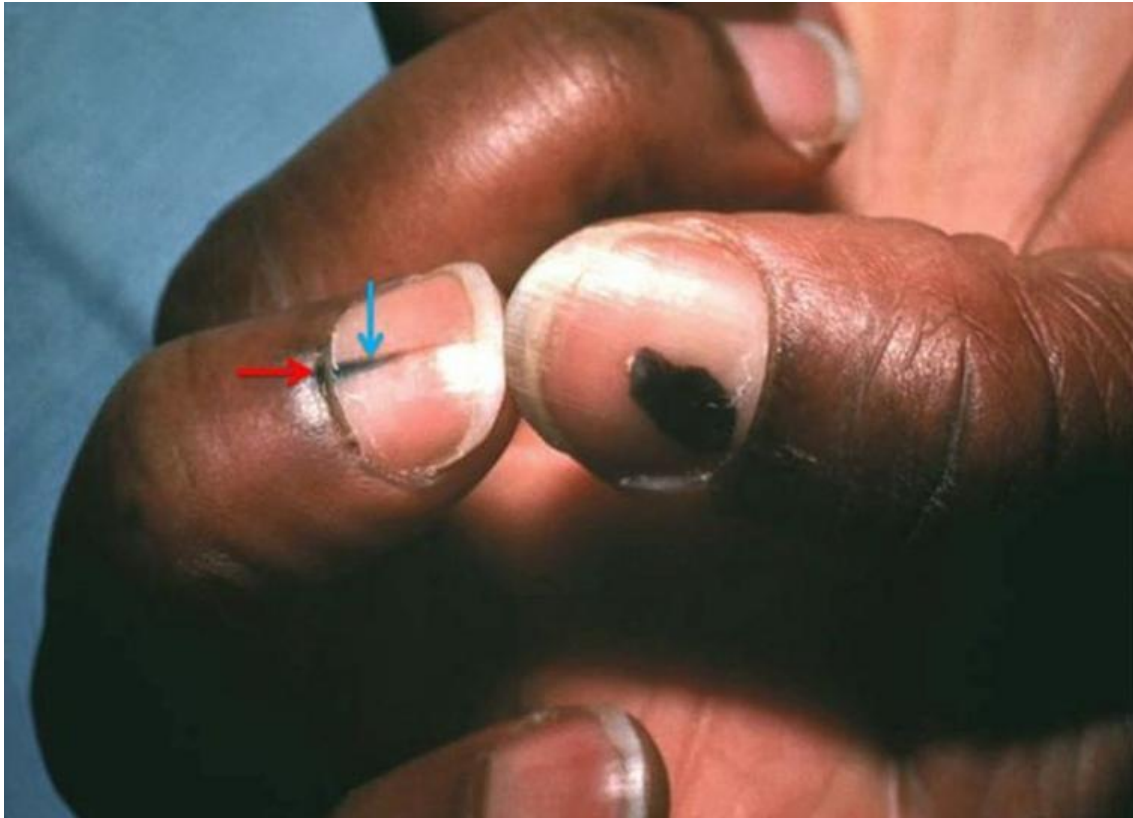


Figure 11 : Photo d'un mélanome acrolentigineux chez une personne à peau foncée. Ce dernier se situe sur la main du patient (flèche bleue). La zone sombre au niveau du pouce correspond à un hématome sous-unguéal et ne constitue donc pas un danger pour le patient. [52]

D.5) Le mélanome amélanotique

Le mélanome amélanotique est une forme rare de mélanome cutané. Ce type de pathologie représente moins de 5% des mélanomes. [55]

Il se caractérise par l'apparition de lésions cutanées inhabituelles sur lesquelles il n'y a pas ou peu de pigmentation. C'est la différence majeure entre ce type de mélanome et les autres présentés ci-dessus, qui sont généralement sombres ou noirs. Ici, les mélanomes amélanotiques peuvent être roses, rouges ou légèrement bruns et possèdent des bordures régulières. [52]

De plus, les lésions peuvent se développer et changer de forme au fil du temps. Ce type de lésion est le plus souvent localisé sur le tronc, la tête et le cou, et dans la partie inférieure des membres. Les trois morphologies retrouvées dans une série de 75 cas étaient épithélioïde (72%), fuselé (18,7%) et desmoplastique (5,3%). [56]



Figure 12 : Photo d'un mélanome amélanotique qui est légèrement rouge et avec des limites bien définies. [57]

E) Diagnostic du mélanome cutané

E.1) Dépistage

Le dépistage du mélanome cutané est une démarche cruciale dans la lutte contre ce cancer, en raison de sa capacité à améliorer significativement le pronostic en cas de détection précoce. En effet, diagnostiqué à un stade précoce, un mélanome peut être traité efficacement et guéri dans la majorité des cas. Ainsi, le dépistage vise à identifier les lésions suspectes avant qu'elles n'atteignent un stade avancé. [58]

Pour ce faire, la Haute Autorité de Santé encourage l'auto-diagnostic. Elle a établi une série de 7 questions que le patient peut se poser lui-même afin d'établir s'il est ou non à risque de développer un mélanome : [59]

- Antécédents personnels ou familiaux de cancers de la peau
- Bronzage facile au soleil ou non
- Antécédents de coups de soleil avec brûlure ou érythème pendant l'enfance
- Nombre élevé de nævi (≥ 40) ou de nævi atypiques

- Exposition régulière aux UV artificiels
- Immunodépression
- Expositions professionnelles à des agents cancérigènes (UV, arsenic, hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), rayonnements ionisants)

Si la réponse à l'une de ces questions est oui, le patient présente un risque accru de cancer de la peau et doit bénéficier d'un suivi spécifique.

Pour cela, l'HAS a mis en place depuis 2006, une stratégie de diagnostic précoce du mélanome cutané. Elle propose de se baser sur 4 acteurs : [17]

- Le patient qui est proactif et qui demande à voir un spécialiste pour une lésion suspecte ou qui réclame un bilan car il est sujet à risque,
- Le médecin généraliste qui identifie un patient à risque ou qui détecte une lésion suspecte au cours d'un examen de routine. Il adresse donc son patient à un spécialiste,
- Le dermatologue qui reçoit le patient suite à la consultation avec le médecin généraliste. Il a pour rôle de confirmer ou d'infirmer la suspicion de ce dernier. En cas de mélanome, il doit assurer la prise en charge thérapeutique du patient,
- L'anatomopathologiste qui confirme ou non le diagnostic de mélanome.

Le dépistage commence par la consultation du patient proactif, suivi de l'examen clinique par le médecin généraliste, puis de l'éventuelle orientation vers le dermatologue. Une fois le diagnostic confirmé, une prise en charge thérapeutique est mise en place, incluant une exérèse chirurgicale si nécessaire. L'anatomopathologiste intervient pour confirmer le diagnostic et guider les décisions thérapeutiques ultérieures. Cette approche coordonnée permet une détection précoce du mélanome, essentielle pour améliorer les chances de guérison des patients.

Cependant, la détection précoce des mélanomes ne doit pas reposer uniquement sur quelques spécialités médicales. Le repérage des sujets à risque devrait être une priorité pour l'ensemble des professionnels de santé. En effet, des praticiens tels que les gynécologues, pédiatres, infirmiers, kinésithérapeutes ou encore podologues, qui sont en contact régulier avec les patients, ont également un rôle essentiel à jouer. Ils doivent contribuer à sensibiliser la population aux risques liés à cette pathologie et encourager une surveillance cutanée régulière.

Dans certains pays comme la France, des campagnes de dépistage sont organisées à l'échelle nationale (par exemple, la journée nationale de dépistage des cancers de

la peau), permettant un accès facilité à un examen dermatologique, souvent gratuit et sans rendez-vous. En 2022, une centaine de dermatologues ont assuré des consultations anonymes et gratuites en France, dans des centres dédiés. [60]

E.2) Examen clinique

L'examen clinique doit être réalisé dans une pièce bien éclairée, avec un déshabillage complet du patient, afin de permettre une inspection de l'ensemble de la peau. Il convient de ne négliger aucune zone, y compris les plis cutanés, le cuir chevelu, les ongles et les espaces interdigitaux. L'analyse porte sur divers paramètres : forme des lésions, disposition, topographie, distribution et étendue. [61]

Elle peut être complétée par l'utilisation d'un dermatoscope, outil non invasif permettant une évaluation plus précise des caractéristiques morphologiques des lésions cutanées suspectes. Le médecin applique simplement le dermatoscope sur la lésion à examiner. Les derniers dermatoscopes sont équipés de lumière polarisée qui ne nécessite pas de contact direct avec la peau. Cet outil est largement utilisé de nos jours car il améliore la sensibilité à détecter un mélanome par rapport à l'œil nu. [62]

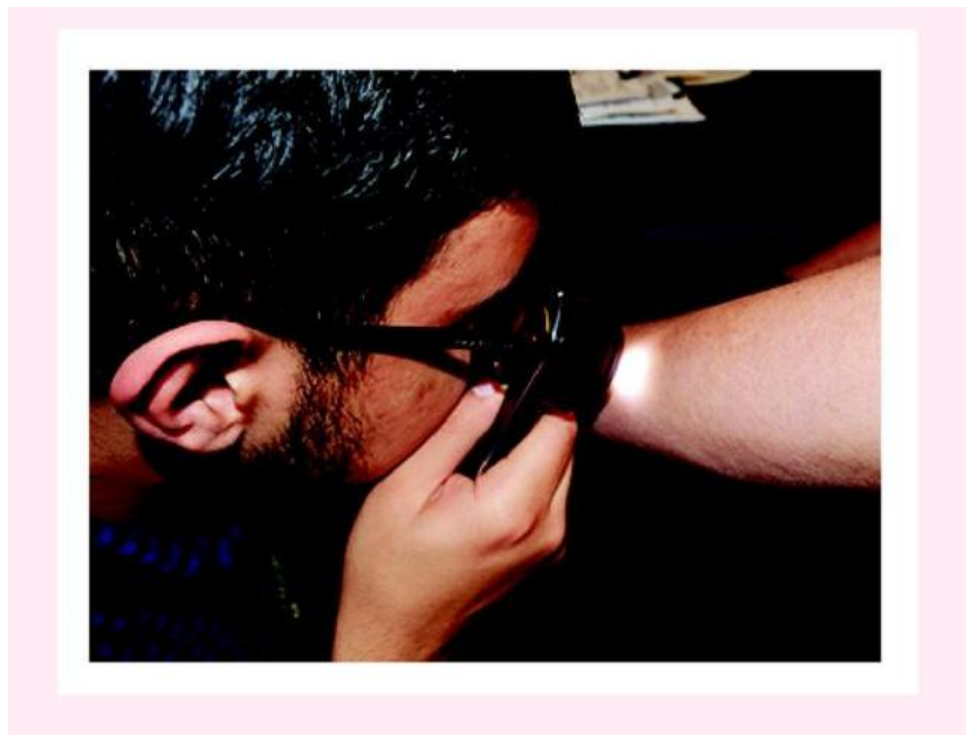


Figure 13 : Image d'un dermatoscope à lumière polarisée qui ne nécessite pas de contact direct avec la peau [63]

Les signes d'une lésion potentiellement cancéreuse au niveau clinique sont :

- Apparition d'une tâche foncée qui progresse (diamètre >6 mm) dans une zone de peau vierge auparavant,
- Apparition d'un nodule de couleur noire, ferme, arrondi, de croissance rapide (quelques semaines), ulcéré, croûteux ou suintant,
- Modification en quelques semaines ou quelques mois d'un nævus qui était stable depuis plusieurs années (modification de couleur, de taille, de forme)

Dans le cadre d'un examen, le médecin se doit de rechercher ces signes cliniques sur la peau de son patient. Ensuite, il se base sur des méthodes d'aide au diagnostic. Il en existe trois en dermatologie et ces dernières peuvent être applicables aussi bien au cabinet qu'en auto-dépistage :

E.2.1) La règle ABCDE

La règle ABCDE est la méthode de référence en France. Elle permet d'identifier si une lésion est susceptible d'être un mélanome avec les critères suivants : [64]

- Elle est asymétrique (critère A)
- Elle présente une bordure irrégulière, encochée, polycyclique, délimitée par rapport à la peau qui l'entoure (critère B)
- Ses couleurs sont inhomogènes, du brun clair au noir foncé. On peut aussi observer des zones blanches sans pigment, des zones bleutées ou des zones rouges inflammatoires (critère C)
- Le diamètre est supérieur à 6 mm (critère D)
- Elle est évolutive dans sa taille, sa couleur ou son épaisseur (critère E)

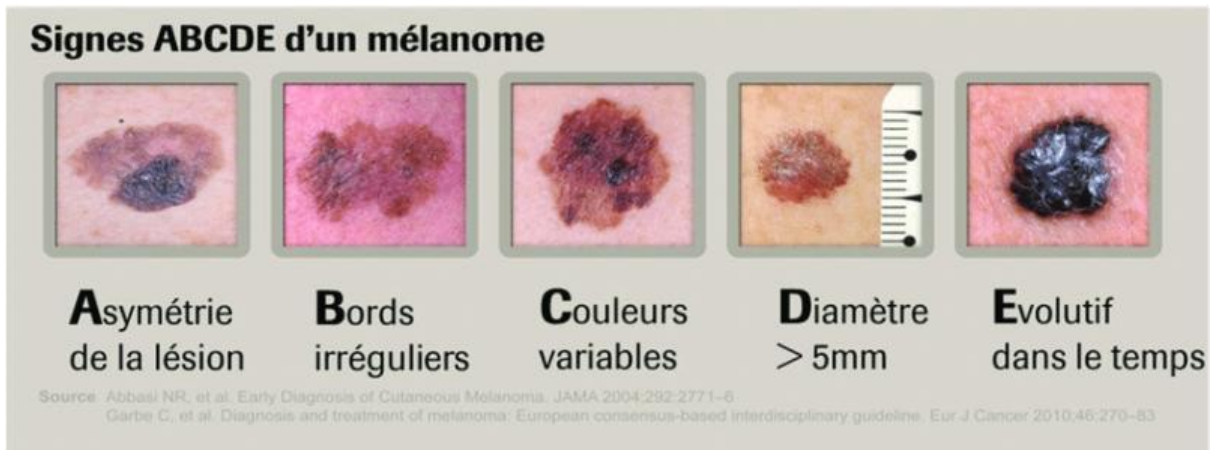


Figure 14 : Image récapitulative des cinq éléments cliniques permettant d'identifier une lésion suspecte de mélanome [65]

E.2.2) La liste revisitée de Glasgow

La liste revisitée des 7 points de Glasgow repose sur 3 critères majeurs : [66]

Changement :

- de taille d'une lésion connue
- de forme
- de couleur ou croissance d'une lésion nouvelle

et 4 critères mineurs :

- Diamètre supérieur ou égal à 7 mm
- Présence d'inflammation
- Ulcération ou saignement
- Modification de la sensibilité de la lésion (douleur, prurit, etc.)

Contrairement à l'échelle ABCDE, celle-ci accorde plus d'importance au concept d'évolution des lésions, considéré comme un élément central du dépistage précoce du mélanome. Avec cette méthode, une lésion est considérée comme suspecte si elle présente un critère majeur ou 3 critères mineurs. Cependant, cette méthode n'est pas suffisante pour établir un diagnostic et est moins utilisée par les médecins.

E.2.3) La démarche cognitive visuelle ou règle du « vilain petit canard »

La méthode cognitive visuelle repose sur un processus de reconnaissance globale des nævi chez le patient. Elle se fonde sur l'idée que chaque individu présente un patron nævique personnel, caractérisé par des lésions généralement homogènes en termes de forme, de couleur et de structure.

Dans ce contexte, le signe du "vilain petit canard" constitue un repère diagnostique majeur : une lésion mélanocytaire sera considérée comme suspecte dès lors qu'elle se distingue visiblement des autres nævi du patient, dont l'aspect est cliniquement uniforme.

Cette approche nécessite une observation attentive de l'ensemble des nævi du patient, en tenant compte de leur répartition, morphologie et évolution. Chez les personnes à risque, un suivi photographique systématique permet de documenter l'aspect initial des nævi et de détecter précocement toute modification morphologique. [67]

E.3) Examen histologique

L'examen histologique constitue l'étape de confirmation indispensable dans le diagnostic du mélanome cutané. Après une suspicion clinique, le dermatologue procède à une première exérèse de la lésion suspecte. C'est une intervention chirurgicale réalisée sous anesthésie locale et qui est généralement rapide (moins d'une heure environ). Le but ici est de confirmer ou non la présence de cellules cancéreuses.

La pièce opératoire est alors examinée au microscope par un anatomopathologiste qui recherche plusieurs critères histologiques : [68]

- Cellules mélanocytaires atypiques : recherche des proliférations de mélanocytes atypiques. La recherche de ces atypies permet de différencier le mélanome d'un nævus bénin
- L'indice de Breslow : il permet de mesurer au microscope l'épaisseur de la tumeur en millimètre. Plus cet indice est élevé, plus le pronostic est mauvais. C'est un facteur pronostic très important dont dépend le choix thérapeutique et la surveillance post traitement

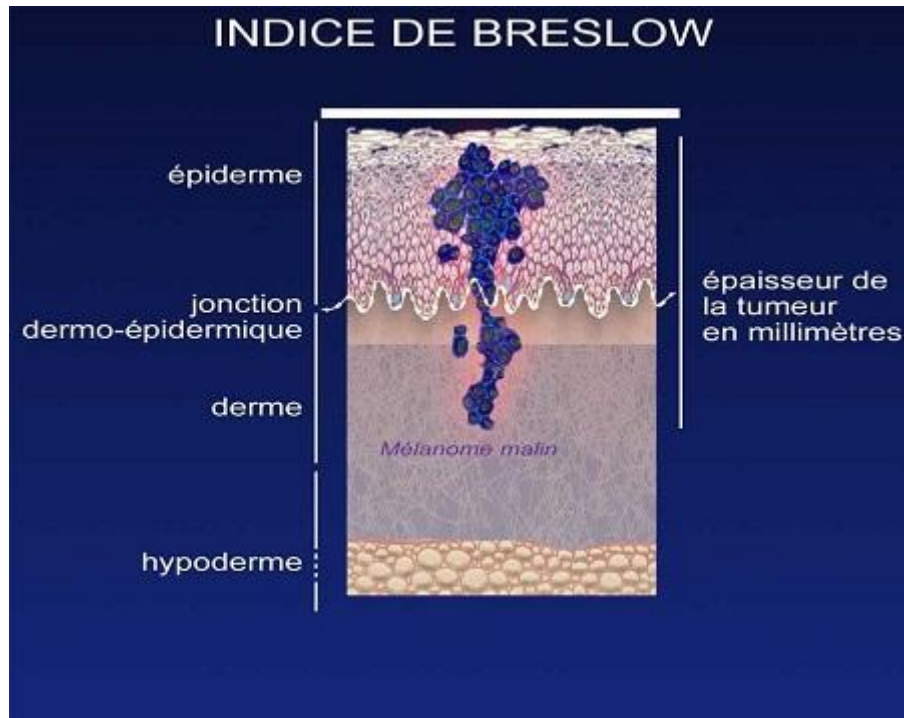


Figure 15 : indice de Breslow [68]

- La présence ou l'absence d'ulcération de la tumeur : cela correspond à une destruction partielle de l'épiderme par le mélanome
- Le nombre de mitoses : il représente l'activité de division cellulaire dans la tumeur. Autrement dit, il reflète la potentialité de prolifération tumorale. Un taux élevé traduit une forte activité tumorale et indique une agressivité accrue. [69]
- Le niveau de Clark : cet indice permet de déterminer la profondeur d'invasion par rapport aux couches de la peau et les classe par stade : [70]
 - Niveau 1 : la tumeur est confinée au niveau de l'épiderme. On parle de mélanome in situ
 - Niveau 2 : La tumeur se développe au niveau du derme papillaire en passant l'épiderme
 - Niveau 3 : La tumeur a infiltré tout le derme papillaire
 - Niveau 4 : La tumeur a envahi le derme réticulaire
 - Niveau 5 : La tumeur s'est développée dans l'hypoderme

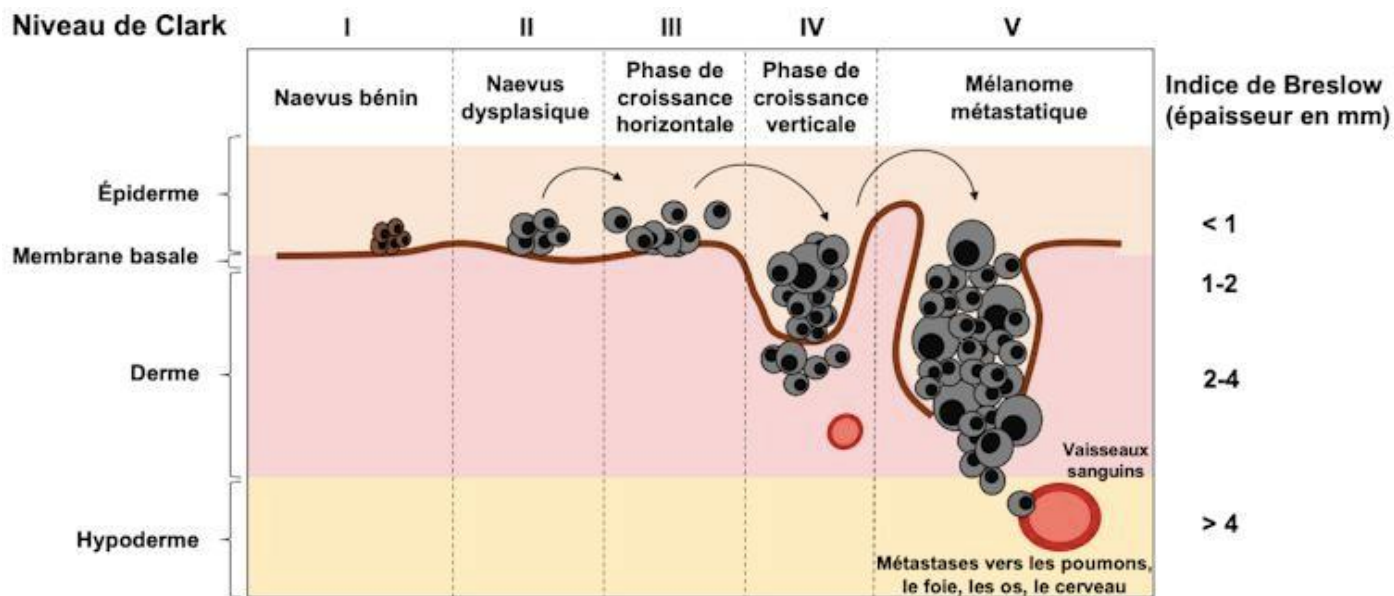


Figure 16 : Coupe verticale d'une section de la peau illustrant le niveau d'invasion anatomique d'une tumeur en fonction du niveau de Clark [71]

Aujourd'hui, cet indice n'est plus qu'utilisé dans le diagnostic de mélanomes fins (< 1 mm) [69]

Notons que la biopsie n'est envisagée qu'à titre exceptionnel, uniquement pour certaines lésions volumineuses situées sur le visage ou aux extrémités. [72]

L'examen histologique est donc indispensable pour affirmer le diagnostic de mélanome et préciser son stade.

E.4) Bilan d'extension

Dans certains cas, un bilan d'extension peut être prescrit aux patients afin de détecter une éventuelle propagation de la maladie. En fonction de la classification du mélanome, ce bilan peut changer.

E.4.1) Classification TNM

De nos jours, le système de stadification internationalement reconnu en dermatologie est celui de l'American Joint Committee on Cancer (AJCC) - 8^{ème} édition publiée en 2017. Il utilise la classification TNM en trois parties :

- La classification T qui évalue la ou le(s) tumeur(s) primitive(s) selon l'épaisseur et la présence ou non d'ulcérations :

Classification TNM du mélanome : AJCC 8 ^{ème} édition		
Tumeur primitive (T)		
T	Epaisseur (breslow en mm)	Ulcération
T0	Mélanomes sans évidence de tumeur primitive (mélanome entièrement régressif ou primitif inconnu)	
Tis	0/in situ/intra-épidermique	NA
T1	≤ 1,0 mm	Inconnu
T1a	< 0,8 mm	non
T1b	< 0,8 mm	oui
	0,8 à 1,0 mm	oui ou non
T2	> 1,0 à 2,0 mm	Inconnu
T2a		non
T2b		oui
T3	> 2,0 à 4,0 mm	Inconnu
T3a		non
T3b		oui
T4	> 4,0 mm	Inconnu
T4a		non
T4b		oui

Figure 17 : Classification T de la classification TNM [73]

- La classification N évalue les ganglions lymphatiques régionaux par le nombre de ganglions métastatiques envahis et le type de métastases :

Ganglions lymphatiques régionaux (N) et/ou métastases cutanées en transit (satellites)			
N	Nombre de ganglions métastatiques envahis	Micrométastase (non palpé) Macrométastase (palpé)	Métastases cutanées en transit
N0	Aucun		Non
N1a	1	Micro	Non
N1b	1	Macro	Non
N1c	Aucun		Oui
N2a	2 ou 3	Micro	Non
N2b	2 ou 3	Macro	Non
N2c	1	Micro/Macro	Oui
N3a	4 ou +	Micro	Non
N3b	4 ou + ou conglomérat d'adénopathie	au moins 1 Macro	Non
N3c	2 ou + et/ou conglomérat d'adénopathie	Micro ou Macro	Oui

Figure 18 : Classification N de la classification TNM [73]

- La classification M évalue les métastases à distance par le site et le taux de LDH sérique :

Métastases à distance (M)	
M	Site anatomique
M0	Aucune métastase à distance
M1	Métastases à distance :
M1a	Cutanées / ganglionnaires / tissus mous (par ex muscles)
M1b	Pulmonaires
M1c	Autres localisations hors Système Nerveux Central
M1d	Localisations Système Nerveux Central

Figure 19 : Classification M de la classification TNM [73]

Stades selon AJCC 8e édition (pTNM)				
Stades	T	Breslow	N	M
0	Tis		N0	M0
IA	T1a	< 0,8 mm - non ulcéré		
	T1b	< 0,8 mm - ulcéré		
IB	T2a	0,8 à 1 mm - non ulcéré		
	T2b	1 à 2 mm - non ulcéré		
IIA	T3a	1 à 2 mm - ulcéré		
	T3b	2 à 4 mm - non ulcéré		
	T3b	2 à 4 mm - ulcéré		
IIB	T4a	> 4 mm - non ulcéré		
	T4b	> 4 mm - ulcéré		
IIIA	T1 ou T2a		N1a	M0
			N2a	
IIIB	T0		N1b/c	
	T1 ou T2a		N1b/c	
			N2b	
	T2b ou T3a		N1a/b/c	
			N2a/b	
IIIC	T0		N2b/c	
			N3b/c	
	T1 ou T2 ou T3a		N2c	
			N3	
	T3b ou T4a		Tout N ≥ N1	
	T4b		N1	
			N2	
IIID	T4b		N3	
IV M1a,b,c ,d	Tout T		Tout N	M1

Figure 20 : Classification TNM [73]

Une fois les trois critères établis, le système TNM classe les mélanomes par stades :

- Les stades I et II décrivent des mélanomes locaux, fins avec ou sans ulcération. Les ganglions lymphatiques sont intacts et il n'y a pas de métastase. Au sein même de ces types I et II, des sous-groupes sont retrouvés en fonction de la taille de la tumeur et de la présence ou non d'ulcération
- Le stade III désigne les mélanomes qui présentent des métastases localisées au niveau cutané ou ganglionnaire, avec ou sans ulcération
- Le stade IV correspond aux mélanomes caractérisés par la présence de métastases à distance.

Le but de classer une tumeur dans ce système international est de guider le pronostic et la prise en charge thérapeutique.

E.4.2) Recommandations en fonction du stade du mélanome

Un bilan d'extension repose sur des examens d'imagerie tels que le scanner, l'IRM ou, dans certains cas, le PET-scan. Il est également possible de doser le taux de lactico-déshydrogénase (LDH) qui permet d'évaluer la charge tumorale. [74]

Les mélanomes stade I ne nécessitent pas de bilan d'extension. Pour les stades III et IV, le dermatologue demandera d'effectuer un bilan d'extension comprenant PET-scan et IRM dans le but de déterminer la dissémination de la tumeur et la présence éventuelle de métastases. Il est aussi recommandé de réaliser une échographie de l'aire de drainage et de la région de la cicatrice à partir du stade II. [64]

E.5) Examen moléculaire

Dans le mélanome, plusieurs altérations génétiques peuvent être identifiées. Les plus fréquentes concernent les gènes BRAF, NRAS et c-KIT, qui jouent un rôle clé dans la prolifération cellulaire et la signalisation intracellulaire. Leur détection permet d'orienter le choix des thérapies ciblées, notamment les inhibiteurs de BRAF ou de MEK.

Pour rechercher ces mutations, un génotypage est réalisé à partir du tissu tumoral prélevé lors de l'exérèse. Ce fragment de tumeur est ensuite fixé au formol et inclus en paraffine (FFPE). L'analyse, effectuée par des techniques de biologie moléculaire telles que la PCR ou le séquençage, permet d'identifier les mutations de ces gènes. [75]

Les résultats des analyses moléculaires sont discutés en réunion de concertation pluridisciplinaire et intégrés aux critères cliniques et histologiques précédemment évoqués, ce qui permet d'adapter le traitement.

E.5.1) Mutations du gène BRAF

Environ 50% des mélanomes cutanés présentent une mutation activatrice du gène BRAF, principalement la mutation V600E ou V600K. [76]

Cela active la voie de signalisation MAPK/ERK. Cette voie est normalement stimulée par des signaux de croissance externes, mais lorsqu'elle est activée en permanence par une mutation, elle entraîne :

- Une prolifération cellulaire accrue des mélanocytes
- Une survie cellulaire prolongée, en inhibant certains mécanismes d'apoptose
- Un dérèglement du cycle cellulaire, favorisant l'accumulation d'autres anomalies génétiques

En d'autres termes, la mutation BRAF fournit un « signal de croissance bloqué en position ON » qui pousse les mélanocytes à se multiplier de façon désordonnée. Identifier cette mutation est donc indispensable, surtout pour les stades III et IV, car elle conditionne l'accès aux thérapies ciblées par inhibiteurs de BRAF. [77]

En ce sens, les instances internationales (NCCN, ESMO) recommandent le test BRAF dans les stades III et IV, et dans certains cas de stades II à haut risque. [78]

E.5.2) Mutations du gène NRAS

Les mutations du gène NRAS sont identifiées dans environ 30 % des mélanomes cutanés. [79]

Elles induisent une activation constitutive des voies de signalisation MAPK et PI3K-AKT, favorisant la prolifération cellulaire, l'angiogenèse et la résistance à l'apoptose. Cliniquement, les mélanomes NRAS mutés présentent souvent un comportement plus agressif et un pronostic défavorable. Contrairement aux mutations BRAF, il n'existe pas encore de thérapies ciblées standardisées contre NRAS.

E.5.3) Mutations du gène NF1

Les mutations inactivatrices du gène suppresseur de tumeur NF1 sont identifiées dans environ 15 % des mélanomes cutanés. [79]

La protéine NF1 agit comme un régulateur négatif de la voie RAS. Sa perte de fonction entraîne une activation persistante de cette voie, favorisant la croissance tumorale. Les mélanomes NF1 mutés sont fréquemment observés sur des zones de peau chroniquement exposées au soleil. Ils font souvent partie du sous-groupe « triple wild-type » (sans mutation BRAF ni NRAS), pour lequel les options thérapeutiques ciblées restent limitées.

E.5.4) Mutations du gène c-KIT

Les mutations activatrices du gène c-KIT sont rares dans le mélanome cutané (< 2 %), mais apparaissent plus fréquemment dans certaines formes : mélanome acral lentigineux et mélanomes chroniquement exposés au soleil. [80]

Le gène c-KIT code pour un récepteur à activité tyrosine kinase, appelé KIT. Ce récepteur est principalement exprimé à la surface de certaines cellules, dont les mélanocytes. KIT joue un rôle central dans le développement, la survie, la prolifération et la migration de ces cellules pigmentaires. L'activation normale de KIT par son ligand, le stem cell factor (SCF), induit des voies de signalisation intracellulaires essentielles pour : [81]

- La différenciation des mélanocytes,
- Le maintien de l'équilibre entre prolifération et apoptose des mélanocytes adultes,
- La pigmentation de la peau par la synthèse de mélanine

Le médecin peut alors prescrire un traitement à base d'inhibiteurs de tyrosine kinase, indiqué chez les patients dont le mélanome présente une mutation du gène c-kit.

E.6) Limites des méthodes traditionnelles

En dépit des avancées récentes en dermatologie, le diagnostic du mélanome cutané reste perfectible, tant sur le plan de l'examen clinique que dans les techniques histopathologiques ou l'analyse moléculaire.

E.6.1) Variabilité inter-observateur

L'interprétation clinique dépend fortement de l'expérience du médecin, ce qui peut conduire à des erreurs de diagnostic notamment dans les formes atypiques ou les lésions débutantes. Cette variabilité se retrouve également dans l'interprétation des coupes histologiques par les anatomo-pathologistes, ce qui peut modifier la prise en charge du patient.

E.6.2) Limites des examens invasifs

Certaines biopsies peuvent ne pas prélever une portion représentative de la tumeur, ou manquer certaines sous-populations tumorales (hétérogénéité intratumorale). Cela peut entraîner soit un sous-diagnostic, soit une classification inexacte de la gravité tumorale, rendant le diagnostic incomplet. En outre, la biopsie peut engendrer des risques de complications chez le patient, ainsi que des coûts financiers pour le système de santé.

E.6.3) Analyse moléculaire partielle

Les tests actuels recherchent principalement certaines mutations (BRAF, c-kit...), mais passent à côté de nombreuses autres anomalies génétiques potentiellement pertinentes, limitant l'accès à certains traitements ciblés innovants.

E.6.4) Dépistage tardif

Malgré les campagnes d'information de plus en plus importantes, la détection du mélanome intervient encore trop tardivement dans de nombreux cas, conduisant à un risque métastatique élevé et à un mauvais pronostic.

E.6.5) Délai d'attente des résultats de biopsie

Le délai d'attente des résultats histopathologiques peut provoquer de l'anxiété chez un patient. Selon le National Health Service (NHS), les résultats sont généralement disponibles dans un délai d'environ deux semaines, bien que ce laps de temps puisse parfois être plus long selon la complexité de l'analyse ou la charge de travail du laboratoire. Ce délai peut renforcer le stress lié au diagnostic potentiel de cancer. Il est donc important que le médecin informe le patient du délai estimé et reste disponible pour répondre à ses questions, afin de réduire l'anxiété due à l'attente et de maintenir une communication rassurante tout au long du processus diagnostique. [82]

F) Prise en charge thérapeutique du mélanome cutané

À la suite du diagnostic du mélanome cutané, le médecin choisit le traitement le plus adéquat en fonction des caractéristiques du mélanome. Il prend également en compte l'âge du patient, son état de santé général ainsi que ses antécédents médicaux.

Aujourd'hui, différentes méthodes sont utilisées par les dermatologues afin d'éliminer la charge tumorale. Nous les décrirons ci-dessous dans cette partie.

F.1) Chirurgie

Si l'exérèse initiale révèle un mélanome, il est nécessaire de procéder à une seconde exérèse. Cette dernière permet d'éliminer l'ensemble de la lésion, en utilisant en plus des marges latérales de sécurité. La taille de la marge clinique choisie par le chirurgien peut varier, allant de 0,5 cm à 2 cm. Elle dépend de l'épaisseur et de la localisation du mélanome.

Indice de Breslow	Marges d'exérèse chirurgicale latérales
Mélanome in situ	0,5 cm
Dubreuilh in situ	1 cm
Mélanome 0.1 à 1 mm	1 cm
Mélanome 1.01 à 2 mm	1 à 2 cm
Mélanome > 2 mm	2 cm

Figure 21 : Tableau des recommandations de la SFD vis à vis des marges d'exérèse chirurgicale latérales chez un patient atteint de mélanome [83]

Pour un mélanome présentant un risque de dissémination, un curage ganglionnaire peut être associé à l'exérèse afin de réduire le risque de récurrence. Dans le cas des mélanomes de stade III ou IV, l'exérèse seule n'est plus suffisante pour traiter la maladie. Il est alors nécessaire d'envisager des traitements médicamenteux adjuvants, tels que l'immunothérapie et/ou la thérapie ciblée. [84]

F.2) Thérapie ciblée

Les thérapies ciblées constituent une avancée majeure dans la prise en charge des mélanomes cutanés, particulièrement pour les formes avancées ou métastatiques dotées de mutations génétiques spécifiques. Elles visent des anomalies moléculaires identifiées comme la mutation BRAF V600, dans les cellules tumorales, permettant ainsi une action plus spécifique et souvent mieux tolérée.

Les caractéristiques spécifiques de la thérapie ciblée sont une réponse rapide et un taux de réponse positif élevé. Cependant, les patients développent une résistance au traitement au bout d'un certain temps, ce qui peut entraîner des rechutes. [85]

Le développement des thérapies ciblées s'inscrit donc dans une approche de médecine personnalisée, fondée sur l'identification des altérations moléculaires tumorales.

F.2.1) Inhibiteurs de BRAF

BRAF est un gène qui code la protéine B-RAF, impliquée dans la voie de transduction intracellulaire RAS/MAPK, laquelle joue un rôle dans la prolifération et la survie cellulaire. BRAF est activée de façon constitutive chez les patients atteints de mélanome. L'enjeu des thérapies ciblées est de bloquer la BRAF kinase et la MEK kinase, ce qui va empêcher la production des protéines B-RAF et MEK et donc la prolifération anarchique tumorale. [86]

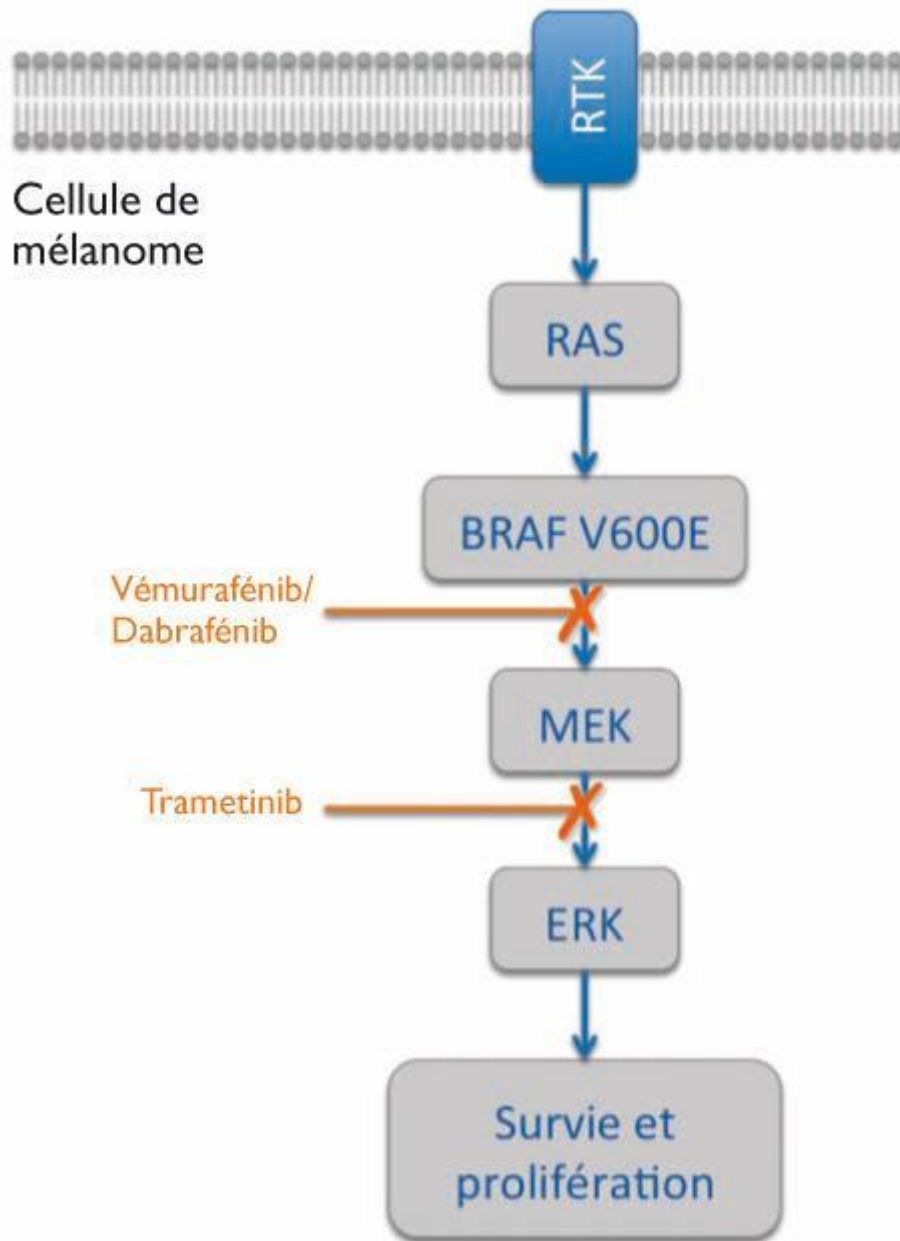


Figure 22 : Schéma de l'action du vémurafénib, dabrafénib et du tramétinib sur la voie RAS/MAPK [87]

Il existe aujourd'hui 3 inhibiteurs de BRAF sur le marché.

F.2.1.1) Vémurafénib (ZELBORAF)

C'est un anticancéreux indiqué en monothérapie dans le traitement des patients adultes atteints d'un mélanome non résectable ou métastatique, porteurs de la mutation V600.

La posologie recommandée est de 4 comprimés de 240 mg 2 fois par jour soit une prise de 960 mg le matin et 960 mg le soir espacé de 12h. [88]

Sa prescription par des oncologues est exclusivement hospitalière et la délivrance s'effectue dans des officines de ville. [89]

Principaux effets secondaires : [88]

- Photosensibilité
- Tumeurs cutanées
- Syndrome mains-pieds
- Réactions cutanées de types allergique
- Troubles du rythme cardiaque
- Asthénie

Avant l'instauration du traitement, la réalisation d'un électrocardiogramme et d'un bilan sanguin est indispensable et doit être renouvelée après un mois de traitement. Une surveillance ophtalmologique ainsi qu'un contrôle régulier des transaminases sont également requis.

F.2.1.2) Dabrafenib (TAFINLAR)

C'est un anticancéreux indiqué en monothérapie dans le traitement des patients adultes atteints d'un mélanome non résecable ou métastatique porteur d'une mutation BRAF V600. [90]

La posologie recommandée est de 2 comprimés de 75 mg 2 fois par jour en dehors des repas soit une prise de 150 mg le matin et 150 mg le soir espacé de 12h. Notons qu'il peut aussi être associé au trametinib.

Sa prescription par des oncologues est exclusivement hospitalière et la délivrance se fait dans des officines de ville.

Principaux effets secondaires : [91]

- Poussées de fièvre
- Asthénie
- Nausées, vomissements, diarrhées
- Perte de poids
- Céphalées
- Hyperglycémie

- Carcinome épidermoïde cutané

F.2.1.3) Encorafenib (BRAFTOVI)

C'est un anticancéreux indiqué en association avec le binimetinib (MEKTOVI) dans le traitement de patients adultes atteints de mélanome non résecable ou métastatique porteur d'une mutation BRAF V600. [92]

La posologie recommandée est de 6 gélules de 75 mg 1 fois par jour, soit une prise de 450 mg. L'utilisation de l'encorafenib en monothérapie n'est pas recommandée. Si le binimetinib venait à être interrompu pour un temps, il serait nécessaire de réduire la dose d'encorafenib à 300mg (soit 4 gélules) une fois par jour.

Sa prescription par des oncologues est exclusivement hospitalière et la délivrance s'effectue dans des officines de ville.

Principaux effets secondaires :

- Poussées de fièvre
- Nausées, vomissements, diarrhées
- Perte de poids
- Troubles oculaires
- Douleurs musculaires

F.2.2) Inhibiteurs de MEK

Ce type de thérapies ciblées est souvent utilisé en association avec les inhibiteurs de BRAF dans le but de maximiser l'efficacité du traitement.

Il existe aujourd'hui 3 inhibiteurs de MEK sur le marché.

F.2.2.1) Trametinib (MEKINIST)

C'est un anticancéreux indiqué en monothérapie ou en association au dafrafenib dans le traitement de patients adultes atteints d'un mélanome non résecable ou métastatique porteur d'une mutation BRAF V600. On peut également l'utiliser en association au dafrafenib dans le traitement adjuvant d'un mélanome de stade III avec mutation BRAF V600.

La posologie recommandée du trametinib est de 1 comprimé de 2 mg 1 fois par jour. Concernant la posologie du dafrafenib, elle est de 150 mg 2 fois par jour. [93]

Sa prescription par des oncologues est exclusivement hospitalière et la délivrance se fait dans des officines de ville. [94]

Principaux effets secondaires : ce sont globalement les mêmes que les inhibiteurs de BRAF :

- Troubles digestifs
- Atteinte cutanée
- Asthénie
- Perte de poids
- Atteinte visuelle

F.2.2.2) Cobimetinib (COTELLIC)

C'est un anticancéreux indiqué en association au vemurafenib dans le traitement de patients adultes atteints d'un mélanome non résecable ou métastatique porteur d'une mutation BRAF V600.

La posologie recommandée est de 3 comprimés de 20 mg 1 fois par jour soit 60 mg par jour en une prise. La durée du traitement est réglée par cycle de 28 jours. Lors des 21 premiers jours de traitement, le patient doit prendre 3 comprimés par jour. Les 7 derniers jours doivent marquer un arrêt du traitement. Ce n'est qu'à la fin de ces 7 jours que le cycle suivant peut commencer. [95]

Sa prescription par des oncologues est exclusivement hospitalière et la délivrance se fait dans des officines de ville. [96]

Principaux effets secondaires : ce sont globalement les mêmes que les inhibiteurs de BRAF, comme évoqué ci-dessus.

F.2.2.3) Binimetinib (MEKTOVI)

C'est un anticancéreux indiqué en association à l'encorafenib dans le traitement de patients adultes atteints d'un mélanome non résecable ou métastatique porteur d'une mutation BRAF V600.

La posologie recommandée est de 3 comprimés de 15 mg 2 fois par jour, soit 45 mg par prise espacée de 12 heures. La posologie quotidienne est donc de 90 mg par jour. [97]

Sa prescription par des oncologues est exclusivement hospitalière et la délivrance se fait dans des officines de ville. [98]

Principaux effets secondaires : ce sont globalement les mêmes que les inhibiteurs de BRAF, comme évoqué ci-dessus. Il est important de signaler qu'en cas d'effets indésirables trop importants, la dose de binimetinib peut être réduite à 30 mg deux fois par jour. Si les effets indésirables continuent, le traitement doit être arrêté car une dose inférieure à 60 mg par jour est jugée insuffisante. [99]

F.3) Immunothérapie

L'immunothérapie a profondément changé le traitement du mélanome cutané, notamment pour les stades III et IV. En effet, l'arrivée sur le marché de molécules comme les anticorps monoclonaux inhibiteurs de points de contrôles (anti PD-1, anti CTLA-4) et certains modulateurs immunitaires, ont permis d'améliorer significativement la survie des patients.

F.3.1) Anticorps monoclonaux anti CTLA-4

La protéine CTLA-4 joue un rôle clé dans la régulation du système immunitaire. Son action principale consiste à freiner l'activation des lymphocytes T afin d'éviter une réponse immunitaire excessive pouvant conduire à des phénomènes d'auto-immunité. En d'autres termes, CTLA-4 agit comme un point de contrôle immunitaire négatif en inhibant la prolifération et l'activité des lymphocytes T. En levant ce point de contrôle, le système immunitaire va pouvoir agir en essayant d'éliminer les cellules tumorales, notamment grâce à l'action des lymphocytes T CD8+ cytotoxiques. [100]

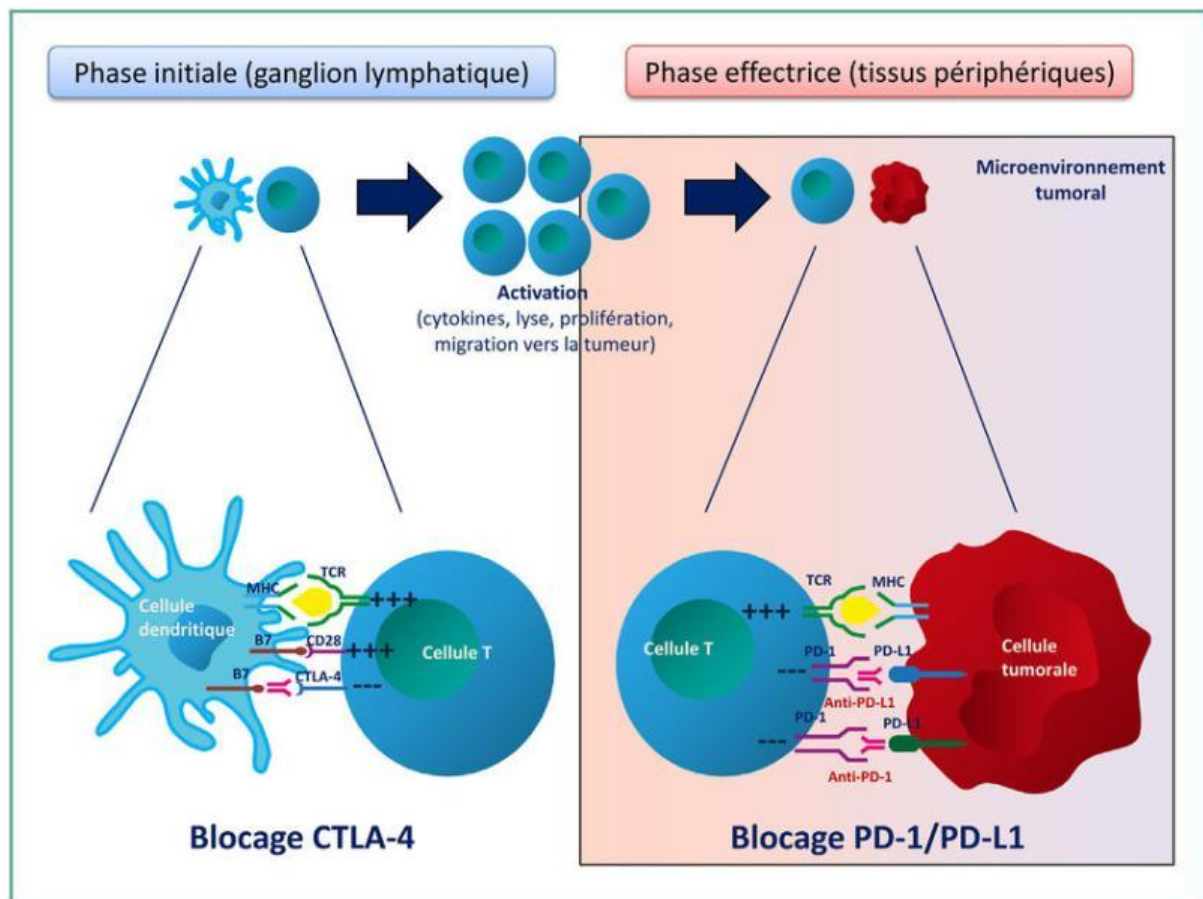


Figure 23 : Représentation schématique du mécanisme d'action des immunothérapies dirigées contre CTLA-4, PD-1 et PD-L1 [101]

La molécule phare de cette classe thérapeutique est l'ipilimumab, commercialisé sous le nom de YERVOY.

Elle est indiquée en monothérapie ou en association au nivolumab (OPDIVO) dans le traitement de patients de plus de 12 ans atteints d'un mélanome non résecable ou métastatique.

En monothérapie, la posologie recommandée est de 3 mg/kg en perfusion intraveineuse sur une période de 30 minutes pendant 3 semaines pour un total de 4 doses. Suite aux 4 doses et pas avant, une évaluation de la réponse tumorale doit être effectuée. Quand l'ipilimumab est utilisé en association au nivolumab, la dose recommandée est de 3 mg/kg d'ipilimumab en association avec 1 mg/kg de nivolumab, administrée en intraveineux toutes les 3 semaines pour les 4 premières doses.

En association, la dose recommandée est de 3 mg/kg d'ipilimumab en association avec 1 mg/kg de nivolumab, administrée en intraveineux toutes les 3 semaines pour

les 4 premières doses. S'en suit une seconde phase durant laquelle le patient n'est traité que par nivolumab en intraveineux à raison de 240 mg toutes les 2 semaines. [102]

Sa prescription par des oncologues est exclusivement hospitalière et la délivrance se fait dans des officines de ville. [103]

Principaux effets secondaires :

- Troubles gastro-intestinaux (diarrhée, douleurs abdominales, colites...)
- Atteintes hépatiques
- Atteintes cutanées (éruptions cutanées, prurits...)
- Troubles endocriniens (hypothyroïdie, insuffisance surrénalienne...)

F.3.2) Anticorps monoclonaux anti PD1

Aujourd'hui, les anticorps monoclonaux anti PD1 ont une meilleure efficacité et une toxicité moindre que les anticorps anti CTLA-4. C'est donc naturellement qu'ils sont devenus le traitement de première intention, en remplacement de l'ipilimumab. [104]

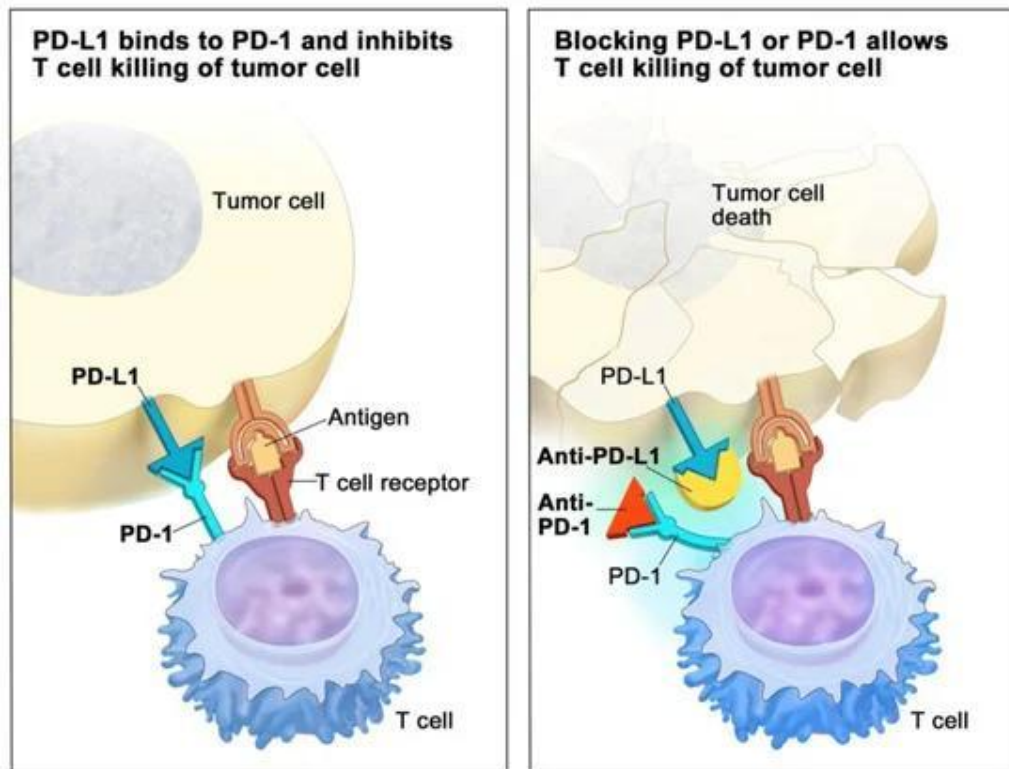


Figure 24 : Schéma du mode d'action des inhibiteurs de points de contrôle : voie PD-L1 et PD-1 (à gauche) et inhibiteurs (à droite) [105]

Sur le schéma ci-dessus, on peut voir que le lymphocyte T exprime à sa surface le PD-1. Son ligand nommé PD-L1 est, quant à lui, retrouvé à la surface des cellules tumorales. Quand le ligand rencontre son récepteur, cela entraîne une inhibition de la réponse immunitaire des lymphocytes T. Si cette liaison est bloquée comme sur l'image de droite, les lymphocytes T retrouveront leur fonction. On cherche donc à bloquer la liaison ligand récepteur.

Il existe quelques anticorps anti PD-1 qui sont actuellement en cours d'études cliniques :

F.3.2.1) Nivolumab (OPDIVO®)

C'est un anticorps monoclonal qui a pour cible la protéine PD-1. Il est indiqué en monothérapie ou en association à l'ipilimumab dans le traitement des patients adultes atteints d'un mélanome avancé non muté BRAF.

La posologie recommandée est de 240 mg de nivolumab toutes les 2 semaines en IV pendant 30 minutes, soit 480 mg tous les mois en IV pendant 1 heure. [106]

Sa prescription par des oncologues ou des hématologues est exclusivement hospitalière et la délivrance se fait dans des pharmacies hospitalières uniquement. [107]

Principaux effets secondaires : [108]

- Inflammation :
 - Des poumons (pneumonite)
 - Du cerveau (encéphalite)
 - Du cœur (myocardite)
 - De la peau
- Diminution des globules rouges (anémie)

Deux essais de phase 3 ont montré une efficacité supérieure du nivolumab par rapport à la chimiothérapie chez plusieurs types de patients : [109] [110]

- Patients présentant un mélanome métastatique sans mutation BRAF non traité auparavant
- Patients présentant un mélanome métastatique ayant progressé après l'ipilimumab ou l'ipilimumab et un inhibiteur de BRAF.

F.3.2.2) Pembrolizumab (KEYTRUDA®)

C'est aussi un anticorps monoclonal qui a pour cible la protéine PD-1. Il est indiqué en monothérapie dans le traitement des patients de plus de 12 ans atteints d'un mélanome avancé.

La dose recommandée de pembrolizumab est de 200 mg toutes les 3 semaines, administrée en IV pendant 30 minutes. [111]

Sa prescription par des oncologues ou hématologues est exclusivement hospitalière et la délivrance se fait dans des pharmacies hospitalières uniquement. [112]

Principaux effets secondaires : [113]

- Inflammation :
 - Des poumons (pneumonite)
 - Des intestins
 - Du foie
 - Des reins
 - De la peau
- Diabète de type 1

F.3.3) Interféron alpha (ROFERON-A)

L'interféron alpha est principalement utilisé après chirurgie chez les patients atteints de mélanome de stade II ou III présentant un risque élevé de récurrence. [114]

L'interféron alpha est une cytokine produite naturellement par les cellules du système immunitaire. Son administration en sous cutanée vise à stimuler la réponse immunitaire de l'organisme contre les cellules tumorales. Il agit en ralentissant la prolifération cancéreuse et en favorisant l'activation des lymphocytes, contribuant ainsi à la destruction des cellules malignes. [115]

Des études cliniques ont montré que l'utilisation de l'interféron alpha en traitement adjuvant permet une amélioration significative de la survie sans récurrence et de la survie globale, bien que le bénéfice demeure limité. [116]

Cependant aujourd'hui, l'interféron alpha n'est plus considéré comme le traitement de référence en adjuvant à la chirurgie, en raison de l'émergence des anticorps monoclonaux anti-PD-1 et anti-CTLA-4, qui offrent un meilleur rapport bénéfice-risque.

La posologie de l'interféron alpha est de 3 millions d'UI 3 fois par semaine, pendant 18 mois, en commençant au plus tard 6 semaines après l'intervention chirurgicale. En cas d'intolérance, la posologie est diminuée à 1,5 MUI 3 fois par semaine. [117]

Principaux effets secondaires : [115]

- Syndrome pseudo grippal (fièvre, maux de tête, sueurs, douleurs musculaires)
- Perte d'appétit et de poids
- Nausées et diarrhées
- Dysfonctionnements thyroïdiens
- Diminution des globules rouges (anémie)
- Diminution des plaquettes (thrombopénie)

F.3.4) Traitement associant anticorps anti CTLA-4 et anti PD-1

La combinaison d'anticorps anti-CTLA-4 et anti-PD-1, notamment ipilimumab et nivolumab, constitue une approche de référence dans le traitement du mélanome avancé et améliore de manière significative la survie globale, avec des réponses rapides et durables observées chez environ 40% des patients. [109]

Cette stratégie potentialise la stimulation des lymphocytes T face à la cellule tumorale en levant des freins immunitaires complémentaires. Cependant, elle expose à une toxicité accrue, dont près de 60% de toxicités sévères de grade 3, principalement cutanées, digestives et endocriniennes. [104]

Ce profil impose une surveillance clinique spécialisée et l'arrêt du traitement en cas de complications majeures. La double immunothérapie reste ainsi une option privilégiée en première ligne pour les mélanomes, selon les dernières données cliniques.

F.4) Chimiothérapie

La chimiothérapie dans le mélanome cutané est désormais peu utilisée, réservée essentiellement aux stades avancés quand les thérapies ciblées et l'immunothérapie ont échoué. Son but est de bloquer la prolifération des cellules, tumorales ou non. [118]

Les principaux agents chimiothérapeutiques classiques sont :

- La dacarbazine
- Les combinaisons carboplatine-paclitaxel

Leur mode d'administration est la voie intraveineuse. Malgré une relative bonne tolérance des protocoles modernes, la chimiothérapie présente une efficacité limitée contre les mélanomes métastatiques, avec des taux de réponse faibles et une survie prolongée modeste. Elle reste essentiellement utilisée à visée palliative pour contrôler certains symptômes ou ralentir la maladie lorsque l'immunothérapie et les thérapies ciblées n'ont pas fonctionné.

De plus, ces agents chimiothérapeutiques peuvent provoquer de nombreux effets indésirables : [115]

- Nausées, vomissements, diarrhée
- Fatigue
- Baisse du nombre de GR, de GB, de plaquettes
- Perte de poils et de cheveux

F.4.1) Dacarbazine (DETICENE)

C'est un antinéoplasique cytostatique qui inhibe la croissance cellulaire et la synthèse d'ADN. [119]

La dose recommandée est une administration par perfusion IV de 30 à 60 minutes pendant 5 jours avec un intervalle de 3 semaines entre 2 cures.

F.4.2) La combinaison carboplatine-paclitaxel (TAXOL®)

La carboplatine est un agent alkylant qui interfère avec la réplication de l'ADN des cellules tumorales, tandis que le paclitaxel agit en stabilisant les microtubules et en bloquant la division cellulaire.

Cette combinaison est administrée sous formes de cycles : à J1 a lieu une administration IV de carboplatine et de Taxol® pendant 3 heures. Par la suite, une administration hebdomadaire de Taxol® est prévue à 2 reprises (J8 et J15) en perfusion d'une heure. Le nouveau cycle commencera 21 à 28 jours après le début du précédent cycle. [120]

G) Stratégie de choix du traitement du mélanome

La prise de décision thérapeutique dans le mélanome cutané repose sur le stade clinique et histopathologique de la maladie, selon la classification de l'AJCC précédemment décrite et sur les recommandations nationales et internationales.

G.1) Stade 1

Le seul traitement repose sur l'exérèse chirurgicale élargie de la lésion, avec une marge de sécurité adaptée à la profondeur et à la localisation. Aucun autre traitement adjuvant ni bilan d'extension n'est nécessaire.

G.2) Stade 2

L'exérèse élargie est le traitement de référence également. Une biopsie du ganglion sentinelle est recommandée dès que l'indice de Breslow atteint 1 mm.

Le ganglion sentinelle est le premier ganglion lymphatique qui reçoit la lymphe drainée depuis la zone où se situe la tumeur. Il joue un rôle fondamental dans l'évaluation de la propagation initiale du cancer. Un ganglion sentinelle sain est un signe que le cancer n'a probablement pas commencé à se propager. Son analyse permet donc de préciser le stade du mélanome et d'affiner le traitement éventuel. [121]

Un traitement adjuvant par immunothérapie (anti-PD-1) est régulièrement proposé.

G.3) Stade 3

Le traitement devient plus complexe. En première intention, c'est la chirurgie qui est évoquée : l'exérèse du mélanome et un curage ganglionnaire si atteinte lymphatique confirmée.

De plus, les médecins mettent en place la recherche d'une potentielle mutation BRAF avant l'instauration d'un traitement adjuvant (immunothérapie et/ou thérapie ciblée en cas de mutation BRAF).

En cas de mutation V600 de BRAF, le traitement proposé sera l'association Dabrafenib/Trametinib ou un traitement par immunothérapie (préférentiellement un anticorps monoclonal anti-CTLA-4 ou PD-1). Si on ne retrouve pas la mutation V600 de BRAF, le traitement de première intention est de l'immunothérapie (nivolumab ou pembrolizumab).

Pour les mélanomes de stade III inopérables et de stade IV, un arbre décisionnel est disponible afin d'aider les médecins à déterminer la meilleure stratégie thérapeutique. En fonction de la présence d'une mutation BRAF V600 et des réponses aux traitements, le traitement pourra être réévalué.

ARBRE DE DÉCISION 1. TRAITEMENTS SYSTÉMIQUES DE 1^{re} LIGNE, DE 2^e LIGNE ET DE 3^e LIGNE DES MÉLANOMES CUTANÉS MÉTASTATIQUES NON RÉSECABLES (STADE III INOPÉRABLE ET STADE IV) HORS MÉTASTASE CÉRÉBRALE

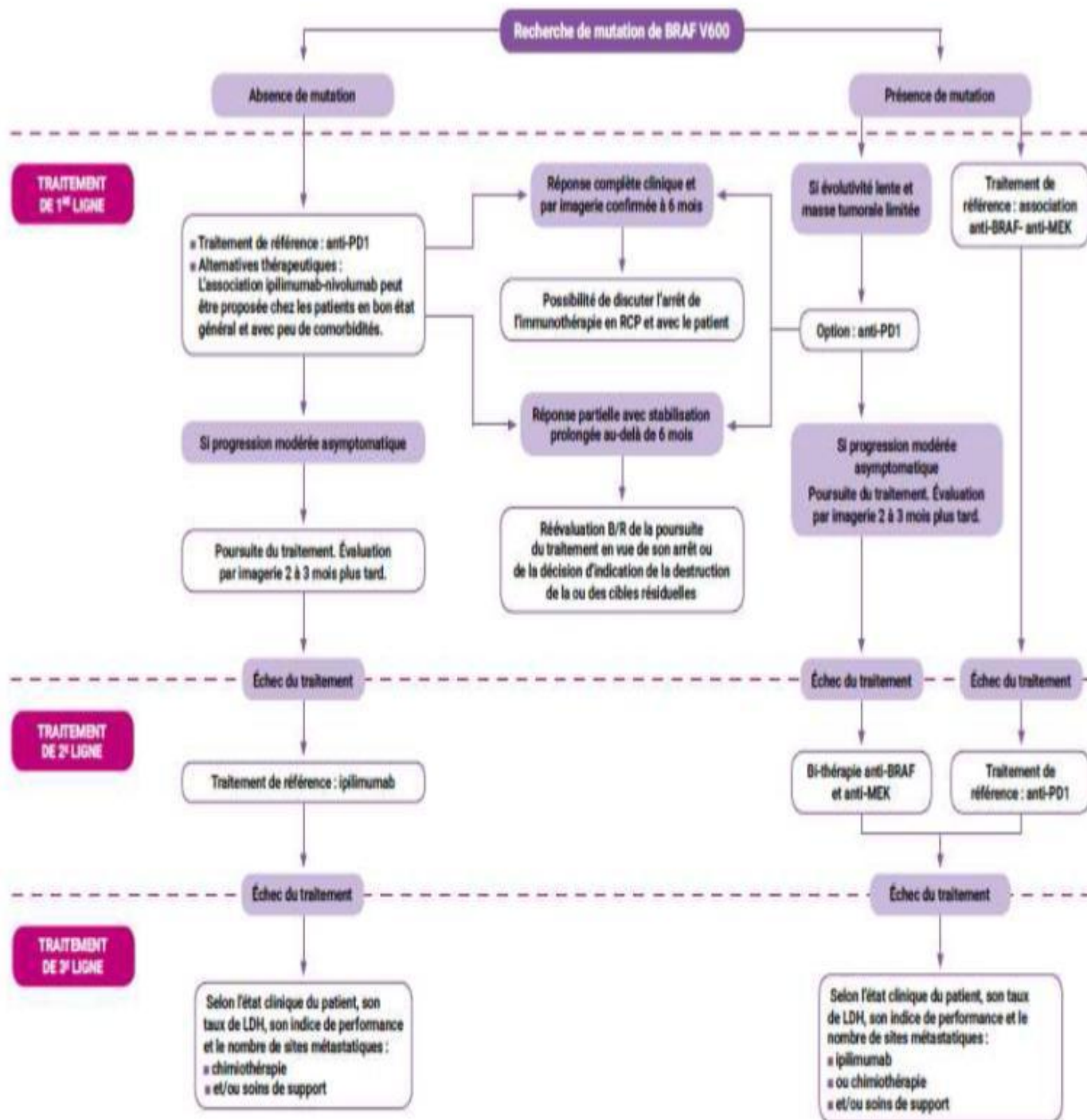


Figure 25 : Arbre de décisions : traitements systématiques de 1e ligne, de 2e ligne et de 3e ligne des mélanomes cutanés métastatiques non résécables (stade III non opérable et stade IV) hors métastase cérébrale [122]

G.4) Stade 4

La première ligne privilégie l'immunothérapie (association anti-PD-1 et anti-CTLA-4 ou anti-PD-1 seul) ou une thérapie ciblée pour les patients avec mutation BRAF. D'autres approches incluent la radiothérapie pour des localisations symptomatiques et, plus rarement, la chimiothérapie.

G.5) Bilan des recommandations actuelles

Voici un tableau résumant les options thérapeutiques en fonction du stade du mélanome :

Stade	Chirurgie	Immunothérapie	Thérapie ciblée	Chimiothérapie
I	Oui	Non	Non	Non
II	Oui	Cas par cas	Non	Non
III	Oui + curage des ganglions	Cas par cas	Cas par cas	Non
IV	Cas par cas	Oui	BRAF muté	Cas par cas

Figure 26 : Recommandations 2025 des stratégies thérapeutiques contre le mélanome cutané

Partie 2 : L'intelligence artificielle en santé et en dermatologie

A) Introduction à l'intelligence artificielle, au machine learning et au deep learning

A.1) Définitions

A.1.1) L'intelligence artificielle

Selon le Ministère de l'Education Nationale, l'IA est un domaine qui combine théorie et pratique et qui cherche à comprendre comment fonctionnent la réflexion et la prise de décision humaines. Le but est d'aider ou de remplacer l'humain dans certaines activités en faisant exécuter par la machine des tâches qui demandent habituellement de la réflexion ou de l'intelligence. [123]

Marvin Minsky, l'un des pionniers de l'intelligence artificielle, a défini cette technologie comme « la science qui permet aux machines d'effectuer des tâches qui nécessiteraient de l'intelligence si elles étaient effectuées par des hommes ». [124]

L'intelligence artificielle est un domaine large qui englobe des techniques variées, parmi lesquelles on retrouve le machine learning et le deep learning.

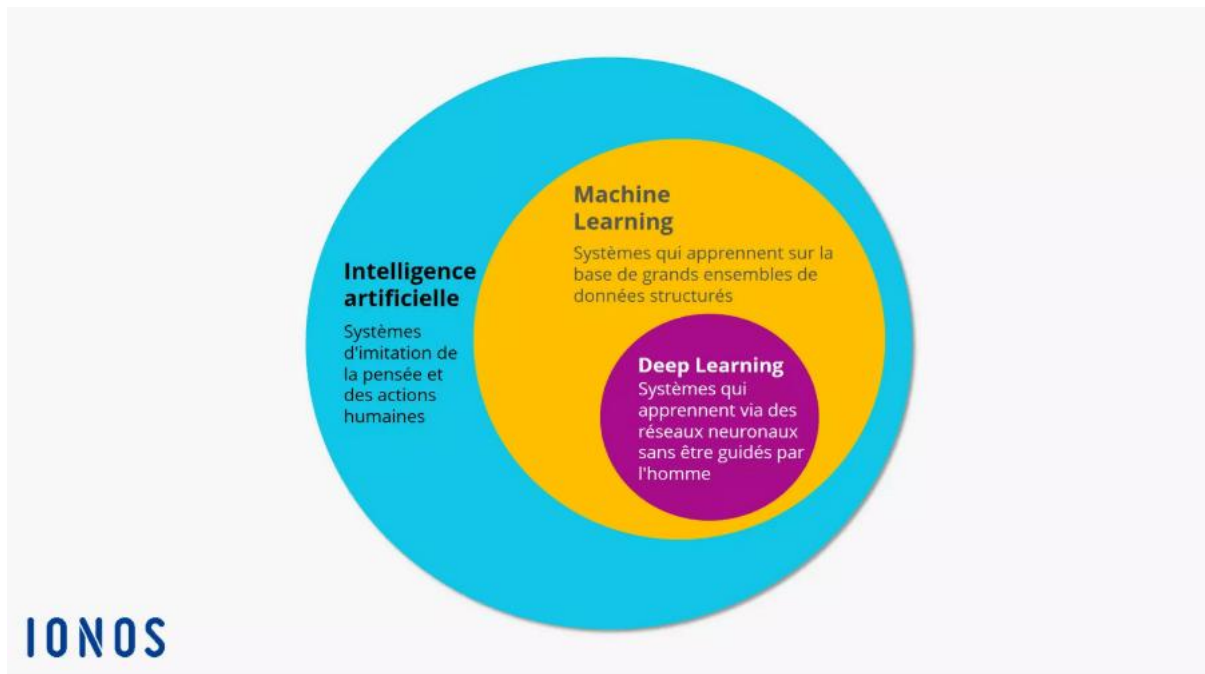


Figure 27 : Schéma permettant de différencier les termes intelligence artificielle, machine learning et deep learning [125]

A.1.2) Le machine learning

Le machine learning ou apprentissage automatique, est un sous-ensemble de l'intelligence artificielle. C'est un processus par lequel un programme informatique apprend à améliorer ses résultats tout seul, en analysant plusieurs fois des ensembles de données. Au fil de ces répétitions, il devient capable de fournir des réponses ou des prédictions fiables sans qu'un programmeur ait à intervenir à chaque étape. [126]

Concrètement, l'algorithme passe par une phase dite d'apprentissage durant laquelle on lui fait reconnaître des motifs récurrents via des données d'apprentissage. Une fois ce modèle prêt, il peut être utilisé pour analyser de nouvelles données (données entrées) et fournir des réponses ou des actions adaptées. Grâce aux répétitions successives, l'algorithme améliore automatiquement ses performances. Plus le modèle est alimenté en données, plus ses résultats deviennent précis et fiables. [127]

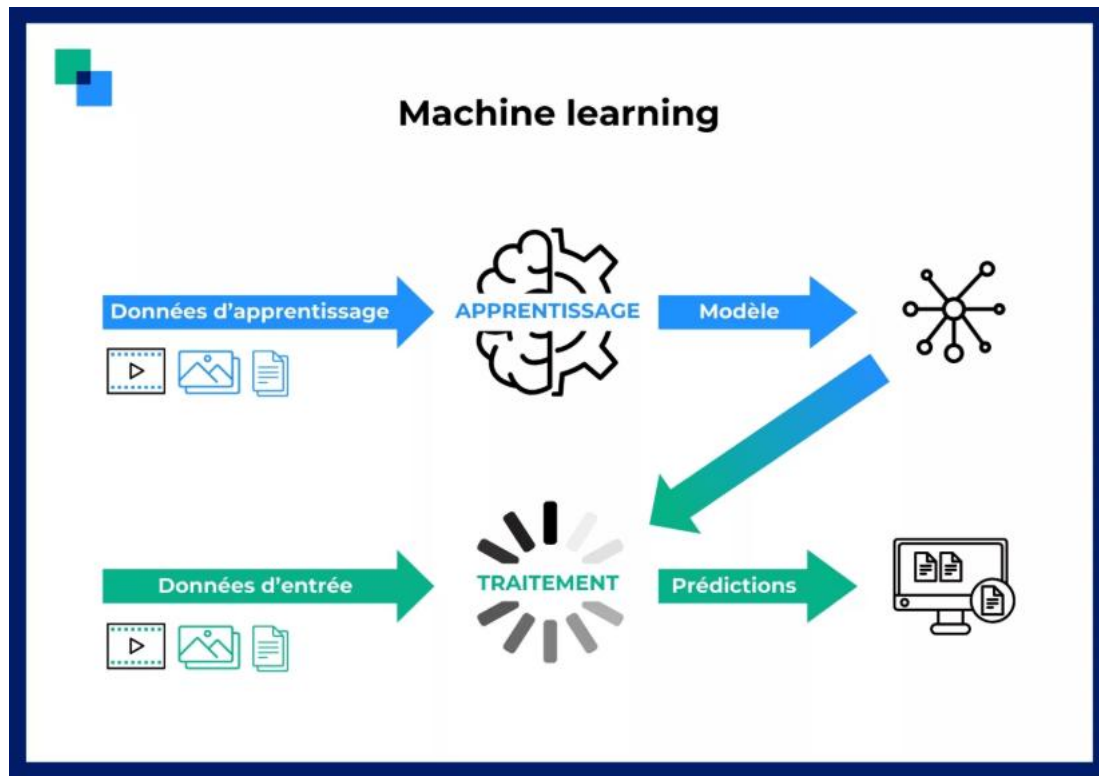


Figure 28 : Schéma du processus d'apprentissage du machine learning [127]

A.1.3) Le deep learning

Le deep learning ou apprentissage profond, est un sous-ensemble du machine learning. C'est une technique d'apprentissage qui utilise des réseaux de neurones artificiels organisés en plusieurs couches. Chaque couche traite et interprète les données de façon de plus en plus complexe, permettant au modèle de reconnaître des motifs et de faire des prédictions plus précises.

Le deep learning est particulièrement adapté à des applications telles que l'analyse d'images, la compréhension du langage, le diagnostic médical et la recherche de nouvelles substances actives. [128]

Dans un réseau de neurones artificiels, chaque neurone est une unité qui reçoit une information, effectue des calculs simples, puis transmet le résultat à d'autres neurones. On distingue trois types principaux de neurones :

- Les neurones d'entrée, qui reçoivent les données provenant de l'extérieur

- Les neurones de traitement, situés dans les couches intermédiaires et qui analysent et transforment l'information
- Les neurones de sortie qui produisent le résultat final du réseau.

Ces neurones sont organisés en couches : la couche d'entrée, la ou les couches intermédiaires et la couche de sortie. Le deep learning correspond à un réseau composé de plusieurs couches à différents niveaux (entrée, traitement et sortie).

Dans un réseau, chaque neurone d'une couche est relié à ceux des couches voisines. Lors de la phase d'apprentissage, la force de ces connexions, appelée poids, est progressivement ajustée. Cette adaptation permet au réseau de réduire l'écart entre les résultats qu'il prédit et les résultats attendus, afin d'améliorer sa précision. [129]

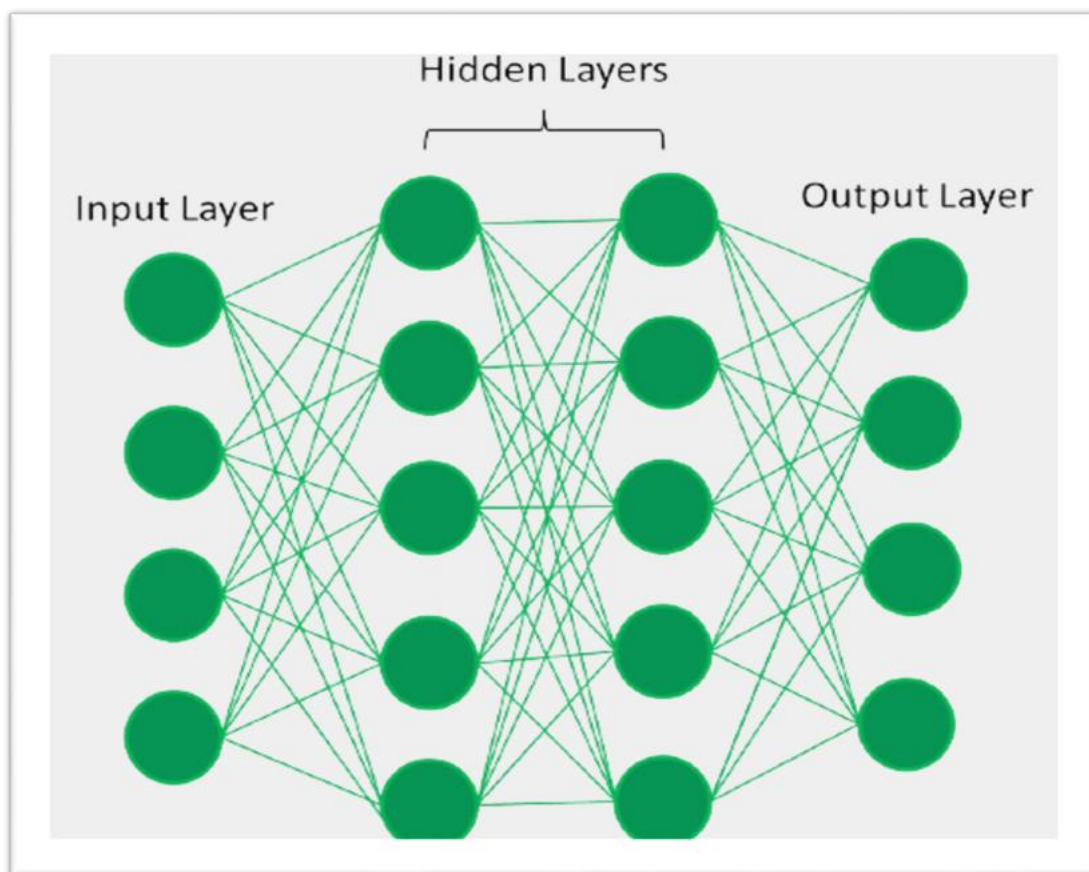


Figure 29 : Schéma d'un réseau neuronal artificiel connecté [129]

En résumé, l'intelligence artificielle est une technique qui permet de développer des machines capables d'imiter des comportements humains, tandis que le machine learning s'intéresse plus particulièrement à la façon dont ces machines peuvent apprendre et progresser continuellement grâce aux data.

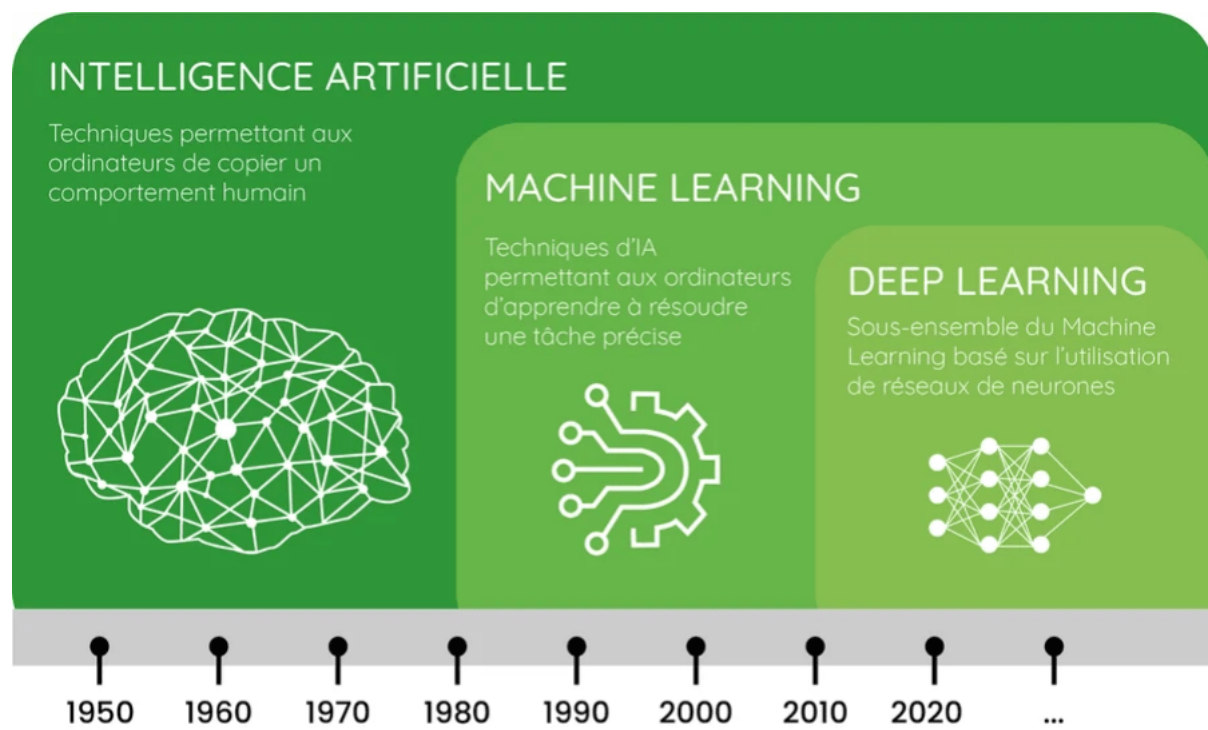


Figure 30 : Schéma résumant les différentes fonctions de l'IA, machine learning et deep learning [130]

Dans cette thèse, nous parlerons essentiellement du deep learning car c'est cette technologie qui est utilisée pour la détection du mélanome cutané.

A.2) Brève historique de l'intelligence artificielle en santé

A.2.1) La naissance du terme intelligence artificielle

A la fin de la seconde guerre mondiale, les premiers ordinateurs voient le jour. En 1950, Alan Turing, considéré comme l'un des pères de l'intelligence artificielle, publie un article fondateur intitulé « Can machines think ? ». À travers cette

question, il amorce une réflexion sur la possibilité, pour les machines, d'imiter la pensée humaine. [131]

C'est en ce sens qu'en 1956, le terme d'intelligence artificielle fut inventé par l'informaticien John McCarthy durant la conférence de Dartmouth dans la ville de Hanover aux USA. [132]

A cette époque, les applications de l'intelligence artificielle visaient à créer des machines capables de raisonner ou de prendre des décisions jusque-là réservées aux humains. En 1961, le premier bras robotisé industriel, Unimate, est créé pour effectuer des opérations de moulage automatique. Quelques années plus tard, en 1964, Eliza utilise le traitement du langage naturel pour simuler une conversation humaine à l'aide de techniques de reconnaissance de motifs et de substitution, posant ainsi les bases des futurs chatbots. Malgré ces avancées technologiques majeures, la médecine est plutôt réfractaire à l'utilisation de l'IA. [133]

A.2.2) La naissance des systèmes experts

Les années 70 ont vu l'arrivée des premiers systèmes experts médicaux dont le but était d'assister le diagnostic médical et le traitement des pathologies. L'exemple le plus connu de l'époque est Mycin. Ce système développé à l'université de Stanford, utilisait l'IA pour identifier les bactéries causant des infections graves, telles que la méningite. Il était aussi capable de recommander les antibiotiques adaptés à la pathologie du patient, avec un dosage ajusté au poids. [134]

Son fonctionnement est assez simple. Les médecins enrichissent le système en connaissances scientifiques dans la base de données de Mycin sous forme de règles et de faits : « si tel fait est attesté, alors il faut effectuer telle action ». Le système expert de Mycin intègre un moteur d'inférence qui est un outil permettant d'utiliser les connaissances d'expert pour répondre à une question. Quand un utilisateur pose une question, il sollicite donc le moteur d'inférence, lui-même enrichi de connaissances scientifiques au préalable et donne une réponse.

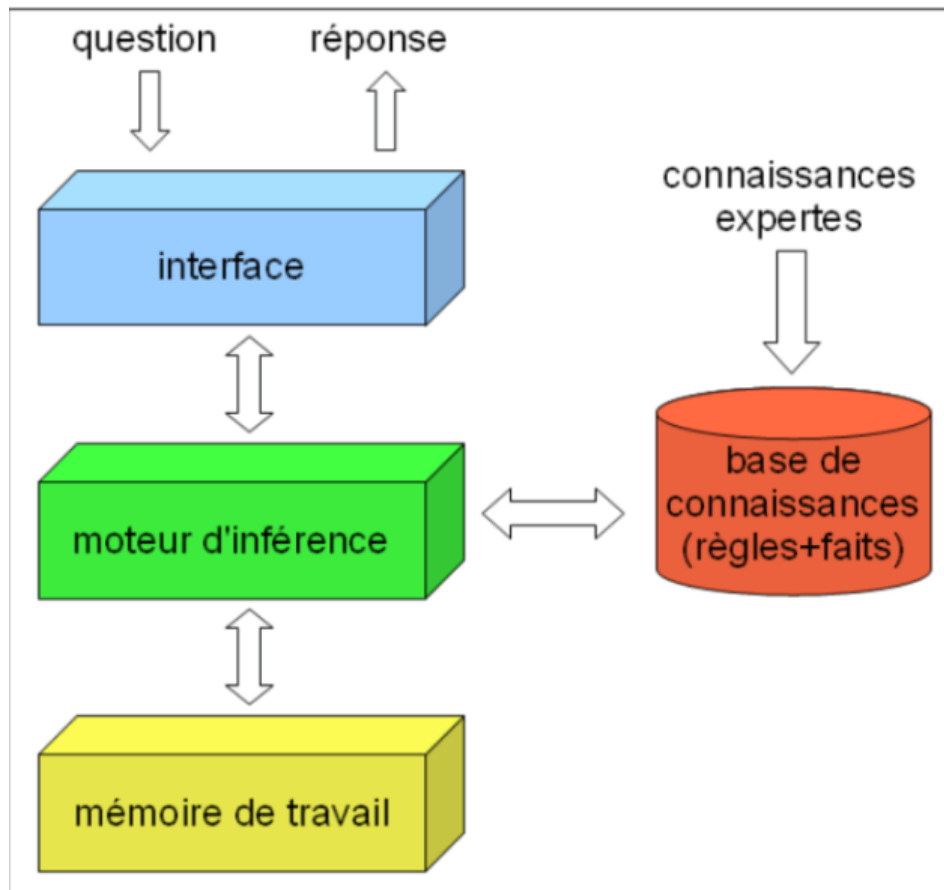


Figure 31 : Schéma de fonctionnement d'un système expert [135]

A.2.3) La naissance des premiers algorithmes

Les années 1980 ont vu l'apparition des premiers algorithmes d'apprentissage capables de traiter des données plus complexes. C'est le développement des premiers réseaux de neurones.

A.2.4) La naissance du machine learning

L'émergence du machine learning dans les années 1990 a représenté un véritable tournant pour l'intelligence artificielle en santé. Contrairement aux systèmes experts traditionnels basés sur des règles et faits, ces algorithmes apprennent directement à partir des données.

A.2.5) La naissance du deep learning

Le changement le plus important est intervenu dans les années 2010 avec le développement du deep learning, une sous-classe du machine learning reposant sur des réseaux de neurones artificiels profonds (réseaux convolutifs). L'augmentation des capacités de calcul des ordinateurs et la disponibilité de grandes quantités de données médicales ont permis des avancées majeures, notamment dans l'analyse d'images médicales. À la fin des années 2010, un nouveau cap a été franchi : les performances des algorithmes d'IA ont commencé à égaler, voire dépasser celles de médecins spécialistes. L'utilisation combinée de l'apprentissage automatique et des avancées récentes en deep learning a ainsi permis d'améliorer la précision des diagnostics et de soutenir les cliniciens dans leurs décisions, ouvrant la voie à une intégration progressive de l'IA dans la pratique médicale quotidienne.

A.2.6) Les applications actuelles de l'intelligence artificielle en santé

Aujourd'hui, l'IA est de plus en plus utilisée dans le domaine médical. En voici les principaux domaines : [136]

- Développement de nouvelles molécules
- Diagnostic de maladies
- Analyse des régimes alimentaires
- Consultation en ligne
- Traitement chirurgical
- Gestion de données médicales
- Traitements personnalisés
- Gestion de santé (rappel de rendez-vous, numérisation de documents médicaux, algorithmes de détection des potentielles incompatibilités médicamenteuses...)

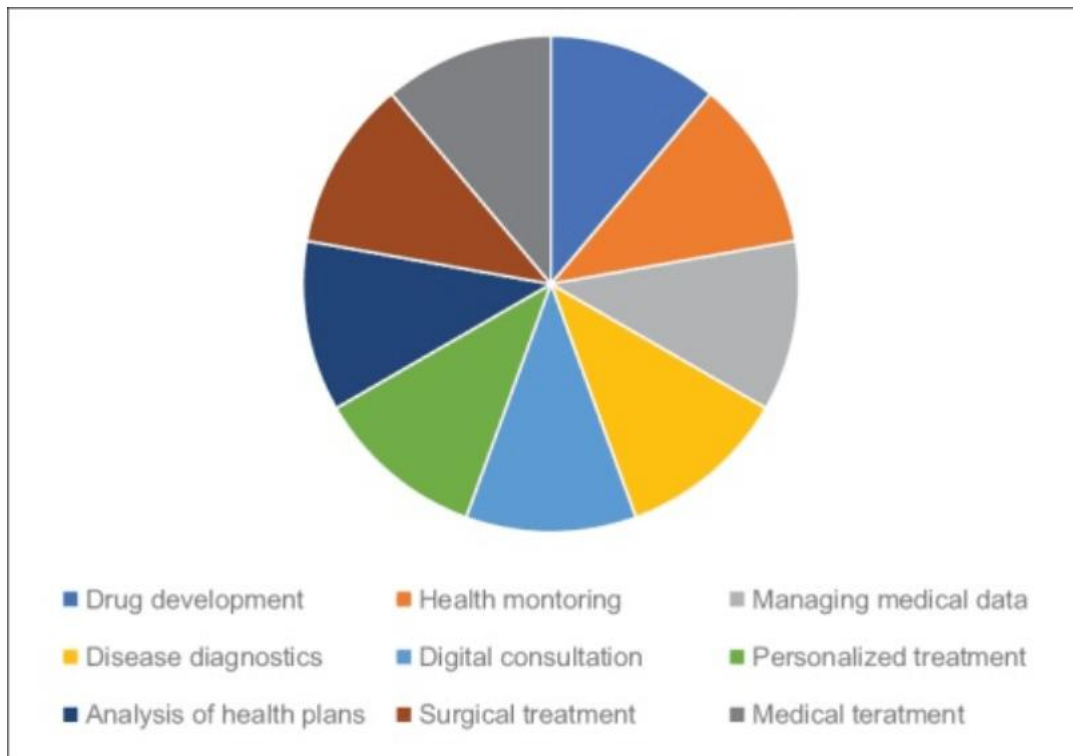


Figure 32 : Applications de l'intelligence artificielle en santé [136]

Voici une frise résumant les dates importantes de l'histoire de l'IA en santé :

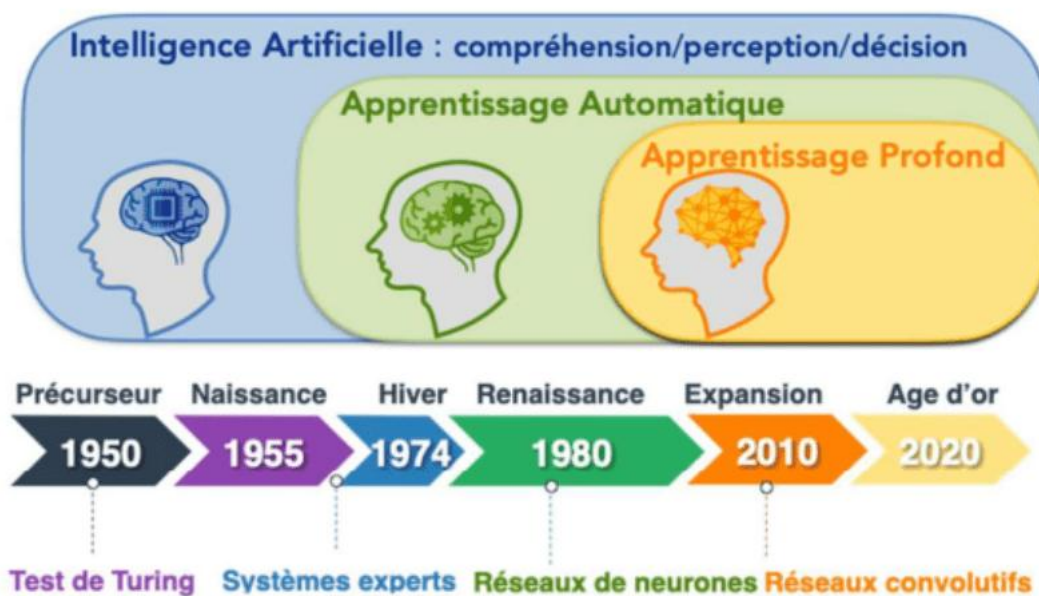


Figure 33 : Frise chronologique depuis la naissance de l'IA jusqu'à nos jours [137]

A.2.7) Les perspectives de l'IA en santé

L'intelligence artificielle est en plein essor dans tous les secteurs d'activité, y compris celui de la santé. Et cela n'est pas prêt de s'arrêter si l'on en croit les textes de loi. En effet, selon les dernières feuilles de route nationales, l'IA devrait jouer un rôle central dans la prévention, la prise en charge, la personnalisation des traitements, mais aussi dans la gestion plus efficace des parcours patients et l'allègement des tâches administratives.

Dans le cadre du Sommet International pour l'Action sur l'intelligence artificielle en santé le 11 février 2025, le ministre de la Santé Mr Yannick Neuder a annoncé le financement de formations d'environ 500 000 soignants sur l'utilisation de l'IA afin de leur permettre d'utiliser ces outils dans leur travail quotidien et d'optimiser la prise en charge des patients. Pour ce faire, une enveloppe de 119 millions d'euros a été évoquée. [138]

De plus, de nombreuses disciplines médicales sont touchées par le développement d'IA :

- Cardiologie (prévention des crises cardiaques) [139]
- Radiologie [140]
- Robotique chirurgicale [141]
- Oncologie [142]
- Neurologie [143]

Enfin, dans un communiqué de presse datant de février 2025, la HAS affirme sa volonté d'utiliser davantage l'intelligence artificielle, au service de l'humain. [144]

Ainsi, d'ici 2030, l'intelligence artificielle est appelée à transformer profondément le paysage médical, en offrant une médecine plus précise, personnalisée et accessible.

B) Application de l'intelligence artificielle dans le diagnostic précoce du mélanome cutané : exemple de Huvy©

B.1) Présentation de la société

Dans le cadre de ma thèse de fin d'étude, j'ai eu l'honneur de rencontrer Madame Léonie Schroder, CEO de Huvy, une start-up française innovante spécialisée dans l'intelligence artificielle appliquée à la dermatologie. Cette entreprise a été cofondée par Madame Schroder et Monsieur Bryan Boulé, tous deux anciens élèves de l'École Polytechnique de Paris, avec le soutien d'une professeure en onco-dermatologie. Huvy part d'un constat simple : le manque de dermatologues en France et la difficulté d'accès à une consultation de dermatologie.

B.2) Etat des lieux de la dermatologie en France

B.2.1) Une pénurie de dermatologues

L'accès aux soins de dermatologie en France est actuellement marqué par une crise profonde, avec une pénurie croissante de spécialistes et des délais d'attente particulièrement longs pour obtenir une consultation. On compte environ 3 000 dermatologues en activité en 2023, soit une baisse de 10 % en dix ans, avec près de 30 % des praticiens ayant plus de 60 ans et de nombreux départs à la retraite non remplacés. La formation reste insuffisante, avec seulement une centaine de nouveaux spécialistes par an (113 en 2023), alors qu'il en faudrait beaucoup plus pour répondre aux besoins croissants de la population. [145]

B.2.2) Une fracture territoriale dans l'accès aux spécialistes

La France est confrontée à une fracture territoriale avec 22 millions d'habitants vivant dans des déserts médicaux, avec une densité de dermatologues inférieure à 1 pour 100 000 patients dans certains départements. Dans ces régions, il est fréquent que les patients doivent parcourir plusieurs dizaines de kilomètres pour consulter et parfois, renoncer entièrement à une prise en charge. [146]

Par exemple dans la Creuse, département peuplé par 117 000 habitants, aucun dermatologue n'est installé. [147]

B.2.3) Délais d'attente

L'accès à une consultation de dermatologie devient de plus en plus compliqué. En 2023, on estime qu'un français doit attendre 3 mois avant d'avoir accès à un dermatologue (104 jours exactement). Depuis, ce chiffre a été revu à la hausse et peut atteindre quasiment un an en fonction des départements. Cela semble inimaginable dans un pays aussi développé que la France, surtout dans un cas d'urgence tel que le mélanome. C'est pourquoi 73 % des Français jugent l'accès aux soins dermatologiques difficile. [146]

B.2.4) Conséquences

Cette situation compromet gravement la prévention et le dépistage précoce du mélanome, ainsi que l'accès aux soins pour les pathologies dermatologiques courantes (eczéma, dermatite...). La Société Française de Dermatologie, ainsi que diverses instances nationales, alertent sur l'urgence et demandent d'augmenter le nombre de postes d'internes ainsi que d'adapter la répartition des praticiens pour mieux répondre aux besoins des patients. [148]

C'est en ce sens que les médecins généralistes, pharmaciens et même infirmiers sont envisagés pour pallier le manque de dermatologues.

B.3) Histoire de Huvy

Face à ce constat, les deux polytechniciens créent Huvy en 2021. Fille de médecins, Madame Schroder connaît bien le milieu médical et les difficultés d'accès aux soins en France. Monsieur Boulé a été sensibilisé aux maladies de peau suite à un diagnostic tardif de mélanome dans sa famille. Ce sont donc deux sujets qui leur tiennent particulièrement à cœur et qui ont naturellement orienté la mission et les valeurs de Huvy. Pour tenter de répondre aux besoins des patients en dermatologie, ils ont développé un dispositif médical numérique utilisant une intelligence artificielle entraînée pour détecter des mélanomes cutanés. [149]

Cosinus SINUS

4 Consultations 9 Lésions suivies 9 Analyses

Informations personnelles Lésions analysées

Pas d'analyse aujourd'hui.

Analyses précédentes



Cuisse gauche

Risque moyen

Date : 08/10/2025

Taille : 5 - 10 mm

0 Commentaire



Haut du torse

Risque faible

Date : 08/10/2025

Taille : < 5 mm

0 Commentaire



Épaule gauche

Risque faible

Date : 08/10/2025

Taille : de 10 à 20 mm

1 Commentaire



Visage

Risque faible

Date : 08/10/2025

Taille : de 10 à 20 mm

0 Commentaire



Haut du torse

Risque fort

Date : 13/08/2025

Taille : < 5 mm

1 Commentaire



Main droite

Risque faible

Date : 08/08/2025

Taille : 5 - 10 mm

1 Commentaire

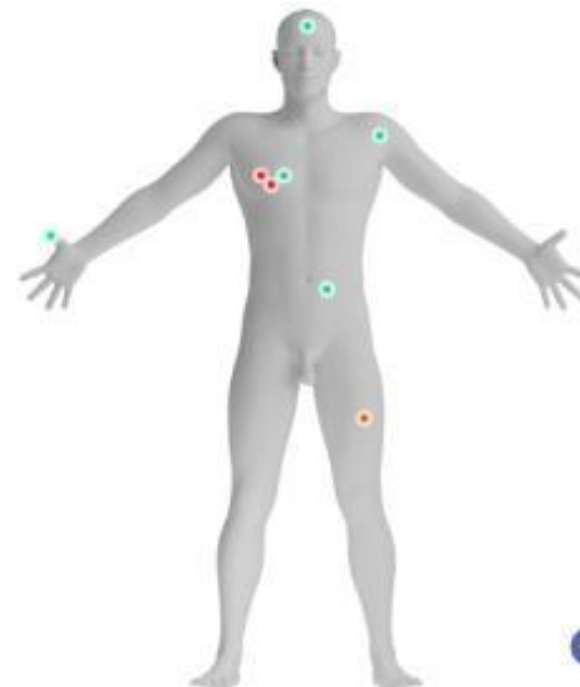


Figure 34 : Interface de l'application Huvy présentant les résultats d'analyse IA d'un patient fictif

B.4) Objectifs de Huvy

Ce type d'outil a pour objectif de réduire le délai de détection, en particulier chez les patients ne consultant pas spontanément un dermatologue, et d'améliorer l'accessibilité au dépistage précoce. Huvy constitue ainsi un exemple pertinent du potentiel de l'IA dans le parcours de soins du mélanome cutané. Il permet également de désengorger les cabinets de dermatologues en permettant aux cas les plus urgents d'aller consulter en priorité. [150]

B.5) Fonctionnement de Huvy et parcours de soin

La start-up développe une technologie basée sur l'analyse visuelle automatisée de lésions pigmentées à partir de photographies prises par des smartphones équipés d'un dermatoscope. Cette plateforme est destinée aux professionnels de santé (pharmaciens, médecins, infirmiers). Grâce à des algorithmes de deep learning entraînés sur près de 100 000 images dermatologiques validées par des experts, Huvy propose une aide au triage et à l'orientation des patients, en distinguant les lésions bénignes des lésions suspectes nécessitant une consultation spécialisée. La plateforme a été développée en collaboration avec des dermatologues pour qu'elle réponde parfaitement à leurs besoins quotidiens. [151]

B.5.1) Parcours d'utilisation type du dispositif

Deux types de patients arrivent en officine, dans un cabinet d'infirmier ou chez le médecin généraliste :

- Le patient "réactif" qui est inquiet en raison d'une lésion qu'il a repérée
- Le patient "proactif" qui fait surveiller ses lésions à risque

Suite à l'accueil de son patient, le professionnel de santé intègre à son smartphone un dermatoscope. Avec cet outil, il va prendre une photo dermatoscopique de la lésion suspecte. En 15 secondes, l'IA analyse l'image et émet une évaluation du risque sur l'indication mélanome uniquement, sous 3 formes :

- Risque faible matérialisé par la couleur verte : le patient se voit rassuré par le professionnel de santé mais est quand même invité à surveiller régulièrement sa peau

- Risque moyen matérialisé par la couleur orange : une vérification par un dermatologue est nécessaire pour éloigner tout doute
- Risque fort matérialisé par la couleur rouge : le patient doit se rendre chez le dermatologue au plus vite car on suspecte un mélanome

Voici un exemple de résultat possible à la suite d'une photo prise au niveau de la zone abdominale d'un patient.

On peut voir ici l'évaluation du risque en rouge qui nécessite d'aller consulter un dermatologue en urgence. Il est également précisé dans le rapport la localisation de la zone examinée, la taille de la lésion et la date à laquelle l'analyse a été effectuée.

Parcours d'utilisation du dispositif.

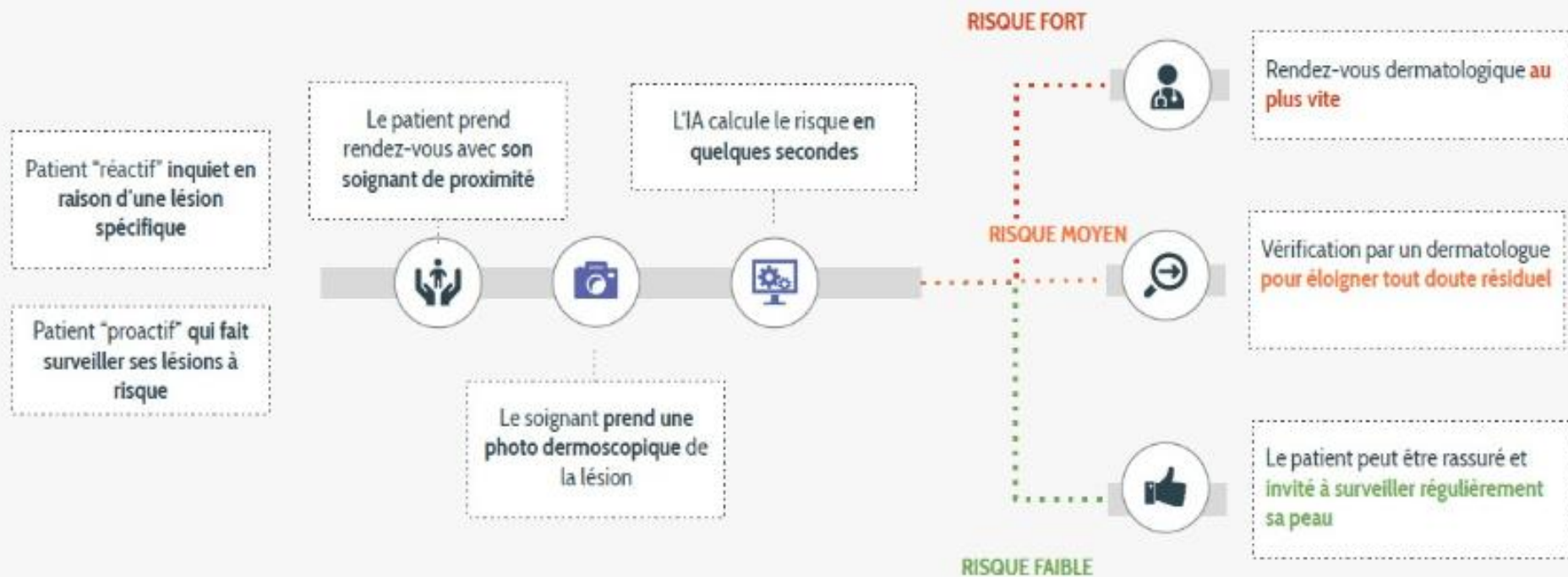


Figure 35 : Parcours d'utilisation type de la plateforme Huvy [152]



Risque fort



Date d'analyse: 14 octobre 2025

Taille: 5 - 10 mm

Zone: Ventre

Analyse de suivi: Non

Recommandation

La lésion devrait être examinée au plus vite par un dermatologue.

Commentaire

Ajouter

Aucun commentaire n'a été renseigné



Figure 36 : Exemple d'un rapport d'analyse par IA

Concernant la suite du parcours de soin, Huvy respecte les consignes de la Société Française de Dermatologie et ne casse pas des parcours de soins. En effet, la start-up ne met pas en place de levier avec ses dermatologues partenaires. C'est un outil purement diagnostic et il n'a pas pour mission d'accompagner le patient chez le dermatologue. Quand un patient sollicite une consultation appuyée par un résultat Huvy, il bénéficie d'un argument de poids pour être pris en charge plus rapidement.

Prenons un exemple simple qui émane d'une étude clinique. Le deuxième patient testé par l'IA a reçu une alerte rouge. Son dossier a donc été transmis du pharmacien au dermatologue hospitalier dans la journée. En moins de 2 heures, le patient a été rappelé par l'hôpital afin d'obtenir un rendez-vous dans la semaine. À la suite de ce rendez-vous, une opération a eu lieu et le diagnostic de mélanome s'est confirmé. Cependant, il existe un biais important à ce cas : il faisait partie de l'étude et donc bénéficiait d'un accès privilégié au service de dermatologie.

Il est important de dire ici que c'est une évaluation du risque et non un diagnostic final. L'objectif de Huvy n'est donc pas de se substituer à un dermatologue mais d'optimiser l'orientation des patients. Seuls ceux qui ont un risque moyen et fort sont orientés chez le spécialiste.

B.5.2) Une intelligence artificielle certifiée au niveau européen

Aujourd'hui, Huvy est la première et la seule solution d'intelligence artificielle dédiée à la détection du mélanome en France, à avoir obtenu la certification CE II.B (équivalent de l'AMM pour un dispositif médical) délivrée par les autorités de santé européennes. Autrement dit, la start-up a franchi un cap décisif en démontrant, grâce à des études cliniques, la sécurité, la fiabilité et la robustesse de sa plateforme. [153]

Il est important de différencier ces solutions des algorithmes certifiés CE classe I qui n'imposent pas d'avoir vu d'auditeur ni d'avoir effectué d'étude clinique. C'est pourquoi en juillet 2025, la SFD a publié un communiqué de presse dans lequel elle se préoccupe des potentielles dérives de l'IA en dermatologie. En effet, selon ce document, des sociétés proposent des actes médicaux " sans supervision dermatologique ni validation scientifique". Une des solutions proposées par la SFD est d'évaluer de manière indépendante tous les dispositifs numériques présents sur le marché et d'uniformiser l'accès au marché français de ces nouvelles technologies. [154]

B.5.3) Études cliniques menées sur le dispositif médical

Pour obtenir l'AMM, 4 études ont été menées pour valider l'algorithme. La première étude étudiait l'efficacité de l'IA pour le dépistage du mélanome à partir d'images dermoscopiques et cliniques du CHU de Nantes. Cette première étude représentait pour nous une preuve de concept. En utilisant une base de 577 images, dont 207 issues de consultations réelles et 370 provenant de bases publiques, l'algorithme a été entraîné en introduisant une catégorie « douteuse » pour les cas nécessitant une expertise humaine. Les résultats ont été très bons : sensibilité de 98 % et une spécificité de 88 %. Cette approche collaborative permet de filtrer efficacement les lésions bénignes, recentrant l'attention des dermatologues sur les cas complexes et critiques. [155]

Elle a été complétée par trois autres études. La première a été effectuée sur de grosses bases de données dermatologiques, qui sont les références dans le domaine. Cela a permis de tester l'efficacité de l'IA sur un plus grand panel possible de lésions, mais aussi de repérer ses limites (types de peau notamment). Suite à cette étude, les développeurs ont notamment pu conclure que l'IA n'était pas performante sur les peaux foncées (phototype 5 et 6).

On peut également parler d'une seconde étude avec le CHU de Lyon. Cette dernière reposait sur l'analyse numérique des lésions les plus difficiles à interpréter reçues par un dermatologue partenaire. Dans le cadre de l'autorisation de mise sur le marché, il était intéressant d'étudier les effets de bords de la solution à partir de clichés difficiles. Les performances de l'IA sont les suivantes : une sensibilité de 96% et une spécificité de 72%.

La dernière étude est l'utilisation dans la vie quotidienne de HUVY avec le CHU de Nantes. La base de données utilisée était des photos prises par des professionnels de santé de proximité sur la population cible d'utilisateur. Les photos étaient des lésions qu'ils estimaient à risque et pour lesquelles une évaluation en double aveugle est réalisée par un dermatologue et par l'IA. Cela a permis de comparer finalement l'avis des dermatologues à celui de l'IA.

Ces études ont été réalisées en parallèle d'autres études majeures démontrant l'efficacité de l'IA dans la détection précoce du mélanome cutané. Par exemple, en 2019, un article publié par T.J Brinker et al révèle une supériorité des performances de l'IA par rapport à des dermatologues expérimentés. [156]

Huvy a également travaillé avec l'Université de Rennes afin d'évaluer son intelligence artificielle. Entraîné sur plus de 65 000 images issues de bases de données dermatologiques, le modèle a d'abord été évalué en classification binaire (mélanome / non-mélanome) avant d'introduire une troisième catégorie « douteuse

». Les performances se sont nettement améliorées avec cette approche : la sensibilité atteignait 100 % sur les images de télé-expertise. L'intégration de l'IA dans le parcours de soin pourrait ainsi réduire les délais d'attente pour accéder à un spécialiste et accélérer la prise en charge des cas à haut risque. [157]

B.5.4) Huvy aujourd'hui

A ce jour, Huvy fonctionne en écosystème local. Cependant, en fonction des régions, certains dermatologues n'ont pas confiance en l'utilisation de l'IA par des pharmaciens ou infirmiers. HUVY n'est donc distribué qu'aux généralistes. Dans d'autres régions, l'IA est distribuée aux pharmaciens afin de leur permettre de réaliser d'autres missions de santé publique et surtout, de décharger le dermatologue d'un nouvel examen.

Pour le moment, cette solution n'est pas encore commercialisée, car des études cliniques sont toujours en cours. Par ailleurs, les aspects marketing et commerciaux doivent encore être développés. Une levée de fonds est prévue dans les prochains mois afin de permettre le lancement du projet auprès des professionnels de santé.

B.6) Avenir de Huvy

Un des objectifs de Huvy est d'étendre l'indication de son intelligence artificielle dans la détection d'autres pathologies de la peau (carcinome basocellulaire, kératose séborrhéique ...). Un autre objectif est de créer un simple logiciel à un tarif acceptable qui peut être déployé à grande échelle et personnalisable pour le professionnel de santé : dermatoscope de son choix, accessibilité via smartphone ou ordinateur portable... Le but est de faire bénéficier à toutes les classes de la population d'une technologie de pointe et de combler le manque de spécialistes dans les déserts médicaux. De plus, la possibilité de commercialiser Huvy en Europe est en train d'être étudiée.

Il est possible d'imaginer que dans un avenir proche, l'IA soit la seule étape de détection d'un mélanome. Malgré tout, ceci est de l'ordre du spéculatif, car il existe des contraintes éthiques et réglementaires.

Partie 3 : Etude terrain

A) Méthodologie de l'enquête

A.1) Objectifs

Au cours de la dernière décennie, l'intelligence artificielle a effectué une percée majeure dans le domaine médical, notamment grâce aux progrès du deep learning. En dermatologie, plusieurs études ont démontré que des algorithmes de reconnaissance d'images pouvaient atteindre, voire dépasser le niveau de performance de dermatologues expérimentés dans la détection de certaines lésions malignes, dont le mélanome cutané. [158]

C'est pourquoi, certaines biotechs ont développé des IA permettant de réaliser ce diagnostic. Ces avancées suscitent un intérêt croissant, mais également des interrogations sur le plan éthique et sur la fiabilité de ces outils dans la pratique clinique.

Dans ce contexte, il est intéressant de recueillir l'avis des spécialistes en dermatologie, afin de mieux comprendre leur perception et leurs attentes vis-à-vis de l'IA. Pour ce faire, un questionnaire a été élaboré et diffusé auprès de spécialistes titulaires et d'internes afin d'obtenir une vision complète mêlant l'expérience des praticiens confirmés et la perspective des futurs spécialistes, souvent plus familiarisés avec les nouvelles technologies.

L'objectif de cette étude est donc double :

- Évaluer le niveau de connaissances des dermatologues concernant l'utilisation de l'IA dans le diagnostic du mélanome cutané.
- Analyser la perception et le niveau d'acceptabilité de ce type d'outil en pratique clinique.

Le choix de ce sujet répond à une problématique montante : la nécessité d'anticiper et d'accompagner l'intégration de nouvelles technologies en santé, afin de garantir à la fois l'efficacité diagnostique et l'acceptabilité en pratique clinique, aussi bien pour le patient que pour le professionnel de santé.

Les conclusions de cette étude pourraient également aider à mieux cerner les appréhensions des professionnels de santé envers l'IA et orienter les actions de communication des entreprises concernées.

Enfin, il est intéressant d'évaluer la perception de la relation future entre pharmacien et dermatologue dans le cadre d'une utilisation courante de l'IA en officine.

Il est à noter que cette étude a été réalisée sur un échantillon de 24 dermatologues. Les résultats sont des pistes de compréhension mais ne doivent pas être utilisés en dehors de leur contexte.

A.2) Elaboration du questionnaire

Le questionnaire a été conçu à partir d'une revue de la littérature sur l'IA en dermatologie et d'échanges avec plusieurs sociétés (SkinMed, PictaDerm) lors de salons dédiés aux nouvelles technologies et à la pharmacie à Paris (Pharmagora, VivaTech). Ces échanges ont permis de soulever des problématiques et d'enrichir le contenu. Le questionnaire détaillé est disponible en annexe pour consultation. Nous y aborderons les thèmes suivants : le profil du professionnel de santé, sa connaissance de l'IA en dermatologie, son éventuelle utilisation, l'impact de cet outil sur la pratique clinique et l'avenir de l'IA dans cette spécialité.

A.3) Questionnaire dermatologue

Le formulaire comporte à la fois des questions fermées (réponses dichotomiques Oui/Non, échelles de Likert de 1 à 5) et des questions ouvertes destinées à recueillir l'avis qualitatif des participants. L'échelle de Likert a été retenue car elle constitue une méthode simple, rapide et largement connue des répondants, permettant de réduire le temps consacré au questionnaire et de limiter les risques d'abandon en cours de réponse. Quant aux questions dichotomiques, elles amènent le participant à se positionner clairement sur un sujet donné et évitent les réponses neutres.

Le questionnaire est composé de plusieurs sections thématiques, organisées de manière logique afin de faciliter la compréhension et la fluidité des réponses. Il a été conçu pour accompagner le dermatologue au fait du sujet, mais également ceux n'ayant aucune connaissance préalable de l'IA en dermatologie.

Chaque section poursuit un objectif distinct, avec des questions ciblées permettant de recueillir des données, majoritairement qualitatives.

Les thématiques abordées sont :

- Le profil professionnel du répondant :

Cette première partie a pour objectif de recueillir des informations professionnelles générales sur les participants (années d'expérience, lieu d'exercice, environnement de travail, etc.). Ces données permettent ensuite d'établir des liens entre ces variables et les opinions exprimées, afin d'identifier plus précisément les groupes favorables ou non à l'utilisation de l'IA dans le diagnostic précoce du mélanome cutané.

- La connaissance éventuelle d'outils IA dans le diagnostic précoce du mélanome cutané :

Cette section a pour but d'évaluer le niveau de connaissance des dermatologues concernant l'utilisation de l'IA dans le diagnostic du cancer de la peau. Selon leur réponse à la question sur la connaissance de ces outils en dermatologie, les participants seront orientés vers différentes séries de questions. En cas de réponse positive, ils passeront directement à la section suivante qui évalue leur expérience avec ces outils. Si la réponse est négative, une vidéo explicative leur sera proposée dans un but informatif. Il pourra alors exprimer son opinion en justifiant son choix. Enfin, il lui sera demandé s'il envisage de recourir à cette solution dans le futur. Cette section a donc aussi pour but de niveler le niveau des répondants pour la suite du questionnaire, en termes de connaissance sur le sujet.

- L'utilisation de ces outils et la perception des utilisateurs sur la fiabilité, l'efficacité et la facilité de la prise en main de ces technologies :

Cette section a pour objectif d'évaluer l'expérience des dermatologues utilisateurs concernant l'IA dans le diagnostic du mélanome. Si l'un d'eux a déjà utilisé cette technologie, plusieurs questions lui seront posées sur divers aspects : fiabilité, facilité d'utilisation, efficacité et avis général.

- Leur impact potentiel sur la pratique clinique et la relation avec d'autres professionnels de santé :

L'avant-dernière section aborde l'utilisation de l'IA dans le diagnostic du mélanome au sein de la pratique quotidienne des dermatologues. Elle explore non seulement l'intégration de ces technologies dans leurs processus diagnostiques, mais aussi la possibilité d'établir des collaborations plus étroites entre dermatologues et pharmaciens. Cette section vise à comprendre comment ces deux professionnels de santé pourraient améliorer l'efficacité du diagnostic.

- L'avenir de l'IA en dermatologie :

La dernière section est la plus libre et permet de recueillir l'avis des dermatologues sur l'avenir de l'IA en santé. Grâce à la diversité des profils interrogés, les réponses varient et offrent la possibilité d'explorer une large gamme de points de vue sur l'avenir de l'IA en santé.

Afin de garantir la clarté et la pertinence des questions, le questionnaire a été relu par plusieurs professionnels du domaine, dont le Professeur Dimier-Poisson, directrice du jury de thèse, et le Professeur Machet, PU-PH au CHRU de Tours. Il a été aussi prétesté auprès d'un petit nombre de participants avant sa diffusion définitive.

B) Participation à l'étude

B.1) Modalités de recueil des données

L'enquête menée est de type transversal et a été réalisée par le biais d'un questionnaire en ligne via Google Forms, afin de recueillir les perceptions et pratiques des dermatologues de tous secteurs en matière d'IA. Ce support en ligne a permis d'assurer une collecte de données anonymes, tout en facilitant l'accès pour les participants. De plus, une version digitale de ce questionnaire était nécessaire afin de le diffuser dans la France entière.

La population cible de cette étude est constituée de dermatologues et d'internes en dermatologie. Ces derniers ont été contactés par plusieurs moyens :

- Téléphone : quelques dermatologues m'ont ouvert les portes de leur cabinet afin d'échanger avec eux
- Réseaux professionnels (LinkedIn) : ils m'ont permis de contacter des dermatologues (majoritairement dans le sud de la France) dans le but de leur proposer, soit une visioconférence, soit de remplir le questionnaire en ligne et de le diffuser à leurs collègues intéressés
- Société Française de Dermatologie : contact auprès de leur secrétariat
- Mailing après contact avec le secrétariat du service dermatologie des hôpitaux de Tours afin de le diffuser auprès des internes

La période de recueil s'est étendue d'avril à septembre 2025, offrant une fenêtre de plusieurs mois pour la diffusion et la collecte des réponses.

B.2) Profil des répondants

Vingt-trois dermatologues ont répondu au questionnaire, représentant un échantillon de praticiens provenant de milieux professionnels variés (rural, citadin, semi rural) et assurant une diversité des points de vue, bien que le milieu citadin soit le plus représenté. Parmi la population de répondants, voici les données récoltées quant à leur profil :

- Années d'expérience :

Expérience (années)	Entre 1 et 5	Entre 5 et 10	Entre 10 et 15	Plus de 15
Effectif	5	4	2	12
Participation (%)	21,74	17,39	8,70	52,17

Tableau 1 : Années d'expérience des répondants (N = 23)

- Environnement de travail :

Milieu	Urbain	Semi-rural	Rural
Effectif	21	2	0
Participation (%)	91,30	8,70	0

Tableau 2 : Milieu d'exercice des répondants (N = 23)

- Type d'établissement professionnel :

Structure de travail	Hôpital	Cabinet privé	Mixte
Effectif	6	14	3
Participation (%)	26,09	60,87	13,04

Tableau 3 : Lieu d'exercice des répondants (N = 23)

- Relation professionnelle avec des structures de soins en oncologie ou des réseaux de télémedecine :

Collaboration	Oui	Non
	18	5
Participation (%)	78,3	21,7

Tableau 4 : Lien avec des structures en oncologie ou des réseaux de télémedecine (N = 23)

B.3) Biais liées à l'étude

Il faut noter que cette étude peut comporter certains biais :

- Biais de sélection :

Les répondants proviennent majoritairement de milieu urbain (91,30 %), travaillent en cabinet privé et sont expérimentés, ce qui limite la représentativité

- Biais d'opinion :

Il existe une forte proportion de dermatologues déjà sensibilisés à l'IA (47,8 %). Cela peut induire une surreprésentation des opinions favorables à l'innovation technologique en dermatologie

- Biais temporel :

Le questionnaire a été diffusé dans un contexte particulier marqué par l'essor rapide des technologies numériques en santé. Cette dynamique d'innovation a potentiellement influencé la perception des répondants vis-à-vis de l'intelligence artificielle au moment de l'enquête.

La connaissance des biais de l'étude permet une interprétation plus juste et nuancée des résultats obtenus.

C) Analyse des résultats de l'étude

Les réponses fournies par les dermatologues dans le cadre du questionnaire mettent en évidence plusieurs avantages et limites et contraintes liées à l'intégration de l'intelligence artificielle dans la détection précoce du mélanome cutané. Nous analyserons les réponses question par question afin d'en dégager les principaux enseignements. Certaines données, telles que celles de la question 1, sont directement exploitables car ce sont des données quantitatives. D'autres, comme celles de la question 2a, nécessitent une catégorisation préalable pour en faciliter l'interprétation.

1- Connaissez-vous les outils d'aide au diagnostic en dermatologie intégrant l'IA ?

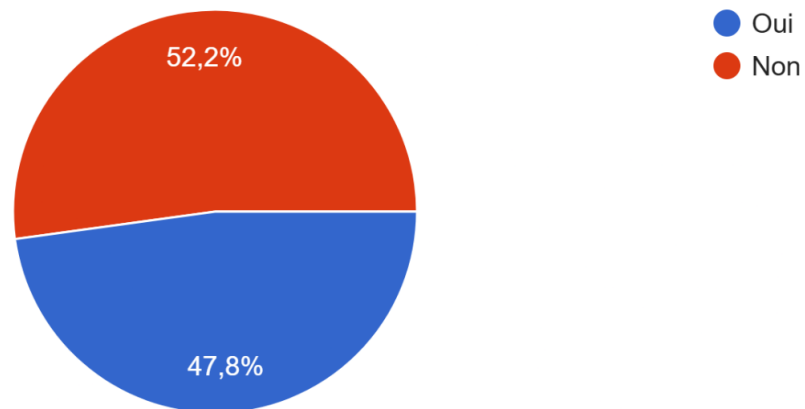


Figure 37 : Diagramme représentant le nombre de dermatologues connaissant des solutions d'aide au diagnostic du mélanome intégrant l'IA (N = 23)

Les données recueillies montrent que 47,8 % des répondants (11/23) connaissent les outils d'aide au diagnostic intégrant l'IA en dermatologie, contre 52,2 % (12/23) qui n'en ont pas connaissance.

Cette répartition traduit un niveau de sensibilisation encore limité à ces technologies. Si près de la moitié des dermatologues interrogés en a déjà entendu parler, une majorité reste peu ou pas informée.

Cette situation peut refléter plusieurs réalités :

- Un manque d'informations disponibles sur les innovations en dermatologie,
- Un manque de temps pour effectuer de la veille scientifique et technologique
- Une méfiance vis-à-vis de ces nouvelles approches diagnostiques
- Une absence de recommandations par les autorités compétentes

1a- Si oui lesquels ?

Nous classerons les 11 réponses reçues de l'IA la plus citée à celle qui l'est le moins :

- Fotofinder (citée neuf fois),
- Pixience (citée une fois),
- Belle pro (citée une fois),

- “Systèmes de vidéomicroscopie avec détection de lésions atypiques, mis à disposition des officines en dépistage primaire”

Fotofinder apparaît donc comme la plus connue. Enfin, certains participants ont évoqué de manière plus générale des « systèmes de vidéomicroscopie avec détection de lésions atypiques, mis à disposition des officines en dépistage primaire », sans préciser le nom d’un logiciel particulier.

Cette distribution suggère plusieurs points :

- Une notoriété inégale des solutions : Fotofinder semble bénéficier d’une meilleure reconnaissance parmi les dermatologues, en raison d’une présence historique sur le marché mondial et d’une reconnaissance par les autorités compétentes de l’efficacité et de la fiabilité de leur gamme de produits.
- Une diversité encore limitée : le faible nombre de logiciels mentionnés laisse penser que le panel d’outils d’IA réellement connus et utilisés par les dermatologues reste restreint. Une autre option est que la communication de nouvelles solutions n’a pas encore démarré, rendant l’accès à ces dernières plus compliqué.
- Un certain flou technologique : la référence aux systèmes de vidéomicroscopie plutôt qu’à des logiciels nommément désignés pourrait refléter un manque de connaissance des technologies utilisées.

Ces résultats mettent ainsi en lumière une connaissance partielle de l’offre existante, ce qui rejoint la nécessité évoquée plus haut d’améliorer l’information sur ces technologies.

2- Avez-vous déjà utilisé un tel outil pour diagnostiquer une maladie en dermatologie ?

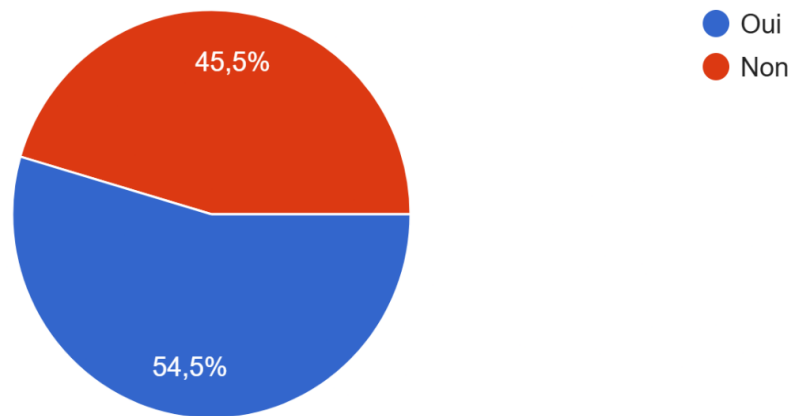


Figure 38 : Diagramme représentant le nombre de dermatologues ayant déjà utilisé l'IA pour aider au diagnostic du mélanome (N = 11)

Parmi les dermatologues connaissant déjà ce type de solution technologique, soit 11/23 dermatologues, 54,5 % d'entre eux (6/11) indiquent en avoir fait usage dans leur pratique clinique, tandis que 45,5 % (5/11) ne l'ont encore jamais utilisé.

Cette répartition suggère que, bien qu'une majorité ait déjà expérimenté ces technologies, leur utilisation n'est pas encore systématique ni largement généralisée.

Le fait que près de la moitié des répondants n'y ait pas eu recours peut s'expliquer par plusieurs facteurs :

- Disponibilité inégale des outils selon les structures de soins : certains cabinets ou hôpitaux peuvent ne pas être équipés
- Coûts d'acquisition et de maintenance encore élevés, freinant la diffusion dans la pratique quotidienne (valable surtout en cabinet privé),
- Besoin de formation : les dermatologues peuvent hésiter à adopter un outil qu'ils ne maîtrisent pas pleinement
- Manque d'intégration dans les recommandations officielles, limitant l'incitation à l'utilisation
- Réticences liées à la fiabilité perçue en cas d'erreur diagnostique.

Ces résultats mettent en évidence une adoption progressive : l'IA est déjà présente sur le marché, mais de manière encore partielle et possiblement conditionnée à des facteurs financiers et scientifiques.

A ce niveau, le questionnaire se décompose en deux parties : les médecins ayant déjà utilisé cette technologie (6/23) et ceux qui ne l'ont jamais utilisé (17/23). Les 4 questions qui suivent ont été proposées aux 6 dermatologues qui ont déjà testé une intelligence artificielle capable de détecter un mélanome.

2a- Si oui, qu'en avez-vous pensé ?

On s'intéresse donc ici aux opinions des 6 dermatologues ayant déjà testé l'IA dans un contexte de détection de mélanome cutané. Les réponses recueillies montrent une perception globalement positive mais nuancée de l'intelligence artificielle en dermatologie. Les participants reconnaissent le potentiel de ces outils comme une aide précieuse au diagnostic, notamment pour le suivi des patients présentant de nombreux naevi, et comme un gain de temps à terme. Ils énoncent même le fait que cela peut les rassurer si l'IA a le même avis qu'eux concernant un diagnostic.

Toutefois, plusieurs limites sont soulignées : manque de sensibilité et de spécificité pour les modèles présents actuellement sur le marché, risques de faux positifs et négatifs, ainsi qu'une performance jugée encore inférieure à celle des dermatologues expérimentés. Les répondants insistent sur la nécessité de conserver le regard critique du praticien pour le moment.

Cependant, quasiment tous les dermatologues s'accordent à dire que l'IA représente une solution d'avenir pour la détection des mélanomes, offrant à la fois un gain de temps considérable et une amélioration de la qualité des diagnostics.

En somme, ces opinions traduisent une attitude prudente mais ouverte vis-à-vis de l'intégration progressive de l'IA en dermatologie.

2b- Diriez-vous que ces outils sont fiables ?

6 réponses

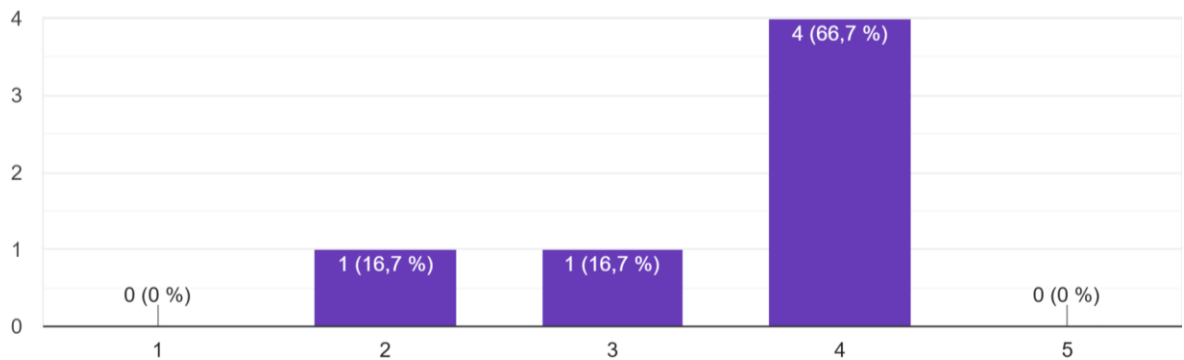


Figure 39 : Perception de la fiabilité de l'IA pour la détection du mélanome chez des dermatologues utilisateurs (N = 6)

Le graphique ci-dessus montre la perception de la fiabilité de l'IA dans la détection des mélanomes cutanés, évaluée sur une échelle de 1 à 5. La note moyenne est de 3,5/5, traduisant une opinion globalement positive.

La majorité des répondants (4 sur 6, soit 66,7 %) attribue une note de 4, indiquant qu'ils jugent l'IA plutôt fiable, même si des améliorations restent nécessaires. Une minorité (1 répondant, 16,7 %) lui donne une note de 3, reflétant une position plus mitigée. Un dermatologue (16,7 %) exprime une perception plus réservée avec une note de 2. Aucune note extrême (1 ou 5) n'a été attribuée, ce qui souligne l'absence de rejet total ou de confiance absolue.

En résumé, les participants reconnaissent le potentiel prometteur de l'IA dans la détection des mélanomes, tout en considérant que sa fiabilité actuelle reste globalement bonne, mais nécessite encore des améliorations pour inspirer une confiance totale.

2c- Diriez-vous que ces outils sont efficaces ?

6 réponses

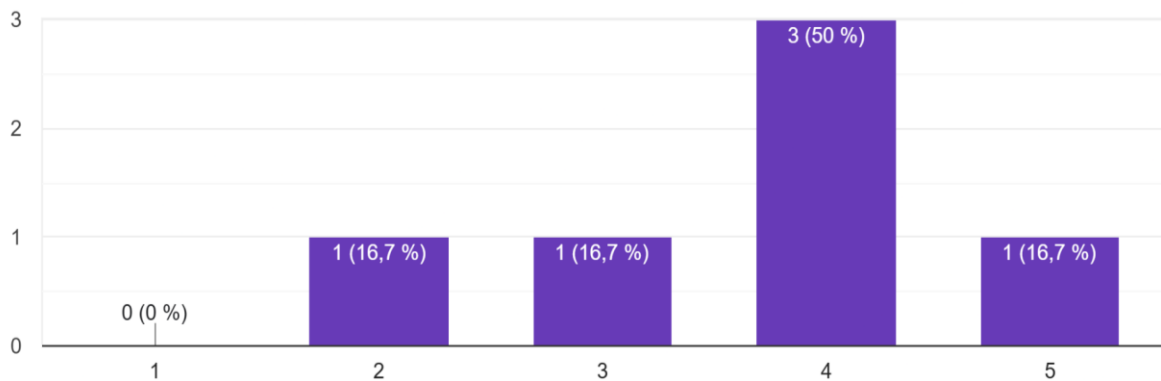


Figure 40 : Perception de l'efficacité de l'IA pour la détection du mélanome chez des dermatologues utilisateurs (N = 6)

Le graphique illustre les évaluations concernant l'efficacité de l'intelligence artificielle dans la détection des mélanomes. La note moyenne est de 3,67/5, traduisant une opinion globalement positive. La moitié des répondants attribue une note de 4, indiquant qu'ils perçoivent l'IA comme plutôt efficace. Un répondant (16,7 %) lui donne la note maximale de 5, exprimant une forte confiance dans son efficacité. En revanche, deux participants (soit 33,4 % au total) se montrent plus réservés, donnant des notes de 2 et 3, ce qui témoigne d'une certaine prudence.

Dans l'ensemble, ces résultats suggèrent que les utilisateurs considèrent l'IA comme un outil prometteur et déjà utile, mais dont l'efficacité pourrait encore être optimisée.

2d- Diriez-vous que ces outils sont faciles à prendre en main ?

Diriez-vous que ces outils sont faciles à prendre en main ?

6 réponses

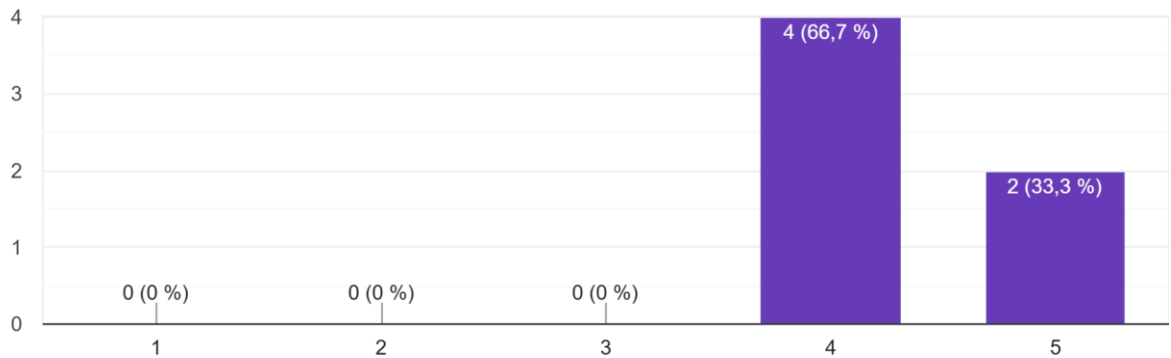


Figure 41 : Perception de la facilité de prise en main de l'IA pour la détection du mélanome chez des dermatologues utilisateurs (N = 6)

Le graphique ci-dessus présente les opinions des 6 spécialistes vis-à-vis de la facilité de la prise en main de l'IA dans la détection des mélanomes. Il indique une perception très favorable : sur 6 répondants, la note moyenne est de 4,33/5. La répartition montre que 66,7 % des participants ont attribué la note 4 (plutôt facile) et 33,3 % la note 5 (très facile), aucune note ≤ 3 n'étant observée. Cette concentration des réponses vers le haut traduit une faible dispersion des opinions, suggérant que les utilisateurs jugent l'IA facile et rapide à prendre en main.

Pour les 6 dermatologues utilisateurs, la première partie du questionnaire est terminée. Intéressons-nous maintenant aux 17 autres spécialistes qui ne connaissent pas ou n'ont jamais utilisé l'IA. Une vidéo issue d'un reportage de France Télévision leur est proposée. Elle présente une pharmacienne d'officine en train de photographier les naevi d'un patient à l'aide d'un téléphone et d'un dermatoscope. En suivent les 3 questions suivantes :

3a- Après visionnage de cette vidéo, pensez-vous que l'IA peut améliorer la détection précoce du mélanome et pourquoi ?

Pour cette question, nous pouvons organiser les réponses en les regroupant par catégories :

- **Oui - L'IA améliore la détection par sa performance technique (analyse d'images, base de données, précision) :**
 - « On sait que l'IA est meilleure que le dermatologue pour le dépistage du mélanome. Sa banque de connaissances/données est beaucoup plus grande que celle de n'importe quel praticien. »
 - « Bonne détection des lésions suspectes avec une grande base de données d'images. »
 - « Oui car il intègre beaucoup de données. »
 - « Oui, collecte de données, plus sensible. »
 - « L'IA à terme pourra faire aussi bien que le dermatologue. »

- **Oui - L'IA est un outil d'aide au diagnostic et de présélection pour le dermatologue :**
 - « Oui, car quand il y en a beaucoup dans des maladies particulières... Une cartographie du corps entier peut aider le dermatologue à s'attarder sur des lésions qui auraient évolué. »
 - « Utilisée par un professionnel de santé (hors dermatologue) ce sera bien sûr utile pour faire le premier tri et orienter le patient. »
 - « Mais actuellement elle permet déjà de bien départager une lésion bénigne d'une maligne/à montrer à un médecin. »
 - « Oui en aide pour le dermatologue, en surveillance chez les patients à risque. »

- **Oui - L'IA est utile face au manque de dermatologues et aux difficultés d'accès aux soins :**
 - « Oui pour un contrôle rapide car délais longs de RDV. »
 - « Oui mais uniquement en raison du manque de dermatologues, en tout cas à l'heure actuelle compte tenu des limites de l'IA. »
 - « Dermatologues pas assez nombreux d'où des délais d'attente trop longs. »

- « Gain de temps avec la difficulté d'accès aux soins. »
- « Oui du fait de l'accès aux soins difficile par manque de dermatologues. »
- **Oui mais ... - Sous certaines conditions (besoin de validation) :**
 - « Oui si les logiciels sont validés par les instances. »
 - « Oui mais attention au mélanome achromique (non pigmenté)... »
 - « C'est une technique qui va se développer, c'est aussi un marché intéressant... »
 - « Exemple récent : test faussement positif chez un pharmacien... » (mise en garde sur les erreurs possibles et la supervision médicale nécessaire)

Suite au visionnage du reportage, les réponses montrent une adhésion quasi unanime à l'idée que l'intelligence artificielle peut améliorer la détection précoce du mélanome cutané, mais avec des nuances importantes à souligner.

Une majorité de participants reconnaît les capacités techniques de l'IA en matière d'analyse d'images et de traitement de grandes bases de données, ce qui en fait un outil performant pour repérer les lésions malignes. Un autre groupe met en avant son intérêt organisationnel, notamment face au manque de dermatologues et aux délais d'accès aux soins, faisant de l'IA un outil de tri rapide et accessible.

Cependant, plusieurs répondants insistent sur la nécessité de valider scientifiquement ces outils. Ils indiquent également que l'IA actuelle possède encore des limites (faux positifs, mélanomes achromiques non détectés).

Dans l'ensemble, l'IA est perçue comme prometteuse, utile et en voie de devenir incontournable. Cependant pour le moment, les dermatologues préfèrent l'utiliser comme outil complémentaire à l'expertise humaine plutôt que substitutive.

3b- Quels sont, selon vous, les principaux avantages et limites des outils d'IA actuels ?

Avantages perçus des outils d'IA en dermatologie :

Aide à la détection précoce du mélanome

- Dépistage à un stade plus précoce du mélanome,
- Aide au diagnostic sur les lésions suspectes,
- Plus sensibles, plus précis, limitation des erreurs humaines,
- Permet de dépister davantage de patients,
- Rapidité du diagnostic,
- Surveillance des patients à nombreux naevi grâce à la cartographie

Accessibilité et organisation des soins

- Réduction des délais d'attente,
- Possibilité de dépistage même sans spécialiste (IA utilisable par le médecin généraliste, une infirmière ou un pharmacien ...),
- Utile pour prioriser les consultations selon l'urgence ou la suspicion,
- Outil de triage permettant d'orienter les patients à risque vers le dermatologue

Complémentarité et potentiel évolutif

- Soutien au dermatologue, sans le remplacer,
- Capacité d'apprentissage et d'amélioration continue de l'IA

Limites perçues des outils d'IA actuels en dermatologie :

Fiabilité et limites techniques

- Faux positifs fréquents (lésions bénignes identifiées à tort comme suspectes),
- Faux négatifs possibles, notamment pour les lésions non mélanocytaires ou achromiques,
- Bases de données d'apprentissage de qualité insuffisante (photos floues, hétérogènes),
- Manque de validation scientifique et de supervision dermatologique dans le développement

Problèmes organisationnels et économiques

- Coût élevé des dispositifs et difficulté d'amortissement,
- Non applicable à grande échelle (par exemple, body mapping complet encore limité),
- Risque de mauvaise interprétation par des non-spécialistes,

Enjeux éthiques et médicaux

- Responsabilité du dermatologue engagée malgré l'aide de l'IA,
- Risque que certains patients négligent la consultation médicale après un résultat rassurant,
- Manque de prise en compte du contexte clinique et des antécédents du patient,
- Outil perçu aussi comme un marché économique en expansion

Les dermatologues interrogés perçoivent globalement l'intelligence artificielle comme un outil d'aide prometteur dans la détection précoce des mélanomes cutanés, tout en soulignant d'importantes limites techniques et éthiques.

Parmi les principaux avantages, ils mettent en avant la rapidité, la capacité de dépistage à grande échelle et la possibilité de repérer plus tôt les lésions suspectes, notamment dans un contexte de pénurie de dermatologues. Pour l'instant, l'IA est vue comme un outil complémentaire facilitant le tri des patients et la surveillance des naevi multiples.

Cependant, les limites actuelles freinent encore une adoption large : spécificité et sensibilité jugées trop faibles, qualité des bases de données d'entraînement, manque de validation clinique par les instances responsables et coût élevé. Certains soulignent également des risques légaux quant à la responsabilité d'un potentiel mauvais diagnostic.

En résumé, les répondants estiment que l'IA constitue une avancée majeure pour le dépistage du mélanome, mais qu'elle doit, à ce stade, rester un outil d'aide à la décision intégré dans un parcours médical supervisé par un dermatologue, plutôt qu'un substitut à l'examen clinique.

3c- Seriez-vous prêt à recommander un outil d'IA à vos patients, et pourquoi ?

Oui - Dans certains contextes :

- « Oui si pas de disponibilité médicale à proximité. »
- « Oui dans certaines zones où l'accès est limité. »
- « Oui s'il ne parvient vraiment pas à voir un dermatologue rapidement. »
- « Oui si inquiétude sur une lésion et difficulté à joindre le médecin traitant ou le dermatologue. »
- « Oui pour maximiser les surveillances mais inapplicable en libéral à l'heure actuelle du fait des contraintes techniques de temps et de raisons économiques. »
- « Pourquoi pas si c'est fiable en première intention. »
- « Oui, mais ne dispense pas d'un examen dermato à la recherche d'autres lésions suspectes. »
- « Si elles sont validées. »
- « J'attends toujours de prendre du recul avant de conseiller et de bénéficier de l'expérience de centres experts à qui je délègue ma confiance. »

Oui - Mais plutôt pour d'autres professionnels de santé :

- « À recommander plutôt aux confrères qui ont un 1er contact avec le patient (médecin généraliste par exemple) pour faire un diagnostic précoce. »

Non - Par manque de temps, manque de fiabilité, risque d'anxiété :

- « Non, car je n'ai pas le temps de leur apprendre à utiliser cet outil intelligemment. »
- « Non, en raison du risque de faux positifs (angoisse du patient, rdv en urgence pour rien...) et de faux négatifs (réassurance avec retard au diagnostic). »
- « Non, pas encore prête car non validée. »
- « Non ; inquiétude chez le patient. »

Les 17 dermatologues sondés sont plutôt mitigés lorsqu'il s'agit de conseiller l'utilisation de l'IA à leurs patients.

Un nombre significatif d'entre eux (environ 50 %) serait disposé à la préconiser dans des circonstances spécifiques, comme lorsqu' un accès à un médecin est limité. Ces spécialistes perçoivent l'IA comme un assistant, capable d'améliorer la détection précoce en donnant un premier avis, notamment dans des zones à faible densité de dermatologue. Il est bien précisé que ce n'est pas un remplacement de l'examen dermatologique classique.

Certaines personnes, plus prudentes, soulignent l'importance d'une validation officielle par des autorités compétentes, d'un contrôle médical rigoureux afin d'éviter d'éventuelles erreurs de diagnostic.

En conclusion, la majorité des répondants reconnaît le potentiel futur de l'IA mais estime que, dans l'état actuel de son développement, elle doit rester sous supervision médicale et être progressivement intégrée dans la pratique clinique plutôt que directement confiée aux patients.

A ce stade du questionnaire, nous réintégrons les 6 dermatologues précédents et adressons donc les prochaines questions à la totalité des répondants, soit aux 23 dermatologues, sans distinction vis-à-vis de leur utilisation ou non de l'IA.

4- Voyez-vous l'IA comme un outil complémentaire ou une menace pour la pratique clinique ?

Notons que 3 dermatologues n'ont pas voulu se prononcer sur cette question, manquant de données sur le sujet. Nous avons donc pu récolter 20 réponses.

Parmi les 20 réponses de dermatologues, 18 expriment un intérêt pour l'IA, en la considérant comme un outil complémentaire à leur pratique. Ces praticiens estiment que l'IA n'a pas vocation à remplacer le dermatologue, mais plutôt à renforcer son efficacité, en particulier dans le dépistage précoce et la priorisation des patients. Cela représente 90% de notre échantillon.

Dans l'avenir, plusieurs évoquent une évolution du rôle du dermatologue, qui s'orienterait davantage vers la chirurgie par exemple, l'IA prenant en charge certaines tâches de tri et de détection.

L'outil est jugé bénéfique s'il reste entre les mains de dermatologues, intégré dans un cadre scientifique et légal validé.

Notons qu'un dermatologue ne recommanderait pas l'IA à ses patients mais n'a pas argumenté sa réponse. Un autre spécialiste indique voir à la fois la complémentarité et la menace dans l'utilisation de cet outil. Il estime que l'IA est un outil complémentaire si la prise de photo et l'interprétation sont effectuées par un dermatologue, mais qu'elle est une menace si elles sont faites par le patient. 5% des praticiens de notre échantillon perçoivent l'IA comme une menace pour la pratique clinique.

En somme, les réponses révèlent un consensus clair : 9 dermatologues sur 10 voient l'intelligence artificielle comme un outil complémentaire, utile et prometteur pour leur pratique clinique.

Une minorité (5 %) exprime des inquiétudes sans justification.

En conclusion, l'IA est largement considérée comme une alliée de la pratique dermatologique, capable d'amplifier les compétences humaines plutôt que de les menacer, à condition qu'elle soit intégrée de manière éthique et validée scientifiquement.

L'un d'eux affirme : "Ce qui est bénéfique pour le patient ne pourra jamais être une menace". Il s'agira ensuite de déterminer le cadre précis dans lequel ils souhaitent recourir à l'IA.

5- Pensez-vous que l'IA pourrait transformer la relation entre dermatologues et pharmaciens dans le cadre du dépistage du mélanome ? Si oui, comment ?

Les réponses recueillies montrent plusieurs opinions. Nous les regrouperons en deux groupes afin de mieux les décrire :

- Pas de changement dans la relation interprofessionnelle : une minorité de dermatologues (5/23 soit 22% environ) estime que l'IA ne transformera pas la collaboration avec les pharmaciens. Ils invoquent des limites comme le manque de temps et de formation des pharmaciens au diagnostic, et le fait que ces derniers n'examinent qu'une zone ciblée, contrairement aux dermatologues qui réalisent un examen complet. Selon eux, pour que les

pharmaciens puissent avoir accès à cet outil, plusieurs conditions doivent être réunies :

- Une formation approfondie afin de limiter les risques de faux positifs et négatifs,
 - Une IA validée via des études cliniques robustes,
 - Un coût abordable pour garantir son accessibilité,
 - Une organisation territoriale définissant le nombre de pharmacies équipées en fonction de la densité de dermatologues
- Changement dans la relation professionnelle : la majorité des dermatologues perçoit l'IA comme un moyen de renforcer la complémentarité entre disciplines, surtout dans les territoires où il n'y a pas ou peu de spécialistes. Ils évoquent aussi la possibilité d'intégrer des infirmiers de pratique avancée pour améliorer la pertinence du dépistage. Aucun avis négatif n'a été exprimé concernant l'évolution de la relation professionnelle dans ce questionnaire.

Une minorité rejette donc l'idée d'une implication des pharmaciens dans la détection du mélanome, tandis qu'une majorité y voit un gain pour les patients, mais sous deux conditions principales : former les pharmaciens d'officine et valider les IA via des études cliniques robustes.

6- Selon vous, quel avenir voyez-vous pour l'IA dans le dépistage et la prise en charge du mélanome ?

Les avis se répartissent en trois grandes tendances :

- Un avenir prometteur et incontournable : de nombreux dermatologues voient l'IA comme un outil essentiel à court ou moyen terme. Ils évoquent son rôle dans le dépistage précoce, l'optimisation des délais de consultation, et l'accompagnement du dermatologue pour le suivi des patients à risque (porteurs de nombreux nævi). Certains estiment que l'IA deviendra incontournable en cabinet, apportant un gain de temps non négligeable.
- Un avenir sous conditions : plusieurs répondants soulignent que l'IA doit être développée par la profession, validée par des études cliniques, et utilisée par des personnes formées (pharmaciens, infirmiers de pratique avancée). Ils insistent sur la nécessité d'une amélioration des performances et d'une démocratisation avant un usage large.
- Réserves sur la prise en charge complète : une minorité rappelle que, même si la détection et le diagnostic pourraient être automatisés à terme, la prise en charge thérapeutique restera du ressort du dermatologue. Notons qu'un répondant estime qu'il serait plus pertinent de confier cet acte à un médecin généraliste plutôt qu'à un pharmacien, sans justification supplémentaire.

En conclusion, les dermatologues anticipent une place croissante et stratégique de l'IA dans le dépistage du mélanome, principalement comme outil d'aide à la décision et au triage, permettant de gagner du temps et d'améliorer l'accès aux soins. Toutefois, son intégration devra respecter des conditions strictes : validation scientifique, formation des utilisateurs et maintien du rôle central du dermatologue dans la prise en charge thérapeutique.

Partie 4 : Discussion

A) Avantages de l'IA dans le diagnostic précoce du mélanome cutané

A.1) Amélioration de la précision diagnostique

L'un des principaux avantages de l'utilisation de l'intelligence artificielle en dermatologie réside dans l'amélioration significative de la précision diagnostique du mélanome cutané. Cette performance accrue s'explique par trois arguments principaux :

- Algorithmes d'apprentissage profond : les systèmes d'IA reposant sur le deep learning, ils sont capables de s'entraîner en continu sur de vastes bases de données d'images dermatologiques. Ceci leur permet de détecter de mieux en mieux les mélanomes. Ils peuvent en effet, reconnaître des détails dermatologiques ou des modifications cutanées subtiles que l'œil humain pourrait ne pas percevoir. La conséquence est une amélioration de la sensibilité et de la spécificité du diagnostic précoce. [159]
- Analyse de critères simultanés : les algorithmes d'IA peuvent analyser en même temps plusieurs critères permettant la détection d'un mélanome : couleur, taille, forme de la lésion, symétrie... Ils sont également capables d'intégrer ces données dans leur mémoire pour comparer l'évolution d'un naevus dans le temps, améliorant ainsi la détection des transformations suspectes et facilitant le travail des dermatologues. [160]
- Validation par des études cliniques : de nombreuses méta-analyses ou études cliniques ont démontré la fiabilité de l'IA dans le diagnostic du mélanome, certaines montrant même des performances supérieures à celles de médecins expérimentés. Ces résultats se traduisent par une réduction du nombre de faux positifs et de faux négatifs. [161]

Un faux positif est un patient diagnostiqué à tort comme porteur d'un mélanome, entraînant des examens complémentaires, des consultations ou des chirurgies inutiles et un stress important. À l'inverse, un faux négatif est un patient atteint d'un mélanome mais qui n'a pas été diagnostiqué. Ce retard dans le diagnostic modifie la prise en charge chirurgicale, augmentant ainsi le risque de métastase, et par conséquent, la mortalité. [162]

Selon Tschandl et al., l'IA bénéficie à trois catégories de médecins : [163]

- Les médecins généralistes et les dermatologues moins expérimentés (internes/externes) : ce sont eux qui ont le moins l'habitude de diagnostiquer des lésions malignes. L'IA leur permettrait de bénéficier d'une aide au diagnostic, renforçant leur précision diagnostique et leur confiance face à des lésions cutanées parfois ambiguës. De plus, il est mentionné que les praticiens

avec moins de confiance ou d'habitude dans le diagnostic des lésions pigmentaires, tirent davantage profit d'un système d'IA. Cela renforce l'idée que l'IA devrait viser en priorité les médecins généralistes ou les dermatologues en début de carrière, afin de réduire l'écart de performance avec les spécialistes. Les pharmaciens et infirmiers pourraient également en bénéficier, mais ils ne sont pas mentionnés dans l'étude.

- Les dermatologues les plus expérimentés : plusieurs études ont montré que certaines IA atteignent, voire surpassent la précision des dermatologues expérimentés dans la détection de mélanome. [164]
- Certaines structures de santé (zone rurale, zone en manque de dermatologue) : l'IA agirait ici comme une solution de compensation au manque de spécialistes.

L'utilisation de l'IA dans le diagnostic précoce du mélanome peut contribuer également à renforcer la confiance des patients. Le fait que leur diagnostic repose sur le travail d'algorithmes performants renforce chez certains, le sentiment de confiance quant à la précision de l'évaluation médicale et à la justesse du traitement proposé. [165]

A.2) Amélioration de la rapidité diagnostique

L'intégration de l'IA dans le diagnostic du mélanome permet un traitement quasi instantané des données cliniques (quelques secondes), ce qui accélère significativement le diagnostic.

Cela a plusieurs conséquences :

- Accélération du diagnostic : l'IA est capable d'analyser quasi instantanément un cliché dermatologique et d'orienter plus tôt la décision de consulter ou non un dermatologue. Cette réactivité permet d'identifier plus précocement les lésions à haut risque, ce qui raccourcit le délai entre l'observation et la décision de réaliser une potentielle exérèse. [166]
- Réduction du temps d'attente patient : en fluidifiant le parcours de dépistage, les patients à risque peuvent être vus plus tôt, ce qui allège la file d'attente pour les consultations dermatologiques. Pour répondre à une demande croissante et au manque de dermatologues, le service de dermatologie de Leicester (Royaume-Uni) s'est associé à une société d'IA afin de fournir un diagnostic plus rapide aux personnes suspectées d'un mélanome. Au cours des 6 premiers mois d'utilisation, plus de 35% des patients n'ont pas eu besoin de se rendre à l'hôpital, l'IA ayant jugé inutile de consulter un dermatologue. Cela a libéré les salles d'attente pour d'autres patients et diminué la pression sur le service. [167]

- Amélioration du taux de survie : plus un mélanome est découvert à un stade précoce, meilleures seront les chances de survie du patient à long terme. [168]
- Gain de temps pour le dermatologue : le tri effectué par l'IA permet aux dermatologues de consacrer davantage de temps aux patients à risque, à la chirurgie et à la prise en charge thérapeutique.

L'intégration de l'IA dans le diagnostic du mélanome permet donc d'accélérer la détection du mélanome et d'optimiser la prise en charge des patients atteints. En allégeant la charge des dermatologues, elle contribue à un parcours de soins plus efficace.

A.3) Accessibilité au dépistage

L'intégration de l'intelligence artificielle dans le dépistage du mélanome permet également d'élargir l'accessibilité à ce dernier.

Tout d'abord, l'utilisation d'outils d'IA par des professionnels de santé non-spécialistes (médecins généralistes ou pharmaciens par exemple) constitue un levier important pour désengorger les dermatologues et réduire les délais de prise en charge. Des travaux montrent que des modèles IA peuvent assister les praticiens non-spécialistes dans la détection des lésions suspectes. Par exemple, une étude rapporte que des praticiens non-dermatologues utilisant un modèle IA ont amélioré leur exactitude de diagnostic cutané d'environ 11 % par rapport à la pratique seule. [169]

Ce type de dispositif permettrait donc de se faire dépister chez un médecin généraliste ou un pharmacien, ce qui améliorerait l'accessibilité au dépistage pour des populations géographiquement éloignées de dermatologues.

D'autre part, pour les patients présentant de nombreux nævi (ce qui rend la surveillance difficile à réaliser manuellement), les technologies d'imagerie numérique couplées à l'IA, notamment la cartographie corporelle totale automatisée, ouvrent de nouveaux horizons. Des études récentes ont montré qu'un système automatisé de cartographie corporelle totale pouvait détecter la majorité des lésions mélanocytaires pertinentes et suivre automatiquement les nouvelles ou celles qui se sont modifiées au fil du temps. En pratique, cette approche permet un suivi dans le temps des patients à grand nombre de lésions, sans que le praticien ne doive recourir à un examen manuel à chaque consultation. Ceci contribue à un gain de temps considérable et à une meilleure détection précoce. [170]

Ainsi, l'IA permet-elle d'étendre l'accès au dépistage à d'autres professions médicales, contribuant à une meilleure couverture du dépistage.

B) Limites actuelles de l'intelligence artificielle en dermatologie

B.1) Les bases de données d'entraînement

B.1.1) Qualité et quantité des bases de données

La performance d'une intelligence artificielle dépend principalement de la qualité et de la quantité des données sur lesquelles elle est entraînée.

Dans un premier temps, attardons-nous sur la qualité. Une base de données est dite qualitative lorsqu'elle contient des images dermatologiques prises dans des conditions standardisées et validées par des dermatologues experts. Ces éléments permettent à l'algorithme d'apprendre à distinguer avec précision les lésions bénignes des lésions malignes. À l'inverse, des données mal classées, de faible résolution ou mal cadrées peuvent introduire des biais et compromettre la fiabilité du diagnostic. Une base de données de haute qualité garantit donc que l'IA reproduise un raisonnement clinique fiable.

D'autre part, parlons de la quantité. Les modèles de deep learning nécessitent de vastes ensembles d'images pour apprendre à différencier un mélanome d'une lésion bénigne. Cependant, ces dernières sont compliquées à récolter en santé, en raison de coûts financiers importants et de la nécessité d'obtenir le consentement éclairé des patients.

Ainsi, une des principales limites actuelles de l'IA en dermatologie réside dans la qualité et la quantité des bases de données d'entraînement, dont dépendent directement la reproductibilité, la qualité et la diversité des diagnostics.

B.1.2) Représentativité des bases de données

La représentativité des données constitue également un enjeu majeur pour le développement efficace de l'intelligence artificielle en dermatologie. Les algorithmes doivent être formés à partir de bases de données reflétant la diversité réelle des patients et des situations rencontrées en pratique clinique. Plusieurs obstacles persistent à ce niveau :

- Diversité ethnique et géographique : les ensembles d'images utilisés pour l'apprentissage des modèles doivent inclure des patients issus de contextes ethniques et géographiques variés. En effet, la couleur de la peau, les types de lésions ou encore la réponse aux traitements peuvent différer selon les populations. Un manque de représentativité dans ces données risque donc d'introduire des biais, au détriment des groupes minoritaires ou sous-représentés. Par exemple, aujourd'hui, il est difficile de trouver des bases de données présentant des mélanomes chez les phototypes V et VI car rares chez les peaux foncées. [171]

- Variété des pathologies dermatologiques : les bases d'entraînement utilisées pour l'entraînement doivent aussi englober un large éventail de pathologies cutanées, des lésions bénignes jusqu'aux formes malignes les plus graves. Une couverture incomplète des différentes affections limite la capacité du modèle à reconnaître avec justesse l'ensemble des maladies de la peau. [172]

B.1.3) Confidentialité des bases de données

L'un des principaux défis liés au développement de l'IA en dermatologie concerne la confidentialité des bases de données médicales utilisées pour l'entraînement des algorithmes. En effet, les modèles d'apprentissage profond nécessitent des images dermatologiques, souvent associées à des données cliniques sensibles telles que l'âge, le sexe, l'historique médical ou l'origine ethnique des patients.

Ces informations sont encadrées par des lois strictes : au niveau Européen, c'est le Règlement Général sur la Protection des Données (RGPD) qui fait foi, alors qu'aux Etats Unis, c'est la Health Insurance Portability and Accountability Act (HIPAA) qui régit la protection des données de santé. [173]

Concilier le respect de ces lois avec la nécessité d'accéder aux données médicales indispensables à l'entraînement des modèles d'IA, représente un défi technique et financier.

De plus, le RGPD impose la mise en place de mesures de sécurité telles que la pseudonymisation ou le chiffrement pour garantir l'anonymat des patients, même en cas de cyberattaque ou de fuite de données. Ces mesures sont essentielles, non seulement pour protéger les données médicales utilisées dans le développement de l'IA, mais également pour se conformer aux exigences légales et, surtout, pour respecter la vie privée des patients.

L'ensemble de ces éléments limite donc la création de bases de données vastes et diversifiées, essentielles pour que les algorithmes puissent être efficaces sur différentes populations.

B.2) Validation scientifique

La validation par des études cliniques robustes est impérative pour l'usage de l'IA dans le diagnostic du mélanome afin d'assurer fiabilité et sécurité clinique. Par exemple, aux Etats Unis, la FDA a approuvé en 2024 DermaSensor, une technologie basée sur l'IA pour le diagnostic du cancer de la peau. L'instance américaine s'est référée à deux études impliquant plus de 1000 patients, ce qui illustre l'importance des preuves cliniques solides avant déploiement. [174]

Pour qu'une telle étude soit validée, elle doit franchir plusieurs étapes :

- Validité interne : le but est de vérifier que l'IA fonctionne correctement sur les données d'entraînement initiales. Cette étape teste la capacité de l'algorithme à identifier les schémas appris en entraînement et à produire des résultats cohérents sur le même ensemble de données.
- Validité externe : l'objectif est d'évaluer la performance de l'IA par une entité indépendante de celle ayant développé l'algorithme, afin de minimiser les conflits d'intérêts. Pour cela, il est essentiel de la tester sur un jeu de données différent de celui qui a servi à l'entraînement, garantissant ainsi que l'algorithme peut être performant sur de nouvelles populations ou conditions. Cette évaluation est généralement réalisée par des chercheurs externes ou des organismes de réglementation, tels que la FDA, ce qui permet de fournir une appréciation objective et fiable du produit final avant sa mise en pratique clinique. [175]
- Essais cliniques : le but est d'évaluer la balance bénéfice/risque de l'IA par rapport aux méthodes traditionnelles de détection du mélanome. Le test s'effectue sur des patients « réels ». On essaye alors de démontrer une meilleure sécurité et efficacité par rapport à ce qui existe déjà sur le marché.

Si l'IA passe avec succès toutes ses étapes, une dernière évaluation sera demandée : l'évaluation réglementaire.

B.3) Questions éthiques, légales et réglementaires

Au-delà des défis techniques et scientifiques, l'utilisation de l'IA en dermatologie est également confrontée à des limites éthiques, légales et réglementaires. Ces questions sont essentielles pour garantir la sécurité des patients, la protection des données sensibles, ainsi que la sécurité juridique des professionnels de santé utilisant ces outils.

B.3.1) Protection des données

La protection des données patient constitue un pilier fondamental de l'intégration de l'IA en dermatologie. En effet, les algorithmes d'apprentissage profond destinés à la détection de mélanomes s'appuient sur d'importants volumes d'images dermatologiques couplées à des données sensibles (âge, sexe, origine ethnique, antécédents médicaux).

L'article 5 du Règlement Général sur la Protection des Données (RGPD) définit sept principes encadrant la protection des données : [176]

- Licéité, loyauté et transparence : les données doivent être traitées de manière licite, loyale et transparente vis à vis de la personne concernée
- Finalité : les données sont collectées pour répondre à une problématique précise et légale
- Minimisation : seules les données essentielles doivent être collectées
- Exactitude : les données doivent être exactes
- Durée de conservation : les données sont conservées pendant un laps de temps convenu avec le patient. Passé ce délai, elles sont supprimées ou anonymisées
- Sécurité : les entreprises sont tenues de mettre en place des mesures techniques afin de prévenir toute fuite ou vol des données
- Responsabilité : les organismes qui récoltent les données doivent prouver qu'ils respectent le RGPD en traçant, via un registre, toutes les personnes concernées

Pour répondre à ces contraintes légales, les deux techniques les plus fréquemment mises en place sont l'anonymisation et la pseudonymisation des données.

La première méthode désigne l'ensemble des procédés qui visent à rendre impossible, de manière irréversible, l'identification d'une personne, quel que soit le moyen utilisé. La seconde décrit un traitement des données personnelles dans lequel il n'est plus possible d'attribuer les informations à une personne physique sans disposer d'informations supplémentaires. [177]

Il est nécessaire également de protéger les données patient de potentielles cyberattaques, fuites internes ou erreurs humaines. Pour cela, les IA devront être développées de telle sorte d'inclure des systèmes de sécurité infaillibles comme le chiffrement de bout en bout des dossiers médicaux, l'authentification multi-facteurs pour accéder aux images et données patient, ainsi que des protocoles stricts de contrôle d'accès. Le but est de prévenir toute fuite ou utilisation non autorisée. [178]

Ce travail, pourtant indispensable, n'est pas respecté par tout le monde. En effet, d'après une étude évaluant 41 applications d'IA en 2024, il est constaté « des pratiques d'utilisation des données douteuses » et « des politiques de protection inadéquate de la vie privée des utilisateurs ». [179]

B.3.2) Consentement des patients

Le recours à l'IA en dermatologie implique non seulement le traitement de données sensibles, mais aussi l'usage éventuel d'images à visée diagnostique. Il est donc impératif de garantir que chaque patient soit informé et donne son consentement éclairé quant à l'utilisation de ses données.

L'absence de clarification du consentement constitue un frein à l'adoption de ces technologies. [180]

Une étude montre que les patients veulent être clairement informés et consultés avant que leurs photos cutanées ou leurs données cliniques ne servent à entraîner ou valider des algorithmes. Cela renforcerait la confiance dans la qualité de l'IA. [181]

Par exemple, en 2021, au Royaume-Uni, une application de télédermatologie a été suspendue après avoir partagé des images de patients sans consentement explicite. L'incident a entraîné la suspension des consultations dermatologiques à distance. [182]

Enfin, nous pouvons supposer qu'il existe une partie de la population qui se méfierait de l'arrivée de la technologie sur le marché, qui plus est si cette dernière remplace le dermatologue dans une détection à moyen ou long terme. Certains patients disent préférer recevoir leur diagnostic d'un professionnel humain plutôt que d'une machine, même si cela prend plus de temps. [183]

B.3.3) Sécurité juridique des professionnels de santé

L'intégration de l'IA dans le diagnostic du mélanome soulève également des questions concernant la responsabilité médicale et la sécurité juridique des praticiens. Lorsqu'une IA assiste un professionnel de santé, la question se pose de savoir qui est responsable en cas de mauvais diagnostic. Aujourd'hui, aucun texte de loi ne permet de répondre à cette question. La faute peut être attribuée au fabricant du logiciel, à l'établissement médical ou au médecin lui-même. Le flou juridique autour de cette question est à éclaircir urgemment afin de garantir une utilisation à grande échelle de l'IA en santé. [184]

De plus, pour un dispositif médical de classe II comme le sont les algorithmes d'IA, les praticiens doivent s'assurer que l'outil est certifié et que les conditions d'utilisation correspondent à celles validées. [185]

Un manquement pourrait engager leur responsabilité et leur assurance professionnelle.

Enfin, notons que la majorité des entreprises commercialisant des solutions d'IA en dermatologie présentent ces outils comme des dispositifs d'aide à la décision médicale. Le diagnostic final doit être établi par un dermatologue.

B.3.4) Conformité réglementaire

Pour qu'un dispositif médical intégrant des applications de détection d'IA soit mis sur le marché, la société responsable doit démontrer sa conformité à des normes et réglementations. Le but est d'assurer au patient qu'il utilise une technologie sécurisée et protectrice de ses données. Dans cette partie, nous présenterons les principales obligations à respecter en Europe afin de mettre sur le marché une IA.

B.3.4.1) MDR 2017/45

Le MDR (Medical Device Regulation) 2017/45 est un règlement encadrant tous les dispositifs médicaux, y compris les logiciels et applications utilisant de l'IA en santé. Il indique que toute IA utilisée à des fins médicales doit être considérée comme un dispositif médical et obtenir le marquage CE avant sa mise sur le marché. Ce marquage traduit la conformité d'un dispositif médical aux exigences de sécurité et de bénéfice clinique fixées par la réglementation européenne. Pour l'obtenir, une procédure d'évaluation rigoureuse couvrant la sécurité, la performance clinique, la gestion des risques et la surveillance post-commercialisation doit être menée. Le marquage permet de garantir la sécurité de l'outil ainsi que sa transparence. [186]

Le marquage CE classe les dispositifs médicaux en 4 classes selon leur risque : [187]

- Risque faible : dispositifs médicaux de classe I tels que des thermomètres ou compresses
- Risque modéré : dispositifs médicaux de classe IIa comme les lentilles de contact
- Risque important : dispositifs médicaux de classe IIb tels que les systèmes de radiothérapie ou des pompes à perfusion
- Risque élevé : dispositifs médicaux de classe III comme les prothèses, les stérilets

Dans notre cas, les IA peuvent être classées de la classe IIa à la classe III en fonction de leur risque supposé. [188]

B.3.4.2) IA Act

L'IA Act est le premier texte de réglementation encadrant l'intelligence artificielle au sein de l'UE. Il classe les IA en 4 niveaux de risque : [189]

- Risque inacceptable : interdit à la vente
- Haut risque : autorisé à la vente sous conditions d'exigences renforcées
- Risque en matière de transparence : exigences de transparence (par exemple un chatbot doit informer clairement les utilisateurs qu'ils interagissent avec une IA)
- Risque minimal : concerne tous les autres types d'IA, et ne sont pas soumis à des obligations spécifiques

Règlement IA - Approche par les risques

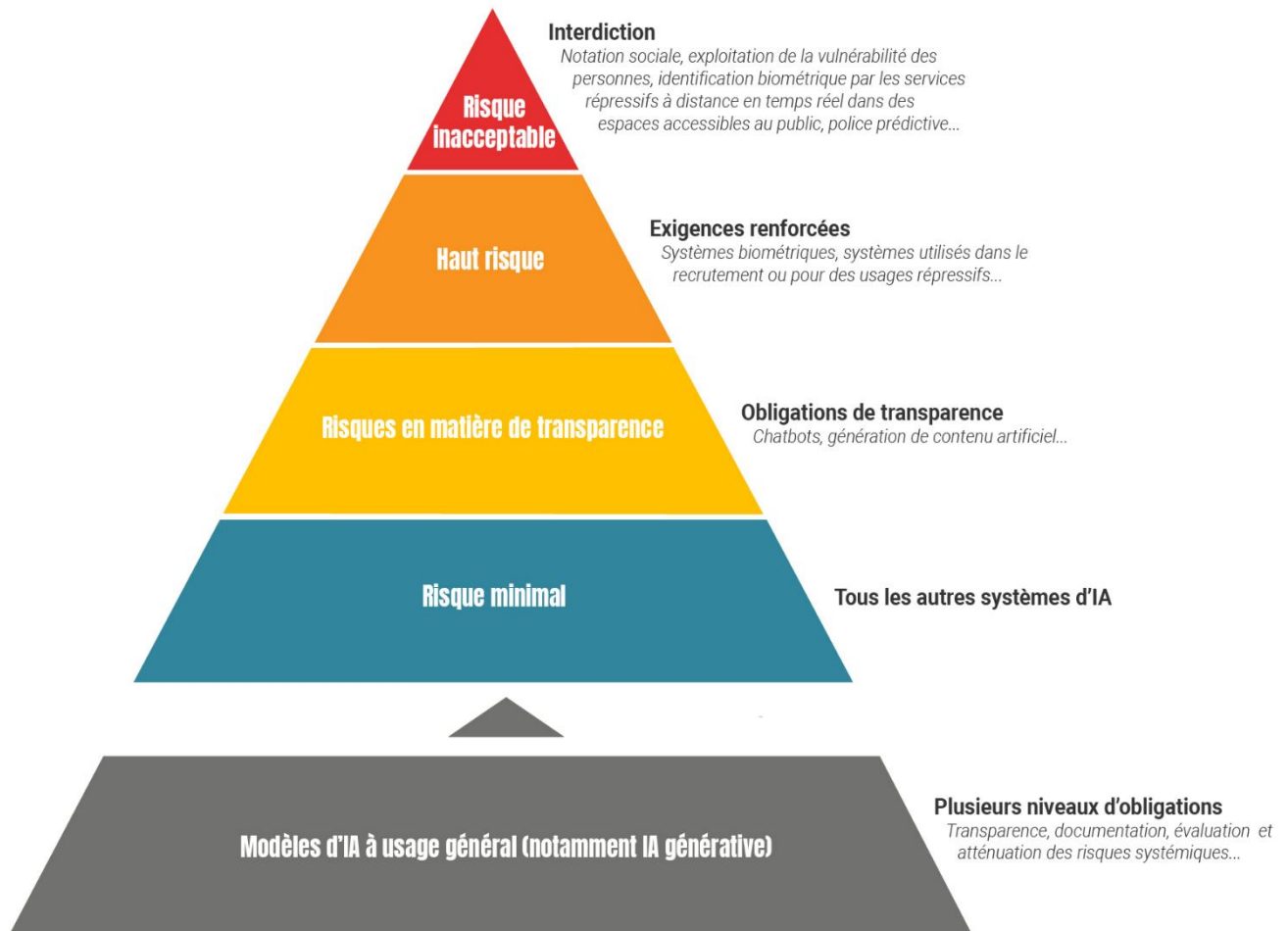


Figure 42 : Classification des types d'IA en fonction de leurs niveaux de risques [189]

L'IA Act classe les systèmes d'IA utilisés pour la détection du mélanome parmi les technologies à haut risque, en raison de leur impact potentiel sur la santé des patients. [190]

C'est pourquoi, il est demandé aux fabricants de respecter des exigences strictes : [191]

- Gestion continue des risques tout au long du cycle de vie du produit
- Entraînement de l'IA sur base de données pertinentes, fiables et représentatives
- Documentation technique complète afin de démontrer la conformité
- Enregistrement automatique des événements importants et modifications
- Informations claires pour les utilisateurs sur le fonctionnement du dispositif
- Supervision humaine possible si nécessaire
- Sécurité, précision et robustesse
- Système de gestion de la qualité
- Enregistrement dans la base de données de l'UE

Pour résumer, les autorités compétentes sont responsables de la conformité de l'IA avant sa mise sur le marché et de la surveillance post commercialisation. Après leur commercialisation, les utilisateurs et les fournisseurs pourront également signaler des évolutions ou dysfonctionnements graves.

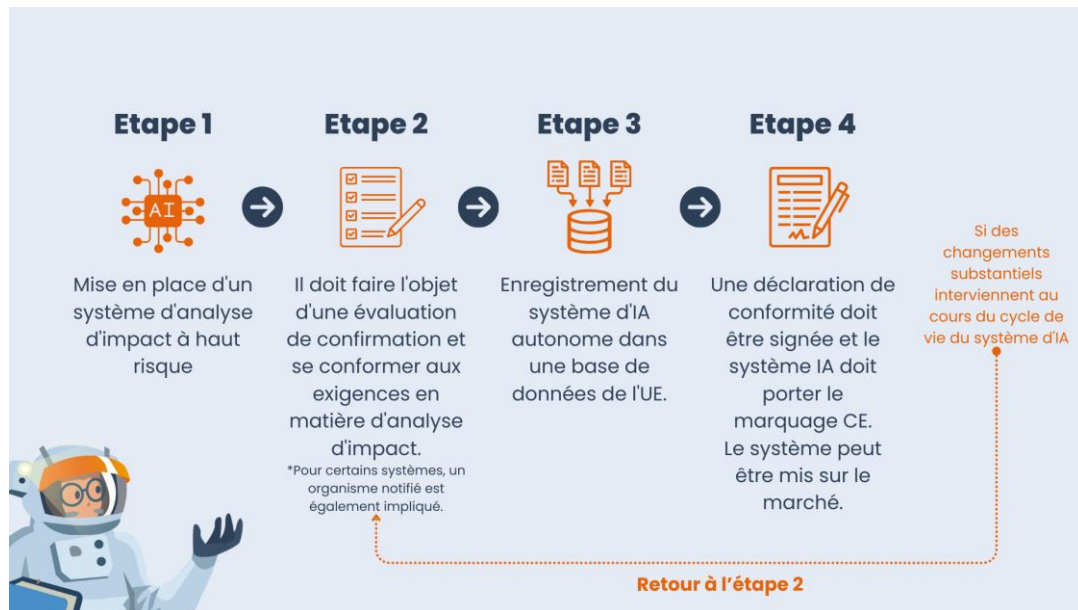


Figure 43 : Etapes réglementaires nécessaires à la mise sur le marché d'un dispositif médical à haut risque [192]

B.3.4.3) ISO 13485

L'ISO 13485 est une norme qui définit les exigences relatives aux systèmes de management de la qualité pour les dispositifs médicaux, y compris pour les algorithmes d'IA. Elle garantit que les processus de conception, développement, production et distribution sont rigoureusement contrôlés, afin de fournir des dispositifs conformes aux exigences des clients et aux exigences réglementaires en vigueur. [193]

B.3.4.4) ISO 42001

L'ISO 42001 est une norme internationale publiée en 2023 qui définit les exigences pour la création, la mise en place, le maintien et l'amélioration continue d'une IA. Elle permet de renforcer la sécurité et l'efficacité de ce type de dispositif. [194]

A travers ce cahier des charges complexe, l'Union européenne cherche à instaurer un équilibre entre innovation technologique et protection du patient, assurant une utilisation sécurisée de l'IA dans le domaine médical. [195]

Aux Etats Unis, c'est la FDA qui encadre ces technologies via la procédure 510(k). C'est une demande que doit effectuer toute personne souhaitant commercialiser un dispositif médical de classe II sur le territoire américain. [196]

Aussi, la commercialisation n'est pas une fin en soi : elle inclut également la mise en place de mécanismes de surveillance post-commercialisation, de mises à jour des modèles algorithmiques et d'évaluation continue de la conformité. Le but de cette surveillance continue est de corriger rapidement les éventuelles erreurs technologiques afin de ne pas impacter le patient. [197]

B.3.4.5) ISO 27001

La norme ISO 27001 définit les exigences nécessaires à la mise en place d'un Système de Management de la Sécurité de l'Information (SMSI). Elle constitue aujourd'hui l'une des normes les plus connues au monde en matière de cybersécurité. Au-delà des aspects techniques, elle structure l'organisation opérationnelle d'une entreprise. Ainsi, ISO 27001 ne se limite pas à la sécurité informatique ; elle encadre aussi la manière dont l'entreprise pilote son fonctionnement au quotidien lorsque celui-ci implique la manipulation de données sensibles. [198]

Dans le cadre d'une entreprise qui développe une IA dans la détection du mélanome, cette norme revêt une importance particulière. Les systèmes d'IA traitent des données hautement sensibles : images dermatologiques, données médicales, dossiers patients. ISO 27001 impose une méthodologie rigoureuse pour identifier les menaces (intrusions, altération des données, cyberattaques), analyser les vulnérabilités, et mettre en place des mesures de protection adaptées : contrôle des accès, chiffrement, gestion des mises à jour...

Elle structure la défense de l'entreprise autour de trois piliers fondamentaux : [199]

- La confidentialité, garantissant que seules les personnes habilitées accèdent aux données patients ;
- L'intégrité, assurant que les données ne sont pas altérées par une cyberattaque ;
- La disponibilité, assurant la continuité du service pour les praticiens même en cas d'incident.

Pour un acteur comme Huvy, cette norme garantit que l'ensemble du cycle de vie des données – de la collecte à l'hébergement, en passant par l'entraînement et le déploiement des modèles d'IA – est géré de manière. Elle complète ainsi les normes ISO 13485 et ISO 42001 en couvrant un aspect fondamental : la protection opérationnelle et technique des données de santé, essentielle à la confiance des médecins et à la sécurité des patients.

C) Intégration de l'IA dans le parcours de détection du mélanome

Le pharmacien est appelé à jouer un rôle important dans la détection précoce du mélanome, porté majoritairement par le développement de l'IA et la pénurie de dermatologues. Cette nouvelle responsabilité nécessite un renforcement des compétences, un investissement financier pour la pharmacie ainsi qu'un temps conséquent dédié aux aspects réglementaires.

C.1) La formation des pharmaciens

Le cursus initial de pharmacie, même s'il aborde l'oncologie générale, n'inclut pas la formation à l'examen clinique dermatologique, ni même la dermoscopie. Il est donc essentiel d'apporter aux pharmaciens d'officine, une formation structurée et certifiée.

C.1.1) Le développement professionnel continu

La principale solution repose sur le Développement Professionnel Continu (DPC). C'est un dispositif obligatoire de formation continue qui permet aux pharmaciens de maintenir et d'actualiser leurs compétences professionnelles tout au long de leur carrière afin d'améliorer la qualité des soins et la sécurité des patients. [200]

Par exemple, des programmes de DPC dédiés au dépistage du cancer colorectal existent déjà. En effet, avant de pouvoir remettre un kit de dépistage en officine, les pharmaciens doivent avoir suivi une formation validée et certifiée par les Centres Régionaux de Coordination des Dépistages des Cancers (CRCDC). [201]

L'enjeu futur est de créer un module de DPC spécifique, co-construit avec des dermatologues, permettant de former les pharmaciens d'officine aux domaines suivants :

- Reconnaissance visuelle des signes d'un mélanome
- Utilisation technique du smartphone avec le dermatoscope et de la plateforme
- Communication sur l'évaluation faite par IA et la prévention
- Respect des obligations légales et réglementaires

C.1.2) Le diplôme universitaire

Des initiatives académiques, comme le DU Intelligence artificielle IA appliquée en santé de Paris, existent déjà. Il permet aux professionnels de santé de se former à l'IA en santé. [202]

L'ouverture d'un DU spécialisé dans la détection du mélanome par IA, accessible aux pharmaciens et aux préparateurs, permettrait d'élargir leur rôle. Une solution possible pour développer ces compétences serait de proposer ce DU en distanciel, encadré par un dermatologue expert en IA, de manière à former des pharmaciens volontaires partout en France.

C.1.3) Les formations partenaires

Aujourd'hui, les entreprises et start-up qui proposent des solutions d'IA en officine prennent en charge la formation des pharmaciens, en raison du manque de connaissances spécifiques sur ces outils lors de leur formation universitaire.

Cette formation vise deux objectifs :

- Former le pharmacien à la manipulation correcte du dispositif (qualité de la prise d'image, connexion, etc.)

Guider l'équipe officinale sur la manière de présenter le service, d'interpréter le rapport de risque généré par l'IA, et de gérer l'orientation du patient en conséquence

Bien que cette formation soit indispensable pour le déploiement de l'IA en officine, elle pose la question de son uniformité, soulignant le besoin d'un référentiel national de compétences validé par les autorités de santé.

C.2) Analyse économique

C.2.1) Investissement

Aujourd'hui, la plupart des entreprises et startups proposent un package de location incluant un dermatoscope, un smartphone et une tablette, en plus de proposer l'accès à l'IA. Au vu des données de marché et des discussions professionnelles, le coût de cet abonnement se situe en moyenne autour de 150 euros par mois. Ce tarif couvre également les mises à jour, la maintenance et l'assistance technique, garantissant au pharmacien un accès constant à la version la plus récente et la plus sécurisée de la technologie.

Le fait de ne pas devoir acheter tous les éléments nécessaires au fonctionnement de l'IA, comme le dermatoscope, rend cette technologie plus accessible à un grand nombre d'officines.

Malgré tout, plusieurs études montrent que 74,6 % des titulaires identifient le coût élevé de fonctionnement de l'IA comme une barrière à l'adoption de cet outil. [203]

C.2.2) Rémunération

Actuellement, ces services innovants ne font pas partie des actes remboursés par la Sécurité Sociale ni par les mutuelles, ce qui peut constituer un frein à leur utilisation. Certaines entreprises proposent des modèles à facturation directe au patient pour couvrir les frais de services. [204]

Pour couvrir un abonnement mensuel de 150 €, le pharmacien aurait besoin d'une rémunération à l'acte. Si l'Assurance Maladie fixait cet acte à 15 € (comparable à la rémunération d'un TROD), l'officine devrait réaliser 10 actes de dépistage par mois pour atteindre l'équilibre. [205]

L'objectif futur pour les sociétés et pour les pharmaciens souhaitant intégrer cette solution, est d'obtenir des pouvoirs publics, la reconnaissance et la valorisation de cet acte en pharmacie. Cette reconnaissance pourrait prendre la forme d'une inclusion dans la ROSP (Rémunération sur Objectifs de Santé Publique) par exemple.

C.3) Défis réglementaires et éthiques

L'intégration de l'IA en officine soulève d'importants défis à la fois sur les plans réglementaire et éthique, qui doivent être réglés afin de garantir la sécurité et la confiance des patients. Cette partie concerne plutôt le pharmacien industriel, chargé d'affaires réglementaires.

C.2.1) Défis réglementaires

Comme vu précédemment, l'outil d'IA utilisé en officine doit être reconnu et certifié comme dispositif médical selon la réglementation européenne. La difficulté principale vient du fait que l'algorithme peut évoluer avec le temps : il faut donc des procédures régulières de contrôle, de validation de ses performances et de mise à jour pour garantir qu'il reste fiable et sûr.

La question de la responsabilité est également essentielle. En cas d'erreur, il est nécessaire de déterminer clairement si la responsabilité incombe au développeur de l'IA ou au pharmacien qui a réalisé l'évaluation et orienté le patient.

Enfin, il est important de définir précisément le rôle du pharmacien dans cet acte : aide au tri et orientation des cas les plus préoccupants vers un dermatologue. Le pharmacien est donc là pour soutenir le manque de dermatologues, mais pas pour les remplacer.

C.2.2) Défis éthiques

Voici les principaux défis éthiques à relever :

- **Consentement éclairé** : Le patient doit être pleinement informé que son examen est assisté par un outil d'IA. Le pharmacien doit être en mesure d'expliquer le rôle de l'IA et les données utilisées, afin d'obtenir un consentement pleinement éclairé
- **Biais Algorithmique et Équité** : les algorithmes sont entraînés sur des jeux de données qui peuvent ne pas être suffisamment représentatifs de toutes les populations. Ce biais algorithmique peut conduire à une performance réduite de l'outil pour certains groupes ethniques (notamment les peaux foncées), créant un risque d'iniquité dans la détection du mélanome
- **Confidentialité des données** : les images des lésions cutanées sont des données de santé extrêmement sensibles. Leur collecte, leur stockage et leur utilisation pour l'entraînement de l'IA doivent être strictement conformes au RGPD pour garantir l'anonymisation et la sécurité maximales contre les violations de données
- **Maintien du jugement professionnel** : l'outil d'IA doit rester une aide à la décision et non un substitut au jugement clinique. Un risque de sur-dépendance à la machine pourrait amener le pharmacien à ignorer des signaux d'alerte non détectés par l'IA, diminuant ainsi la valeur de son expertise humaine.

Conclusion

Au terme de ce travail, nous pouvons dire que l'IA représente une avancée technologique majeure susceptible de transformer profondément le dépistage précoce du mélanome cutané. L'IA offre des atouts indéniables : rapidité d'analyse, accessibilité accrue au dépistage, optimisation du triage des lésions suspectes, et réduction des inégalités territoriales d'accès aux soins dermatologiques.

L'enquête terrain menée auprès des dermatologues a confirmé un intérêt des spécialistes pour cette technologie. Néanmoins, elle a également révélé des réserves concernant la fiabilité des algorithmes en conditions réelles, les risques de faux positifs et de faux négatifs, la question de la responsabilité médicale en cas d'erreur diagnostique, et les enjeux éthiques liés à la protection des données personnelles. Ces préoccupations montrent que l'IA ne peut, à ce stade, être considérée comme un substitut à l'expertise clinique des dermatologues. Son rôle doit demeurer celui d'un outil d'aide à la décision, intégré dans un parcours de soins supervisé par un professionnel de santé qualifié. Cette complémentarité entre intelligence humaine et IA apparaît comme la condition essentielle de son intégration réussie dans la pratique dermatologique.

Plusieurs défis restent alors à relever : la qualité et la représentativité des bases de données d'entraînement constituent un enjeu fondamental pour garantir la généralisation des performances diagnostiques à l'ensemble des populations. La validation scientifique rigoureuse par des études cliniques indépendantes est aussi indispensable pour établir la confiance des professionnels de santé mais aussi des patients. Un encadrement réglementaire et légal clair doit être mis en place. Enfin, la formation des utilisateurs (médecins, pharmaciens ou autres professionnels de santé) constitue un prérequis essentiel pour assurer un usage approprié et responsable de ces technologies.

L'intégration de l'IA en pharmacie d'officine, évoquée dans ce travail, illustre les possibilités de dépister au-delà des cabinets de dermatologie. Sous réserve d'une formation, les pharmaciens pourraient jouer un rôle en première ligne dans l'orientation des patients présentant des lésions cutanées suspectes.

En définitive, l'IA est déjà présente en dermatologie. La question n'est plus de savoir quand elle sera utilisée mais plutôt comment elle le sera. Sa place future dépendra du respect de conditions strictes : validation scientifique, encadrement réglementaire, formation des utilisateurs et respect de l'éthique médicale. Le maintien du rôle central du dermatologue dans le diagnostic précoce n'a pas été cité ici volontairement car les progrès rapides des algorithmes laissent penser que l'IA assurera la majeure partie du diagnostic dans les années futures.

Annexes

Questionnaire IA et diagnostic du mélanome (Thèse)

Bonjour Madame Monsieur,

Je suis Louis Mondamert, étudiant en dernière année de pharmacie à l'Université de Tours.

Dans le cadre de ma thèse de fin d'études, j'ai choisi d'étudier l'impact de l'intelligence artificielle sur la détection précoce du mélanome cutané ainsi que les enjeux pour les pharmaciens et dermatologues.

Objectifs du questionnaire :

1. évaluer le niveau de connaissances des dermatologues en matière d'IA pour le diagnostic du mélanome
2. recueillir vos avis sur l'utilisation de ces outils en pratique clinique.

Je vous invite à détailler au maximum vos réponses afin de mieux comprendre votre point de vue et votre expérience. Toutes vos réflexions sont précieuses pour enrichir cette étude.

Merci par avance pour votre aide.

** Indique une question obligatoire*

Qui êtes-vous ?

1. Dans quel milieu exercez vous ? *

Une seule réponse possible.

- ☐ Milieu rural
- ☐ Milieu semi-rural
- ☐ Milieu urbain

2. Dans quelle structure exercez vous ? *

Plusieurs réponses possibles.

- ☐ Milieu hospitalier
☐ Cabinet privé
☐ Autre : _____

3. Depuis combien d'années exercez vous le métier de dermatologue ? *

Une seule réponse possible.

- ☐ Moins de 1 an
☐ Entre 1 et 5 ans
☐ Entre 5 et 10 ans
☐ Entre 10 et 15 ans
☐ Plus de 15 ans

4. Etes-vous en relation avec des structures de soins spécialisées en oncologie ou des réseaux de télémédecine ? *

Une seule réponse possible.

- ☐ Oui
☐ Non

Questionnaire IA et diagnostic du mélanome (Thèse)

Qui êtes-vous ?

5. Dans quel milieu exercez vous ? *

Une seule réponse possible.

- ☐ Milieu rural
☐ Milieu semi-rural
☐ Milieu urbain
-

6. Dans quelle structure exercez vous ? *

Plusieurs réponses possibles.

☐ Milieu hospitalier

☐ Cabinet privé

☐ Autre : _____

7. Depuis combien d'années exercez vous le métier de dermatologue ? *

Une seule réponse possible.

☐ Moins de 1 an

☐ Entre 1 et 5 ans

☐ Entre 5 et 10 ans

☐ Entre 10 et 15 ans

☐ Plus de 15 ans

8. Etes-vous en relation avec des structures de soins spécialisées en oncologie ou des réseaux de télémedecine ? *

Une seule réponse possible.

☐ Oui

☐ Non

Intelligence artificielle, mélanome et officine

9. Aujourd'hui, de nombreuses start-ups mettent sur le marché des IA ayant pour objectif d'aider le dermatologue à diagnostiquer un mélanome. Connaissez vous les outils d'aide au diagnostic en dermatologie intégrant l'IA ? *



Une seule réponse possible.

- ☐ Oui
- ☐ Non

10. Si oui lesquels ?

11. Avez-vous déjà utilisé un tel outil pour diagnostiquer une maladie en dermatologie ? ★



Une seule réponse possible.

- ☐ Oui
- ☐ Non

Si oui

12. Qu'en avez-vous pensé ?

13. Diriez-vous que ces outils sont fiables ? ★

1	2	3	4	5
☆	☆	☆	☆	☆

14. Diriez-vous que ces outils sont efficaces ? *

1	2	3	4	5
☆	☆	☆	☆	☆

15. Diriez-vous que ces outils sont faciles à prendre en main ? *

1	2	3	4	5
☆	☆	☆	☆	☆

Si non

Je vous invite à visionner cette vidéo afin d'en apprendre un peu plus sur ce type de détection.



[v=1hk_KmuUo3c](https://www.youtube.com/watch?v=1hk_KmuUo3c)

[http://youtube.com/watch?](http://youtube.com/watch?v=1hk_KmuUo3c)

16. Après visionnage de cette vidéo, pensez-vous que l'IA peut améliorer la détection précoce du mélanome et pourquoi ? *

17. Quels sont, selon vous, les principaux avantages et limites des outils d'IA actuels ? *

18. Seriez-vous prêt à recommander un outil d'IA à vos patients, et pourquoi ? *

Relations entre IA, pharmaciens et dermatologues

19. Voyez-vous l'IA comme un outil complémentaire ou une menace pour la pratique clinique ? *

20. Pensez-vous que l'IA pourrait transformer la relation entre dermatologues et pharmaciens dans le cadre du dépistage du mélanome ? Si oui, comment ? *

21. Selon vous, quel avenir voyez-vous pour l'IA dans le dépistage et la prise en charge du mélanome ?

22. Avez-vous d'autres commentaires ou remarques à partager concernant le développement de l'IA en dermatologie ?

Je vous remercie d'avoir pris le temps de répondre à ce questionnaire.

Si vous souhaitez me contacter pour parler plus longuement du sujet, je suis joignable à ce mail : louis.mondamert.pharmacie@gmail.com.

Intelligence artificielle, mélanome et officine

23. Aujourd'hui, de nombreuses start-ups mettent sur le marché des IA ayant pour * objectif d'aider le dermatologue à diagnostiquer un mélanome. Connaissez vous les outils d'aide au diagnostic en dermatologie intégrant l'IA ?



Une seule réponse possible.

- ☐ Oui *Passer à la question 24*
- ☐ Non *Passer à la question 30*

24. Si oui lesquels ?

25. Avez-vous déjà utilisé un tel outil pour diagnostiquer une maladie en dermatologie ?

★



Une seule réponse possible.

- ☐ Oui Passer à la question 26
- ☐ Non Passer à la question 30

Si oui

26. Qu'en avez-vous pensé ?

27. Diriez-vous que ces outils sont fiables ? ★

1 2 3 4 5

☆ ☆ ☆ ☆ ☆

28. Diriez-vous que ces outils sont efficaces ? *

1	2	3	4	5
☆	☆	☆	☆	☆

29. Diriez-vous que ces outils sont faciles à prendre en main ? *

1	2	3	4	5
☆	☆	☆	☆	☆

Passer à la question 33

Si non

Je vous invite à visionner cette vidéo afin d'en apprendre un peu plus sur ce type de détection.



[v=1hk_KmuUo3c](https://www.youtube.com/watch?v=1hk_KmuUo3c)

<http://youtube.com/watch?>

30. Après visionnage de cette vidéo, pensez-vous que l'IA peut améliorer la détection précoce du mélanome et pourquoi ? *

31. Quels sont, selon vous, les principaux avantages et limites des outils d'IA actuels ? *

32. Seriez-vous prêt à recommander un outil d'IA à vos patients, et pourquoi ? *

Passer à la question 33

Relations entre IA, pharmaciens et dermatologues

33. Voyez-vous l'IA comme un outil complémentaire ou une menace pour la pratique clinique ? *

34. Pensez-vous que l'IA pourrait transformer la relation entre dermatologues et pharmaciens dans le cadre du dépistage du mélanome ? Si oui, comment ? *

Projection

35. Selon vous, quel avenir voyez-vous pour l'IA dans le dépistage et la prise en charge du mélanome ?

36. Avez-vous d'autres commentaires ou remarques à partager concernant le développement de l'IA en dermatologie ?

Je vous remercie d'avoir pris le temps de répondre à ce questionnaire.

Si vous souhaitez me contacter pour parler plus longuement du sujet, je suis joignable à ce mail : louis.mondamert.pharmacie@gmail.com.



Bibliographie

- [1] « Mélanome de la peau : définition et facteurs favorisants ». Consulté le: 17 octobre 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.ameli.fr/assure/sante/themes/melanome/definition-facteurs-favorisants>
- [2] D. B. P.- ARCAGY-GINECO, « Epidémiologie des mélanomes », Infocancer. Consulté le: 17 octobre 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.arcagy.org/infocancer/localisations/cancers-de-la-peau/melanome/maladie/epidemiologie.html/>
- [3] O. Langselius *et al.*, « Global burden of cutaneous melanoma incidence attributable to ultraviolet radiation in 2022 », *Int J Cancer*, vol. 157, n° 6, p. 1110-1119, sept. 2025, doi: 10.1002/ijc.35463.
- [4] N. G. Jablonski et G. Chaplin, « Human skin pigmentation as an adaptation to UV radiation », *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 107, n° supplement_2, p. 8962-8968, mai 2010, doi: 10.1073/pnas.0914628107.
- [5] « Cancer Today ». Consulté le: 17 octobre 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://gco.iarc.who.int/today/>
- [6] G. De Pinto, S. Mignozzi, C. La Vecchia, F. Levi, E. Negri, et C. Santucci, « Global trends in cutaneous malignant melanoma incidence and mortality », *Melanoma Res*, vol. 34, n° 3, p. 265-275, juin 2024, doi: 10.1097/CMR.0000000000000959.
- [7] M. Rastrelli, S. Tropea, C. R. Rossi, et M. Alaibac, « Melanoma: Epidemiology, Risk Factors, Pathogenesis, Diagnosis and Classification », *In Vivo*, vol. 28, n° 6, p. 1005-1011, nov. 2014.
- [8] V. Chevalier *et al.*, « Comparaison du siège du mélanome cutané chez l'homme et chez la femme : une étude française basée sur la population », *Annales de Dermatologie et de Vénéréologie*, vol. 141, n° 12, Supplément, p. S257-S258, déc. 2014, doi: 10.1016/j.annder.2014.09.082.
- [9] M. Arnold *et al.*, « Global Burden of Cutaneous Melanoma in 2020 and Projections to 2040 », *JAMA Dermatol*, vol. 158, n° 5, p. 495-503, mai 2022, doi: 10.1001/jamadermatol.2022.0160.
- [10] J. Lopes, C. M. P. Rodrigues, M. M. Gaspar, et C. P. Reis, « Melanoma Management: From Epidemiology to Treatment and Latest Advances », *Cancers (Basel)*, vol. 14, n° 19, p. 4652, sept. 2022, doi: 10.3390/cancers14194652.
- [11] I. N. D. Cancer, « Epidémiologie ». Consulté le: 17 octobre 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.cancer.fr/professionnels-de-sante/prevention-et-depistages/depistage-et-detection-precoce/detection-precoce-des-cancers-de-la-peau/epidemiologie>
- [12] G. Defossez *et al.*, « Cancer incidence and mortality trends in France over 1990–2018 for solid tumors: the sex gap is narrowing », *BMC Cancer*, vol. 21, n° 1, p. 726, juin 2021, doi: 10.1186/s12885-021-08261-1.
- [13] « Estimations régionales et départementales de l'incidence et de la mortalité par cancer en France, 2007-2016 ». Consulté le: 17 octobre 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.santepubliquefrance.fr/maladies-et-traumatismes/cancers/articles/estimations-regionales-et-departementales-de-l-incidence-et-de-la-mortalite-par-cancer-en-france-2007-2016>
- [14] « Quels sont les pays et régions les plus touchés par le cancer de la pe– Ker Sun ». Consulté le: 17 octobre 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.ker-sun.com/pages/quelles-sont-les-zones-les-plus-touchees-par-le-cancer-de-la-peau>
- [15] « fitzpatrick1988.pdf ». Consulté le: 17 octobre 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://dacemirror.sci-hub.st/journal-article/c994d1f2cf6ffbf0531efdaf11ba2335/fitzpatrick1988.pdf>

- [16] « fitzaptrick-07c01cd700377584cb403f9135752e97.pdf ». Consulté le: 17 octobre 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.sfdermato.org/upload/scores/fitzaptrick-07c01cd700377584cb403f9135752e97.pdf>
- [17] « Rapport Stratégie de diagnostic précoce du mélanome ». Consulté le: 17 octobre 2025. [En ligne]. Disponible sur: https://www.has-sante.fr/upload/docs/application/pdf/rapport_strategie_de_diagnostic_precoce_du_melanome.pdf
- [18] J. L. Rees, « The Genetics of Sun Sensitivity in Humans », *The American Journal of Human Genetics*, vol. 75, n° 5, p. 739-751, nov. 2004, doi: 10.1086/425285.
- [19] « Prévention solaire : adoptez les bons gestes cet été | Gustave Roussy ». Consulté le: 17 octobre 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.gustaveroussy.fr/fr/prevention-solaire-adoptez-les-bons-gestes-cet-ete>
- [20] « Types de mélanome | Société canadienne du cancer ». Consulté le: 17 octobre 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://cancer.ca/fr/cancer-information/cancer-types/melanoma-skin/what-is-melanoma/types-of-melanoma>
- [21] « Facteurs de risque du mélanome | Société canadienne du cancer ». Consulté le: 17 octobre 2025. [En ligne]. Disponible sur: https://cancer.ca/fr/cancer-information/cancer-types/melanoma-skin/risks#ci_lightcoloured_skin_eyes_and_hair_46_6545_08
- [22] P. T. Bradford, D. M. Freedman, A. M. Goldstein, et M. A. Tucker, « Increased Risk of Second Primary Cancers After a Diagnosis of Melanoma », *Arch Dermatol*, vol. 146, n° 3, p. 265-272, mars 2010, doi: 10.1001/archdermatol.2010.2.
- [23] « Histoire personnelle et familiale – AIM at Melanoma Foundation ». Consulté le: 17 octobre 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.aimatmelanoma.org/fr/m%C3%A9lanome-101/comprendre-le-m%C3%A9lanome/facteurs-de-risque-de-m%C3%A9lanome/histoire-personnelle-et-familiale/>
- [24] M.-F. Avril *et al.*, « Recommandations pour le diagnostic de prédisposition génétique au mélanome cutané et pour la prise en charge des personnes à risque », *Annales de Dermatologie et de Vénéréologie*, vol. 142, n° 1, p. 26-36, janv. 2015, doi: 10.1016/j.annder.2014.09.606.
- [25] D. Eckerle Mize, M. Bishop, E. Resse, et J. Sluzevich, « Familial Atypical Multiple Mole Melanoma Syndrome », in *Cancer Syndromes*, D. L. Riegert-Johnson, L. A. Boardman, T. Hefferon, et M. Roberts, Éd., Bethesda (MD): National Center for Biotechnology Information (US), 2009. Consulté le: 17 octobre 2025. [En ligne]. Disponible sur: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK7030/>
- [26] R. J. Friedman, M. J. Farber, M. A. Warycha, N. Papathasis, M. K. Miller, et E. R. Heilman, « The “dysplastic” nevus », *Clin Dermatol*, vol. 27, n° 1, p. 103-115, 2009, doi: 10.1016/j.clindermatol.2008.09.008.
- [27] « Les grains de beauté atypiques (Naevus dysplasiques) », The Skin Cancer Foundation. Consulté le: 17 octobre 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.skincancer.org/international/naevus-dysplasiques-et-risque-de-melanome/>
- [28] H. A. Haenssle *et al.*, « Association of Patient Risk Factors and Frequency of Nevus-Associated Cutaneous Melanomas », *JAMA Dermatol*, vol. 152, n° 3, p. 291-298, mars 2016, doi: 10.1001/jamadermatol.2015.3775.
- [29] D. P. Abimelec, « Grain de beauté et naevus (névus) et prévention mélanome | Dr Abimelec », Abimelec. Consulté le: 17 octobre 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.abimelec.com/grain-de-beaute.html>
- [30] « XerodermaPigmentosum-FRfrPub3253v01.pdf ». Consulté le: 17 octobre 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.orpha.net/pdfs/data/patho/Pub/fr/XerodermaPigmentosum-FRfrPub3253v01.pdf>
- [31] M. Arnold, M. Kvaskoff, A. Thuret, P. Guénel, F. Bray, et I. Soerjomataram, « Cutaneous melanoma in France in 2015 attributable to solar ultraviolet radiation and the use of sunbeds », *J Eur Acad Dermatol Venereol*, vol. 32, n° 10, p. 1681-1686, oct. 2018, doi: 10.1111/jdv.15022.

- [32] SPF, « Évaluation de l'impact sanitaire de l'exposition aux ultraviolets délivrés par les appareils de bronzage artificiel sur le mélanome cutané en France. Numéro thématique. Le bronzage artificiel : une menace bien réelle, mais évitable, pour la santé publique ». Consulté le: 17 octobre 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.santepubliquefrance.fr/determinants-de-sante/climat/uv/evaluation-de-l-impact-sanitaire-de-l-exposition-aux-ultraviolets-delivres-par-les-appareils-de-bronzage-artificiel-sur-le-melanome-cutane-en-franc>
- [33] T. N. Sergeantanis *et al.*, « Obesity and risk of malignant melanoma: a meta-analysis of cohort and case-control studies », *Eur J Cancer*, vol. 49, n° 3, p. 642-657, févr. 2013, doi: 10.1016/j.ejca.2012.08.028.
- [34] I. Lazar *et al.*, « Adipocyte Extracellular Vesicles Decrease p16INK4A in Melanoma: An Additional Link between Obesity and Cancer », *J Invest Dermatol*, vol. 142, n° 9, p. 2488-2498.e8, sept. 2022, doi: 10.1016/j.jid.2022.01.026.
- [35] « ALCOOL: Sa consommation associée à un risque accru de mélanome | santé log ». Consulté le: 17 octobre 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.santelog.com/actualites/alcool-sa-consommation-associee-un-risque-accru-de-melanome>
- [36] C. M. Vajdic *et al.*, « Cutaneous melanoma is related to immune suppression in kidney transplant recipients », *Cancer Epidemiol Biomarkers Prev*, vol. 18, n° 8, p. 2297-2303, août 2009, doi: 10.1158/1055-9965.EPI-09-0278.
- [37] « Polychlorobiphényles et effets sur la santé • Cancer Environnement », Cancer Environnement. Consulté le: 17 octobre 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.cancer-environnement.fr/fiches/expositions-environnementales/polychlorobiphenyles-pcb/>
- [38] « Fiche complète - CNESST ». Consulté le: 17 octobre 2025. [En ligne]. Disponible sur: https://reptox.cnesst.gouv.qc.ca/pages/fiche-complete.aspx?no_produit=828657
- [39] EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain (CONTAM) *et al.*, « Risk for animal and human health related to the presence of dioxins and dioxin-like PCBs in feed and food », *EFS2*, vol. 16, n° 11, nov. 2018, doi: 10.2903/j.efsa.2018.5333.
- [40] « PDF ». Consulté le: 17 octobre 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://bvs.anses.fr/sites/default/files/BVS-mg-033-Baysson2.pdf>
- [41] J. H. Alfonso *et al.*, « Occupation and cutaneous melanoma: a 45-year historical cohort study of 14·9 million people in five Nordic countries », *Br J Dermatol*, vol. 184, n° 4, p. 672-680, avr. 2021, doi: 10.1111/bjd.19379.
- [42] D. B. P. - ARCAGY-GINECO, « Les trois types de mélanomes », Infocancer. Consulté le: 17 octobre 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://arcagy.org/infocancer/localisations/cancers-de-la-peau/melanome/formes-de-la-maladie/les-trois-principaux-types.html/>
- [43] « Melanoma-Canada-Le-melanoma-ce-que-vous-devez-savoir.pdf ». Consulté le: 17 octobre 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://melanomacanada.ca/wp-content/uploads/2024/02/Melanoma-Canada-Le-melanoma-ce-que-vous-devez-savoir.pdf>
- [44] « Superficial Spreading Melanoma », Bondi Junction Skin Cancer Clinic. Consulté le: 17 octobre 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.skincancer.net.au/superficial-spreading-melanoma>
- [45] « Microsoft Word - 9635-EADV MELANOMA_2-Clinical presentation of melanoma-fr.docx ». Consulté le: 17 octobre 2025. [En ligne]. Disponible sur: https://www.therapeutique-dermatologique.org/IMG/pdf/9635-eadv_melanoma_2-clinical_presentation_of_melanoma-fr.pdf
- [46] « Mélanome nodulaire ». Consulté le: 17 octobre 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://fr.actualites/medical/melanome-nodulaire.html>
- [47] M. A. Pizzichetta *et al.*, « Amelanotic/hypomelanotic melanoma: clinical and dermoscopic features », *Br J Dermatol*, vol. 150, n° 6, p. 1117-1124, juin 2004, doi: 10.1111/j.1365-2133.2004.05928.x.

- [48]Baltzare.fr, « Cancer de peau : Le mélanome Dubreuilh - Définition et Traitement », Syndicat National des Dermatologues-Vénéréologues. Consulté le: 17 octobre 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://dermatos.fr/le-dermato-soigne/melanome-dubreuilh/>
- [49]« Mélanome de Dubreuilh - PagesJaunes », PagesJaunes.fr. Consulté le: 17 octobre 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://cancer-de-la-peau.pagesjaunes.fr>
- [50]J. Giorgetta, « Mélanome de Dubreuilh : symptômes, photo, c'est quoi ? » Consulté le: 17 octobre 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://sante.journaldesfemmes.fr/fiches-maladies/2922889-melanome-de-dubreuilh-symptomes-photo-c-est-quoi-traitement/>
- [51]« Item 149 : Tumeurs cutanées épithéliales et mélaniques : mélanomes ».
- [52]« Mélanome - Troubles dermatologiques », Édition professionnelle du Manuel MSD. Consulté le: 17 octobre 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.msmanuals.com/fr/professional/troubles-dermatologiques/cancers-cutanés/melanome>
- [53]E. Varey *et al.*, « Patients présentant un mélanome acro-lentigineux inclus dans la base nationale RIC-Mel », *Annales de Dermatologie et de Vénéréologie*, vol. 146, n° 12, Supplement, p. A99, déc. 2019, doi: 10.1016/j.annder.2019.09.103.
- [54]« Mélanome lentigineux acral - AIM à la Melanoma Foundation », AIM at Melanoma Foundation. Consulté le: 17 octobre 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.aimatmelanoma.org/fr/m%C3%A9lanome-101/types-de-m%C3%A9lanome/m%C3%A9lanome-cutané/m%C3%A9lanome-lentigineux-acral/>
- [55]« Mélanome cutané », AIM at Melanoma Foundation. Consulté le: 17 octobre 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.aimatmelanoma.org/fr/m%C3%A9lanome-101/types-de-m%C3%A9lanome/m%C3%A9lanome-cutané/>
- [56]W. L. Cheung, R. R. Patel, A. Leonard, B. Firoz, et S. A. Meehan, « Amelanotic melanoma: a detailed morphologic analysis with clinicopathologic correlation of 75 cases », *J Cutan Pathol*, vol. 39, n° 1, p. 33-39, janv. 2012, doi: 10.1111/j.1600-0560.2011.01808.x.
- [57]« Image:Mélanome amélanotique », Édition professionnelle du Manuel MSD. Consulté le: 17 octobre 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.msmanuals.com/fr/professional/multimedia/image/melanome-amélanotique>
- [58]D. P. Abimelec, « Mélanome - Cancer du grain de beauté - Dr Abimelec Dermatologue », Abimelec. Consulté le: 20 octobre 2025. [En ligne]. Disponible sur: https://www.abimelec.com/melanome_malin.htm
- [59]« Mélanome cutané : la détection précoce est essentielle », Haute Autorité de Santé. Consulté le: 20 octobre 2025. [En ligne]. Disponible sur: https://www.has-sante.fr/jcms/pprd_2974838/fr/melanome-cutané-la-détection-précoce-est-essentielle
- [60]« 11 mai : journée nationale du dépistage des cancers de la peau - ONCORIF ». Consulté le: 20 octobre 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://oncorif.fr/11-mai-journee-nationale-du-depistage-des-cancers-de-la-peau/?print=print>
- [61]« Guide du médecin Mélanome 221106:Éval..qxd ». Consulté le: 20 octobre 2025. [En ligne]. Disponible sur: https://www.has-sante.fr/upload/docs/application/pdf/gmed._melanome_231106.pdf
- [62]R. Gniadecki et A. Mourad, « La distinction entre le mélanome malin et d'autres lésions à l'aide de la dermoscopie », *Can Fam Physician*, vol. 65, n° 6, p. e261-e263, juin 2019.
- [63]« La distinction entre le mélanome malin et d'autres lésions à l'aide de la dermoscopie ».
- [64]« GUIMGMELA24_MelanomesCutanes.pdf ». Consulté le: 20 octobre 2025. [En ligne]. Disponible sur: https://www.onco-hdf.fr/app/uploads/2024/09/GUIMGMELA24_MelanomesCutanes.pdf
- [65]« Figure 7. Règle de l'ABCDE. Image récapitulative des cinq éléments... », ResearchGate. Consulté le: 20 octobre 2025. [En ligne]. Disponible sur: https://www.researchgate.net/figure/Regle-de-l-ABCDE-Image-recapitulative-des-cinq-elements-cliniques-permettant_fig4_281047345
- [66]B. Nassim, « Microscopie confocale par réflectance pour le diagnostic du mélanome cutané ».

- [67] « Comment dépister un cancer de la peau ? - Fondation ARC pour la recherche sur le cancer », <https://www.fondation-arc.org/>. Consulté le: 20 octobre 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.fondation-arc.org/sinformer-sur-le-cancer/le-depistage-et-le-diagnostic/quels-sont-les-cancers-depistables/comment-depister-un-cancer-de-la-peau/>
- [68] « Cancer de la peau (mélanome, carcinome) - Diagnostic | Dermatoscope, biopsie, bilan d'extension ». Consulté le: 20 octobre 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.centreleonberard.fr/patient-proche/cancer-pris-en-charge/cancers-de-la-peau/diagnostic>
- [69] « Comprendre votre rapport de pathologie », AIM at Melanoma Foundation. Consulté le: 20 octobre 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.aimatmelanoma.org/fr/m%C3%A9lanome-101/nouvellement-diagnostiqu%C3%A9/comprendre-votre-pathologie/>
- [70] « (PDF) Clark WH Jr, From L, Bernardino EA, Mihm MC The histogenesis and biologic behavior of primary human malignant melanomas of the skin. *Cancer Res* 29:705-727 », *ResearchGate*, août 2025, Consulté le: 20 octobre 2025. [En ligne]. Disponible sur: https://www.researchgate.net/publication/17411926_Clark_WH_Jr_From_L_Bernardino_EA_Mihm_MCThe_histogenesis_and_biologic_behavior_of_primary_human_malignant_melanomas_of_the_skin_Cancer_Res_29705-727
- [71] C. Bertolotto et C. Pisibon, « Que savoir du mélanome cutané pour se prémunir au mieux ? », *The Conversation*. Consulté le: 20 octobre 2025. [En ligne]. Disponible sur: <http://theconversation.com/que-savoir-du-melanome-cutane-pour-se-premunir-au-mieux-202657>
- [72] « DIAGNOSTIC DU MELANOME ». Consulté le: 20 octobre 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.cancer-limoges.fr/peau/diagnostic-du-melanome>
- [73] « classification-ajcc-8ieme-edition.pdf ». Consulté le: 20 octobre 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.sfpathol.org/media/pdf/classification-ajcc-8ieme-edition.pdf>
- [74] C. C. S. / S. canadienne du cancer, « Pronostic et survie pour le lymphome non hodgkinien chez l'enfant », Société canadienne du cancer. Consulté le: 20 octobre 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://cancer.ca/fr/cancer-information/cancer-types/non-hodgkin-lymphoma-childhood/prognosis-and-survival>
- [75] D. O. Gisèle, « Contexte scientifique ».
- [76] C. C. S. / S. canadienne du cancer, « Traitement ciblé du mélanome », Société canadienne du cancer. Consulté le: 20 octobre 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://cancer.ca/fr/cancer-information/cancer-types/melanoma-skin/treatment/targeted-therapy>
- [77] G. Bernard *et al.*, « ACTUALISATION DES DONNEES CONCERNANT LE MELANOME STADE III : NOUVELLES RECOMMANDATIONS DU GROUPE DE CANCEROLOGIE CUTANEE ».
- [78] S. Zhou *et al.*, « Defining the Criteria for Reflex Testing for BRAF Mutations in Cutaneous Melanoma Patients », *Cancers (Basel)*, vol. 13, n° 9, p. 2282, mai 2021, doi: 10.3390/cancers13092282.
- [79] F. Gesbert et L. Larue, « Le mélanome cutané - Des modèles rationalisés aux soins des patients », *Med Sci (Paris)*, vol. 34, n° 5, p. 407-416, mai 2018, doi: 10.1051/medsci/20183405013.
- [80] M. Berleur *et al.*, « Traitement des mélanomes mutés c-kit par inhibiteur de tyrosine kinase », *Annales de Dermatologie et de Vénéréologie*, vol. 142, n° 12, Supplément, p. S498-S499, déc. 2015, doi: 10.1016/j.annder.2015.10.147.
- [81] H. J. Cardoso, M. I. Figueira, et S. Socorro, « The stem cell factor (SCF)/c-KIT signalling in testis and prostate cancer », *J Cell Commun Signal*, vol. 11, n° 4, p. 297-307, déc. 2017, doi: 10.1007/s12079-017-0399-1.
- [82] « Melanoma skin cancer - Tests and next steps », *nhs.uk*. Consulté le: 20 octobre 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.nhs.uk/conditions/melanoma-skin-cancer/tests-and-next-steps/>
- [83] « recos-melanome-i-iii-verso-1330bab63cfb003af9c88789328583f7.pdf ». Consulté le: 20 octobre 2025. [En ligne]. Disponible sur:

- <https://www.sfdermato.org/upload/recommandations/recos-melanome-i-iii-verso-1330bab63cfb003af9c88789328583f7.pdf>
- [84] C. Garbe *et al.*, « European consensus-based interdisciplinary guideline for melanoma. Part 2: Treatment - Update 2022 », *Eur J Cancer*, vol. 170, p. 256-284, juill. 2022, doi: 10.1016/j.ejca.2022.04.018.
- [85] « Tout savoir sur l'efficacité des thérapies, dans le cancer », Fondation pour la Recherche Médicale (FRM). Consulté le: 20 octobre 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.frm.org/fr/maladies/recherches-cancers/efficacite-traitements/focus-prediction-efficacite-traitements>
- [86] D. B. P.- ARCAGY-GINECO, « Biothérapies du mélanome », Infocancer. Consulté le: 20 octobre 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.arcagy.org/infocancer/localisations/cancers-de-la-peau/melanome/traitements/les-therapies-ciblees.html/>
- [87] E. Romano, « Nouvelles armes thérapeutiques contre le mélanome de stade IV », *Rev Med Suisse*, vol. 387, n° 20, p. 1095-1098, mai 2013.
- [88] « Zelboraf, INN - vemurafenib ». Consulté le: 20 octobre 2025. [En ligne]. Disponible sur: https://ec.europa.eu/health/documents/community-register/2012/20120217116713/anx_116713_fr.pdf
- [89] « ZELBORAF », VIDAL. Consulté le: 20 octobre 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.vidal.fr/medicaments/gammes/zelboraf-53284.html>
- [90] « Revlimideâ ». Consulté le: 20 octobre 2025. [En ligne]. Disponible sur: https://www.omedit-normandie.fr/media-files/7634/tafinlar_fiche_medecin_pharma_janv2016.pdf
- [91] « Tafinlar, INN-dabrafenib ». Consulté le: 20 octobre 2025. [En ligne]. Disponible sur: https://ec.europa.eu/health/documents/community-register/2022/20221031157512/anx_157512_fr.pdf
- [92] « Braftovi, INN-Encorafenib ». Consulté le: 20 octobre 2025. [En ligne]. Disponible sur: https://ec.europa.eu/health/documents/community-register/2019/20191029146351/anx_146351_fr.pdf
- [93] « Mekinist, INN-trametinib ». Consulté le: 20 octobre 2025. [En ligne]. Disponible sur: https://ec.europa.eu/health/documents/community-register/2021/20210826152705/anx_152705_fr.pdf
- [94] « Meddispar - 3400927944703 - MEKINIST ». Consulté le: 20 octobre 2025. [En ligne]. Disponible sur: [https://www.meddispar.fr/Medicaments/MEKINIST-2-FL-30/\(type\)/name/\(value\)/mekinist/\(cip\)/3400927944703#nav-buttons](https://www.meddispar.fr/Medicaments/MEKINIST-2-FL-30/(type)/name/(value)/mekinist/(cip)/3400927944703#nav-buttons)
- [95] « Cotellic, INN-cobimetinib ». Consulté le: 20 octobre 2025. [En ligne]. Disponible sur: https://www.ema.europa.eu/fr/documents/product-information/cotellic-epar-product-information_fr.pdf
- [96] « Meddispar - 3400930037553 - COTELLIC ». Consulté le: 20 octobre 2025. [En ligne]. Disponible sur: [https://www.meddispar.fr/Medicaments/COTELLIC-20-B-63/\(type\)/name/\(value\)/cotellic/\(cip\)/3400930037553#nav-buttons](https://www.meddispar.fr/Medicaments/COTELLIC-20-B-63/(type)/name/(value)/cotellic/(cip)/3400930037553#nav-buttons)
- [97] « Mektovi, INN-binimetinib ». Consulté le: 20 octobre 2025. [En ligne]. Disponible sur: https://ec.europa.eu/health/documents/community-register/2018/20180920142204/anx_142204_fr.pdf
- [98] « SFPO - Société Française de Pharmacie Oncologique ». Consulté le: 20 octobre 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://oncolien.sfpo.com/oncolien/binimetinib-mektovi>
- [99] Cda-Amc, « BRAF and MEK Inhibitors for Active or Symptomatic Melanoma Brain Metastasis », *cjht*, vol. 4, n° 10, oct. 2024, doi: 10.51731/cjht.2024.1001.
- [100] T. L. Walunas *et al.*, « CTLA-4 can function as a negative regulator of T cell activation », *Immunity*, vol. 1, n° 5, p. 405-413, août 1994, doi: 10.1016/1074-7613(94)90071-X.
- [101] « (PDF) Actualités dans la prévention et la prise en charge du mélanome : implications et enjeux pour le pharmacien », *ResearchGate*, sept. 2025, doi: 10.1016/j.pharma.2016.01.002.

- [102] « Yervoy, INN-ipilimumab ». Consulté le: 20 octobre 2025. [En ligne]. Disponible sur: https://www.ema.europa.eu/fr/documents/product-information/yervoy-epar-product-information_fr.pdf
- [103] « YERVOY 5 mg/ml sol diluer p perf », VIDAL. Consulté le: 20 octobre 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.vidal.fr/medicaments/yervoy-5-mg-ml-sol-diluer-p-perf-108942.html>
- [104] C. Robert et C. Mateus, « Mélanome — Thérapeutique par les médicaments : anticorps anti-CTLA-4 et anti-PD1 », *Bulletin de l'Académie Nationale de Médecine*, vol. 198, n° 2, p. 297-308, févr. 2014, doi: 10.1016/S0001-4079(19)31343-3.
- [105] W. Bodmer et V. Golubovskaya, « Cancer Immunotherapy: Where Next? », *Cancers*, vol. 15, n° 8, p. 2358, janv. 2023, doi: 10.3390/cancers15082358.
- [106] « OPDIVO, INN-nivolumab ». Consulté le: 20 octobre 2025. [En ligne]. Disponible sur: https://ec.europa.eu/health/documents/community-register/2020/20200423147660/anx_147660_fr.pdf
- [107] « Opdivo PUT-RD Gastrique 1L VCellule PostCT TC ». Consulté le: 20 octobre 2025. [En ligne]. Disponible sur: https://www.has-sante.fr/plugins/ModuleXitiKLEE/types/FileDocument/doXiti.jsp?id=p_3318374
- [108] « OPDIVO_FR_PIL.pdf ». Consulté le: 20 octobre 2025. [En ligne]. Disponible sur: https://www.bms.com/assets/bms/ca/documents/productinformation_fr/OPDIVO_FR_PIL.pdf
- [109] J. D. Wolchok *et al.*, « Nivolumab plus ipilimumab in advanced melanoma », *N Engl J Med*, vol. 369, n° 2, p. 122-133, juill. 2013, doi: 10.1056/NEJMoa1302369.
- [110] C. Robert *et al.*, « Nivolumab in previously untreated melanoma without BRAF mutation », *N Engl J Med*, vol. 372, n° 4, p. 320-330, janv. 2015, doi: 10.1056/NEJMoa1412082.
- [111] « Keytruda, INN-pembrolizumab ». Consulté le: 20 octobre 2025. [En ligne]. Disponible sur: https://www.ema.europa.eu/fr/documents/product-information/keytruda-epar-product-information_fr.pdf
- [112] D. Laura, « KEYTRUDA (pembrolizumab) ».
- [113] « ONCO-1181911-0008-BROCHURE PATIENT GUIDE PGR-V4.indd ». Consulté le: 20 octobre 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://ansm.sante.fr/uploads/2020/09/11/e7853f5d3fee0f6ec9b3bb4b2690052c.pdf>
- [114] « ROFERON-A_PIS_RI_Avis1_CT14342 ». Consulté le: 20 octobre 2025. [En ligne]. Disponible sur: https://www.has-sante.fr/upload/docs/evamed/CT-14342_ROFERON-A_PIS_RI_Avis1_CT14342.pdf
- [115] « Les médicaments dans le traitement des mélanomes », VIDAL. Consulté le: 20 octobre 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.vidal.fr/maladies/cancers/melanome-cancer-peau/medicaments.html>
- [116] S. Boulinguez et F. Grange, « Que conclure des essais thérapeutiques sur l'efficacité globale de l'interféron ? Apport des données récentes », *Annales de Dermatologie et de Vénéréologie*, vol. 138, n° 5, Supplément 1, p. H21-H24, mai 2011, doi: 10.1016/S0151-9638(11)70069-2.
- [117] « Roféron-A », NetCancer. Consulté le: 20 octobre 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://netcancer.net/medicament/roferon/>
- [118] C. C. S. / S. canadienne du cancer, « Chimiothérapie du mélanome », Société canadienne du cancer. Consulté le: 20 octobre 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://cancer.ca/fr/cancer-information/cancer-types/melanoma-skin/treatment/chemotherapy>
- [119] « Dacarbazine : substance active à effet thérapeutique », VIDAL. Consulté le: 20 octobre 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.vidal.fr/medicaments/substances/dacarbazine-3873.html>
- [120] « TRAITEMENT SYSTEMIQUE CHIMIO CARBOPLATINE PACLITAXEL ». Consulté le: 20 octobre 2025. [En ligne]. Disponible sur: https://www.sfdermato.org/upload/fiche/241010102949_traitement-systemique-chimio-carboplatine-paclitaxel.pdf

- [121] « ganglion-sentinel-melanome-CMF8-bd.pdf ». Consulté le: 20 octobre 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.chu-caen.fr/wp-content/uploads/2022/12/ganglion-sentinel-melanome-CMF8-bd.pdf>
- [122] « recopatmela17cvt-et-int-2-c5f48aad36038fae11a5cdb1448fc6ce.pdf ». Consulté le: 20 octobre 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.sfdermato.org/upload/recommandations/recopatmela17cvt-et-int-2-c5f48aad36038fae11a5cdb1448fc6ce.pdf>
- [123] « Commission d'enrichissement de la langue française », Ministère de l'Éducation nationale. Consulté le: 20 octobre 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.education.gouv.fr/bo/19/Hebdo6/CTNR1832601K.htm>
- [124] L. Ségalat, « L'Intelligence Artificielle », 1985, doi: 10.3406/raipr.1985.2470.
- [125] « Deep Learning vs Machine Learning : quelle est la différence ? », IONOS Digital Guide. Consulté le: 20 octobre 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.ionos.fr/digitalguide/web-marketing/search-engine-marketing/deep-learning-vs-machine-learning/>
- [126] M. FLORENT, « Machine learning : l'apprentissage automatique des systèmes - Tree Learning ». Consulté le: 20 octobre 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.tree-learning.fr/plateforme-lms-elearning/machine-learning/>
- [127] Y. LeCun, Y. Bengio, et G. Hinton, « Deep learning », *Nature*, vol. 521, n° 7553, p. 436-444, mai 2015, doi: 10.1038/nature14539.
- [128] « Qu'est-ce qu'un réseau de neurones en Deep Learning ». Consulté le: 20 octobre 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.jedha.co/formation-ia/reseau-neurones-deep-learning>
- [129] « Introduction to Deep Learning », GeeksforGeeks. Consulté le: 20 octobre 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.geeksforgeeks.org/deep-learning/introduction-deep-learning/>
- [130] « La différence entre IA, Deep Learning, Machine Learning en agriculture ». Consulté le: 20 octobre 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.dilepix.com/blog/difference-intelligence-artificielle-deep-learning-agriculture>
- [131] A. Benani, « Histoire et perspectives de l'intelligence artificielle », *Med Sci (Paris)*, vol. 40, n° 3, p. 283-286, mars 2024, doi: 10.1051/medsci/2024022.
- [132] C. A. Pickover, « La conférence de Dartmouth sur l'IA », *Hors collection*, p. 140-141, 2021.
- [133] V. Kaul, S. Enslin, et S. A. Gross, « History of artificial intelligence in medicine », *Gastrointestinal Endoscopy*, vol. 92, n° 4, p. 807-812, oct. 2020, doi: 10.1016/j.gie.2020.06.040.
- [134] W. van Melle, « MYCIN: a knowledge-based consultation program for infectious disease diagnosis », *International Journal of Man-Machine Studies*, vol. 10, n° 3, p. 313-322, mai 1978, doi: 10.1016/S0020-7373(78)80049-2.
- [135] F. Furst, « Histoire de l'intelligence artificielle », *Soins Cadres*, vol. 34, n° 157, p. 12-17, janv. 2025, doi: 10.1016/j.scad.2024.12.003.
- [136] null Amisha, P. Malik, M. Pathania, et V. K. Rathaur, « Overview of artificial intelligence in medicine », *J Family Med Prim Care*, vol. 8, n° 7, p. 2328-2331, juill. 2019, doi: 10.4103/jfmpc.jfmpc_440_19.
- [137] J.-D. Zucker et K. Clément, « L'intelligence artificielle au service des maladies métaboliques », *Médecine des Maladies Métaboliques*, vol. 15, n° 1, p. 70-79, févr. 2021, doi: 10.1016/j.mmm.2020.10.004.
- [138] « IA en santé : état des lieux | ANFH ». Consulté le: 20 octobre 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.anfh.fr/actualites/ia-en-sante-etat-des-lieux>
- [139] « Un outil diagnostique basé sur l'IA transforme la prise en charge des crises cardiaques | Institut de cardiologie de l'Université d'Ottawa ». Consulté le: 20 octobre 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.ottawaheart.ca/fr/nouvelles/un-outil-diagnostique-base-sur-l-ia-transforme-la-prise-en-charge-des-crisis-cardiaques>
- [140] « L'intelligence artificielle s'installe en imagerie médicale | American Hospital of Paris ». Consulté le: 20 octobre 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.american->

hospital.org/nous-soutenir/les-projets/lintelligence-artificielle-sinstalle-en-imagerie-medicale

- [141] M. Lauffri, « Les nouvelles technologies médicales à suivre en 2025 », Medtech France. Consulté le: 20 octobre 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.medtechfrance.fr/actualites/grand-angle/les-nouvelles-technologies-medicales-a-suivre-en-2025/>
- [142] C. L. Tourneau, I. Bièche, et M. Kamal, « Premiers pas de l'intelligence artificielle pour guider les thérapies en oncologie », *Med Sci (Paris)*, vol. 38, n° 1, p. 21-22, janv. 2022, doi: 10.1051/medsci/2021235.
- [143] Marion, « L'intelligence artificielle au service de la maladie d'Alzheimer », Fondation Alzheimer. Consulté le: 20 octobre 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.fondation-alzheimer.org/lintelligence-artificielle-au-service-de-la-maladie-dalzheimer/>
- [144] « La HAS dévoile son projet stratégique 2025-2030 », Haute Autorité de Santé. Consulté le: 20 octobre 2025. [En ligne]. Disponible sur: https://has-sante.fr/jcms/p_3588180/fr/la-has-devoile-son-projet-strategique-2025-2030
- [145] « Publication de l'atlas de la démographie médicale 2023 », Conseil National de l'Ordre des Médecins. Consulté le: 20 octobre 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.conseil-national.medecin.fr/publications/communiqués-presse/publication-atlas-demographie-medicale-2023>
- [146] « Renonciation aux soins, complexes, stigmates... LES FRANÇAIS FACE AUX MALADIES DE PEAU ET A L'ECZEMA : LA GRANDE ENQUETE - Ifop Group ». Consulté le: 20 octobre 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.ifop.com/article/renonciation-aux-soins-complexes-stigmates-les-francais-face-aux-maladies-de-peau-et-a-leczema-la-grande-enquete>
- [147] « ► Répartition des 3296 Dermatologues en France ». Consulté le: 20 octobre 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.keskeces.com/medecin/dermatologue.html>
- [148] « 250221013843_sfd-cp-penurie-de-dermatologues-vdef.pdf ». Consulté le: 20 octobre 2025. [En ligne]. Disponible sur: https://www.sfdermato.org/upload/presse/250221013843_sfd-cp-penurie-de-dermatologues-vdef.pdf
- [149] « L'IA au service des maladies cutanées avec la start-up Huvy ». Consulté le: 20 octobre 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.telecom-sudparis.eu/actualite/ia-au-service-maladies-cutanees-start-up-huvy/>
- [150] C. Minota, « L'IA au service de la dermatologie : HUVY peut-elle désengorger les cabinets et accélérer le dépistage des mélanomes ? », Medtech France. Consulté le: 20 octobre 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.medtechfrance.fr/innovations-medicales/ia-au-service-de-la-dermatologie-huvy-peut-elle-desengorger-les-cabinets-et-acceler-le-depistage-des-melanomes/>
- [151] A. Bouvier, « HUVY, l'allié numérique pour accélérer la détection du mélanome », La Jaune et la Rouge. Consulté le: 20 octobre 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.lajauneetlarouge.com/huvy-lallie-numerique-pour-acceler-la-detection-du-melanome/>
- [152] « HUVY », France Asso cancer et peau. Consulté le: 20 octobre 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://franceassocanceretpeau.fr/informations-medicales/huvy/>
- [153] « Professionnel de santé », HUVY. Consulté le: 20 octobre 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://huvy.fr/professionnel-de-sante/>
- [154] « 250717033425_sfd-cp-encadrement-usage-ia-vdef.pdf ». Consulté le: 20 octobre 2025. [En ligne]. Disponible sur: https://www.sfdermato.org/upload/presse/250717033425_sfd-cp-encadrement-usage-ia-vdef.pdf
- [155] B. Boule, L. Schroder, B. Dreno, L. Boussemart, N. Diris, et J. Saenz, « Enhancing human-machine cooperation in melanoma screening via Artificial Intelligence's doubtful case detection ».

- [156] T. J. Brinker *et al.*, « Deep neural networks are superior to dermatologists in melanoma image classification », *Eur J Cancer*, vol. 119, p. 11-17, sept. 2019, doi: 10.1016/j.ejca.2019.05.023.
- [157] M. Zanchetta, A. Chapron, A. Banâtre, V. Pham-Huu, et L. Boussemart, « Évaluation des performances d'un outil dédié aux médecins généralistes, visant à l'amélioration de la coopération homme-machine dans le dépistage du mélanome grâce à la détection des cas suspects par l'intelligence artificielle ».
- [158] A. Koulouri, F. Kuonen, et O. Gaide, « L'intelligence artificielle et le dermatologue », *Rev Med Suisse*, vol. 644, p. 687-691, mars 2019.
- [159] Mithun D Souza, Sunil Kumar S, Sai Sasank Majeti, Dr. Jayashree Nair, et Srinivas BI, « Detection of Melanoma Skin Cancer Disease using AI based Approaches for Medical Image Processing - A Study », *IJAR SCT*, p. 411-419, juill. 2023, doi: 10.48175/IJAR SCT-12061.
- [160] Baltazare.fr et G. Vergano, « Actualité des dermatologues : Comment l'intelligence artificielle peut aider les dermatologues à détecter les maladies de la peau ? », Syndicat National des Dermatologues-Vénéréologues. Consulté le: 17 novembre 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://dermatos.fr/comment-lintelligence-artificielle-peut-aider-les-dermatologues-a-detecter-les-maladies-de-la-peau/>
- [161] A. Rambaud, « L'intelligence artificielle excelle dans le diagnostic du mélanome », *Le Figaro Santé*. Consulté le: 17 novembre 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://sante.lefigaro.fr/article/l-intelligence-artificielle-excelle-dans-le-diagnostic-du-melanome>
- [162] J. Dinnes *et al.*, « Visual inspection for diagnosing cutaneous melanoma in adults », *Cochrane Database of Systematic Reviews*, vol. 2018, n° 12, déc. 2018, doi: 10.1002/14651858.CD013194.
- [163] P. Tschandl *et al.*, « Human–computer collaboration for skin cancer recognition », *Nat Med*, vol. 26, n° 8, p. 1229-1234, août 2020, doi: 10.1038/s41591-020-0942-0.
- [164] Dermatology, « Artificial Intelligence vs Medical Providers in the Dermoscopic Diagnosis of Melanoma | MDedge ». Consulté le: 17 novembre 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://mdedge.com/dermatology/article/262697/melanoma/artificial-intelligence-vs-medical-providers-dermoscopic>
- [165] « IMCO2024-Gr23-Abstract-Poster.pdf ». Consulté le: 17 novembre 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.unisante.ch/sites/default/files/upload/imco/IMCO2024-Gr23-Abstract-Poster.pdf>
- [166] B. İsmail Mendi *et al.*, « Artificial Intelligence in the Non-Invasive Detection of Melanoma », *Life*, vol. 14, n° 12, p. 1602, déc. 2024, doi: 10.3390/life14121602.
- [167] N. H. S. England, « NHS England » Case study: Artificial intelligence helping to speed up skin cancer diagnosis in Leicester, Leicestershire, and Rutland integrated care system ». Consulté le: 17 novembre 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.england.nhs.uk/long-read/artificial-intelligence-helping-to-speed-up-skin-cancer-diagnosis-in-leicester-leicestershire-and-rutland-integrated-care-system/>
- [168] « Statistiques de survie pour le mélanome | Société canadienne du cancer ». Consulté le: 17 novembre 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://cancer.ca/fr/cancer-information/cancer-types/melanoma-skin/prognosis-and-survival/survival-statistics>
- [169] S. Yan *et al.*, « A multimodal vision foundation model for clinical dermatology », *Nat Med*, vol. 31, n° 8, p. 2691-2702, août 2025, doi: 10.1038/s41591-025-03747-y.
- [170] « Performance of an automated total body mapping algorithm to detect melanocytic lesions of clinical relevance - European Journal of Cancer ». Consulté le: 17 novembre 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.ejca.com/article/S0959-8049%2824%2900682-8/fulltext>
- [171] A. Jaramillo Arboleda, M. J. Sanchez Zapata, L. J. RUEDA JAIME, A. Morales-Forero, et S. Bassetto, « BOSQUE Test set: A Dermoscopic Image Dataset from Colombian Patients with Diverse Skin Phototypes ». *Harvard Dataverse*, p. 18019, 4805042, 2025. doi: 10.7910/DVN/AQEPIN.

- [172] J. Monnier, J.-M. L'Orphelin, et M. Bataille, « Intelligence artificielle en dermatologie : implications pratiques », *Annales de Dermatologie et de Vénéréologie - FMC*, vol. 4, n° 3, p. 203-207, avr. 2024, doi: 10.1016/j.fander.2024.01.011.
- [173] « GDPR et conformité HIPAA dans l'IA en santé : Ce que les leaders IT doivent savoir ». Consulté le: 17 novembre 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.inquirah.health/fr/blog/gdpr-et-conformite-hipaa-dans-lia-en-sante-ce-que-les-leaders-it-doivent-savoir>
- [174] 4 Min Read, « DermaSensor Inc. Announces Successful Completion of First Ever FDA Pivotal Studies for Skin Cancer Detection Device for Primary Care », BioSpace. Consulté le: 17 novembre 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.biospace.com/dermasensor-inc-announces-successful-completion-of-first-ever-fda-pivotal-studies-for-skin-cancer-detection-device-for-primary-care>
- [175] Imochon, « L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE DANS LA PRÉDICTION ET LA PRÉVENTION DU DIABÈTE », Le Diabète dans tous ses états. Consulté le: 17 novembre 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.le-diabete-dans-tous-ses-etats.precidiab.org/series/lintelligence-artificielle-dans-la-prediction-et-la-prevention-du-diabete/>
- [176] « Article 5 RGPD : Principes protection données - Guide clair & cas pratiques », Mon Expert RGPD. Consulté le: 17 novembre 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://monexpertrgpd.com/article-5/>
- [177] « L'anonymisation de données personnelles ». Consulté le: 17 novembre 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.cnil.fr/fr/technologies/lanonymisation-de-donnees-personnelles>
- [178] A. Bouyer, « Sécurité des données de santé : protéger les informations sensibles et se conformer aux réglementations », Make IT Safe, solution d'évaluation et de pilotage de la conformité. Consulté le: 17 novembre 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.makeitsafe.fr/securite-des-donnees-de-sante-comment-protoger-les-informations-sensibles-en-conformite-avec-les-reglementations/>
- [179] S. Wongvibulsin, M. J. Yan, V. Pahalyants, W. Murphy, R. Daneshjou, et V. Rotemberg, « Current State of Dermatology Mobile Applications With Artificial Intelligence Features », *JAMA Dermatol*, vol. 160, n° 6, p. 646-650, juin 2024, doi: 10.1001/jamadermatol.2024.0468.
- [180] E. R. Gordon *et al.*, « Ethical considerations for artificial intelligence in dermatology: a scoping review », *Br J Dermatol*, vol. 190, n° 6, p. 789-797, juin 2024, doi: 10.1093/bjd/ljae040.
- [181] T. Salvador *et al.*, « Consent and Identifiability for Patient Images in Research, Education, and Image-Based Artificial Intelligence », *JAMA Dermatol*, vol. 160, n° 4, p. 470-472, avr. 2024, doi: 10.1001/jamadermatol.2024.0084.
- [182] J. Powles et H. Hodson, « Google DeepMind and healthcare in an age of algorithms », *Health Technol.*, vol. 7, n° 4, p. 351-367, déc. 2017, doi: 10.1007/s12553-017-0179-1.
- [183] S. Moy *et al.*, « Patient Perspectives on the Use of Artificial Intelligence in Health Care: A Scoping Review », *J Patient Cent Res Rev*, vol. 11, n° 1, p. 51-62, 2024, doi: 10.17294/2330-0698.2029.
- [184] V. de la Justice, « L'intelligence artificielle en médecine : quelle responsabilité en cas d'erreur ? Par Kenza Sadad Lachheb, Doctorante en droit. », Village de la Justice. Consulté le: 17 novembre 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.village-justice.com/articles/intelligence-artificielle-medecine-quelle-responsabilite-cas-erreur,51983.html>
- [185] « Posos obtient le marquage CE classe IIb et devient le guichet unique pour l'expansion européenne des éditeurs de logiciels médicaux ». Consulté le: 17 novembre 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.posos.co/articles/posos-obtient-le-marquage-ce-classe-iib-et-devient-le-guichet-unique-pour-lexpansion-europeenne-des-editeurs-de-logiciels-medicaux>

- [186] « Article 48 : Marquage CE | Loi sur l'intelligence artificielle de l'UE ». Consulté le: 17 novembre 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://artificialintelligenceact.eu/fr/article/48/>
- [187] « La réglementation des dispositifs médicaux », Snitem. Consulté le: 17 novembre 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.snitem.fr/le-dispositif-medical-dm/dm-et-cadre-reglementaire/la-reglementation-des-dispositifs-medicaux/>
- [188] « DM IA Logiciel ». Consulté le: 17 novembre 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.snitem.fr/wp-content/uploads/2020/01/DM-IA-Logiciel-standard.pdf>
- [189] « Entrée en vigueur du règlement européen sur l'IA : les premières questions-réponses de la CNIL ». Consulté le: 17 novembre 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.cnil.fr/fr/entree-en-vigueur-du-reglement-europeen-sur-lia-les-premieres-questions-reponses-de-la-cnil>
- [190] « High-level summary of the AI Act | EU Artificial Intelligence Act ». Consulté le: 17 novembre 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://artificialintelligenceact.eu/high-level-summary/>
- [191] V. de la Justice, « IA Act et systèmes d'IA à haut risque. Par Charlotte Galichet, Avocat. », Village de la Justice. Consulté le: 17 novembre 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.village-justice.com/articles/act-systemes-haut-risque,50768.html>
- [192] « La loi européenne sur l'intelligence artificielle AI Act ». Consulté le: 17 novembre 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.dastra.eu/fr/guide/reglement-ue-ia/56957>
- [193] « ISO 13485:2016 », ISO. Consulté le: 17 novembre 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.iso.org/fr/standard/59752.html>
- [194] Préiso-medical, « L'impact de l'IA Act sur les Dispositifs Médicaux : Implications normatives et réglementaires », Preiso-medical. Consulté le: 17 novembre 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.preiso-medical.com/post/l-impact-de-l-ia-act-sur-les-dispositifs-medicaux-implications-normatives-et-reglementaires>
- [195] « eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/HTML/?uri=CELEX:52021PC0206&from=EN ». Consulté le: 17 novembre 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/HTML/?uri=CELEX:52021PC0206&from=EN>
- [196] C. for D. and R. Health, « Premarket Notification 510(k) », FDA. Consulté le: 17 novembre 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.fda.gov/medical-devices/premarket-submissions-selecting-and-preparing-correct-submission/premarket-notification-510k>
- [197] naaia.apercu.website, « Surveillance après commercialisation : une obligation AI Act à ne pas sous-estimer », Naaia. Consulté le: 17 novembre 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://naaia.ai/ai-act-surveillance-post-commercialisation-obligations/>
- [198] « ISO/IEC 27001:2022 », ISO. Consulté le: 2 décembre 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.iso.org/fr/standard/27001>
- [199] « Protection et cybersécurité : Certification certifié ISO 27001 ». Consulté le: 2 décembre 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://staffmatch.com>
- [200] « Le nouveau parcours DPC du CNP Pharmacie », CNOP. Consulté le: 17 novembre 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.ordre.pharmacien.fr/les-communications/focus-sur/les-actualites/le-nouveau-parcours-dpc-du-cnp-pharmacie>
- [201] « Formations pharmaciens - Centre régional de coordination du dépistage des cancers Occitanie ». Consulté le: 17 novembre 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://occitanie-depistagecancer.fr/formations-pharmaciens/>
- [202] system-user#admin_population, « DU Intelligence artificielle IA appliquée en santé ». Consulté le: 17 novembre 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://odf.u-paris.fr/fr/offre-de-formation/diplome-d-universite-1/sciences-technologies-sante-STS/du-intelligence-artificielle-ia-appliquee-en-sante-JXMZBK41.html>
- [203] A. S. Jarab *et al.*, « Artificial intelligence in pharmacy practice: Attitude and willingness of the community pharmacists and the barriers for its implementation », *Saudi Pharm J*, vol. 31, n° 8, p. 101700, août 2023, doi: 10.1016/j.jsps.2023.101700.
- [204] « VIDÉO - L'intelligence artificielle, une aide précieuse pour détecter les cancers de la peau - ICI », ICI, le média de la vie locale. Consulté le: 17 novembre 2025. [En ligne].

Disponible sur: <https://www.francebleu.fr/infos/sante-sciences/video-l-intelligence-artificielle-une-aide-precieuse-pour-detecter-les-cancers-de-la-peau-1436455>

[205] « Test rapide d'orientation diagnostique (Trod) angine à l'officine ». Consulté le: 17 novembre 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.ameli.fr/pharmacien/sante-prevention/trod-angine-officine-pharmacie>

ENGAGEMENT DE NON-PLAGIAT

Je, soussigné (e) MONDAMERT LOUIS

Déclare être pleinement conscient(e) que le plagiat de documents ou d'une partie d'un document publiés constitue une violation des droits d'auteur ainsi qu'une fraude caractérisée. (*Décret n°92-657 du 13 juillet 1992*)

En conséquence, je m'engage à citer toutes les sources que j'ai utilisées pour écrire ce mémoire.

Signature :



SIGNATURES DU DIRECTEUR DE THESE ET DU DOYEN

N° Étudiant : 21602712

N° Thèse : 114

Nom et Prénom : MONDAMERT Louis

Sujet : L'impact de l'intelligence artificielle dans la détection précoce du mélanome cutané

Tours, le :15/12/2025..

Le(s) Directeur(s) de Thèse :
Nom(s) et signature(s)



Vu et transmis :

Le Doyen

Le directeur de la Faculté
des Sciences Pharmaceutiques

Pr Denys BRAND



TITRE DE LA THÈSE

L'impact de l'intelligence artificielle dans la détection précoce du mélanome cutané

RÉSUMÉ DE LA THÈSE

Le mélanome est un cancer de la peau grave dont le nombre de cas augmente fortement. Son pronostic dépend surtout d'un diagnostic précoce. Cette thèse étudie l'apport de l'intelligence artificielle pour améliorer le dépistage du mélanome, à travers une solution développée par la start-up Huvy capable d'analyser une photo de la peau prise avec un smartphone. Le travail analyse l'intégration de cet outil dans le parcours de soins et son impact sur la pratique médicale. Une enquête menée auprès de dermatologues montre un intérêt pour ces technologies, mais aussi des inquiétudes concernant leur fiabilité, la responsabilité médicale et l'éthique. L'IA apparaît néanmoins comme un outil prometteur pour améliorer le dépistage et la prise en charge du mélanome.

MOTS-CLÉS SIGNIFICATIFS DE SON CONTENU, ATTRIBUÉS PAR LE CANDIDAT EN LIAISON AVEC LA BIBLIOTHÈQUE UNIVERSITAIRE ET LES MEMBRES DU JURY

Mélanome, cancer, dépistage précoce, oncologie, intelligence artificielle, IA, Huvy, enquête, dermatologue

JURY

PRÉSIDENTE : Mme DIMIER-POISSON ISABELLE, Professeur des Universités à l'Université de Tours et cofondatrice de Lovaltech - Tours

MEMBRES :

Dr CHRISTOPHE Mathilde - pharmacienne, chargée d'affaires réglementaires chez Laboratoires Bouchara-Recordati à Paris

Dr OUARAB Soufiane - pharmacien, pharmacien titulaire d'officine à Saint Jean de Braye

Mr BOULE Bryan - CTO et co fondateur de Huvy à Royan

DATE ET LIEU DE SOUTENANCE : Faculté de Pharmacie (Tours), le 12/12/2025