

**UNIVERSITÉ DE NANTES**

---

**FACULTÉ DE MÉDECINE**

---

Année : 2020

N°

**THÈSE**

pour le

**DIPLÔME D'ÉTAT DE DOCTEUR EN MÉDECINE**

SPÉCIALITÉ DERMATOLOGIE ET VÉNÉROLOGIE

par

Romain SAMARAN

---

Présentée et soutenue publiquement le 07/10/2020

---

ÉTUDE D'INTÉRÊT EN MÉDECINE GÉNÉRALE  
D'UNE APPLICATION D'AIDE AU DIAGNOSTIC  
DES TUMEURS CUTANÉES NON PIGMENTÉES  
VIA UN OUTIL UTILISANT L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE.

---

Présidente du jury et directrice de thèse :  
Madame le Professeur Brigitte DRENO

## **COMPOSITION DU JURY**

**Directrice de thèse et Présidente du jury :** Madame le Professeur Brigitte DRENO

### **MEMBRES DU JURY :**

Madame le Professeur Brigitte DRENO (PU-PH en dermatologie et vénérologie)

Madame le Professeur Anne DOMPMARTIN (PU-PH en dermatologie et vénérologie)

Madame le Professeur Céline BOUTON (PU-PH en médecine générale)

Madame le Docteur Cécile FRENARD (PH en dermatologie et vénérologie)

## REMERCIEMENTS

De tout ce travail de thèse, il me semble que voici la partie la plus difficile à écrire. Cette profession est une passion et une partie intégrante de qui je suis. En ce sens, chaque personne qui m'a permis de devenir qui je suis aujourd'hui mériterait mes sincères remerciements.

### *Aux membres du jury*

Madame le Professeur Brigitte DRENO, je vous remercie de m'avoir fait confiance en me proposant de travailler avec vous sur ce sujet. Vous avez su voir en moi l'intérêt pour l'ouverture à la médecine générale et la santé publique ainsi qu'un goût pour les rencontres humaines. Ce travail main dans la main avec le duo formé par Madame le Professeur DOMPMARTIN et Jean Matthieu L'ORPHELIN fut une excellente expérience professionnelle et humaine. Au-delà de ce travail de thèse je tiens à vous remercier pour votre encadrement ces trois dernières années au sein de votre service. J'ai appris énormément à vos côtés et je suis fier d'avoir été votre élève.

Madame le Professeur Anne DOMPMARTIN, je vous remercie pour votre aide dans ce beau projet commun à nos deux centres. Ce fut un plaisir de vous rencontrer et de partager cette aventure professionnelle avec vous.

Madame le Professeur Céline BOUTON, je vous remercie d'avoir accepté de faire partie de mon jury. Cette thèse, tout comme notre système de santé, est basée sur le rôle clé du médecin généraliste. C'est donc un honneur de pouvoir vous compter parmi mes assesseurs.

Madame le Docteur Cécile FRENARD, je te remercie de faire partie de ce jury. Ton avis compte beaucoup pour moi notamment de par ton intérêt pour les nouvelles technologies particulièrement en onco-dermatologie et dans le domaine de l'intelligence artificielle. Tu as pu me suivre depuis le début et m'accompagner sur le chemin de l'internat au cours de mes semestres au CHU et en dehors. Tu as été plus qu'une tutrice qui m'a fait grandir, tu as été une excellente professeure et une confidente de qualité.

### *Aux personnes ayant contribué à cette thèse*

Jean-Matthieu, je te remercie car tu as été le partenaire idéal pour réaliser cette thèse. Tu as été une véritable force de motivation pour traverser les épreuves de ce travail à quatre mains. Merci pour ta disponibilité et ta gentillesse. Je suis sûr que tu iras très loin et je te souhaite le meilleur professionnellement et personnellement.

Je tiens à remercier particulièrement le Docteur Cédric RAT pour son aide répétée dans ce projet. Vous m'avez aidé à avancer et ce fut un plaisir de travailler avec vous.

Je tiens aussi à remercier l'ensemble du département de médecine générale de la faculté de médecine de Nantes qui m'a reçu pour discuter de notre projet. Merci pour votre disponibilité et vos conseils.

Pour finir, je remercie chaleureusement l'ensemble des médecins généralistes qui ont bien voulu donner de leur temps pour répondre à notre enquête et aux internes de médecine générale qui m'ont aidé dans ce projet. Sans eux, ce travail de thèse n'existerait pas aujourd'hui.

### *À ceux qui ont participé à ma formation et m'ont accompagné pendant celle-ci*

Tout d'abord, je tenais à remercier le Docteur Aurélie DU THANH. Vous m'avez transmis votre amour de notre belle spécialité dès mes plus jeunes années étudiantes. Merci aussi à l'ensemble du service de dermatologie du CHU de Montpellier qui a confirmé chez moi ce goût pour les papules et macules mais surtout pour le côté humain de la dermatologie.

Merci à l'ensemble du service d'onco-dermatologie du CHU de Nantes, médecins, infirmières et infirmiers, aides-soignantes et aides-soignants, secrétaires et cadres de santé ainsi qu'à l'équipe de recherche clinique. Vous avez confirmé mon goût du travail en équipe et ce fut un plaisir de travailler à vos côtés. Merci à Cécile et Barbara d'avoir su m'accompagner quand l'ECN a retiré les roulettes de mon vélo. Merci à Charlotte et Sarah d'avoir pris la relève pour me guider toujours dans la bonne direction. Merci à Claire, Diane, Gaëlle, Gaëtan, Hélène, Ibtissam, Justine, Louise, Lucie, Mélanie, Sébastien et Sylvie de m'avoir apporté votre aide dans l'apprentissage de mon futur métier.

Merci à l'ensemble du service de médecine polyvalente de St-Nazaire de m'avoir accueilli pendant 6 mois et d'avoir pris soin de moi. Je tenais à remercier particulièrement le Docteur Albane HAMELIN. Tu es une des personnes les plus humaines que j'ai eu la chance de rencontrer. Merci pour ta gentillesse et tes conseils que je n'oublierai jamais.

Merci à tout le service de dermatologie du centre hospitalier du Mans pour votre gentillesse. Je remercie particulièrement Hervé, Nathalie, Corina, Elise, Blandine, Aurélie et Kévin pour votre accompagnement de chaque instant et votre bienveillance. Ce fut une merveilleuse expérience de passer sept mois en votre compagnie.

Merci à l'ensemble de mes cointernes, de dermatologie et d'ailleurs. Estelle, Sarah, Diane, Solène, Perrine, Anouk, Clémence, Cécile, Camille S, Fanny, Eve, Camille B, Clément, Marie P, M-E, Noémie, Laurie, Marie S, Edgar-Pierre, Paul, Julien, Arnaud, Mathilde B, Chloé, Hortense, Justine, Mathilde V, Meghan et Louise. Vous êtes plus que des collègues de travail et je reconnais la chance que j'ai eu de faire votre connaissance à tou.te.s.

Merci à tous mes coexternes de Montpellier, vous êtes la chaleurosité du Sudeuh.

### *À mes ami.e.s et ma famille*

Marie, ma sœur de promo, ma confidente, mon anxiolytique : je ne sais pas si je pourrais un jour te remercier assez. J'espère que notre relation pathologique a encore de nombreuses années devant elle.

Julien, notre amitié est une des meilleures choses qui me soient arrivées à Nantes. Merci de m'avoir fait rire, de m'avoir aidé par tes paroles, d'avoir été là lors des moments difficiles. Je suis chanceux de faire partie de ta vie.

Claire, merci pour ta patience, ta gentillesse et ton écoute pendant ces deux années de vie en colocation.

Foxy, puissent nos routes se croiser, cette vie d'aventure est plus amusante avec toi.

Kevin, tu m'as accompagné et soutenu depuis le début de cet internat et je suis honoré de te compter parmi mes amis. Merci de toujours voir le meilleur en moi.

Vladimir, tu m'as fait découvrir un autre univers au moment où il le fallait. Merci de m'avoir accueilli dans ta famille de cœur à bras ouverts. Je sais que l'avenir nous réserve encore de beaux projets.

Yasmine, tu gardes le titre honorifique de plus ancienne amie. Je te remercie de m'avoir supporté depuis ma plus tendre enfance. Merci d'être encore aujourd'hui un pilier quotidien. J'espère que nous choisirons nos plus belles cannes ensemble.

Pour finir, Maman, Papa, Quentin, je tenais à vous remercier pour tout. "Tout" car sans votre soutien indéfectible je ne serais pas où je suis aujourd'hui. Merci.

## **LISTE D'ABRÉVIATIONS**

CBC : carcinome basocellulaire

DREES : Direction de la Recherche, des Études, de l'Évaluation et des Statistiques

FDA : Food and Drug Administration

IA : intelligence artificielle

RGPD : Règlement Général sur la Protection des Données

# TABLE DES MATIÈRES

Composition du jury	2
Remerciements	3
Liste d'abréviations	5
<b>1. INTRODUCTION</b>	<b>7</b>
L'intelligence artificielle dans l'histoire	7
L'intelligence artificielle en pratique médicale actuelle	7
<b>2. GÉNÉRALITÉS SUR L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE</b>	<b>8</b>
A. PRINCIPES TECHNIQUES	8
Intelligences artificielles faible et forte	8
Apprentissage automatique : une évolution	8
Apprentissage automatique supervisé et non supervisé	8
Apprentissage profond et réseaux de neurones	9
B. CADRE LÉGAL	10
<b>3. INTELLIGENCE ARTIFICIELLE EN DERMATOLOGIE</b>	<b>11</b>
Intérêt de l'intelligence artificielle en dermatologie	11
Technique préférentielle d'intelligence artificielle en dermatologie	12
Étapes de traitement d'une image dermatologique par une intelligence artificielle	12
Limites de l'intelligence artificielle dans l'analyse d'images	12
<b>4. INTELLIGENCE ARTIFICIELLE EN ONCO-DERMATOLOGIE</b>	<b>13</b>
A. GÉNÉRALITÉS EN ONCO-DERMATOLOGIE	13
Nosologie	13
Épidémiologie	14
Recommandations de prise en charge et intérêt d'un diagnostic précoce	14
B. APPLICATIONS EN ONCO-DERMATOLOGIE	15
1. Algorithmes d'aide au diagnostic de lésions cutanées	15
Des capacités diagnostiques comparables à celles des dermatologues	15
Biais ethnique	15
Nécessité d'outils fiables pour l'utilisation de photographies cliniques	16
Intégration de données cliniques	16
2. Applications mobiles disponibles au grand public	16
Un marché en expansion	16
Régulation, marquage CE et utilisation à domicile	17
Impact sur le parcours de soin	17
Ce qu'en pensent les patients	17
3. Impact sur le rôle du dermatologue	18
<b>5. INTÉRÊT DE L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE EN MÉDECINE GÉNÉRALE POUR L'ONCO-DERMATOLOGIE</b>	<b>19</b>
Rôle du médecin généraliste dans la prise en charge des tumeurs cutanées	19
Délai de consultation en dermatologie	19
Vers un allongement du délai	20
Intérêt de l'intelligence artificielle pour les médecins non-dermatologues	20
<b>6. ARTICLE</b>	<b>21</b>
<b>7. BIBLIOGRAPHIE</b>	<b>31</b>

# 1. INTRODUCTION

En 2020, l'intelligence artificielle ou IA est un sujet de plus en plus médiatisé dans les médias scientifiques et non scientifiques. En effet, pouvoir programmer un outil informatique afin qu'il puisse simuler la réflexion humaine de façon autonome pour aider à la réalisation de nombreuses tâches attire l'intérêt.

Dans le domaine des sciences médicales, les articles sur les applications de l'IA en recherche ou en pratique clinique sont nombreux et on compte par exemple 9 769 articles sur ce thème en 2019 sur PubMed. Cet outil pourrait se révéler utile pour aider les médecins à poser des diagnostics et semble indissociable de la pratique médicale de demain.

## L'intelligence artificielle dans l'histoire

Il est considéré que le domaine scientifique que l'on appelle actuellement "intelligence artificielle" a vu le jour en 1956 lors d'un groupe de travail mené par John McCarthy à l'université de Dartmouth aux États-Unis : *The Dartmouth Summer Research Project on Artificial Intelligence*. Au cours de ce séminaire, une dizaine de scientifiques sont partis du principe que les phénomènes de l'intelligence humaine, comme l'apprentissage, pouvaient être décrits de façon suffisamment détaillée pour qu'un système informatique les reproduise (1).

Les outils dotés d'intelligence artificielle n'ont pas tous la même complexité. Certains répondent à des règles simples, par exemple la réalisation d'une tâche en cas de reconnaissance d'un signal : un logiciel d'IA dans une voiture va reconnaître la diminution de luminosité dans un tunnel et automatiquement allumer les phares. D'autres outils plus perfectionnés peuvent aller plus loin, comme par exemple apprendre des données recueillies pour modifier leur propre fonctionnement et ainsi s'améliorer. Par exemple, un outil informatique utilisant une formule mathématique, ou algorithme, permettant de déterminer si un chat se trouve sur une photographie pourrait apprendre de ses erreurs en adaptant son algorithme pour ainsi se perfectionner et être plus efficace.

Le principe semble très prometteur mais les difficultés techniques sont multiples. Toujours avec le même exemple, l'œil humain et nos systèmes neuronaux vont permettre de reconnaître le chat dans son ensemble alors qu'informatiquement chaque information visuelle va devoir être traduite en pixels et ensuite en données chiffrées. Ces limites expliquent pourquoi le développement de l'intelligence artificielle s'est accéléré ces dix dernières années : nous possédons maintenant des outils informatiques capables d'analyser plus rapidement les données grâce à une capacité de calcul très largement augmentée par rapport aux systèmes informatiques des années 1950.

## L'intelligence artificielle en pratique médicale actuelle

L'IA peut être utilisée pour la recherche de données médicales, que ce soit des informations sur un syndrome rare dans un article en ligne ou des éléments dans le dossier médical d'un patient grâce aux logiciels de gestion de patientèle comme Dr Warehouse (2).

Les applications actuelles s'étendent au-delà de la recherche de données notamment dans le domaine de l'aide au diagnostic. Le diagnostic est une tâche cognitive qui consiste à déterminer à partir d'observations les causes de dysfonctionnement d'un système physique ou vivant, en vue de le réparer ou de le soigner. Dans ce champ d'application, le but d'une IA est donc de reproduire le processus cognitif humain impliqué dans l'analyse complexe des données permettant d'arriver à un diagnostic (3).

De nombreux outils ont été développés et sont en cours de développement dans les différentes spécialités médicales et chirurgicales notamment pour l'analyse d'images en radiologie (4) ou en anatomopathologie (5), la réalisation de techniques chirurgicales à distance via des outils de robotique (6) ou l'aide à la priorisation des patients aux urgences (7).

## 2. GÉNÉRALITÉS SUR L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE

### A. PRINCIPES TECHNIQUES

#### Intelligences artificielles faible et forte

L'objectif de l'intelligence artificielle est de reproduire le fonctionnement logique de l'esprit humain. Pour ce faire, différents types d'IA ont été conceptualisés et sont classiquement divisés en deux sous-catégories : IA forte et IA faible (8).

L'IA faible ou "restreinte" (*narrow or weak AI*) fait référence à une technologie où une machine apprend afin d'effectuer une seule tâche dédiée. Pour réaliser différentes tâches, des programmes individuels doivent ainsi être créés. Il s'agit du type d'IA le plus utilisé de nos jours.

L'IA forte ou "générale" fait référence à une machine plus complexe, avec un niveau cognitif plus proche du nôtre. Dans cette vaste catégorie on trouve les machines douées de conscience, pouvant avoir une réflexion éthique en mimant la nôtre ou dotées de capacités multitâches. Cette IA est plus conceptuelle que réelle actuellement.

#### Apprentissage automatique : une évolution

Le fonctionnement de l'IA faible a évolué au cours des dernières années. Initialement un programme informatique effectuait l'action pour laquelle il était programmé en analysant les données via un algorithme conçu et modifié manuellement par une équipe de programmeurs. Le système informatique exécutait alors plus qu'il ne "réfléchissait" vraiment par lui-même (3). Les développements technologiques récents ont permis aux programmes de devenir plus performants en modifiant eux-mêmes leur algorithme pour se perfectionner et accomplir une tâche demandée. On parle alors d'apprentissage automatique (*machine learning*).

#### Apprentissage automatique supervisé et non supervisé

Un programme utilisant l'intelligence artificielle a pour but d'analyser des données via un algorithme afin d'effectuer différentes tâches, par exemple classer des données en différentes catégories. Pour concevoir l'algorithme, il faut une base de données d'apprentissage (*learning dataset*) et l'efficacité de l'algorithme sera ensuite évaluée avec une base de données d'entraînement (*training dataset*).

Le domaine de l'apprentissage automatique se sépare en apprentissage dit "supervisé" et apprentissage dit "non supervisé".

L'apprentissage est dit supervisé si toutes les données de la base de données utilisée pour créer l'algorithme sont préalablement étiquetées avec la réponse à fournir : on utilisera par exemple des photographies cliniques avec un diagnostic déjà connu. Ce type d'apprentissage nécessite donc plus de travail de la part du concepteur qui doit annoter et segmenter en différentes catégories toutes les données de la base.

Par opposition, l'apprentissage est dit non supervisé quand les données n'ont pas été étiquetées préalablement et que le programme informatique essaye de créer de lui-même des catégories différentes pour classer les données initiales.

On parle maintenant d'apprentissage semi-supervisé quand l'algorithme est conçu avec un ensemble de données étiquetées et non étiquetées permettant de diminuer le travail d'étiquetage préalable (9).

## **Apprentissage profond et réseaux de neurones**

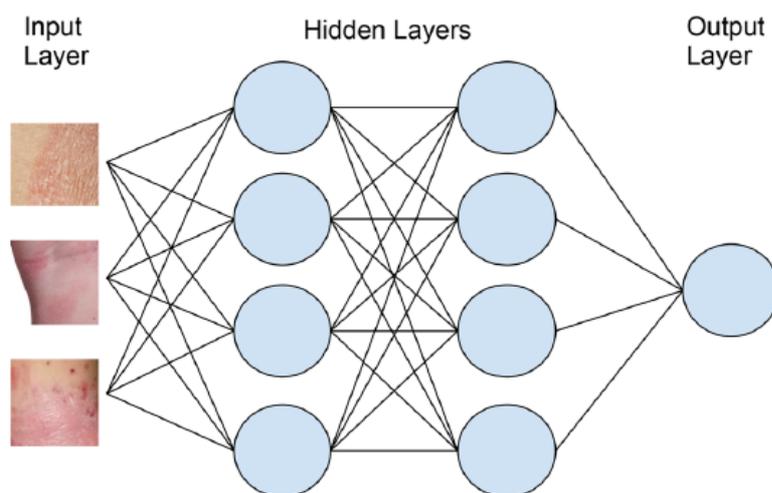
Une sous-catégorie d'apprentissage automatique est ce qui est maintenant nommé l'apprentissage profond (*deep learning*) où le programme informatique sélectionne par lui-même les caractéristiques les plus pertinentes d'une donnée pour la classer dans une catégorie.

Un des types d'apprentissage profond est la modélisation d'un algorithme sous la forme d'un réseau de neurones (*neural networks*). Ce terme découle du fonctionnement des neurones où via une synapse, un neurone va transmettre un message électrique à un autre neurone et ainsi de suite jusqu'à une réponse finale. En pratique une donnée va être séparée en plusieurs caractéristiques et chaque caractéristique va être pondérée via un neurone artificiel dans l'algorithme afin de répondre au mieux à la question. Une donnée initiale va ainsi être reliée à l'analyse finale par plusieurs neurones de pondérations différentes.

Par exemple, si on cherche à déterminer si un animal donné est un canard, les caractéristiques recherchées pourront être : possède des palmes, un bec et nage. C'est la combinaison de la réponse pondérée à chacune de ses questions qui permettra d'arriver à un résultat final permettant de classer l'animal en 2 catégories : canard ou ceci n'est pas un canard.

L'apprentissage automatique donne au programme la capacité d'utiliser un nombre infini de réseaux de neurones agencés en couches pour reconnaître différentes caractéristiques spécifiques de la base de données afin d'obtenir un algorithme prenant en compte le plus de caractéristiques possibles d'une donnée pour répondre à la question posée (8).

Devant la complexité de ces modélisations, il est impossible de déterminer les différentes étapes dans chaque couche qui permettent d'aboutir à la réponse. De plus, dans le cadre de l'apprentissage profond en réseaux de neurones, certaines caractéristiques analysées dans une étape vont être compréhensibles (nombre de pixels rouges sur une photographie clinique de dermatite atopique par exemple) et d'autres ne feront pas sens à un être humain. On parle pour certaines couches de neurones de boîte noire ou de couches neuronales cachées (*hidden layers*) qui sont créées par le programme informatique lui-même pour répondre à la question posée sans être programmées par un être humain. Les couches cachées posent un problème technique car l'impossibilité de connaître une erreur se trouvant dans une couche cachée entraîne un risque d'erreurs répétées non modifiable (10).



**Figure1 : Exemple d'un réseau de neurones (*neural network*) d'après (8).**

Les données initiales composent la couche d'entrée (*input layer*) et chaque donnée va être analysée et ses caractéristiques vont être pondérées dans les couches cachées (*hidden layers*) pour obtenir un résultat final au niveau de la couche de sortie (*output layer*). Chaque cercle des couches cachées correspond à un point nodal neuronal où une caractéristique va être pondérée.

## B. CADRE LÉGAL

Les avancées technologiques précèdent invariablement les textes légaux encadrant leur utilisation. Il s'agit là d'une réelle problématique car l'IA se démocratise et devient accessible à tous notamment via l'essor d'applications sur smartphone (11).

Dans le domaine de la santé, le problème majeur de l'IA est le risque de délégitimation éthique, à savoir que la décision finale pour le patient serait prise par une machine et non par un médecin. Comment organiser le suivi et la prise en charge complète d'un patient après un diagnostic proposé par une IA à domicile ? De même, quelle confiance donner à un programme informatique dont on ne connaît pas exactement tout le fonctionnement et comprenant des couches d'informations cachées utilisées pour la prise de décision ?

A l'instar de la *Digital Health Unit* de la FDA (*Food and Drug Administration*, agence américaine régulant la commercialisation des médicaments et s'assurant de leur sécurité), l'Europe commence à se doter d'un cadre réglementaire pour encadrer l'utilisation de programmes informatiques utilisant l'intelligence artificielle en santé. Il a ainsi été mis en place la **garantie humaine algorithmique** décrite dans l'article 11 du projet de loi de *Bioéthique* 2020 qui imposerait :

- l'information du patient qu'une IA est utilisée dans sa prise en charge ;
- une vérification régulière de l'algorithme par un professionnel de santé ;
- le déploiement limité de certains algorithmes selon la sensibilité des données ;
- une supervision externe indépendante.

Cet article stipule aussi que "Les concepteurs d'un traitement algorithmique [...] s'assurent de la transparence du fonctionnement de l'outil pour ses utilisateurs" ce qui pose soucis lors de l'utilisation d'algorithmes comprenant des couches cachées.

De plus, la législation française a été mise en conformité du RGPD (règlement général sur la protection des données) européen du 28 juin 2018 par décret d'applicabilité au 30 mai 2019 faisant évoluer la loi *Informatique et libertés* de 1978. Ainsi, dès que des données médicales sont traitées par IA sur le sol européen, le RGPD s'applique et la personne utilisant les données doit être capable de répondre à plusieurs exigences réglementaires :

- ne collecter que les données nécessaires ;
- être transparent sur la collection et l'utilisation des données personnelles ;
- maîtriser la diffusion des données ;
- gérer les risques liés aux données ;
- sécuriser les données.

Moura *et al* se sont penchés sur la question de la sécurisation des applications mobiles dans le domaine de la santé et notent une nécessité d'adapter les logiciels et de prendre en compte les risques liés à chaque outil que ce soit l'appareil en lui-même, son mode de cryptage des données et la sécurité des réseaux sans fil qu'il peut utiliser (12).

Les applications actuellement disponibles peuvent poser des risques cliniques et conduire certains patients à ne pas consulter (13). Se pose alors la question de la responsabilité : qui sera responsable en cas d'erreur ? Le médecin utilisant l'application ? L'entreprise produisant l'outil ? Son concepteur ?

Néanmoins, selon le Comité Consultatif National d'Éthique qui a rendu un avis le 25/09/2019, le premier risque éthique concernant l'IA est le blocage de l'innovation. En effet, un des effets paradoxaux de l'encadrement réglementaire de l'IA est la sur-réglementation : si l'IA en France est sur-réglementée pour protéger les populations et les données des patients, il risque d'y avoir une fuite de données des gens les plus aisés voulant bénéficier de l'IA notamment aux États-Unis où le cadre réglementaire est plus souple.

Un des éléments réglementaires qui pourraient aussi limiter l'utilisation de l'intelligence artificielle en santé est l'absence actuelle de cotation de cet acte. Il n'est pas encore discuté la possibilité de remboursement des techniques d'IA par les assurances ou la sécurité sociale si celles-ci venaient à être utilisées dans la pratique quotidienne (14).

### 3. INTELLIGENCE ARTIFICIELLE EN DERMATOLOGIE

#### Intérêt de l'intelligence artificielle en dermatologie

La dermatologie est une spécialité médicale éminemment clinique car visuelle (8). Une importante base de données mentale d'images cliniques est indispensable à la réflexion et la prise en charge. Ainsi l'intelligence artificielle serait utile en permettant d'aider à collecter et exploiter ce type de données afin d'aider à la prise en charge diagnostique. Les indications sont diverses, tant dans le champ des maladies inflammatoires qu'en onco-dermatologie.

Pour la prise en charge du **psoriasis**, plusieurs applications ont été développées dès 2014 (15) et des programmes utilisant l'IA sont en cours d'évaluation pour grader la sévérité de la pathologie (16-18). Sharma *et al* (19) ont utilisé l'IA pour classer différentes lésions érythémato-squameuses tout comme Verma *et al* (20).

Dans le cadre de la prise en charge de la **dermatite atopique**, une application a été développée afin de déterminer directement à l'aide d'une photographie si la peau présente ou non des signes d'atopie (21).

Une application d'aide au diagnostic des **onychomycoses** a aussi été développée (22).

Afin d'aider les médecins à la prise en charge de l'**acné**, une application en ligne a été conçue permettant à partir de photographies prises par un smartphone de grader la sévérité clinique de la maladie (23).

Le domaine d'application qu'est la dermatologie est donc porteur et l'IA se profile comme un outil faisant partie intégrante de la médecine de demain dans cette spécialité.

### **Technique préférentielle d'intelligence artificielle en dermatologie**

En dermatologie, la technique d'IA semblant la plus appropriée est l'apprentissage profond (*deep learning*) car elle permet la gestion d'images complexes, comportant beaucoup de données à traiter. Pour permettre une prise en charge dermatologique plus fiable il faudrait un modèle prenant en compte le contexte clinique et pouvant traiter plusieurs tâches complexes comme repérer les modifications de lésions chez un patient et isoler une lésion suspecte par rapport aux autres lésions du corps (24).

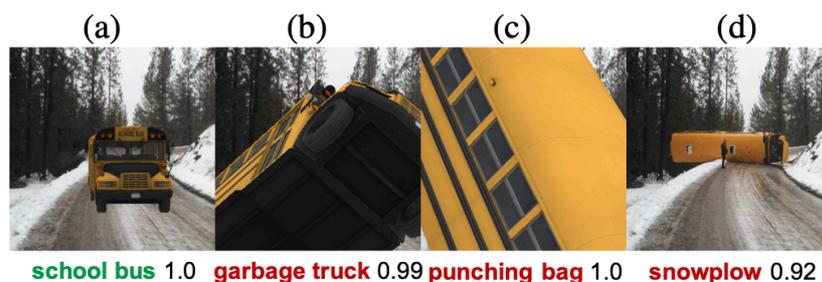
### **Étapes de traitement d'une image dermatologique par une intelligence artificielle**

Contrairement à l'être humain, les systèmes informatiques actuels ne peuvent traiter une image dans son ensemble : chaque image est décomposée en pixels et retravaillée pour extraire des données utilisables sous forme de valeurs chiffrées. Ainsi la couleur des images est convertie sous forme numérique directement ou en passant d'abord par une conversion en échelle de gris. Des filtres sont utilisés pour réduire le bruit de fond. Les images sont ensuite rognées et redimensionnées afin d'être comparables. Chaque caractéristique morphologique peut être extraite : le périmètre d'une lésion d'intérêt, la texture, le niveau de gris, l'environnement et le niveau de gris de l'environnement par exemple (25, 26). Quand un programme peut reconnaître et isoler une lésion sur une photographie, on parle alors de segmentation.

### **Limites de l'intelligence artificielle dans l'analyse d'images**

Un réseau de neurones peut être mis en défaut par de petites altérations ou modifications d'images. Alcorn a montré qu'un algorithme avec un réseau neuronal peut identifier avec une précision quasi parfaite des objets basiques comme un camion de pompiers, mais que si cet objet ne se trouve pas dans la même position sur une photographie, le programme peut rendre un résultat tout à fait différent (27). Cette thèse a été reprise par Fralick qui alerte sur les répercussions possibles dans la prise en charge d'un patient de telles différences d'étiquetage (28). Azulay *et al* ont quant à eux mis en évidence que des changements de quelques pixels seulement pouvaient profondément modifier la capacité de l'algorithme à identifier les images correctement (29).

Afin de pouvoir analyser des photographies cliniques, il faudra que les outils d'IA prennent en compte le fait qu'il n'existe pas de standardisation du matériel utilisé pour prendre les photographies, ni du format des images ou de l'éclairage. Chacun de ces éléments peut faire varier la teinte de la peau saine et donc de la peau pathologique. Il faudra donc que les bases de données d'apprentissage comprennent des photographies présentant toutes ces variations afin que les algorithmes puissent être utilisables en pratique clinique (30).



**Figure 2** : Exemple d'un étiquetage de photographies par l'outil *Google Inception-v3 classifier* d'après (27).

L'outil de classification "*Google Inception-v3 classifier*" arrive à étiqueter correctement des objets dans leur position classique (a) mais n'arrive plus à les distinguer quand les objets se trouvent dans des positions inhabituelles (b et c) même issues de photographies réelles (d). Sous chaque image se trouve l'étiquetage le plus probable proposé par l'outil d'IA et la valeur chiffrée correspond à l'indice de confiance pour cette proposition. Pour la première ligne un bus scolaire est correctement étiqueté en (a), est étiqueté comme étant un camion poubelle en (b), comme un sac de frappe en (c) et comme un chasse-neige en (d).

## 4. INTELLIGENCE ARTIFICIELLE EN ONCO-DERMATOLOGIE

### A. GÉNÉRALITÉS EN ONCO-DERMATOLOGIE

#### Nosologie

On peut séparer les cancers cutanés en deux catégories : mélanomes et tumeurs cutanées non mélaniques.

Le **mélanome** est une tumeur cutanée développée aux dépens des mélanocytes. Il est moins fréquent que les tumeurs cutanées non mélaniques mais sa létalité est plus importante du fait de son potentiel métastatique. En effet, si les cellules se développent en profondeur dans le derme, elles peuvent ensuite gagner la circulation sanguine et former des métastases à distance sur le plan cutané mais aussi dans d'autres organes que la peau.

Parmi les tumeurs cutanées non mélaniques, les plus fréquentes sont les carcinomes basocellulaires et les carcinomes épidermoïdes qui sont développés aux dépens des cellules de l'épiderme. Ces deux types de tumeurs ont une croissance considérée comme lente.

Le **carcinome basocellulaire** est le cancer le plus fréquent et, *a fortiori*, le cancer cutané le plus fréquent. Il revêt des aspects cliniques divers et se caractérise par une invasion locale avec un très faible risque métastatique.

Le **carcinome épidermoïde cutané** est la deuxième tumeur cutanée en fréquence et peut métastaser à distance via les ganglions de drainage.

#### Épidémiologie

La fondation américaine contre les cancers cutanés (*Skin Cancer Foundation*) rapporte que les cancers cutanés sont les cancers les plus fréquents aux États-Unis et à travers le monde et qu'un Américain sur cinq aura développé un cancer cutané à l'âge de 70 ans (31, 32).

Parmi les cancers cutanés on dénombre 90% de carcinomes basocellulaires et épidermoïdes (33). Le carcinome basocellulaire (CBC) est le type de cancer cutané le plus fréquent et on estime à 4,3 millions le nombre de CBC diagnostiqués chaque année aux États-

Unis. Le carcinome épidermoïde est le deuxième cancer cutané en fréquence avec en comparaison 1 million de cas diagnostiqués chaque année (34, 35).

L'incidence des cancers cutanés est croissante : en France, le nombre de nouveaux cas a plus que triplé entre 1980 et 2012 (33).

En France métropolitaine, on estime qu'en 2018 le nombre de nouveaux cas de mélanomes cutanés était de 15 513 et le nombre de décès liés au mélanome était de 1 975 (36).

Les chiffres concernant les cancers non mélaniques sont difficiles à obtenir en France étant donné le manque d'enregistrement après diagnostic. En conséquence, les taux d'incidence globaux des cancers excluent souvent ces tumeurs cutanées. De plus, le taux de létalité étant plus faible que pour d'autres cancers, notamment les mélanomes, on ne peut se fier aux registres des décès qui sous-estiment l'incidence (37).

### **Recommandations de prise en charge et intérêt d'un diagnostic précoce**

Une prise en charge chirurgicale des tumeurs cutanées invasives est recommandée en première intention (38-41).

Il existe deux types de retards qui interviennent entre suspicion diagnostique et prise en charge chirurgicale : un retard lié au patient qui tarde à consulter et un retard lié au système de santé avec un temps parfois considérable entre la suspicion diagnostique et l'adressage à un spécialiste pouvant réaliser l'exérèse (42).

Une étude a montré que l'élément psychologique le plus souvent associé à un retard de consultation lié au patient, donc entre la notification par le patient d'une lésion et une première consultation, était le déni de la sévérité de la lésion en pensant notamment qu'elle allait disparaître spontanément (43).

Concernant le retard lié au système de santé, plusieurs recommandations ont été établies.

Les recommandations européennes pour la prise en charge du mélanome recommandent un délai de prise en charge de 4 à 6 semaines entre la suspicion diagnostique et la chirurgie de reprise qui est réalisée après biopsie ou exérèse initiale (44). Il a en effet été mis en évidence que le délai de prise en charge entre la biopsie et le traitement chirurgical définitif d'un mélanome de stade I jouait un rôle sur la mortalité : un délai de 30 à 59 jours était associé à un taux de mortalité lié au mélanome supérieur de 5% par rapport aux patients qui étaient traités dans les 30 jours. Une prise en charge à plus de 119 jours était associée à un taux de mortalité lié au mélanome augmenté de 41% par rapport à un délai inférieur à 30 jours (45). Toutefois ces résultats sont peu extrapolables au délai entre suspicion clinique par tout médecin et prise en charge chirurgicale initiale notamment par biopsie exérèse. La Haute Autorité de Santé (HAS) recommande dans son guide ALD du mélanome une consultation auprès d'un dermatologue "dans les meilleurs délais" après suspicion diagnostique. Les recommandations Britanniques proposent quant à elle un adressage urgent avec consultation en dermatologie dans les 2 semaines devant toute lésion suspecte de mélanome (46).

Pour les carcinomes cutanés, un délai de prise en charge maximal de 3 mois est souvent évoqué mais les recommandations européennes ne fixent pas de délai à respecter (40,41). Diehl *et al* ont montré qu'il n'y avait pas de différence clinique significative dans la taille de la tumeur (approximée par la taille de la perte de substance après chirurgie de Mohs) si le délai entre biopsie et prise en charge chirurgicale était inférieur à 1 an (47). De même, en se basant sur la volonté du gouvernement britannique d'obtenir pour chacun à partir de l'an 2000 une consultation dans les 2 semaines en cas de suspicion de cancer (48), l'équipe de Gordon n'a pas mis en évidence de différence cliniquement significative entre la taille des CBC pris en charge à 2 semaines par rapport au délai moyen constaté de 10,7 semaines (49). L'équipe de Kirkup

était arrivée à la même conclusion : un délai de 10 semaines avant la chirurgie ne modifiait pas significativement sur le plan clinique un CBC hors zone centrale du visage (50).

## **B. APPLICATIONS EN ONCO-DERMATOLOGIE**

### **1. Algorithmes d'aide au diagnostic de lésions cutanées**

Depuis les années 1990, les chercheurs développent des outils informatiques pour essayer de détecter les mélanomes grâce à l'analyse d'images (51, 52). Le but serait de permettre un dépistage plus précoce qui réduirait la mortalité et permettrait de prévenir à long-terme les effets indésirables des thérapies ciblées et immuno-modulatrices (53) mais aussi de réduire le coût sociétal de prise en charge (54).

#### **Des algorithmes aux capacités diagnostiques comparables à celles des dermatologues**

De nombreux algorithmes ont été développés et leurs capacités diagnostiques ont été évaluées en comparaison avec celles de dermatologues. Esteva *et al* (55) ont développé un algorithme utilisant un réseau de neurones convolutifs (CNN) permettant de classer des lésions dermatologiques. La base de données d'apprentissage comprenait 129 450 photographies de 2032 pathologies. Ils ont testé l'algorithme en comparant ses capacités diagnostiques à celles de 21 dermatologues. Pour les trois tâches proposées – classification entre mélanome et nævus bénin avec photographies cliniques, avec photographies dermoscopiques et classification entre carcinome et kératose séborrhéique – l'outil présentait une sensibilité et une spécificité comparables à celles de la moyenne des dermatologues.

La base de données d'apprentissage de cet algorithme était conséquente et une des limites du développement des outils de classification à partir d'images est cette nécessité d'avoir une base de données importante. Fujisawa *et al* ont tenté d'élaborer un programme avec 4 867 images cliniques et ses capacités diagnostiques étaient supérieures dans leurs tests à celles de dermatologues (56). Il semblerait donc que des outils précis puissent être développés avec moins d'images.

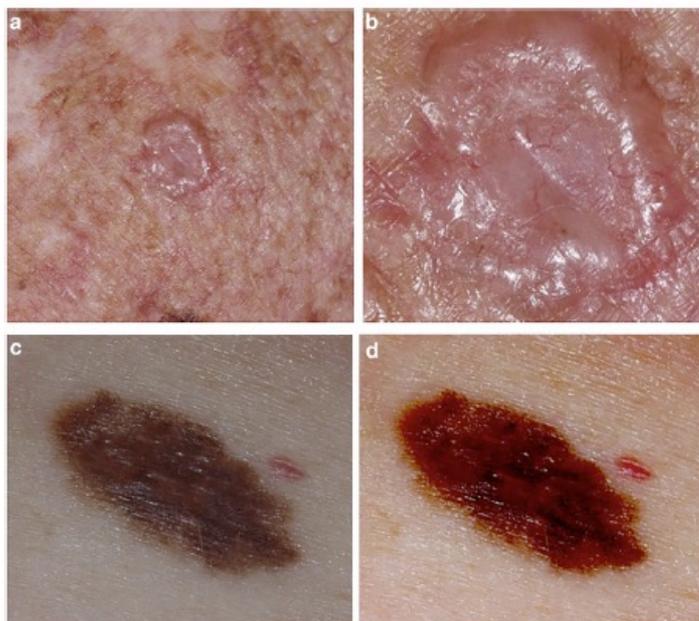
Néanmoins, les résultats avancés par les études ne sont pas toujours reproductibles ce qui permet de mettre en avant certaines limites actuelles de l'IA.

#### **Biais ethnique**

Han *et al* (57) ont développé un programme utilisant un réseau de neurones convolutifs pour aider à la classification de lésions dermatologiques. L'outil diagnostique a été comparé à 16 dermatologues et présentait des capacités diagnostiques similaires voire meilleures. Navarrete-Dechent *et al* (58) ont testé l'algorithme développé par Han *et al* (57) que l'équipe a rendu disponible pour que des évaluations externes puissent être réalisées. La sensibilité diagnostique sur leur nouvelle base de données semblait beaucoup plus basse qu'avec celles utilisées dans l'article initial. Une des hypothèses avancées est que la population d'étude n'était pas la même, introduisant alors la notion de biais ethnique empêchant la généralisation des résultats à toutes les populations. Néanmoins, les auteurs concluent que le biais ethnique est souvent retrouvé dans les études et qu'il doit inciter à développer des outils avec des banques de données plus importantes qui permettront de prendre en compte les variations des lésions selon la pigmentation cutanée.

## Nécessité d'outils fiables pour l'utilisation de photographies cliniques

Navarrete-Dechent *et al* (58) ont aussi mis en évidence des différences significatives dans les capacités diagnostiques de l'outil d'Han *et al* (57) en altérant modérément les photographies de la base de données que ce soit le grossissement des lésions, le contraste ou la position des lésions (**Figure 3**).



### Figure 3 - Manipulation des images et impact sur la classification, d'après (58)

L'image originale d'un carcinome basa-cellulaire (a) est agrandie (b). L'outil classe l'image (a) comme étant un lentigo (niveau de confiance 99,2%) et la (b) comme un carcinome intra-épithélial (niveau de confiance 96,9%). Le mélanome des images (c) et (d) est classé correctement en (c) avec un niveau de confiance de 99% et comme un hémangiome (niveau de confiance 98%) en modifiant contraste et luminosité.

## Intégration de données cliniques

Haenssle *et al* ont comparé les capacités diagnostiques de leur algorithme avec celles de 96 dermatologues dans des conditions plus proches de la réalité. Ils ont montré que les dermatologues étaient plus performants quand ils disposaient des données cliniques et de photographies cliniques en plus des photographies de dermoscopie (59). En partant de ce principe, on pourrait imaginer qu'un algorithme serait plus performant s'il ne prenait pas uniquement en compte la morphologie. Pour Narla *et al*, il semble que l'inclusion de données cliniques dans un algorithme pourrait être pertinente pour mieux classer les lésions que ce soit la présence d'autres lésions sur le corps, la localisation de la lésion analysée ou des données comme l'âge, le sexe ou l'ethnie (60).

## 2. Applications mobiles disponibles au grand public

### Un marché en expansion

De nombreuses applications mobiles ont été créées dans le domaine de la santé et particulièrement en dermatologie : entre 2014 et 2017 il a été recensé la création de 235 nouvelles applications mobiles dans le champ de la dermatologie avec un nombre total de 526 applications (61). Ces applications ont différents objectifs que ce soit l'auto-surveillance en

prenant régulièrement en photographie une lésion ou bien de la télémédecine en envoyant les photographies à un professionnel de santé pour avis médical.

### **Régulation, marquage CE et utilisation à domicile**

Les applications faisant le plus parler d'elles sont celles comprenant un algorithme d'intelligence artificielle permettant d'orienter le diagnostic en indiquant si une lésion est plutôt bénigne ou plutôt suspecte et nécessite alors un avis médical rapide. Ce type d'applications pouvant avoir des répercussions sur la prise en charge médicale d'un patient, une régulation est nécessaire. Seules deux applications ont obtenu le marquage CE leur permettant d'être considérées comme des dispositifs médicaux dans l'Union Européenne, mais aucune n'a obtenu d'autorisation de la *Food And Drug Administration* (FDA) aux États-Unis (62).

Freeman *et al* ont effectué une revue de la littérature pour analyser les études évaluant l'efficacité de six applications proposant une orientation diagnostique devant des lésions suspectes de tumeurs cutanées pigmentées ou non pigmentées (62). Malgré des résultats de sensibilité au diagnostic allant jusqu'à 80% affichés par une des applications (63), les études comprenaient dans l'ensemble peu de cas à analyser et présentaient une qualité méthodologique discutable. Ils ont donc conclu que les applications actuellement disponibles ne devraient pas être considérées comme fiables pour la détection des tumeurs cutanées et qu'un marquage CE ne protège pas suffisamment le public face à ces outils.

Les applications sont souvent testées dans les études par un spécialiste qui sélectionne les lésions à analyser et non un patient directement. Se pose alors la question de la sensibilité de l'outil quand il est utilisé sur des lésions qui interpellent le patient lui-même. Chung *et al* ont réalisé une étude lors de la journée nationale hollandaise contre les cancers cutanés en analysant des lésions indiquées par les patients avec l'application *SkinVision* et en comparant les résultats avec l'analyse clinique d'un dermatologue. La concordance entre l'analyse de l'application et celle du dermatologue était faible avec plusieurs cas de lésions bénignes gradées comme à risque par l'application, plusieurs lésions gradées comme à faible risque alors qu'il s'agissait de CBC et plusieurs lésions considérées comme tumorales par le dermatologue n'ont pas pu être analysées par l'application (64). Il semble donc pertinent que des études de sensibilité et spécificité soient réalisées dans des conditions plus proches du quotidien à domicile afin d'évaluer l'intérêt et la fiabilité de ces outils.

### **Impact sur le parcours de soin**

En 2018, Rat *et al* ont effectué une revue de la littérature pour évaluer l'impact sur le parcours de soin des applications mobiles de télé-dermatologie et de celles comprenant une analyse par IA. La revue de la littérature permettait de conclure que l'utilisation d'applications de télé-dermatologie pouvait réduire le délai de prise en charge d'un mélanome mais de tels résultats n'étaient pas étudiés dans le domaine de l'IA (65). L'impact sur le parcours de soin ne peut donc pas encore être déterminé.

### **Ce qu'en pensent les patients**

Steeb *et al* ont interrogé des patients de l'unité d'oncologie du CHU de Munich et 49,7% doutaient de l'utilité des applications d'aide au dépistage des cancers cutanés. Cependant, l'équipe note que les connaissances de cette population ciblée sur les applications d'e-santé en onco-dermatologie étaient minimales de façon surprenante (66).

Concernant l'avis de la population sur l'intelligence artificielle dans le dépistage des cancers cutanés en élargissant le domaine au-delà des applications mobiles, Nelson *et al* ont interrogé 24 patients afin d'évaluer leurs perceptions de l'intelligence artificielle et s'ils étaient plutôt pour ou contre l'utilisation de cette technologie. Ceux-ci en recommandaient l'utilisation dans 75% des cas mais 40% notaient qu'il pouvait s'agir d'une source d'angoisse pour les patients (67).

### **3. Impact sur le rôle du dermatologue**

Dans un éditorial "Cancers cutanés, bientôt plus besoin de dermatologue ?", Cribier parle d'un nouveau procédé d'analyse de photographies cliniques par intelligence artificielle capable de distinguer tumeur bénigne et maligne. Il s'interroge sur ce que ces nouvelles technologies pourraient apporter comme réponse au besoin croissant d'analyse dermatologique dans la population et conclut que la dermatologie ne peut pas être réduite à une simple question de dualité bénin contre malin et que l'expertise du dermatologue clinicien restera encore longtemps indispensable même si l'art du praticien pourrait changer considérablement (68). Lallas *et al* soulignent aussi que les outils actuels se basent sur une conception uniquement morphologique des lésions pour définir leur caractère bénin ou malin mais que cet élément morphologique n'est pas le seul pris en compte par le dermatologue dans sa prise en charge (69). On semble donc encore loin de "l'apocalypse liée à l'intelligence artificielle" que pourrait engendrer cette technologie dans notre profession, terme évoqué par Mattessich (70).

Zakhem *et al* proposent que la communauté des dermatologues soit active dans le développement de l'intelligence artificielle afin de définir son rôle dans le dépistage du cancer de la peau et ainsi le contenu qui peut être disponible auprès du grand public (71). C'est en travaillant sur le développement de cet outil pour l'adapter aux besoins cliniques qu'il pourra être intégré aux mieux à la pratique de demain.

## **5. INTÉRÊT DE L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE EN MÉDECINE GÉNÉRALE POUR L'ONCO-DERMATOLOGIE**

### **Rôle du médecin généraliste dans la prise en charge des tumeurs cutanées**

Rat *et al* ont étudié le rôle et l'implication des médecins généralistes dans la prise en charge des tumeurs cutanées en France. Ils ont montré dans leur étude observationnelle que dans 70,7% des cas c'était le médecin généraliste qui était à l'initiative d'une discussion sur le dépistage ou la prévention des cancers cutanés plutôt que le patient. Quand le motif de la consultation était le cancer cutané, un adressage à un dermatologue se faisait dans 39% des cas contre 9,7% pour un autre motif dermatologique de consultation (72). Ceci met en évidence le rôle clé du médecin généraliste dans la prise en charge des tumeurs cutanées dans notre système de santé français : il aborde le sujet du dépistage avec les patients, prend en charge une majorité des dermatoses non cancéreuses sans recours immédiat au dermatologue et effectue l'adressage auprès d'un dermatologue pour permettre la suite de la prise en charge des lésions suspectes d'être cancéreuses.

### **Délai de consultation en dermatologie**

La DREES (Direction de la recherche, des études, de l'évaluation et des statistiques), affiliée aux ministères sanitaires et sociaux a pour vocation de fournir des informations fiables et des analyses sur les populations et les politiques sanitaires et sociales. En 2018 elle a mené une étude visant à déterminer le délai moyen pour obtenir une consultation auprès d'un

médecin. En dermatologie, le délai moyen pour avoir une consultation était de 61 jours. Ce délai était considéré par les patients comme trop long dans 46 % des cas (73).

Ce ressenti de longueur dans le délai de prise en charge a un impact négatif sur cette dernière. En effet, Rat *et al* ont montré que lorsqu'un patient à risque de mélanome était adressé à un dermatologue devant la présence d'une lésion cutanée suspecte, le délai nécessaire pour avoir un rendez-vous, parfois considéré comme trop long, était un élément significativement associé au fait que le patient n'aille pas à ce rendez-vous. Ils soulignaient toutefois en discussion que les patients manquaient parfois d'informations sur la possibilité d'avoir un rendez-vous plus rapide en cas d'adressage pour un motif considéré comme plus urgent (74).

### **Vers un allongement du délai**

La DRESS a recensé en 2018 en France 3.918 dermatologues en exercice. Pour 100.000 habitants la densité moyenne de dermatologues est de 5,9 sur la France entière mais avec des disparités entre régions avec par exemple 1,3 en Lozère et 23,1 dans le département parisien du 75 (75).

En 2009, l'organisme a publié un rapport décrivant l'évolution potentielle de la démographie médicale pour l'horizon 2030. En se basant sur la démographie en 2006, elle prédit une diminution de 32% du nombre de dermatologues en exercice avec 2717 praticiens. Cette diminution serait liée aux départs en retraite non compensés par les arrivées de nouveaux praticiens (76).

On peut donc supposer qu'avec une diminution du nombre de praticiens, les délais pour obtenir une consultation vont s'allonger ce qui pourrait entraîner une augmentation du risque que les patients n'aillent pas à leur rendez-vous et que les tumeurs cutanées soient alors prises en charge à des stades trop avancés pour qu'un geste chirurgical puisse être réalisé.

### **Intérêt de l'intelligence artificielle pour les médecins non-dermatologues**

Les outils d'IA en onco-dermatologie présentent peut-être plus d'intérêt pour les médecins non-dermatologues notamment vu le nombre décroissant de dermatologues en exercice. Ils pourraient détecter avec plus de certitude des lésions malignes, permettant un adressage plus précoce avec une diminution des diagnostics tardifs et ainsi une augmentation des taux de survie. Ces outils pourraient aussi limiter l'adressage à un dermatologue de patients présentant des lésions bénignes comme les kératoses séborrhéiques, rendant plus courts les délais de consultation pour des lésions malignes (77).

## 6. ARTICLE

### Interest for Artificial Intelligence in the diagnosis of non-melanoma skin cancer: a survey among French general practitioners.

*Romain Samaran*\*<sup>1</sup>, *Jean-Matthieu L'Orphelin, MD*\*<sup>2</sup>, *Brigitte Dréno*<sup>1</sup>, PhD, *Cédric Rat, PhD*<sup>3</sup>, *Anne Dompmartin, PhD*<sup>2</sup>

\* co-first-authors

<sup>1</sup>Department of Dermatology, Nantes University Hospital, Nantes, France

<sup>2</sup>Department of Dermatology, Caen-Normandie University Hospital, Caen, France

<sup>3</sup>Department of General Practice, Faculty of Medicine, University of Nantes, Nantes, France

**Key words:** artificial intelligence, dermatology, early detection of cancer, general practitioners, skin neoplasms

#### Introduction

Artificial intelligence, or AI, is a field in computer science which aims to program machines to mimic human cognitive processes [1,2]. Although AI is considered to have been theorized in 1956 during a conference in Dartmouth [2], the interest in this research has exponentially grown during the last three decades as technological advances have allowed to remove technical barriers. It is now applied in numerous medical fields such as radiology [3], pathology [4], surgery [5] or ophthalmology [6], and seems to be an inevitable part in the future of medicine [7]. Dermatology is a medical specialty in which visual skills are required in the diagnostic process. Therefore, AI could be a valuable tool to analyze visual data to lead to a diagnosis. It has already been put to use by helping medical professionals take care of psoriasis [8-13], atopic dermatitis [14], onychomycosis [15] or acne [16] but one of the most appealing tasks for AI is skin cancer screening [17].

Skin cancer is the most common type of cancer and according to The Skin Cancer Foundation, one in five Americans will develop skin cancer by the age of 70 [18,19]. Most skin neoplasms are non-melanoma skin cancers and are represented firstly by basal cell carcinoma (BCC), accounting for 75% of all skin cancers, and secondly by squamous cell carcinoma (SCC), accounting for 20% [20,21]. The diagnosis and treatment of non-melanoma skin cancers in the U.S. increased by 77 percent between 1994 and 2014 [22] and is rising worldwide [23]. These cancers are generally nonfatal but can alter the quality of life if left untreated [24].

Since the geographical distribution of dermatologists is uneven [25], notably in France [26], general practitioners (GPs) are playing a key role in skin cancer screening.

The purpose of this study was to assess whether GPs would have an interest in an AI software that could help them to diagnose nonpigmented skin tumors using photographs taken during a medical consultation.

## **Methods**

A structured questionnaire containing 20 questions was emailed to French GPs working in two French regions (Pays de la Loire and Normandie) in November 2019. Firstly, they were asked questions regarding difficulties to diagnose nonpigmented skin tumors and secondly, questions about their potential interest in a software that could help them to diagnose these tumors using photographs taken during a medical consultation. The survey was conducted between November 2019 and December 2019. An online survey seemed more fitting than a printed one as the primary objective was to assess interest in a new technology.

Only answers from GPs still working and practicing in offices or in clinics were analyzed as French GPs can also work, for instance, as geriatricians in hospitals or as emergency physicians.

The questionnaire was designed successively by two dermatology residents helped by two senior dermatologists and around ten GPs working for the department of general medicine of the University of Nantes and the University of Caen. The questionnaire was then tested and validated on ten other GPs.

Participants were asked to specify how old they were, how long they had worked as GPs, whether they were practicing medicine alone or with others in an office or in a clinic and in which city they were practicing. Detailed questions were asked regarding their practices when faced with nonpigmented skin tumors. Participants were also asked how long the average delay between the consultation request and the dermatology consultation was when they referred a patient. Participants were finally asked whether they thought a software that could help them to diagnose nonpigmented skin tumors could be useful and could change their practices. They were also asked technical questions about the software, whether they would be willing to pay for this type of programs and if they thought it should be directly available for patients.

For the sake of this paper, the survey which was originally sent in French, has been translated into English in the **Appendix**.

## Results

The questionnaire was completed by 164 GPs by the end of December 2019. Taking into account the number of clicks on the link in the email, which was around 300 on January 1<sup>st</sup> of 2020, we estimated that a little more than 50% of the GPs clicking the link responded to our survey. 14 of the respondents were not working in general medicine offices or clinics and were excluded from further analyses.

### Socio-demographic data

Of the remaining 150 respondents, 55 (43%) were older than 50 years old with 32 (21%) being older than 60 years old. 85 respondents (57%) were younger than 50 years old and 14 (9%) had been practicing general medicine for less than five years. 82 general practitioners (55%) practiced medicine most of the time in an office shared with other practitioners and 32 (21%) worked in a clinic. 33 practitioners (21%) worked alone in an office. Respondents' geographic locations are shown in **Table 1**.

### Diagnosing nonpigmented skin tumors

Of the 150 respondents, 147 (98%) had ever faced difficulties diagnosing a nonpigmented skin tumor. 90 GPs (60%) were faced with this diagnostical task at least once a month. Faced with a nonpigmented skin tumor, 104 respondents (69%) were more prone to refer the patient to a dermatologist and only seven respondents (5%) were more prone to manage by themselves at first (follow-up, imaging, etc.). The results are presented in **Table 2**.

### Referral to a dermatologist

When asked for their level of agreement to the sentence "I find it difficult to quickly refer my patients to a dermatologist when I suspect a nonpigmented skin tumor", 68 respondents strongly agreed (45%), 36 agreed (24%), 21 disagreed (14%) and only three strongly disagreed (2%).

When a nonpigmented skin tumor was suspected, the mean reported delay between the consultation request and the actual dermatology consultation was less than three months for 56 respondents (37%) when the patient had to book the appointment himself. When the GP had to book the dermatology appointment, the reported average delay was less than three months for 137 respondents (91%) including 70 respondents (47%) reporting an average delay of under two weeks. The results are displayed in **Table 2**.

### Interest in an AI software

68 GPs (45%) strongly agreed and 61 agreed (41%) that an AI software that could help to diagnose nonpigmented skin tumors using photographs taken during a medical consultation could be useful in a GP's office. Moreover, 57 strongly agreed (38%) and 66 agreed (44%) that this type of programs could

change their practices. In regard of the technical aspects of this software, most respondents would prefer the photographs to be taken with their smartphone (83%) and the software to be a smartphone application (56%). Nevertheless, 102 respondents (68%) would not be willing to pay for a software that could help them to diagnose nonpigmented skin tumors. Lastly, when asked if this type of software should be directly available for patients, 55 practitioners disagreed (37%) and 30 strongly disagreed (20%), with 15 commenting that it could be a source of anxiety. The results are shown in **Table 3**.

## Discussion

To our knowledge, this is the first survey focusing on GPs and their interest in an AI software that could help them to diagnose nonpigmented skin tumors.

The diagnosis of nonpigmented skin tumors with the unaided eye is error prone, even for experts [27]. Therefore, it is not surprising that 98% of the respondents of our survey reported that they had ever faced difficulties achieving this task in the past. The majority of the respondents (86%) agreed or strongly agreed that an AI software that could help them to diagnose nonpigmented skin tumors using photographs taken during a medical consultation could be useful in a GP's office and most agreed that it could change their practices.

One bias of our study is that the GPs who replied to the questionnaire had a greater interest in AI than those who did not. The data obtained may thus not be fully representative. Nevertheless, the fact that respondents were working in different regions and the fact that a broad range of ages was represented enhance the validity of the results.

This survey shows that GPs are interested in an AI software that could help them to diagnose nonpigmented skin tumors but are not willing to pay for this kind of software. This is not surprising as a specific diagnostic tool for nonpigmented skin tumors has not yet proven its efficacy in various clinical settings and as skin cancers represent only a small part of their consultations. As a first step, GPs need to see by themselves the value of AI in their daily practice. Therefore, it might be too early to ask GPs their willingness to pay for this kind of software. Nevertheless, more and more AI software are being developed to benefit primary care physicians and diagnostic decision support is the most common primary care function addressed in studies [28]. As the population is ageing and is suffering from an increasing number of diseases, primary care practitioners are facing challenging times [29] and paying for a specific tool for each disease could be trying. Jones *et al* pointed that, though showing efficacy in appropriate trial settings, diagnostic aids must be cost-effective and acceptable to GPs if they are to be integrated effectively into their routine practice [30].

Most GPs agreed that they found it difficult to quickly refer their patients to a dermatologist when they suspected a nonpigmented skin tumor. The average delay for the patient to get a dermatology appointment was much shorter when GPs booked the appointment themselves. Maybe this kind of software could help GPs to refer patients to dermatology practices, helping them in their gatekeeping role [29]. Walter *et al* previously assessed whether adding an AI diagnostic tool, the MoleMate system, to current best practice resulted in more appropriate referrals of suspicious pigmented lesions to secondary care [31]. They found no evidence that the MoleMate system improved appropriateness of referral compared with the systematic application of best practice guidelines with checklist of melanoma. These results cannot be generalized to nonpigmented skin tumors as they are more difficult to diagnose [32]. For example, there is no checklist to help practitioners to diagnose nonpigmented skin tumors. Indeed, there are more differential diagnoses either malignant or benign, thus, more diagnostic criteria. Moreover, an AI diagnostic tool could also help GPs undergo follow-up examinations in comparing older photographs with recent ones to assess whether a lesion has changed or not.

Considering the ethical dimension of an AI diagnostic aid, more than half of the respondents thought that this kind of software should not be directly available for patients. Some commented on the fact that it could be a source of anxiety. These findings are consistent with those from a recent qualitative study from Nelson *et al* [33]. In this study, they asked patients for their perceived risks of AI. The most commonly cited was that it could increase patient anxiety.

## **Conclusion**

Most skin cancers are non-melanoma skin cancers and their diagnosis is often difficult. As the number of dermatologists is decreasing, GPs are playing a key role in skin cancer screening. This study shows that GPs would be interested in an AI software that could help them to diagnose nonpigmented skin tumors. AI could be a good way to improve their diagnostic skills and thus help patients to have appointments with a dermatologist sooner to be treated earlier. As referral to dermatology practices can be trying, AI diagnostic aids should be developed to help primary care physicians in their gatekeeping task, knowing that they would only accept a limited financial investment.

## **Acknowledgements.**

Financial support from the pharmaceutical industry or any other source: NONE

Conflict of Interest: NONE

## REFERENCES

- (1) Hogarty DT, Su JC, Phan K, et al. Artificial Intelligence in Dermatology-Where We Are and the Way to the Future: A Review. *Am J Clin Dermatol*. 2020;21(1):41–47. doi:10.1007/s40257-019-00462-6
- (2) Machines who think. *Science*. 1991;254(5036):1291. doi:10.1126/science.254.5036.1291-a
- (3) Hosny A, Parmar C, Quackenbush J, Schwartz LH, Aerts HJWL. Artificial intelligence in radiology. *Nat Rev Cancer*. 2018;18(8):500–510. doi:10.1038/s41568-018-0016-5
- (4) Janowczyk A, Madabhushi A. Deep learning for digital pathology image analysis: A comprehensive tutorial with selected use cases. *J Pathol Inform*. 2016;7:29. Published 2016 Jul 26. doi:10.4103/2153-3539.186902
- (5) Evans CR, Medina MG, Dwyer AM. Telemedicine and telerobotics: from science fiction to reality. *Updates Surg*. 2018;70(3):357–362. doi:10.1007/s13304-018-0574-9
- (6) Hogarty DT, Mackey DA, Hewitt AW. Current state and future prospects of artificial intelligence in ophthalmology: a review. *Clin Exp Ophthalmol*. 2019;47(1):128–139. doi:10.1111/ceo.13381
- (7) Shapshay SM. Artificial intelligence: the future of medicine?. *JAMA Otolaryngol Head Neck Surg*. 2014;140(3):191. doi:10.1001/jamaoto.2013.6465
- (8) Guo P, Luo Y, Mai G, et al. Gene expression profile based classification models of psoriasis. *Genomics*. 2014;103(1):48–55. doi:10.1016/j.ygeno.2013.11.001
- (9) Shrivastava VK, Londhe ND, Sonawane RS, Suri JS. Exploring the color feature power for psoriasis risk stratification and classification: A data mining paradigm. *Comput Biol Med*. 2015;65:54–68. doi:10.1016/j.compbimed.2015.07.021
- (10) Shrivastava VK, Londhe ND, Sonawane RS, Suri JS. Computer-aided diagnosis of psoriasis skin images with HOS, texture and color features: A first comparative study of its kind. *Comput Methods Programs Biomed*. 2016;126:98–109. doi:10.1016/j.cmpb.2015.11.013
- (11) Shrivastava VK, Londhe ND, Sonawane RS, Suri JS. A novel and robust Bayesian approach for segmentation of psoriasis lesions and its risk stratification. *Comput Methods Programs Biomed*. 2017;150:9–22. doi:10.1016/j.cmpb.2017.07.011
- (12) Sharma DK, Hota HS. Data mining techniques for prediction of different categories of dermatology diseases. *Academy of Inform Mgmt Sci J*. 2013;16:103–15.
- (13) Verma AK, Pal S, Kumar S. Classification of Skin Disease using Ensemble Data Mining Techniques. *Asian Pac J Cancer Prev*. 2019;20(6):1887–1894. Published 2019 Jun 1. doi:10.31557/APJCP.2019.20.6.1887
- (14) Gustafson E, Pacheco J, Wehbe F, Silverberg J, Thompson W. A Machine Learning Algorithm for Identifying Atopic Dermatitis in Adults from Electronic Health Records. *IEEE Int Conf Healthc Inform*. 2017;2017:83–90. doi:10.1109/ICHI.2017.31

- (15) Han SS, Park GH, Lim W, et al. Deep neural networks show an equivalent and often superior performance to dermatologists in onychomycosis diagnosis: Automatic construction of onychomycosis datasets by region-based convolutional deep neural network. *PLoS One*. 2018;13(1):e0191493. Published 2018 Jan 19. doi:10.1371/journal.pone.0191493
- (16) Seité S, Khammari A, Benzaquen M, Moyal D, Dréno B. Development and accuracy of an artificial intelligence algorithm for acne grading from smartphone photographs. *Exp Dermatol*. 2019;28(11):1252–1257. doi:10.1111/exd.14022
- (17) Safran T, Viezel-Mathieu A, Corban J, Kanevsky A, Thibaudeau S, Kanevsky J. Machine learning and melanoma: The future of screening. *J Am Acad Dermatol*. 2018;78(3):620–621. doi:10.1016/j.jaad.2017.09.055
- (18) Skin Cancer Facts & Statistics – Skin Cancer Foundation - Accessed March 4 2020 <https://www.skincancer.org/skin-cancer-information/skin-cancer-facts/>
- (19) Stern RS. Prevalence of a history of skin cancer in 2007: results of an incidence-based model. *Arch Dermatol*. 2010;146(3):279–282. doi:10.1001/archdermatol.2010.4
- (20) Stratigos A, Garbe C, Lebbe C, et al. Diagnosis and treatment of invasive squamous cell carcinoma of the skin: European consensus-based interdisciplinary guideline. *Eur J Cancer*. 2015;51(14):1989–2007. doi:10.1016/j.ejca.2015.06.110
- (21) Peris K, Fargnoli MC, Garbe C, et al. Diagnosis and treatment of basal cell carcinoma: European consensus-based interdisciplinary guidelines. *Eur J Cancer*. 2019;118:10–34. doi:10.1016/j.ejca.2019.06.003
- (22) Mohan SV, Chang AL. Advanced Basal Cell Carcinoma: Epidemiology and Therapeutic Innovations. *Curr Dermatol Rep*. 2014;3(1):40-45. Published 2014 Feb 9. doi:10.1007/s13671-014-0069-y
- (23) Donaldson MR, Coldiron BM. No end in sight: the skin cancer epidemic continues. *Semin Cutan Med Surg*. 2011;30(1):3-5. doi:10.1016/j.sder.2011.01.002
- (24) Chren MM, Sahay AP, Bertenthal DS, Sen S, Landefeld CS. Quality-of-life outcomes of treatments for cutaneous basal cell carcinoma and squamous cell carcinoma. *J Invest Dermatol*. 2007;127(6):1351-1357. doi:10.1038/sj.jid.5700740
- (25) Deilhaes F, Boulinguez S, Pagès C, Paul C, Meyer N. Advanced Cutaneous Squamous Cell Carcinoma Is Associated with Suboptimal Initial Management in a Cohort of 109 Patients. *Dermatology*. 2019;235(6):516-521. doi:10.1159/000500636
- (26) Trettel A, Eissing L, Augustin M. Telemedicine in dermatology: findings and experiences worldwide - a systematic literature review. *J Eur Acad Dermatol Venereol*. 2018;32(2):215-224. doi:10.1111/jdv.14341

- (27) Sinz C, Tschandl P, Rosendahl C, et al. Accuracy of dermatoscopy for the diagnosis of nonpigmented cancers of the skin. *J Am Acad Dermatol*. 2017;77(6):1100-1109. doi:10.1016/j.jaad.2017.07.022
- (28) Kueper JK, Terry AL, Zwarenstein M, Lizotte DJ. Artificial Intelligence and Primary Care Research: A Scoping Review. *Ann Fam Med*. 2020;18(3):250-258. doi:10.1370/afm.2518
- (29) Rotar AM, Van Den Berg MJ, Schäfer W, Kringos DS, Klazinga NS. Shared decision making between patient and GP about referrals from primary care: Does gatekeeping make a difference?. *PLoS One*. 2018;13(6):e0198729. Published 2018 Jun 11. doi:10.1371/journal.pone.0198729
- (30) Jones OT, Jurascheck LC, Utukuri M, Pannebakker MM, Emery J, Walter FM. Dermoscopy use in UK primary care: a survey of GPs with a special interest in dermatology. *J Eur Acad Dermatol Venereol*. 2019;33(9):1706-1712. doi:10.1111/jdv.15614
- (31) Walter FM, Morris HC, Humphrys E, et al. Effect of adding a diagnostic aid to best practice to manage suspicious pigmented lesions in primary care: randomised controlled trial. *BMJ*. 2012;345:e4110. Published 2012 Jul 4. doi:10.1136/bmj.e4110
- (32) Tschandl P, Rosendahl C, Akay BN, et al. Expert-Level Diagnosis of Nonpigmented Skin Cancer by Combined Convolutional Neural Networks. *JAMA Dermatol*. 2019;155(1):58-65. doi:10.1001/jamadermatol.2018.4378
- (33) Nelson CA, Pérez-Chada LM, Creadore A, et al. Patient Perspectives on the Use of Artificial Intelligence for Skin Cancer Screening: A Qualitative Study [published online ahead of print, 2020 Mar 11]. *JAMA Dermatol*. 2020;156(5):1-12. doi:10.1001/jamadermatol.2019.5014

## TABLES

**Table 1.** Characteristics of respondents (n = 150 except where otherwise stated)

<b>Age</b>	<40	50 (33.3%)
	41-50	35 (23.3%)
	51-60	33 (22.0%)
	>60	32 (21.3%)
<b>Years of practice</b>	<5	14 (9.3%)
	5-9	33 (22.0%)
	10-19	39 (26.0%)
	20-29	33 (22.0%)
	>30	31 (20.7%)
<b>Principal place of practice</b>	alone in an office	33 (22.0%)
	with other practitioners in an office	82 (54.7%)
	in a clinic	32 (21.3%)
	other	3 (2.0%)
<b>Region (n=149, missing=1)</b>	Normandie	89 (59.3%)
	Pays de la Loire	55 (36.7%)
	Other regions	5 (3.4%)

**Table 2.** Diagnosis of nonpigmented skin tumors and referral to dermatologists (n = 150 except where otherwise stated)

Have you ever faced difficulties diagnosing a tumoral nonpigmented skin lesion?	Yes	147 (98.0%)
	No	2 (2.0%)
How frequently are you faced with diagnosing a tumoral nonpigmented skin lesion? (n=139, missing=11)	weekly	24 (16.0%)
	monthly	66 (44.0%)
	quarterly	24 (16.0%)
	semi-annually	16 (10.7%)
	annually	9 (6.0%)
Faced with a tumoral nonpigmented skin lesion, you are more prone to:	refer the patient to a dermatologist.	104 (69.3%)
	ask for a dermatologist's opinion (through an email, a phone call or a text message for instance).	23 (15.3%)
	refer the patient to a surgeon for a surgical excision.	16 (10.7%)
	manage by yourself at first (follow-up, imaging, etc.).	7 (4.7%)
	perform a skin biopsy.	0 (0%)
"I find it difficult to quickly refer my patients to a dermatologist when I suspect a nonpigmented skin tumor" (n=149, missing=1)	Strongly agree	68 (45.3%)
	Agree	36 (24.0%)
	Neither agree nor disagree	21 (14.0%)
	Disagree	21 (14.0%)
	Strongly disagree	3 (2.0%)
Average delay between the consultation request and the dermatology consultation when a nonpigmented skin tumor is suspected WHEN THE PATIENT HAS TO BOOK HIMSELF THE DERMATOLOGY APPOINTMENT (n=149, missing=1)	Impossible to book an appointment	5 (3.3%)
	1 to 3 months	56 (37.3%)
	4 to 6 months	79 (52.7%)
	More than 6 months	9 (6.0%)
Average delay between the consultation request and the dermatology consultation when a nonpigmented skin tumor is suspected WHEN THE GP HAS TO BOOK THE APPOINTMENT (n=140, missing=10)	Less than a week	23 (15.3%)
	Less than 2 weeks	47 (31.3%)
	Less than a month	46 (30.7%)
	Less than 3 months	21 (14.0%)
	Less than 6 months	3 (2.0%)

**Table 3.** Interest in an AI software that could help diagnose nonpigmented skin tumors using a photograph taken during a medical consultation (n = 150 except where otherwise stated)

<b><i>“could be useful in a general practitioner’s office”</i></b>	Strongly agree	68 (45.3%)
	Agree	61 (40.7%)
	Neither agree nor disagree	13 (8.7%)
	Disagree	4 (2.7%)
	Strongly disagree	4 (2.7%)
<b><i>“could change my practices”</i></b> (n=149, missing=1)	Strongly agree	57 (38.0%)
	Agree	66 (44.0%)
	Neither agree nor disagree	17 (11.3%)
	Disagree	4 (2.7%)
	Strongly disagree	5 (3.3%)
<b>Preferred tool to take the photographs</b> (n=146, missing=4)	a smartphone	125 (83.3%)
	a dedicated device	21 (14.0%)
<b>Preferred kind of software</b> (n=146, missing=4)	a dedicated software on a computer.	8 (5.3%)
	a smartphone application.	35 (23.3%)
	an online software.	84 (56.0%)
	an option in an existing business software.	19 (12.7%)
<b>Willingness to pay for a software</b>	Yes	48 (32.0%)
	No	102 (68.0%)
<b><i>“should be directly available for patients”</i></b>	Strongly agree	8 (5.3%)
	Agree	20 (13.3%)
	Neither agree nor disagree	37 (24.7%)
	Disagree	55 (36.7%)
	Strongly disagree	30 (20.0%)

## 8. BIBLIOGRAPHIE

- (1) Machines who think. *Science*. 1991 Nov 29;254(5036):1291. doi:10.1126/science.254.5036.1291-a. PMID: 17773587.
- (2) Garcelon N, Neuraz A, Salomon R, Faour H, Benoit V, Delapalme A, Munnich A, Burgun A, Rance B. A clinician friendly data warehouse oriented toward narrative reports: Dr. Warehouse. *J Biomed Inform*. 2018 Apr;80:52-63. doi: 10.1016/j.jbi.2018.02.019. Epub 2018 Mar 1. PMID: 29501921.
- (3) Hogarty DT, Mackey DA, Hewitt AW. Current state and future prospects of artificial intelligence in ophthalmology: a review. *Clin Exp Ophthalmol*. 2019 Jan;47(1):128-139. doi: 10.1111/ceo.13381. Epub 2018 Sep 30. PMID: 30155978.
- (4) Hosny A, Parmar C, Quackenbush J, Schwartz LH, Aerts HJWL. Artificial intelligence in radiology. *Nat Rev Cancer*. 2018 Aug;18(8):500-510. doi: 10.1038/s41568-018-0016-5. PMID: 29777175; PMCID: PMC6268174.
- (5) Janowczyk A, Madabhushi A. Deep learning for digital pathology image analysis: A comprehensive tutorial with selected use cases. *J Pathol Inform*. 2016 Jul 26;7:29. doi: 10.4103/2153-3539.186902. PMID: 27563488; PMCID: PMC4977982.
- (6) Evans CR, Medina MG, Dwyer AM. Telemedicine and telerobotics: from science fiction to reality. *Updates Surg*. 2018 Sep;70(3):357-362. doi: 10.1007/s13304-018-0574-9. Epub 2018 Jul 28. PMID: 30056519.
- (7) Patel SJ, Chamberlain DB, Chamberlain JM. A Machine Learning Approach to Predicting Need for Hospitalization for Pediatric Asthma Exacerbation at the Time of Emergency Department Triage. *Acad Emerg Med*. 2018 Dec;25(12):1463-1470. doi: 10.1111/acem.13655. Epub 2018 Nov 29. PMID: 30382605.
- (8) Hogarty DT, Su JC, Phan K, Attia M, Hossny M, Nahavandi S, Lenane P, Moloney FJ, Yazdabadi A. Artificial Intelligence in Dermatology-Where We Are and the Way to the Future: A Review. *Am J Clin Dermatol*. 2020 Feb;21(1):41-47. doi: 10.1007/s40257-019-00462-6. PMID: 31278649.
- (9) Moore MM, Slonimsky E, Long AD, Sze RW, Iyer RS. Machine learning concepts, concerns and opportunities for a pediatric radiologist. *Pediatr Radiol*. 2019 Apr;49(4):509-516. doi: 10.1007/s00247-018-4277-7. Epub 2019 Mar 29. PMID: 30923883.
- (10) Lallas A, Argenziano G. Artificial intelligence and melanoma diagnosis: ignoring human nature may lead to false predictions. *Dermatol Pract Concept*. 2018 Oct 31;8(4):249-251. doi: 10.5826/dpc.0804a01. PMID: 30479851; PMCID: PMC6246056.
- (11) Abbott LM, Smith SD. Smartphone apps for skin cancer diagnosis: Implications for patients and practitioners. *Australas J Dermatol*. 2018 Aug;59(3):168-170. doi: 10.1111/ajd.12758. Epub 2018 Jan 2. PMID: 29292506.
- (12) Moura P, Fazendeiro P, Inácio PRM, Vieira-Marques P, Ferreira A. Assessing Access Control Risk for mHealth: A Delphi Study to Categorize Security of Health Data and Provide Risk Assessment for Mobile Apps. *J Healthc Eng*. 2020 Jan 17;2020:5601068. doi: 10.1155/2020/5601068. PMID: 32015795; PMCID: PMC6988678.

- (13) Akbar S, Coiera E, Magrabi F. Safety concerns with consumer-facing mobile health applications and their consequences: a scoping review. *J Am Med Inform Assoc.* 2020 Feb 1;27(2):330-340. doi: 10.1093/jamia/ocz175. PMID: 31599936; PMCID: PMC7025360.
- (14) Miller DD, Brown EW. Artificial Intelligence in Medical Practice: The Question to the Answer? *Am J Med.* 2018 Feb;131(2):129-133. doi: 10.1016/j.amjmed.2017.10.035. Epub 2017 Nov 7. PMID: 29126825.
- (15) Guo P, Luo Y, Mai G, Zhang M, Wang G, Zhao M, Gao L, Li F, Zhou F. Gene expression profile based classification models of psoriasis. *Genomics.* 2014 Jan;103(1):48-55. doi: 10.1016/j.ygeno.2013.11.001. Epub 2013 Nov 13. PMID: 24239985.
- (16) Shrivastava VK, Londhe ND, Sonawane RS, Suri JS. Exploring the color feature power for psoriasis risk stratification and classification: A data mining paradigm. *Comput Biol Med.* 2015 Oct 1;65:54-68. doi: 10.1016/j.compbimed.2015.07.021. Epub 2015 Aug 7. PMID: 26298486.
- (17) Shrivastava VK, Londhe ND, Sonawane RS, Suri JS. Computer-aided diagnosis of psoriasis skin images with HOS, texture and color features: A first comparative study of its kind. *Comput Methods Programs Biomed.* 2016 Apr;126:98-109. doi: 10.1016/j.cmpb.2015.11.013. Epub 2016 Jan 20. PMID: 26830378.
- (18) Shrivastava VK, Londhe ND, Sonawane RS, Suri JS. A novel and robust Bayesian approach for segmentation of psoriasis lesions and its risk stratification. *Comput Methods Programs Biomed.* 2017 Oct;150:9-22. doi: 10.1016/j.cmpb.2017.07.011. Epub 2017 Aug 3. PMID: 28859832.
- (19) Sharma DK, Hota HS. Data mining techniques for prediction of different categories of dermatology diseases. *Academy of Inform Mgmt Sci J.* 2013;16:103–15.
- (20) Verma AK, Pal S, Kumar S. Classification of Skin Disease using Ensemble Data Mining Techniques. *Asian Pac J Cancer Prev.* 2019 Jun 1;20(6):1887-1894. doi: 10.31557/APJCP.2019.20.6.1887. PMID: 31244314; PMCID: PMC7021628.
- (21) Gustafson E, Pacheco J, Wehbe F, Silverberg J, Thompson W. A Machine Learning Algorithm for Identifying Atopic Dermatitis in Adults from Electronic Health Records. *IEEE Int Conf Healthc Inform.* 2017 Aug;2017:83-90. doi: 10.1109/ICHI.2017.31. Epub 2017 Sep 14. PMID: 29104964; PMCID: PMC5664951.
- (22) Han SS, Park GH, Lim W, Kim MS, Na JI, Park I, Chang SE. Deep neural networks show an equivalent and often superior performance to dermatologists in onychomycosis diagnosis: Automatic construction of onychomycosis datasets by region-based convolutional deep neural network. *PLoS One.* 2018 Jan 19;13(1):e0191493. doi: 10.1371/journal.pone.0191493. PMID: 29352285; PMCID: PMC5774804.
- (23) Seité S, Khammari A, Benzaquen M, Moyal D, Dréno B. Development and accuracy of an artificial intelligence algorithm for acne grading from smartphone photographs. *Exp Dermatol.* 2019 Nov;28(11):1252-1257. doi: 10.1111/exd.14022. Epub 2019 Sep 9. PMID: 31446631; PMCID: PMC6972662.

- (24) Narla A, Kuprel B, Sarin K, Novoa R, Ko J. Automated Classification of Skin Lesions: From Pixels to Practice. *J Invest Dermatol*. 2018 Oct;138(10):2108-2110. doi: 10.1016/j.jid.2018.06.175. PMID: 30244720.
- (25) Stricker MA, Orengo M. Similarity of color images. In: Niblack W, Jain RC, éditeurs. San Jose, CA; 1995 [cité 4 mars 2020]. p. 381. Disponible sur : <http://proceedings.spiedigitallibrary.org/proceeding.aspx?doi=10.1117/12.205308>
- (26) Lambin P, Rios-Velazquez E, Leijenaar R, Carvalho S, van Stiphout RG, Granton P, Zegers CM, Gillies R, Boellard R, Dekker A, Aerts HJ. Radiomics: extracting more information from medical images using advanced feature analysis. *Eur J Cancer*. 2012 Mar;48(4):441-6. doi: 10.1016/j.ejca.2011.11.036. Epub 2012 Jan 16. PMID: 22257792; PMCID: PMC4533986.
- (27) Alcorn MA, Li Q, Gong Z, Wang C, Mai L, Ku W-S, et al. Strike (with) a Pose: Neural Networks Are Easily Fooled by Strange Poses of Familiar Objects. arXiv:181111553 [cs] [Internet]. 18 avr 2019 [cité 9 sept 2020]; Disponible sur: <http://arxiv.org/abs/1811.11553>
- (28) Fralick M, Colak E, Mamdani M. Machine Learning in Medicine. *N Engl J Med*. 2019 Jun 27;380(26):2588-2589. doi: 10.1056/NEJMc1906060. PMID: 31242380.
- (29) Azulay A, Weiss Y. Why do deep convolutional networks generalize so poorly to small image transformations? arXiv:180512177 [cs] [Internet]. 31 déc 2019 [cité 14 mars 2020]; Disponible sur : <http://arxiv.org/abs/1805.12177>
- (30) Rotemberg V, Halpern A, Dusza S, Codella NC. The role of public challenges and data sets towards algorithm development, trust, and use in clinical practice. *Semin Cutan Med Surg*. 2019 Mar 1;38(1):E38-E42. doi: 10.12788/j.sder.2019.013. PMID: 31051022.
- (31) Skin Cancer Foundation. Skin Cancer Facts & Statistics. [Internet]. 2020 [cité 4 mars 2020]. Disponible sur : <https://www.skincancer.org/skin-cancer-information/skin-cancer-facts/>
- (32) Stern RS. Prevalence of a history of skin cancer in 2007: results of an incidence-based model. *Arch Dermatol*. 2010 Mar;146(3):279-82. doi: 10.1001/archdermatol.2010.4. PMID: 20231498.
- (33) Institut National du Cancer (INCA). Epidémiologie des cancers cutanés. [Internet]. 2019 [cité 14 mars 2020]. Disponible sur : <https://www.e-cancer.fr/Professionnels-de-sante/Depistage-et-detection-precoce/Detection-precoce-des-cancers-de-la-peau/Epidemiologie>
- (34) Rogers HW, Weinstock MA, Feldman SR, Coldiron BM. Incidence Estimate of Nonmelanoma Skin Cancer (Keratinocyte Carcinomas) in the U.S. Population, 2012. *JAMA Dermatol*. 2015 Oct;151(10):1081-6. doi: 10.1001/jamadermatol.2015.1187. PMID: 25928283.
- (35) American Cancer Society. What are basal and squamous cell skin cancers? [Internet]. 2019 [cité 14 mars 2020]. Disponible sur : <https://www.cancer.org/cancer/basal-and-squamous-cell-skin-cancer/about/what-is-basal-and-squamous-cell.html>
- (36) Defossez G, Le Guyader-Peyrou S, Uhry Z, Grosclaude P, Colonna M, Dantony E, et al. Estimations nationales de l'incidence et de la mortalité par cancer en France métropolitaine entre 1990 et 2018. Volume 1 – Tumeurs solides. Saint-Maurice (France) : Santé publique France, 2019. 372 p. Disponible sur : <https://www.e->

cancer.fr/content/download/267189/3771998/file/Rapport\_Vol1\_Tumeurs\_Solides\_juillet\_2019.pdf

(37) Callens J, Van Eycken L, Henau K, Garmyn M. Epidemiology of basal and squamous cell carcinoma in Belgium: the need for a uniform and compulsory registration. *J Eur Acad Dermatol Venereol*. 2016 Nov;30(11):1912-1918. doi: 10.1111/jdv.13703. Epub 2016 Jun 3. PMID: 27256411.

(38) Agence Nationale d'Accréditation et Evaluation en Santé (ANAES). Prise en charge diagnostique et thérapeutique du carcinome basocellulaire de l'adulte [Recommendations for the diagnostic and therapeutic management of basal cell carcinoma in adults]. *Ann Pathol*. 2004 Oct;24(5):460-72. French. doi: 10.1016/s0242-6498(04)94008-4. PMID: 15738878.

(39) Guillot B, Dalac S, Denis MG, Dupuy A, Emile JF, De La Fouchardière A, Hindie E, Jouary T, Lassau N, Mirabel X, Piperno Neumann S, De Raucourt S, Vanwijck R. Actualisation des recommandations de prise en charge du mélanome stades I à III [Update to the recommendations for management of melanoma stages I to III]. *Ann Dermatol Venereol*. 2016 Oct;143(10):629-652. French. doi: 10.1016/j.annder.2016.07.001. Epub 2016 Aug 12. PMID: 27527567.

(40) Stratigos A, Garbe C, Lebbe C, Malvehy J, del Marmol V, Pehamberger H, Peris K, Becker JC, Zalaudek I, Saiag P, Middleton MR, Bastholt L, Testori A, Grob JJ; European Dermatology Forum (EDF); European Association of Dermato-Oncology (EADO); European Organization for Research and Treatment of Cancer (EORTC). Diagnosis and treatment of invasive squamous cell carcinoma of the skin: European consensus-based interdisciplinary guideline. *Eur J Cancer*. 2015 Sep;51(14):1989-2007. doi: 10.1016/j.ejca.2015.06.110. Epub 2015 Jul 25. PMID: 26219687.

(41) Peris K, Fagnoli MC, Garbe C, Kaufmann R, Bastholt L, Seguin NB, Bataille V, Marmol VD, Dummer R, Harwood CA, Hauschild A, Höller C, Haedersdal M, Malvehy J, Middleton MR, Morton CA, Nagore E, Stratigos AJ, Szeimies RM, Tagliaferri L, Trakatelli M, Zalaudek I, Eggermont A, Grob JJ; European Dermatology Forum (EDF), the European Association of Dermato-Oncology (EADO) and the European Organization for Research and Treatment of Cancer (EORTC). Diagnosis and treatment of basal cell carcinoma: European consensus-based interdisciplinary guidelines. *Eur J Cancer*. 2019 Sep;118:10-34. doi: 10.1016/j.ejca.2019.06.003. Epub 2019 Jul 6. PMID: 31288208.

(42) Hajdarevic S, Hörnsten A, Sundbom E, Isaksson U, Schmitt-Egenolf M. Health-care delay in malignant melanoma: various pathways to diagnosis and treatment. *Dermatol Res Pract*. 2014;2014:294287. doi: 10.1155/2014/294287. Epub 2014 Jan 5. PMID: 24516469; PMCID: PMC3913342.

(43) Alam M, Goldberg LH, Silapunt S, Gardner ES, Strom SS, Rademaker AW, Margolis DJ. Delayed treatment and continued growth of nonmelanoma skin cancer. *J Am Acad Dermatol*. 2011 May;64(5):839-48. doi: 10.1016/j.jaad.2010.06.028. Epub 2010 Nov 5. PMID: 21055843.

(44) Garbe C, Amaral T, Peris K, Hauschild A, Arenberger P, Bastholt L, Bataille V, Del Marmol V, Dréno B, Fagnoli MC, Grob JJ, Höller C, Kaufmann R, Lallas A, Lebbé C, Malvehy J, Middleton M, Moreno-Ramirez D, Pellacani G, Saiag P, Stratigos AJ, Vieira R, Zalaudek I, Eggermont AMM; European Dermatology Forum (EDF), the European Association of Dermato-Oncology (EADO), and the European Organization for Research and Treatment of Cancer (EORTC). European consensus-based interdisciplinary guideline for melanoma. Part 2:

Treatment - Update 2019. *Eur J Cancer*. 2020 Feb;126:159-177. doi: 10.1016/j.ejca.2019.11.015. Epub 2019 Dec 19. PMID: 31866016.

(45) Conic RZ, Cabrera CI, Khorana AA, Gastman BR. Determination of the impact of melanoma surgical timing on survival using the National Cancer Database. *J Am Acad Dermatol*. 2018 Jan;78(1):40-46.e7. doi: 10.1016/j.jaad.2017.08.039. Epub 2017 Oct 17. PMID: 29054718; PMCID: PMC6053055.

(46) Marsden JR, Newton-Bishop JA, Burrows L, Cook M, Corrie PG, Cox NH, Gore ME, Lorigan P, Mackie R, Nathan P, Peach H, Powell B, Walker C; British Association of Dermatologists (BAD) Clinical Standards Unit. Revised UK guidelines for the management of cutaneous melanoma 2010. *J Plast Reconstr Aesthet Surg*. 2010 Sep;63(9):1401-19. doi: 10.1016/j.bjps.2010.07.006. Epub 2010 Aug 21. PMID: 20728418.

(47) Diehl J, Choi YM, Liang LJ, Chiu M. Association Between Mohs Surgery Wait Times and Surgical Defect Size in Patients With Squamous Cell or Basal Cell Carcinoma of the Skin. *Dermatol Surg*. 2015 Jul;41(7):768-74. doi: 10.1097/DSS.0000000000000378. PMID: 26050214.

(48) Großbritannien, éditeur. The new NHS: modern, dependable ; presented to Parliament by the Secretary of State for Health by Command of Her Majesty. Dec. 1997. London: The Stationery Office Ltd; 1997. 86 p. Disponible sur : [https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/266003/newnhs.pdf](https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/266003/newnhs.pdf)

(49) Gordon PM, Cox NH, Paterson WD, Lawrence CM. Basal cell carcinoma: are early appointments justifiable? *Br J Dermatol*. 2000 Mar;142(3):446-8. doi: 10.1046/j.1365-2133.2000.03354.x. PMID: 10735948.

(50) Kirkup ME, De Berker DA. Clinical measurement of dimensions of basal cell carcinoma: effect of waiting for elective surgery. *Br J Dermatol*. 1999 Nov;141(5):876-9. doi: 10.1046/j.1365-2133.1999.03111.x. PMID: 10583170.

(51) Cascinelli N, Ferrario M, Bufalino R, Zurrida S, Galimberti V, Mascheroni L, et al. Results obtained by using a computerized image analysis system designed as an aid to diagnosis of cutaneous melanoma. *Melanoma research*. sept 1992;2(3):163—170. doi:10.1097/00008390-199209000-00004

(52) Shao S, Grams RR. A proposed computer diagnostic system for malignant melanoma (CDSMM). *J Med Syst*. 1994 Apr;18(2):85-96. doi: 10.1007/BF00999454. PMID: 7964215.

(53) Petrie T, Samatham R, Witkowski AM, Esteva A, Leachman SA. Melanoma Early Detection: Big Data, Bigger Picture. *J Invest Dermatol*. 2019 Jan;139(1):25-30. doi: 10.1016/j.jid.2018.06.187. Epub 2018 Oct 25. PMID: 30482597; PMCID: PMC6685706.

(54) Oh A, Tran DM, McDowell LC, Keyvani D, Barcelon JA, Merino O, Wilson L. Cost-Effectiveness of Nivolumab-Ipilimumab Combination Therapy Compared with Monotherapy for First-Line Treatment of Metastatic Melanoma in the United States. *J Manag Care Spec Pharm*. 2017 Jun;23(6):653-664. doi: 10.18553/jmcp.2017.23.6.653. PMID: 28530525; PMCID: PMC5960988.

- (55) Esteva A, Kuprel B, Novoa RA, Ko J, Swetter SM, Blau HM, Thrun S. Dermatologist-level classification of skin cancer with deep neural networks. *Nature*. 2017 Feb 2;542(7639):115-118. doi: 10.1038/nature21056. Epub 2017 Jan 25. Erratum in: *Nature*. 2017 Jun 28;546(7660):686. PMID: 28117445.
- (56) Fujisawa Y, Otomo Y, Ogata Y, Nakamura Y, Fujita R, Ishitsuka Y, Watanabe R, Okiyama N, Ohara K, Fujimoto M. Deep-learning-based, computer-aided classifier developed with a small dataset of clinical images surpasses board-certified dermatologists in skin tumour diagnosis. *Br J Dermatol*. 2019 Feb;180(2):373-381. doi: 10.1111/bjd.16924. Epub 2018 Sep 19. PMID: 29953582.
- (57) Han SS, Kim MS, Lim W, Park GH, Park I, Chang SE. Classification of the Clinical Images for Benign and Malignant Cutaneous Tumors Using a Deep Learning Algorithm. *J Invest Dermatol*. 2018 Jul;138(7):1529-1538. doi: 10.1016/j.jid.2018.01.028. Epub 2018 Feb 8. PMID: 29428356.
- (58) Navarrete-Dechent C, Dusza SW, Liopyris K, Marghoob AA, Halpern AC, Marchetti MA. Automated Dermatological Diagnosis: Hype or Reality? *J Invest Dermatol*. 2018 Oct;138(10):2277-2279. doi: 10.1016/j.jid.2018.04.040. Epub 2018 Jun 1. PMID: 29864435.
- (59) Haenssle HA, Fink C, Toberer F, Winkler J, Stolz W, Deinlein T, Hofmann-Wellenhof R, Lallas A, Emmert S, Buhl T, Zutt M, Blum A, Abassi MS, Thomas L, Tromme I, Tschandl P, Enk A, Rosenberger A; Reader Study Level I and Level II Groups. Man against machine reloaded: performance of a market-approved convolutional neural network in classifying a broad spectrum of skin lesions in comparison with 96 dermatologists working under less artificial conditions. *Ann Oncol*. 2020 Jan;31(1):137-143. doi: 10.1016/j.annonc.2019.10.013. PMID: 31912788.
- (60) Narla A, Kuprel B, Sarin K, Novoa R, Ko J. Automated Classification of Skin Lesions: From Pixels to Practice. *J Invest Dermatol*. 2018 Oct;138(10):2108-2110. doi: 10.1016/j.jid.2018.06.175. PMID: 30244720.
- (61) Flaten HK, St Claire C, Schlager E, Dunnick CA, Dellavalle RP. Growth of mobile applications in dermatology - 2017 update. *Dermatol Online J*. 2018 Feb 15;24(2):13030/qt3hs7n9z6. PMID: 29630159.
- (62) Freeman K, Dinnes J, Chuchu N, Takwoingi Y, Bayliss SE, Matin RN, Jain A, Walter FM, Williams HC, Deeks JJ. Algorithm based smartphone apps to assess risk of skin cancer in adults: systematic review of diagnostic accuracy studies. *BMJ*. 2020 Feb 10;368:m127. doi: 10.1136/bmj.m127. Erratum in: *BMJ*. 2020 Feb 25;368:m645. PMID: 32041693; PMCID: PMC7190019.
- (63) Thissen M, Udrea A, Hacking M, von Braunmuehl T, Ruzicka T. mHealth App for Risk Assessment of Pigmented and Nonpigmented Skin Lesions-A Study on Sensitivity and Specificity in Detecting Malignancy. *Telemed J E Health*. 2017 Dec;23(12):948-954. doi: 10.1089/tmj.2016.0259. Epub 2017 May 31. PMID: 28562195.
- (64) Chung Y, van der Sande AAJ, de Roos KP, Bekkenk MW, de Haas ERM, Kelleners-Smeets NWJ, Kukutsch NA. Poor agreement between the automated risk assessment of a

smartphone application for skin cancer detection and the rating by dermatologists. *J Eur Acad Dermatol Venereol*. 2020 Feb;34(2):274-278. doi: 10.1111/jdv.15873. Epub 2019 Sep 12. PMID: 31423673; PMCID: PMC7027514.

(65) Rat C, Hild S, Rault Sérandour J, Gaultier A, Quereux G, Dreno B, Nguyen JM. Use of Smartphones for Early Detection of Melanoma: Systematic Review. *J Med Internet Res*. 2018 Apr 13;20(4):e135. doi: 10.2196/jmir.9392. PMID: 29653918; PMCID: PMC5923035.

(66) Steeb T, Wessely A, Mastnik S, Brinker TJ, French LE, Niesert AC, Berking C, Heppt MV. Patient Attitudes and Their Awareness Towards Skin Cancer-Related Apps: Cross-Sectional Survey. *JMIR Mhealth Uhealth*. 2019 Jul 2;7(7):e13844. doi: 10.2196/13844. PMID: 31267978; PMCID: PMC6632106.

(67) Nelson CA, Pérez-Chada LM, Creadore A, Li SJ, Lo K, Manjaly P, Pournamdari AB, Tkachenko E, Barbieri JS, Ko JM, Menon AV, Hartman RI, Mostaghimi A. Patient Perspectives on the Use of Artificial Intelligence for Skin Cancer Screening: A Qualitative Study. *JAMA Dermatol*. 2020 Mar 11;156(5):1–12. doi: 10.1001/jamadermatol.2019.5014. Epub ahead of print. PMID: 32159733; PMCID: PMC7066525.

(68) Cribier B. Cancers cutanés : bientôt plus besoin du dermatologue ? [Skin cancers: Soon outside the province of the dermatologist?]. *Ann Dermatol Venereol*. 2017 Mar;144(3):167-168. French. doi: 10.1016/j.annder.2017.02.002. PMID: 28285681.

(69) Lallas A, Argenziano G. Artificial intelligence and melanoma diagnosis: ignoring human nature may lead to false predictions. *Dermatol Pract Concept*. 2018 Oct 31;8(4):249-251. doi: 10.5826/dpc.0804a01. PMID: 30479851; PMCID: PMC6246056.

(70) Mattessich S, Tassavor M, Swetter SM, Grant-Kels JM. How I learned to stop worrying and love machine learning. *Clin Dermatol*. 2018 Nov-Dec;36(6):777-778. doi: 10.1016/j.clindermatol.2018.06.003. Epub 2018 Jun 8. PMID: 30446202.

(71) Zakhem GA, Motosko CC, Ho RS. How Should Artificial Intelligence Screen for Skin Cancer and Deliver Diagnostic Predictions to Patients? *JAMA Dermatol*. 2018 Dec 1;154(12):1383-1384. doi: 10.1001/jamadermatol.2018.2714. PMID: 30140854.

(72) Rat C, Houd S, Gaultier A, Grimault C, Quereux G, Mercier A, et al. General practitioner management related to skin cancer prevention and screening during standard medical encounters: a French cross-sectional study based on the International Classification of Primary Care. *BMJ Open*. 1 janv 2017;7(1):e013033.

(73) Millien C, Chaput H, Cavillon M. Direction de la recherche, des études, de l'évaluation et des statistiques (DREES). La moitié des rendez-vous sont obtenus en 2 jours chez le généraliste, en 52 jours chez l'ophtalmologiste. Etudes et résultats. N°1085 - octobre 2018. Disponible sur : [https://www.ars.sante.fr/system/files/2018-10/2018-10-10-DREES\\_delai-RV-PS.pdf](https://www.ars.sante.fr/system/files/2018-10/2018-10-10-DREES_delai-RV-PS.pdf)

(74) Rat C, Quereux G, Monegier du Sorbier M, Gaultier A, Bonnaud-Antignac A, Khammari A, Dreno B, Nguyen JM. Patients at elevated risk of melanoma: individual predictors of non-compliance to GP referral for a dermatologist consultation. *Prev Med*. 2014 Jul;64:48-53. doi: 10.1016/j.ypmed.2014.03.029. Epub 2014 Apr 12. PMID: 24726740.

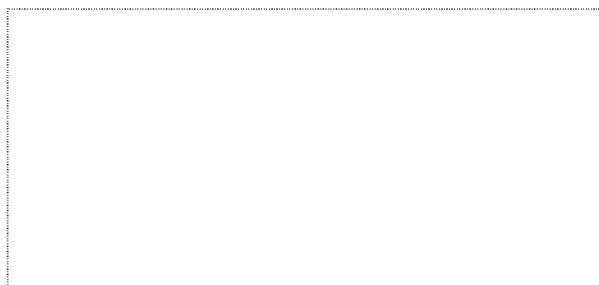
(75) Direction de la recherche, des études, de l'évaluation et des statistiques (DREES). DENSITÉ DE MÉDECINS par spécialité, modes d'exercice regroupés et zone d'inscription.

[Internet]. 2018 [cité 14 mars 2020]. Disponible sur : <http://www.data.drees.sante.gouv.fr/TableViewer/tableView.aspx?ReportId=3795>

(76) Attal-Toubert K, Vanderschelden M. Direction de la recherche, des études, de l'évaluation et des statistiques (DREES). La démographie médicale à l'horizon 2030 : de nouvelles projections nationales et régionales. Etudes et résultats. N°679 - févr 2009. Disponible sur : <https://drees.solidarites-sante.gouv.fr/IMG/pdf/er679.pdf>

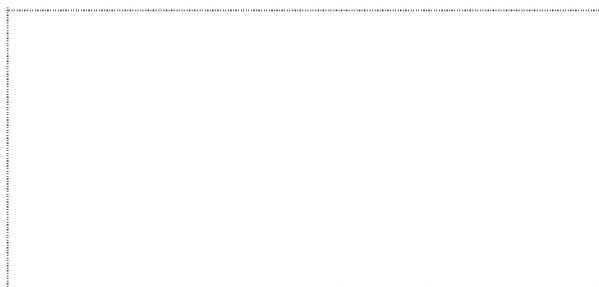
(77) Safran T, Vitez-Mathieu A, Corban J, Kanevsky A, Thibaudeau S, Kanevsky J. Machine learning and melanoma: The future of screening. *J Am Acad Dermatol*. 2018 Mar;78(3):620-621. doi: 10.1016/j.jaad.2017.09.055. Epub 2017 Oct 6. PMID: 28989109.

**Vu, le Président du Jury,**



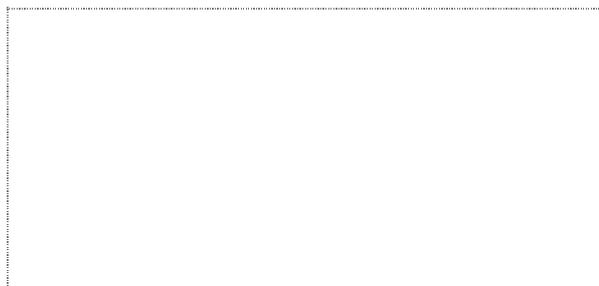
Professeur Brigitte DRENO

**Vu, le Directeur de Thèse,**



Professeur Brigitte DRENO

**Vu, le Doyen de la Faculté,**



Professeur Pascale JOLLIET

**Titre de Thèse :** Étude d'intérêt en médecine générale d'une application d'aide au diagnostic des tumeurs cutanées non pigmentées via un outil utilisant l'intelligence artificielle.

---

## RÉSUMÉ

Les recherches dans le domaine scientifique de l'intelligence artificielle (IA) ont augmenté exponentiellement lors des trente dernières années. En dermatologie l'IA pourrait être utilisée pour aider au diagnostic en analysant des données visuelles.

Les cancers cutanés non pigmentés sont les plus fréquents et leur diagnostic est difficile cliniquement. Non traités, ces cancers peuvent altérer fortement la qualité de vie des patients. Les médecins généralistes sont au cœur de la prise en charge dans notre système de santé et jouent un rôle clé dans le dépistage des cancers cutanés.

L'objectif de ce travail de thèse est de savoir si les médecins généralistes ont en pratique des difficultés à diagnostiquer ces lésions, à adresser ensuite leurs patients à des dermatologues et si un outil d'aide au diagnostic des tumeurs cutanées non pigmentées leur semble d'intérêt dans leur pratique quotidienne.

Cette étude montre que les médecins généralistes confirment la difficulté en pratique du diagnostic des tumeurs cutanées non pigmentées et seraient intéressés par un outil utilisant l'IA pour cette tâche. Étant donné les difficultés d'adressage auprès des dermatologues, des outils d'IA aidant aux diagnostics devraient être développés afin d'aider les praticiens en première ligne dans la prise en charge des patients.

---

## MOTS-CLÉS

onco-dermatologie - médecine générale - intelligence artificielle