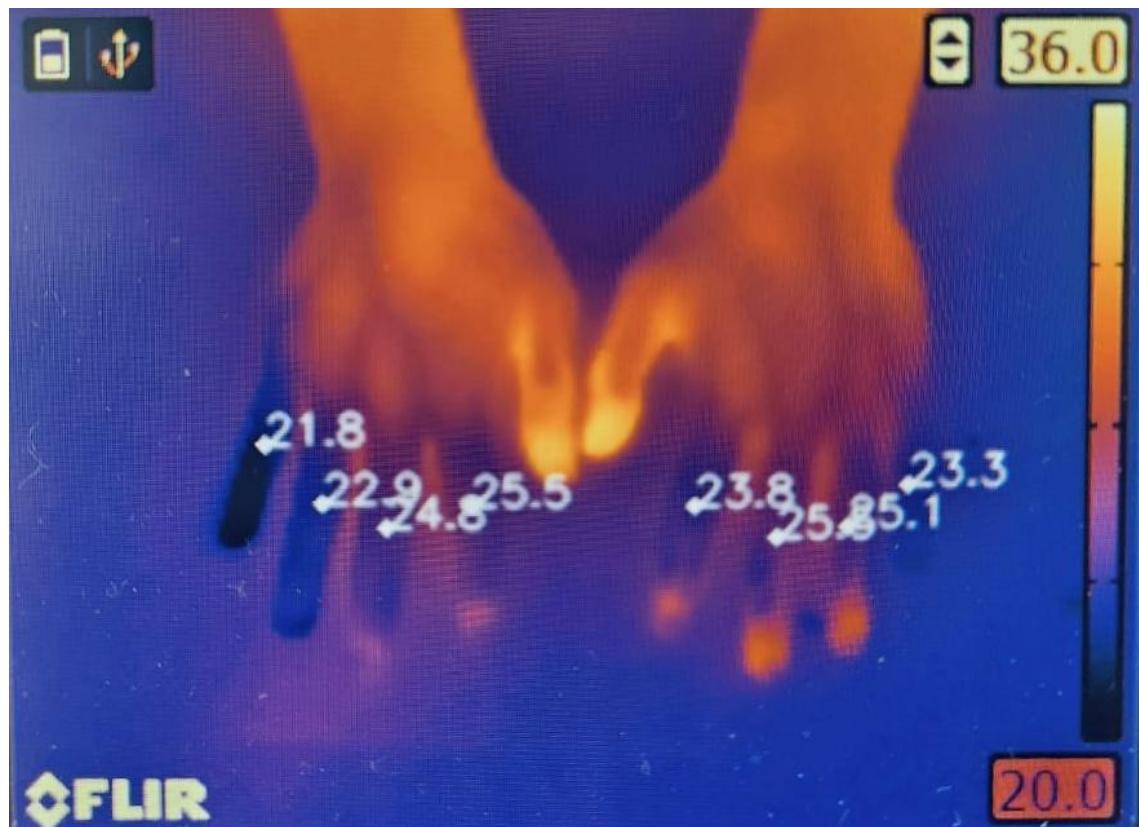


Rapport du projet IMAGINE

Détection du syndrome de Raynaud par thermographie infrarouge



Cadré par :
SEVEYRAT Laurence
LEBRUN Laurent

Réalisé par :
CHEMINET Hugo
CHEBBI Ines
DAO Thi Trang Ngan
TRAN Bao Anh
RAMADAN Tarik

Remerciements

A l'issue de ce projet, nous aimerions dans un premier temps remercier nos tuteurs qui nous ont permis de réaliser ce projet dans les meilleures conditions possibles. Nous remercions plus spécifiquement Laurence SEVEYRAT qui a fait preuve de bienveillance et d'une grande pédagogie à notre égard ainsi que Laurent LEBRUN avec qui nous avons pu longuement échanger.

Nous tenons également à adresser nos remerciements aux techniciens du département Génie Electrique (GE) pour leur disponibilité et leur confiance. De même, nous saluons le travail de l'ensemble du corps enseignant pour les cours qui nous ont été dispensés et nous ont permis de comprendre les bases de ce vaste domaine que constitue l'imagerie.

Enfin, nous adressons nos remerciements à l'ensemble du groupe 284 et aux autres personnes qui ont accepté de participer à notre projet en tant que patient. Plus généralement, nous remercions l'INSA Lyon pour nous avoir permis d'appréhender le métier d'ingénieur dès la deuxième année au travers de ce projet.

Table des figures

Figure 1 - Positionnement des mains.....	7
Figure 2 - Positionnement de la caméra	7
Figure 3 - Documentation de la bibliothèque MediaPipe.....	9
Figure 4 - Traitements des données issues de l'acquisition	10
Figure 5 - Photographie avant l'étalonnage	11
Figure 6 - Photographie après l'étalonnage	11
Figure 7 - Résultat d'une personne saine	13
Figure 8 - Résultat d'une personne susceptible d'être atteinte	13

Table des annexes

Annexe 1 - Code du fichier connect_camera.py.....	A
Annexe 2 - Code du fichier get_coordinates.py	B
Annexe 3 - Code du fichier check_coordinates.py.....	C
Annexe 4 - Code du fichier traitement_donnee.py.....	E
Annexe 5 - Code du fichier app.py.....	F
Annexe 6 - Article SHS de Hugo CHEMINET	H
Annexe 7 - Article SHS de Ines CHEBBI	K
Annexe 8 - Article SHS Thi Trang Ngan DAO	M
Annexe 9 - Article SHS Bao Anh TRAN	O
Annexe 10 - Article SHS de Tarik RAMADAN	R

Sommaire

I. Introduction	1
II. Le syndrome de Raynaud et la thermographie infrarouge.....	2
A. Définition du syndrome de Raynaud	2
B. Etat de l'art des modalités existantes	3
C. Principe de fonctionnement de la thermographie infrarouge.....	4
III. Acquisitions	7
A. Méthodologie	7
B. Paramètres.....	7
C. Acquisition.....	7
D. Algorithmes principaux	8
IV. Traitement des données.....	10
A. Les différents types de données	10
B. Etapes effectuées.....	10
C. Visualisation des données	12
V. Aspect DDRS	14
VI. Bibliographie	15
VII. Annexes.....	A

I. Introduction

Notre sujet porte sur le diagnostic du syndrome de Raynaud, une forme qui se caractérise par une mauvaise circulation du sang aux extrémités, notamment au niveau des doigts et plus rarement des orteils. Nous nous pencherons également sur les différences qui existent entre le syndrome et la maladie de Raynaud afin de clarifier les distinctions essentielles entre ces deux termes bien trop souvent confondus. Le syndrome de Raynaud se manifeste par des épisodes de vasoconstriction intense des artéries digitales, provoquant des changements de couleur des doigts et des sensations de froid et de douleur.

Quant au diagnostic, après de longues recherches et une analyse approfondie des méthodes disponibles, nous avons opté pour l'utilisation de la thermographie infrarouge. Cette technique, qui utilise une caméra thermique pour détecter les variations de température sur la surface de la peau, est de plus en plus employée dans le domaine médical. La thermographie infrarouge permet de mesurer précisément la température des tissus cutanés révélant ainsi les variations de circulation sanguine et d'activité métabolique sous-jacente [1]. Depuis la pandémie de Covid-19, l'utilisation des capteurs infrarouges a considérablement augmenté pour surveiller la température corporelle dans les espaces publics tels que les supermarchés, les aéroports et les entreprises, en raison de leur capacité à fournir des mesures précises et instantanées.

Aussi, nous discuterons en détail de l'efficacité de la caméra infrarouge dans le diagnostic du syndrome de Raynaud ainsi que de la robustesse de nos calculs et de nos analyses de données. La précision de la thermographie infrarouge dans la détection des variations de température cutanée permet une identification rapide et fiable des zones affectées par le syndrome, facilitant ainsi le diagnostic et le suivi des patients. Nous élaborerons un protocole expérimental rigoureux pour collecter les données nécessaires et les analyser à l'aide d'un algorithme python. Notre objectif principal est de maximiser l'automatisation du processus de diagnostic afin de rendre la méthode plus fiable et reproductible possible.

En outre, nous souhaitons intégrer une perspective sur le Développement Durable et la Responsabilité Sociétale (DDRS) dans notre approche. En adoptant des pratiques respectueuses de l'environnement et socialement responsables, nous visons à garantir la durabilité à long terme de nos méthodes de diagnostic. Cela inclut l'utilisation de technologies et de processus qui minimisent l'impact environnemental, tout en assurant une accessibilité et une équité accrues dans les soins de santé. Notre engagement envers des pratiques durables et éthiques démontre notre volonté de contribuer positivement à la société, tout en innovant dans le domaine médical pour améliorer la qualité et l'efficacité des diagnostics.

II. Le syndrome de Raynaud et la thermographie infrarouge

A. Définition du syndrome de Raynaud

Depuis sa découverte en 1862 par le médecin français Maurice Raynaud, le syndrome de Raynaud n'a cessé d'être étudié par les chercheurs et les médecins du monde entier. Bien qu'il soit souvent considéré comme un trouble bénin, ses manifestations peuvent être source d'une grande gêne et d'inconfort pour ceux qui en souffrent. Le syndrome de Raynaud se caractérise par des épisodes récurrents de vasospasmes au niveau des extrémités entraînant une gêne réversible et des modifications de couleurs des téguments [2]. Autrement dit, suite à une exposition au froid ou à un stress émotionnel, les doigts et les orteils deviennent d'abord blancs et froids en raison du manque de circulation sanguine (pâleur), puis bleus lorsque le sang est privé d'oxygène (cyanose) et enfin rouges lorsque le flux sanguin revient (érythème), causant souvent des douleurs ou des sensations de picotement. En effet, ces épisodes provoquent une constriction excessive des vaisseaux sanguins ce qui a pour conséquence de réduire le débit des vaisseaux sanguins.

Pour bien comprendre le syndrome de Raynaud, il est essentiel de distinguer ses deux principales formes : le phénomène de Raynaud et la maladie de Raynaud. Le syndrome de Raynaud, appelée primary Raynaud's Phenomenon (pRP) en anglais, est une forme idiopathique qui survient sans cause sous-jacente identifiable. Ainsi, elle ne résulte pas de la complication d'une autre maladie. Cette forme, qui représente près de 80% des cas [2], est souvent plus bénigne et affecte principalement les jeunes femmes. La maladie de Raynaud, ou secondary Raynaud's Phenomenon (sRP), est associée à d'autres conditions médicales sous-jacentes telles que les maladies auto-immunes, les troubles du tissu conjonctif ou l'exposition à des substances chimiques. Ainsi, cette forme émane de la complication d'une maladie telle que la sclérodermie systémique ce qui peut induire des complications graves comme la déformation des doigts, des ulcères douloureux ou de la nécrose. L'identification de ces formes est donc d'une importance cruciale pour les patients atteints de sRP.

Pour soulager les douleurs et remédier partiellement à ces formes de Raynaud, il convient d'identifier les déclencheurs. Parmi ceux-ci, on peut citer le froid et le stress émotionnel mais aussi d'autres facteurs comme le tabagisme, la prise de certains médicaments (par exemple, les bêta-bloquants) [2] et l'exposition à des vibrations répétées. Une fois identifié, le médecin tentera de les éliminer du quotidien du patient. Si toutefois cela ne suffit pas, un traitement médicamenteux pourra être envisagé. En effet, le médecin peut prescrire des inhibiteurs calciques vasodilatateurs comme la nifédipine (traitement par voie orale) pour le syndrome afin d'améliorer la circulation sanguine en dilatant les vaisseaux. Néanmoins pour la maladie, le médecin se concentrera davantage sur le traitement de la maladie sous-jacente pour limiter les épisodes de vasospasmes.

Ainsi pour résumer, le syndrome de Raynaud est un trouble vasculaire caractérisé par des épisodes de vasospasmes aux extrémités, provoquant des changements de couleur de la peau, souvent douloureux, et pouvant être déclenchés par divers facteurs comme le froid ou le stress émotionnel par exemple. Plus précisément, on estime que 3 à 12 % des hommes et 6 à 20 % des femmes souffrent du phénomène de Raynaud [3] sous l'une de ses deux formes. De fait, le syndrome représente environ 80 % des cas et commence généralement entre 15 et 30 ans alors que la maladie peut apparaître à tout âge. Maintenant que nous appréhendons un peu mieux le syndrome de Raynaud, on peut se demander comment est-il possible de le diagnostiquer ? Quelle est la modalité la plus adéquate tant point de vue clinique que d'un point de vue économique ? C'est précisément ce que nous allons voir en réalisant un état de l'art.

B. Etat de l'art des modalités existantes

Pour diagnostiquer les deux formes de Raynaud, deux manipulations simples peuvent être réalisées par le médecin traitant sans matériel spécifique : la manœuvre d'Allen et la manœuvre de Chandelier. Dans la première, le médecin compresse les artères du bras du patient en lui demandant de fermer plusieurs fois la main, rendant la main pâle et décolorée. La levée de la compression montre une recoloration rapide de la main chez un patient sain, mais une recoloration retardée et non uniforme indique une maladie de Raynaud. Dans la seconde manœuvre, le patient lève ses bras à la verticale, ouvre et ferme les poings de façon répétée. Le test est positif si les symptômes apparaissent dans la première minute. Cependant, ces tests ne permettent que d'intuiter le syndrome de Raynaud et nécessitent des tests complémentaires pour un diagnostic définitif.

La technique la plus couramment utilisée pour diagnostiquer les formes de Raynaud est l'écho Doppler, qui analyse le débit sanguin des artères des membres supérieurs. Cette méthode utilise des ultrasons pour détecter des problèmes cardiaques ou vasculaires en analysant la vitesse du flux sanguin. Elle permet de détecter un rétrécissement anormal des capillaires dans les doigts (petits vaisseaux). L'opérateur envoie des ondes sonores à travers une sonde appliquée sur le patient et les ondes réfléchies par les cellules sanguines en mouvement sont converties en image ou en graphique. Cette méthode est simple, rapide et non-invasive mais elle est coûteuse et contraignante puisqu'elle nécessite que le patient soit à jeun et qu'il n'est pas fumé avant l'examen. En somme, bien qu'il soit plutôt simple et précis (80% de précision), l'écho Doppler reste une méthode coûteuse puisqu'un scanner peut coûter plusieurs dizaines de milliers d'euros, ce qui limite inévitablement son accès dans des zones défavorisées [4].

Une autre méthode qui existe est celle de la mesure de la tension artérielle systolique, qui consiste à gonfler un brassard autour du bras du patient pour bloquer la circulation artérielle, puis à diminuer progressivement la pression pour mesurer la pression systolique et diastolique. Cependant, cette méthode est moins précise (environ

55 %), plus inconfortable pour le patient et les équipements peuvent être obsolètes selon les appareils [5]. Compte tenu des inconvénients mentionnés, il est raisonnable d'écartier cette méthode au profit d'autres techniques plus précises.

Aussi, la tomographie par cohérence optique (TCO) est une méthode moins conventionnelle utilisant la lumière pour capturer des images par coupes transversales des tissus internes. En dilatant les pupilles du patient, la machine analyse les tissus oculaires et visualise les vaisseaux sanguins rétiniens. Cette méthode est indolore et précise (95 %) [6], mais elle reste spécifique et peu utilisée quotidiennement. Elle est particulièrement utile pour diagnostiquer le syndrome de Raynaud dans sa forme secondaire, notamment en cas de suspicion de sclérodermie systémique, tout comme la capillaroscopie [7]. Compte tenu de leur caractère différentiel, ces deux modalités (TCO et capillaroscopie) ont été écartées car nous souhaitons proposer un outil de détection permettant de se concentrer sur le syndrome de Raynaud et non sur sa forme secondaire.

Pour finir, la dernière modalité que nous avons explorée pour notre projet est la thermographie infrarouge. Celle-ci a retenu notre attention pour plusieurs raisons. Tout d'abord, la thermographie est un moyen accessible financièrement et facilement transportable. Contrairement à d'autres équipements de diagnostic, qui peuvent être coûteux et volumineux, une caméra infrarouge est relativement abordable et peut être utilisée dans divers environnements, y compris des cliniques rurales ou des cabinets médicaux modestes. De plus, la précision des résultats obtenus avec la thermographie infrarouge est d'environ 80%, ce qui en fait une méthode fiable pour le dépistage du syndrome de Raynaud [5]. Ensuite, cette méthode est relativement rapide (environ 20 minutes), indolore et non-invasive pour le patient. Enfin, comme nous souhaitons obtenir un outil de diagnostic préventif, la thermographie infrarouge s'est imposée naturellement. Effectivement, la caméra permet de détecter les signes précoces du syndrome de Raynaud avant que les symptômes ne deviennent trop sévères et douloureux. Du fait des éléments énoncés ci-dessus, nous avons sélectionné cette modalité pour notre projet, qui plus est parce qu'elle était disponible en salle LABEX. Maintenant que nous avons identifié notre modalité d'acquisition, il nous reste à comprendre son fonctionnement.

C. Principe de fonctionnement de la thermographie infrarouge

La caméra thermique se concentre sur le rayonnement infrarouge, qui correspond à une forme d'énergie électromagnétique émise par les objets en raison de leur température. Ce rayonnement a une plage de longueurs d'onde spécifique, située entre 700 nm et 1 mm. Dans cette bande spectrale, on distingue plusieurs catégories d'infrarouge : le proche infrarouge (0,75-1,6 μm), l'infrarouge moyen (1,6-4 μm), l'infrarouge thermique (4-15 μm) et l'infrarouge lointain (15-100 μm). Chaque domaine à son utilité, par exemple les sections de l'infrarouge proche et moyen sont utilisées pour la mesure des variations de réflectance alors que l'infrarouge thermique permet de

mesurer le flux thermique en provenance d'un objet. Dans notre cas, c'est précisément ce domaine qui nous intéressera. En effet, en mesurant le flux thermique des phalanges, nous serons en capacité de déterminer si le patient est atteint du syndrome de Raynaud ou non. Pour cela, nous allons devoir comprendre la théorie sur laquelle repose notre expérience.

Tout d'abord, on sait grâce à Max Planck qu'un corps noir est un objet qui absorbe tout le rayonnement qu'il reçoit. Bien qu'il soit purement théorique, cet objet nous permet de mieux appréhender la physique inhérente à ces interactions. De fait, nous savons d'après la loi de Planck que le rayonnement émis par un corps noir est relié à sa température par la loi suivante [8] :

$$W_{\lambda_b} = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5(e^{hc/\lambda kT} - 1)} \times 10^{-6} \quad (1)$$

avec : W_{λ_b} : l'existance énergétique spectrale du corps noir à la longueur d'onde λ

λ : la longueur d'onde (μm)

T : la température du corps noir (K)

c : la vitesse de la lumière ($3,0 \times 10^8 m.s^{-1}$)

h : la constante de Planck ($6,6 \times 10^{-34} J$)

k : la constante de Boltzmann ($1,4 \times 10^{-23} J$)

Si on intègre la formule de Planck de $\lambda = 0$ à $\lambda = \infty$, on obtient alors la loi de Stefan Boltzmann pour un corps noir. Cependant, nous voulons accéder à la température d'un corps même si ce n'est pas un corps noir, il nous faut donc définir la notion d'émissivité, autrement dit le rapport du flux de l'objet par rapport à un corps noir [8] :

$$M = \rho \varepsilon T^4 \quad (2) \text{ et } \varepsilon = \frac{W_{obj}}{W_{corps noir}} \quad (3)$$

avec : M : l'émittance qui désigne le flux thermique par unité de surface ($W.m^{-2}$)

ε : l'émissivité du corps

ρ : la constante de Stefan-Boltzmann ($5,7 \times 10^{-8} W.m^{-2}.K^{-4}$)

T : la température du corps noir (K)

W_{obj} : le flux total émis par l'objet (W)

$W_{corps noir}$: le flux total émis par l'objet si c'était un corps noir (W)

Ainsi, on remarque un premier élément à prendre en compte. D'après la loi de Stefan Boltzmann (2), le seul paramètre qui relie la température à l'émittance et qui varie, c'est l'émissivité. Il faut donc ajuster ce paramètre avant les acquisitions avec la caméra. Il faut savoir que l'émissivité d'un matériau est influencée par plusieurs facteurs, notamment par sa composition et son état de surface [8]. Ainsi, un matériau avec une

surface lisse, une surface rugueuse ou une surface réfléchissante n'aura pas la même émissivité. Cependant, pour notre projet, on supposera que l'émissivité est uniforme pour la peau humaine, indépendante de la couleur de la peau et égale à 0,98. De cette façon, la caméra pourra effectuer un calcul dépendant uniquement des coefficients de réflexion, de transmission et d'absorption pour déterminer la température réelle de l'objet puisque ce sont ces variables qui définissent si un objet est un corps noir ou non. Du fait de ce calcul, l'utilisateur devra également renseigner la distance entre l'objet et la caméra pour compenser l'atténuation du rayonnement reçu de l'objet et le différencier de celui de l'atmosphère.

Ainsi, la caméra que nous avons utilisée dispose d'une résolution infrarouge de 320×240 (soit 76 800 pixels) [8] et d'une sensibilité thermique (NETD) de moins de $0,04 \text{ }^{\circ}\text{C}/40 \text{ mK}$ à $30 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Elle offre également un champ de vision de 33° et une caméra numérique de 5 MP avec une distance minimale de mise au point de $0,36 \text{ m}$. La fréquence d'image est de 9 Hz et son détecteur couvre une gamme spectrale allant de $7,5 \text{ }\mu\text{m}$ à $13 \text{ }\mu\text{m}$ ce qui garantit des performances optimales pour nos applications.

III. Acquisitions

A. Méthodologie

Pour observer l'évolution de la température des doigts de la main, nous avons construit une interface Tkinter permettant de mesurer automatiquement la température des doigts en connectant directement la caméra à l'ordinateur.

B. Paramètres

Avant de connecter la caméra à l'ordinateur, il est essentiel de régler la caméra thermique avec les paramètres suivants :

- Émissivité : $\varepsilon = 0.98$
- Mode d'image : thermique
- Couleur : gris
- Plage de température : $T_{max} = 36^\circ C$ et $T_{min} = 20^\circ C$

C. Acquisition

Pour réaliser les acquisitions, il faut commencer par fixer la caméra sur un support à une hauteur h de 55 cm de manière à visualiser complètement les deux mains. Il est important de s'assurer que l'objectif de la caméra est perpendiculaire à la table. Ensuite, fixez une feuille avec les empreintes des mains sur la table et lancez le fichier « *app.py* » pour démarrer l'application de collecte de données. Insérez les informations du patient dans l'application pour personnaliser l'acquisition des données. Tout au long de l'acquisition, il est crucial de vérifier que la caméra est bien fixe pendant toute la durée de l'acquisition des images pour s'assurer de la précision des données collectées.



Figure 1 - Positionnement des mains

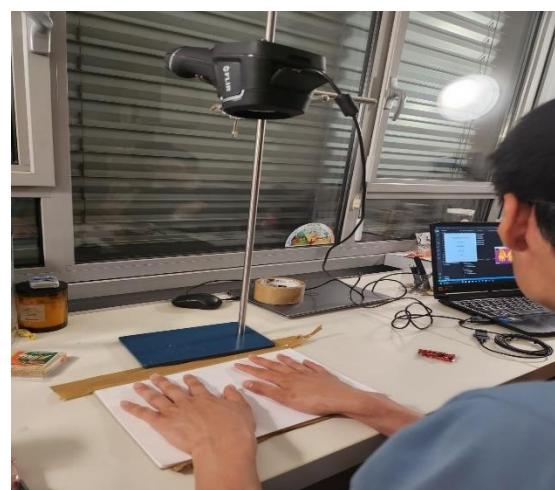


Figure 2 - Positionnement de la caméra

Étape 1 : Mesure de la température des mains avant le test

- Donner des instructions au patient pour qu'il place ses mains sur le papier en alignant ses doigts avec ceux du dessin.
- Appuyer sur le bouton « *Obtenir les coordonnées et les températures initiales* ».
- Après avoir reçu le message de succès, appuyer sur le bouton « *Vérifier les coordonnées* » pour s'assurer que les points sont bien repérés.

Étape 2 : Test de l'eau froide

- Le patient doit s'acclimater à la température de la pièce pendant 10 minutes.
- Remplir le bac avec de l'eau à 10°C et réguler la température à l'aide d'un thermomètre et de glaçons.
- Plonger ses mains dans de l'eau à 10°C pendant 1 minute (entouré d'un sac plastique pour ne pas modifier l'émissivité de la peau au contact de l'eau).

Remarque : Le jour de l'examen, il a été demandé aux participants de s'abstenir de fumer et de faire des exercices intenses juste avant l'examen afin de ne pas affecter la circulation sanguine [5].

Étape 3 : Suivi continu de la température de la main

- Placer immédiatement les mains du patient sur les empreintes tracées sur le papier et appuyer sur le bouton « *Commencer à mesurer* ».
- Vérifier si tous les doigts correspondent bien aux points repérés sur l'écran et ajuster si nécessaire.
- Lorsque la température des doigts ne varie plus significativement ($\pm 0,5^\circ\text{C}$) pendant 2 à 3 minutes, appuyer sur la touche Échap pour arrêter le programme.
- Appuyer sur le bouton « *Afficher le résultat* » pour avoir un tableau avec les paramètres, leurs seuils respectifs, les courbes et le résultat du diagnostic.

D. Algorithmes principaux

Parmi nos algorithmes principaux, on peut citer celui qui nous permet de lire les images de la caméra directement sur nos ordinateurs. Pour ce faire, on a utilisé la bibliothèque OpenCV pour lire directement le flux vidéo via le port USB.

Tout d'abord, la première étape du processus consiste à lire la température. Pour ce faire, il faut convertir l'image capturée par la caméra en niveaux de gris. Dans cette représentation, chaque pixel de l'image est associé à une valeur représentant son intensité lumineuse en noir et blanc. Une fois l'image en niveaux de gris obtenue, on extrait les

valeurs des pixels. Chaque pixel a une valeur comprise entre 0 (noir) et 255 (blanc), et représente l'intensité lumineuse. Pour convertir ces valeurs d'intensité lumineuse en températures réelles, on normalise à partir de cette fonction [9] :

$$T_{pixel} = \frac{value_{pixel}}{255} \times (T_{max} - T_{min}) + T_{min} \quad (4)$$

Cette formule permet de transformer les valeurs des pixels en valeurs de température en tenant compte de la plage de températures mesurée par la caméra. Ainsi, on a accès à la température de n'importe quel point (x, y) .

Dans un second temps, nous avons utilisé la bibliothèque Mediapipe afin d'identifier automatiquement les points nécessaires à la mesure de la température, c'est-à-dire la face dorsale de la phalange médiane des 8 doigts ulnaires. C'est une bibliothèque spécialisée en Intelligence Artificielle (IA) gratuite et plus particulièrement en reconnaissance des mains grâce au module "Hands Solution". Ce modèle a été entraîné sur près de 300 000 mains différentes via de l'apprentissage automatique, autrement dit l'intelligence artificielle a appris par elle-même à reconnaître les différents points de repères de la main. Il détecte d'abord la paume de la main et identifie ensuite les repères de la main, numérotés comme indiqué dans la documentation. Nous avons choisi de prendre les points (6, 10, 14, 18) car nous nous concentrons spécifiquement sur la température des doigts [10]. Cependant, il arrive que notre fonction « get_coordinates » ne reconnaisse pas la main puisque notre image d'entrée est en niveau de gris. Cela arrive notamment lorsque la température des doigts est beaucoup plus froide que la paume, donc nous avons ajusté le paramètre « min_tracking_confidence » de mpHands.Hands à 0.1 pour améliorer la détection.

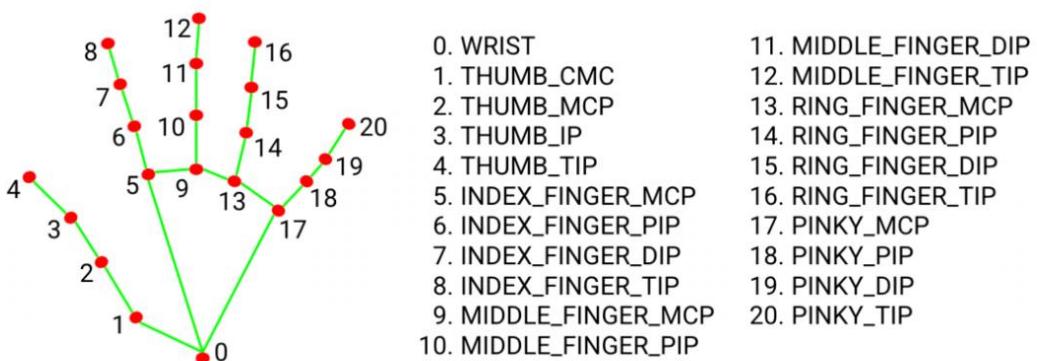


Figure 3 - Documentation de la bibliothèque MediaPipe

Enfin, le reste de nos algorithmes est dédié au traitement de ces données. Nous avons automatisé le traitement de nos données que nous avons stockées dans des fichiers JSON pour chacun de nos patients.

IV. Traitement des données

A. Les différents types de données

A l'issue de notre acquisition, nous obtenons un certain nombre de données que nous avons décidé de séparer en plusieurs fichiers pour faciliter leur traitement. Par exemple, la température des phalanges dorsales des huit doigts ulnaires est stockée dans un fichier JSON. Ces données sont ensuite traitées par notre code pour être représentées sous forme de graphique. À la fin de l'acquisition, le script génère une figure matplotlib.pyplot contenant toutes les courbes et les données essentielles au diagnostic.

Données à l'entrée	Données à la sortie
« temperature.json » : un dictionnaire contenant le temps comme clé et les températures des doigts sous la forme d'une liste	Une courbe de réchauffement, c'est-à-dire la température en fonction du temps
« temperature_debut.txt » : un fichier texte contenant les températures avant le test de l'eau froide	Trois données clés qui nous permettent de conclure sur l'état du patient : $R\%$, G_{max} et T_{lag} [11]
Des données propres au patient (âge, etc...)	Le résultat du diagnostic sous forme de figure matplotlib.pyplot

Figure 4 - Traitements des données issues de l'acquisition

avec $R\%$: le pourcentage de recouvrement de température.

G_{max} : le maximum de la première dérivée de la température moyenne.

T_{lag} : le temps correspondant à la valeur maximale de la deuxième dérivée.

B. Etapes effectuées

Étape 1 : Lecture des données

La première étape consiste à lire les informations contenues dans le fichier JSON. Pour ce faire, on utilise la fonction « lire_fichier_json » qui prend le nom du fichier JSON en entrée et retourne les données sous la forme d'un dictionnaire. Cette étape est cruciale puisqu'elle permet d'accéder aux données brutes nécessaires pour les analyses ultérieures.

Étape 2 : Extraction des données

Une fois les données lues, nous procédons à leur traitement afin d'extraire les temps et les températures enregistrées pour chacun des doigts (hormis les deux pouces). La fonction « traiter_donnees » renvoie un tableau des temps et un dictionnaire des

températures pour chaque doigt. Le temps est ensuite converti de secondes en minutes en le divisant par 60. Cette étape aboutit à la création de deux listes principales : le temps (en minutes) et les températures des 8 doigts. On enregistre les données toutes les 15 secondes afin d'éviter le stockage de données inutiles.

Étape 3 : Agrégation des données

Afin d'obtenir une vue d'ensemble sur les températures, nous calculons la température moyenne pour chaque valeur temporelle en excluant les deux doigts extrêmes (le pouce et le petit doigt). Cette étape aboutit à la création de deux listes principales : le temps (en minutes) et les températures moyennes (en °C) ce qui nous permet de passer de 8 courbes à une seule grâce à la fonction « T_moyenne ».

Étape 4 : Vérification et correction des données

Il arrive parfois que la caméra réalise un étalonnage automatique de la caméra au cours de l'acquisition qui peut affecter les mesures de température. Il est donc crucial de vérifier les températures mesurées pour éviter de fausser notre jeu de données. Par exemple, l'étalonnage de la caméra peut provoquer une variation de température de 2°C.



Figure 5 - Photographie avant l'étalonnage



Figure 6 - Photographie après l'étalonnage

Pour vérifier la cohérence des données et détecter des variations anormales de température (supérieures à 0,4°C), la fonction de vérification « ajouter_points » est employée. En cas d'anomalies, la fonction interpole les valeurs abérrantes.

Étape 5 : Calcul des paramètres clé

Pour analyser les données, nous calculons les 3 paramètres clé que sont $R\%$, G_{max} et T_{lag} . Ces calculs impliquent la dérivation des données à l'ordre 1 et 2. Nous utilisons une méthode point par point et modélisons les dérivées avec un polynôme (via la fonction « polyfit » de numpy) pour retrouver les maxima sur ces polynômes. Ces paramètres permettent ensuite de quantifier la réponse thermique des doigts et d'évaluer l'état du patient.

Étape 6 : Visualisation des données

Enfin, pour visualiser les résultats, nous traçons plusieurs graphes incluant les données originales, les dérivées premières et secondes, ainsi qu'un tableau comparatif des différents paramètres entre les patients et les données de référence. Ces visualisations, générées à l'aide de matplotlib.pyplot, offrent une représentation claire et complète des analyses, ce qui facilite grandement l'interprétation des résultats.

C. Visualisation des données

Nous avons réalisé des mesures sur 8 individus sains et 1 personne souffrant du syndrome afin de vérifier la fiabilité de nos seuils. En raison de la rareté du syndrome, nous n'avons pu obtenir des données que d'un seul patient atteint. Aussi, nous ne différencions pas les personnes atteintes du pRP de celles atteintes de la sRP.

Pour tracer les courbes, nous avons opté pour un polynôme d'approximation de degré 9. En effet, l'analyse de l'erreur quadratique moyenne (R), a montré que l'augmentation du degré du polynôme améliore l'ajustement aux données. Cependant, au-delà du degré 9, la valeur de R ne change pas de manière significative. C'est pourquoi nous avons décidé de nous en tenir à ce degré. De plus, un polynôme d'au moins degré 5 est nécessaire pour garantir une dérivation correcte, car un polynôme de degré 3 minimum est requis pour ajuster la courbe de T_{lag} de manière appropriée.

Enfin, pour analyser les valeurs clé, nous nous sommes référés à un article définissant les intervalles pour les personnes atteintes du syndrome de Raynaud. En suivant le même protocole, nous avons comparé nos valeurs à celles de l'article. Nous avons pris en compte plusieurs paramètres : l'âge du patient, la température avant le test, la température juste après le test, ainsi que les valeurs de $R\%$, G_{max} et T_{lag} . Pour distinguer une personne atteinte du syndrome de Raynaud, nous avons déterminé une plage pour chacune de ces valeurs afin de compenser les erreurs potentielles de mesure. Ainsi, si au moins 2 des 3 paramètres clé sont positifs, nous considérons que le patient est susceptible d'être atteint du syndrome de Raynaud [11].

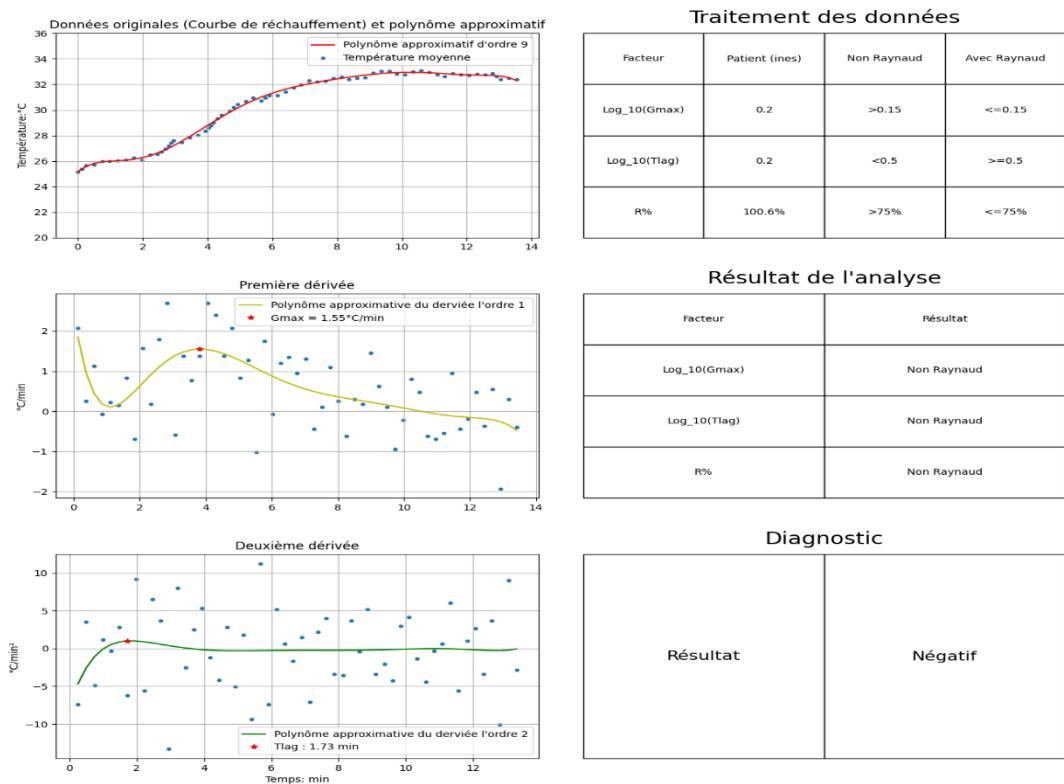


Figure 7 - Résultat d'une personne saine

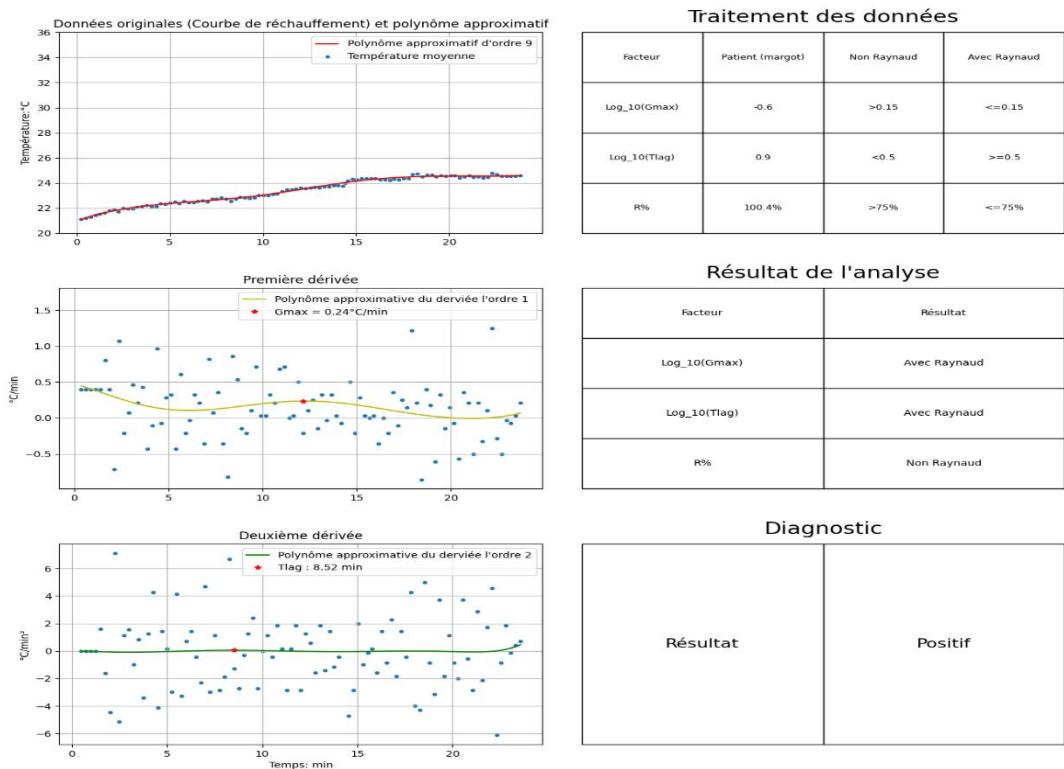


Figure 8 - Résultat d'une personne susceptible d'être atteinte

V. Aspect DDRS

En réalisant notre projet, nous avons veillé à intégrer un volet Développement Durable et Responsabilité Sociétale (DDRS). En adoptant la thermographie infrarouge, nous utilisons une méthode non-invasive pour le diagnostic médical. Cette approche est indolore, ne nécessite pas de contact direct avec le patient et n'utilise aucun produit chimique ce qui élimine tout risque d'effets secondaires. En effet, contrairement aux rayons X, l'absence des rayons ionisants dans notre protocole n'a aucune conséquence pour la santé du patient mais également pour le personnel, ni pour le personnel médical.

L'utilisation de la thermographie infrarouge permet également de générer zéro déchet médical, limitant ainsi notre empreinte carbone liée à la production et à l'élimination de ces matériaux. De plus, les caméras thermiques sont équipées de batteries rechargeables, ce qui les rend économies en ressources en évitant les déchets associés à l'utilisation de piles jetables. De fait, dans le contexte de crise énergétique dans lequel on vit, nous avons besoin de modalités qui diminuent l'impact environnemental de nos installations médicales et il s'avère que pour cela la thermographie est idéale.

Notre algorithme, simple à utiliser et automatisé, améliore l'accessibilité aux soins. Cette automatisation du diagnostic, envisagée dès le début de notre projet, permet au personnel médical de réaliser le diagnostic du syndrome de Raynaud de manière précise et fiable. Aussi, le prix des caméras thermiques reste relativement abordable puisqu'il varie de 300€ à 2000€ [11]. Ce prix reste assez faible, surtout quand on le compare avec celui d'un écho Doppler par exemple, qui est actuellement la modalité la plus fréquemment utilisée pour le diagnostic du syndrome de Raynaud. En effet, le prix de ce type d'équipement varie entre 1000€ et 10 000€ [11]. La thermographie permet ainsi aux zones négligées de bénéficier d'un diagnostic précoce et d'un traitement approprié.

Nous avons également choisi de ne pas enregistrer les vidéos pour traiter les données, mais de le faire en temps réel. Bien que cela ait compliqué la tâche, cela réduit considérablement les besoins de stockage, car nous n'enregistrons que des fichiers JSON relativement légers (10 ko contre plusieurs dizaines de Mo pour une vidéo). Pour une mise en œuvre à grande échelle, cette spécification éviterait de surcharger les data centers et permettrait de réaliser des économies d'énergie. Ce choix est donc bénéfique pour l'environnement et économiquement intéressant.

En conclusion, nous avons adopté une approche intégrant la durabilité au cœur de notre projet pour offrir une méthode de diagnostic socialement et environnementalement responsable. Le diagnostic par thermographie devient ainsi accessible au plus grand nombre, garantissant des soins équitables et accessibles.

VI. Bibliographie

- [1] LEBLOND M. L'imagerie thermique au service du secteur médical. Lynred, 2022. Accepté pour publication : <https://www.lynred.com/fr/blog/l'imagerie-thermique-au-service-du-secteur-medical>
- [2] TEO K. Syndrome de Raynaud. Le Manuel MSD, 2023. Accepté pour publication <https://www.msdsmanuals.com/fr/professional/troubles-cardiovasculaires/troubles-art%C3%A9riels-p%C3%A9riph%C3%A9riques/syndrome-de-raynaud>
- [3] VIDAL. Maladie de Raynaud [en ligne]. Disponible sur : <https://www.vidal.fr/maladies/coeur-circulation-veines/maladie-de-raynaud.html>
- [4] CLEVELAND CLINIC. Doppler Ultrasound: What Is It, Purpose and Procedure Details [en ligne]. Disponible sur : <https://my.clevelandclinic.org/health/diagnostics/22715-doppler-ultrasound>
- [5] LINDBERG L., KRISTENSEN B., ELDRUP E., et al. Infrared Thermography as a Method of Verification in Raynaud's Phenomenon. Diagnostics (Basel), 2021. Accepté pour publication. Disponible sur : <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8227649/>
- [6] ABIGNANO G., AYDIN S.Z., CASTILLO-GALLEGO C., et al. Virtual skin biopsy by optical coherence tomography: the first quantitative imaging biomarker for scleroderma. Annals of the Rheumatic Diseases, 2013. Disponible sur : <https://ard.bmjjournals.org/content/72/11/1845>
- [7] ERTURK A, EROGUL O, KASIKCI M. Optical Coherence Tomography Angiography Is a Useful Tool for Distinguishing Primary Raynaud's Phenomenon from Systemic Sclerosis and/or Very Early Disease of Systemic Sclerosis. Diagnostics (Basel), 2023. Disponible sur : <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC10417700/>
- [8] FLIR Systems, Inc. Manuel de l'utilisateur Série FLIR Ex [en ligne]. Disponible sur: https://www.flir.com/sites/default/files/product_manuals/A91070108_5033.pdf.
- [9] Tutoriel vidéo : FLIR Systems. "FLIR Ex-Series Tutorial." YouTube, 12 septembre 2023, <https://youtu.be/T-XuDpsJ-g8?si=dfc6TGq9E330IWd->.
- [10] Google AI. Guide de détection des points de repère de la main sur Google AI for developers [en ligne]. Disponible sur : https://ai.google.dev/edge/mediapipe/solutions/vision/hand_landmarker?hl=fr.
- [11] O'Reilly D., TAYLOR L., EL-HADIDY K, et al. Measurement of cold challenge responses in primary Raynaud's phenomenon and Raynaud's phenomenon associated with systemic sclerosis. Ann Rheum Dis. 1992 Nov;51(11):1193-6. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1012453/>

VII. Annexes



```

import cv2
import numpy as np
import time
import json

TEMPERATURE_MIN = 20 # Température minimale de la caméra en °C
TEMPERATURE_MAX = 36 # Température maximale de la caméra en °C

list_of_points = [] # Liste pour stocker les points où l'utilisateur a cliqué
temperatures_dict = {} # Dictionnaire pour stocker les températures à différents points
start_time = None # Le temps de démarrage de la mise à jour des températures
last_save_time = None # Le temps de la dernière sauvegarde des températures

def initialize_camera():
    thermal_camera = cv2.VideoCapture(0, cv2.CAP_DSHOW) # Ouvrir la caméra thermique
    thermal_camera.set(cv2.CAP_PROP_FOURCC, cv2.VideoWriter.fourcc('Y', '1', '6', ' '))
    # Définir le codec pour la caméra thermique, Y16 est un format de pixel 16 bits
    thermal_camera.set(cv2.CAP_PROP_CONVERT_RGB, 0) # Désactiver la conversion en RGB
    return thermal_camera

def read_thermal_frame(thermal_camera):
    grabbed, frame_thermal = thermal_camera.read()
    # Lire une image de la caméra thermique, grabbed est un booléen indiquant si l'image a été lue avec succès
    return grabbed, frame_thermal

def get_temperature(frame_thermal):
    list_of_temp = [] # Liste pour stocker les températures
    for point in list_of_points: # Boucle à travers la liste des points où l'utilisateur a cliqué
        x_mouse, y_mouse = point
        value_pointer = frame_thermal[y_mouse, x_mouse][0]
    # Obtenir la valeur du pixel à la position du clic de la souris (indice 0 car l'image est en niveaux de gris)
    temperature_pointer = (value_pointer / 255.) * (TEMPERATURE_MAX - TEMPERATURE_MIN) + TEMPERATURE_MIN
    # Normaliser la température à la plage de la caméra
    list_of_temp.append(temperature_pointer) # Ajouter la température à la liste des températures
    return list_of_temp

def display_frame(frame_thermal, list_of_temp):
    cv2.normalize(frame_thermal, frame_thermal, 0, 255, cv2.NORM_MINMAX) # Normaliser l'image pour affichage en niveaux de gris
    frame_thermal = np.uint8(frame_thermal) # Convertir l'image en entier non signé 8 bits
    frame_thermal = cv2.applyColorMap(frame_thermal, cv2.COLORMAP_INFERNO) # Appliquer la carte de couleurs Inferno au cadre
    for point in list_of_points: # Boucle à travers la liste des points où l'utilisateur a cliqué
        x_mouse, y_mouse = point
        cv2.circle(frame_thermal, (x_mouse, y_mouse), 2, (255, 255, 255), -1)
    # Dessiner un cercle blanc à la position du clic de la souris
    temp = list_of_temp[list_of_points.index(point)] # Obtenir la température correspondante à ce point
    cv2.putText(frame_thermal, "{0:.1f}".format(temp), (x_mouse, y_mouse), cv2.FONT_HERSHEY_SIMPLEX, 0.4, (255, 255, 255), 1, cv2.LINE_AA) # Afficher la température à côté du point
    cv2.imshow("Measuring window", frame_thermal) # Afficher le cadre

def get_coordinates(): # Fonction pour obtenir les coordonnées initiales des doigts
    with open("coordinates.txt", "r") as f:
        lines = f.readlines()
        coordinates = []
        for line in lines:
            x, y, temp = line.strip().split() # Séparer les coordonnées et la température
            coordinates.append((int(x), int(y)))
    return coordinates

def start_measure(nom):
    global start_time, last_save_time, list_of_points
    list_of_points = get_coordinates()
    thermal_camera = initialize_camera() # Initialiser la caméra thermique
    grabbed, frame_thermal = read_thermal_frame(thermal_camera) # Lire une image de la caméra
    cv2.imshow("Measuring window", frame_thermal) # Afficher l'image
    start_time = time.time() # Obtenir le temps actuel
    last_save_time = start_time # Initialiser le temps de la dernière sauvegarde

    while True:
        grabbed, frame_thermal = read_thermal_frame(thermal_camera) # Lire une image de la caméra
        if not grabbed: # Si l'image n'a pas été lue avec succès, sortir de la boucle
            break
        list_of_temp = get_temperature(frame_thermal) # Obtenir les températures à différents points
        display_frame(frame_thermal, list_of_temp) # Afficher l'image avec les températures

        current_time = time.time()
        if current_time - last_save_time >= 15: # Vérifier si 15 secondes se sont écoulées depuis la dernière sauvegarde
            time_saved = current_time - start_time
            temperatures_dict[round(time_saved, 2)] = list_of_temp
            last_save_time = current_time # Mettre à jour le temps de la dernière sauvegarde

        key = cv2.waitKey(1) # Attendre une touche pressée
        if key == 27: # Si la touche Echap est pressée, quitter la boucle
            break

    cv2.destroyAllWindows() # Fermer toutes les fenêtres

with open(f'{nom}/temperatures.json', 'w') as f: # Enregistrer les températures dans un fichier JSON
    json.dump(temperatures_dict, f, indent=4)

```

Annexe I - Code du fichier connect_camera.py

```

import cv2
import mediapipe as mp

def get_coordinates(nom):
    chosen_index = [6, 10, 14, 18]
    chosen_coordinates = []
    # Initialiser la capture vidéo avec le fichier vidéo.
    cap = cv2.VideoCapture(0, cv2.CAP_DSHOW)
    cap.set(cv2.CAP_PROP_FOURCC, cv2.VideoWriter.fourcc('Y','1','6',' '))
    # Définir le codec pour la caméra thermique, Y16 est un format de pixel 16 bits
    cap.set(cv2.CAP_PROP_CONVERT_RGB, 0) # Désactiver la conversion en RGB

    # Configurer MediaPipe Hands pour le suivi des mains.
    mpHands = mp.solutions.hands
    hands = mpHands.Hands(static_image_mode=False, max_num_hands=2, min_detection_confidence=0.1, min_tracking_confidence=0.1)

    # Commencer une boucle pour traiter chaque frame de la vidéo.
    while True:
        # Lire une frame à partir de l'objet de capture vidéo.
        success, img = cap.read()
        if not success:
            break

        # Convertir l'image en niveaux de gris en image RGB.
        img_gray = cv2.cvtColor(img, cv2.COLOR_BGR2GRAY)
        imgRGB = cv2.cvtColor(img_gray, cv2.COLOR_GRAY2RGB)

        # Traiter l'image RGB pour trouver les repères des mains.
        results = hands.process(imgRGB)

        # Obtenir les repères des mains s'ils sont détectés.
        multiLandMarks = results.multi_hand_landmarks

        print(multiLandMarks)

        # Si des repères de mains sont détectés, itérer à travers eux puis quitter la boucle.
        if multiLandMarks is not None and len(multiLandMarks) == 2:
            # Itérer à travers chaque ensemble de repères de mains.
            for i, handLms in enumerate(multiLandMarks):
                # Dessiner les repères des mains et les connexions sur la frame originale.

                # Itérer à travers chaque repère pour obtenir son index et ses coordonnées.
                for idx, lm in enumerate(handLms.landmark):
                    h, w, c = img.shape # Obtenir les dimensions de l'image.
                    cx, cy = int(lm.x * w), int(lm.y * h) # Calculer les coordonnées en pixels.
                    if idx in chosen_index:
                        chosen_coordinates.append([cx,cy])
                        list_of_temp = get_temperature(img, chosen_coordinates)

                # Sauvegarder les températures correspondant aux points sélectionnés.
                with open("coordinates.txt", "w") as f:
                    for i in range(len(chosen_coordinates)):
                        f.write(f'{chosen_coordinates[i][0]} {chosen_coordinates[i][1]} {list_of_temp[i]}\n')

                break

            # Quitter la boucle si la touche échappement est pressée.
            if cv2.waitKey(1) == 27:
                break

            # Dessiner les points sur l'image.
            for x, y in chosen_coordinates:
                cv2.circle(img, (x, y), 2, (255, 0, 0), -1)

            # Sauvegarder l'image avec les points dessinés dessus.
            cv2.imwrite(f"(nom)/coordinates.jpg", img)

            # Libérer l'objet de capture vidéo et fermer toutes les fenêtres lorsqu'on a terminé.
            cap.release()
            cv2.destroyAllWindows()

def get_temperature(frame_thermal, coordonnee_choisi):
    TEMPERATURE_MIN = 20 # Température minimale de la caméra en °C
    TEMPERATURE_MAX = 36 # Température maximale de la caméra en °C
    list_of_temp = [] # Liste pour stocker les températures
    for coord in coordonnee_choisi: # Boucler à travers la liste des points où l'utilisateur a cliqué
        x_mouse, y_mouse = coord
        value_pointer = frame_thermal[y_mouse, x_mouse][0]
    # Obtenir la valeur du pixel à la position du clic de la souris (indice 0 car l'image est en niveaux de gris)
    temperature_pointer = (value_pointer / 255.) * (TEMPERATURE_MAX - TEMPERATURE_MIN) + TEMPERATURE_MIN
    # Normaliser la température à la plage de la caméra
    list_of_temp.append(temperature_pointer) # Ajouter la température à la liste des températures

    return list_of_temp

```

Annexe 2 - Code du fichier `get_coordinates.py`

```

import cv2

def check_coordinates(nom):
    # Lire l'image avec les points dessinés.
    img = cv2.imread(f'{nom}/coordinates.jpg')

    # Afficher l'image avec les points dessinés dans une fenêtre nommée "Coordinates".
    cv2.imshow("Coordinates", img)

    # Attendre que l'utilisateur appuie sur une touche pour fermer la fenêtre.
    cv2.waitKey(0)

    # Fermer toutes les fenêtres lorsqu'on a terminé.
    cv2.destroyAllWindows()

```

Annexe 3 - Code du fichier *check_coordinates.py*

```

import json
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
import scipy.signal as snl

def lire_fichier_json(nom_fichier):
    with open(nom_fichier, 'r', encoding='utf-8') as fichier:
        donnees = json.load(fichier)
    return donnees

def traiter_donnees(donnees):
    temps = []
    temperatures = {i: [] for i in range(9)}

    for temps_str, temp_list in donnees.items():
        temps.append(float(temps_str))
        for i, temperature in enumerate(temp_list):
            temperatures[i].append(temperature)

    temps = np.array(temps)
    return temps / 60, temperatures

def ajouter_points(temps, temperatures_moyennes):
    x = temps
    y = temperatures_moyennes

    all_x_added = []
    all_y_added = []

    i = 0
    while i < len(y) - 1:
        delta_T = abs(y[i + 1] - y[i])
        if delta_T >= 0.4:
            no_points = int(round(delta_T / 0.25) + 1)
            x_ajt = np.linspace(x[i], x[i + 1], no_points)
            y_ajt = np.linspace(y[i], y[i + 1], no_points)
            x_ajt = x_ajt[1:-1]
            y_ajt = y_ajt[1:-1]

            all_x_added.extend(x_ajt)
            all_y_added.extend(y_ajt)

            x = np.concatenate((x[:i + 1], x_ajt, x[i + 1:]))
            y = np.concatenate((y[:i + 1], y_ajt, y[i + 1:]))
            i += no_points - 2
        i += 1
    return np.array(x), np.array(y), (all_x_added, all_y_added)

def T_moyenne(temperatures):
    return np.mean([temperatures[doigt] for doigt in range(1, 8)], axis=0)

def Tlag(temps_2, temperatures_2, ordre):
    coef_2 = np.polyfit(temps_2, temperatures_2, ordre)
    poly_2 = np.poly1d(coef_2)
    indice = snl.find_peaks(poly_2(temps_2))[0]
    lag = temps_2[(indice[0])]

    return lag, indice[0]

def Gmax(temps_1, temperatures_1, ordre):
    coef_1 = np.polyfit(temps_1, temperatures_1, ordre)
    poly_d1 = np.poly1d(coef_1)
    indice_max = snl.find_peaks(poly_d1(temps_1))[0]
    list_max = []
    for i in indice_max:
        list_max.append(poly_d1(temps_1)[i])

    i_max= list(poly_d1(temps_1)).index(max(list_max))

    return max(list_max), i_max

```

```

def retrouve_polygone_fit(temp, températures, ordre):
    coef = np.polyfit(temp, températures, ordre)
    polygone = np.poly1d(coef)
    return polygone

def derivee_ppp(x0, x1, y0, y1):
    return (y1 - y0) / (x1 - x0)

def derivee_list(temp, températures_moyennes, step):
    temp_derivee = []
    températures_moyennes_derivee = []

    for i in range(0, len(temp)-step, step):
        temp_derivee.append((temp[i] + temp[i+step]) / 2)
        températures_moyennes_derivee.append(derivee_ppp(temp[i], temp[i+step], températures_moyennes[i], températures_moyennes[i+step]))

    return temp_derivee, températures_moyennes_derivee

def T_pre(fichier_txt):
    l3 = []
    # Lire le fichier et extraire les données
    with open(fichier_txt, 'r') as file:
        for line in file:
            parts = line.split() # Diviser la ligne en parties
            if len(parts) >= 3: # Vérifier qu'il y a suffisamment de colonnes
                col3 = float(parts[2]) # Troisième colonne comme flottant (décimal)
                # Ici, vous pouvez ajouter un calcul pour la dernière colonne si nécessaire
                l3.append(col3)

    return np.mean(l3)

def tracer_donnees_global(temp, températures_moyennes, n, step, fichier_txt, nom):
    # Générer la fonction approximative
    poly_approx = retrouve_polygone_fit(temp, températures_moyennes, n)

    # Retrouve la dérivée d'ordre 1 et 2
    temp_derivee, températures_moyennes_derivee = derivee_list(temp, températures_moyennes, step)
    temp_derivee_2, températures_moyennes_derivee_2 = derivee_list(temp_derivee, températures_moyennes_derivee, step)

    # Générer la fonction approximative dérivée d'ordre 1 et 2
    poly_1 = retrouve_polygone_fit(temp_derivee, températures_moyennes_derivee, n-1)
    poly_2 = retrouve_polygone_fit(temp_derivee_2, températures_moyennes_derivee_2, n-2)

    # Création de la figure et des sous-graphiques
    fig, axs = plt.subplots(3, 2, figsize=(14, 14)) # 3 sous-graphiques, 2 colonnes

    T_lag, i_lag = Tlag(temp_derivee_2, températures_moyennes_derivee_2, n-2)
    G_max, i_max = Gmax(temp_derivee, températures_moyennes_derivee, n-1)
    T_lag = round(T_lag, 2)
    G_max = round(G_max, 2)

    # Tracer le polynôme
    temp, températures_moyennes, point_ajoute = ajouter_points(temp, températures_moyennes)

    # Tracé de la première figure (Polynôme)
    axs[0, 0].plot(temp, poly_approx(temp), 'r', label=f"Polynôme approximatif d'ordre {n}")
    axs[0, 0].scatter(temp, températures_moyennes, label='Température moyenne', marker='.')
    axs[0, 0].set_title('Données originales (Courbe de réchauffement) et polynôme approximatif')
    axs[0, 0].set_xlim((20, 36))
    axs[0, 0].set_ylabel('Température: °C')
    axs[0, 0].grid(True)
    axs[0, 0].legend()

    # Tracé de la deuxième figure (Première dérivée)
    axs[1, 0].scatter(temp_derivee, températures_moyennes_derivee, s=10)
    axs[1, 0].plot(temp_derivee, poly_1(temp_derivee), 'y', label="Polynôme approximatif de la première dérivée")
    axs[1, 0].plot(temp_derivee[i_max], (poly_1(temp_derivee))[i_max], 'r*', label=f"Gmax = {G_max} °C/min")
    axs[1, 0].set_title('Première dérivée')
    axs[1, 0].set_xlabel('Temps: min')
    axs[1, 0].set_ylabel('Température: °C/min')
    axs[1, 0].grid(True)
    axs[1, 0].legend()

    # Tracé de la troisième figure (Deuxième dérivée)
    axs[2, 0].scatter(temp_derivee_2, températures_moyennes_derivee_2, s=10)
    axs[2, 0].plot(temp_derivee_2, poly_2(temp_derivee_2), 'g-', label="Polynôme approximatif de la deuxième dérivée")
    axs[2, 0].plot(temp_derivee_2[i_lag], (poly_2(temp_derivee_2))[i_lag], 'r*', label=f'Tlag : {T_lag} min')
    axs[2, 0].set_title('Deuxième dérivée')
    axs[2, 0].set_xlabel('Temps: min')
    axs[2, 0].set_ylabel('Température: °C/min²')
    axs[2, 0].grid(True)
    axs[2, 0].legend()

    log_G_max = round(np.log10(G_max), 1)
    log_T_lag = round(np.log10(T_lag), 1)
    R = round((températures_moyennes[-1] / T_pre(fichier_txt)) * 100, 1)
    test_resultat, bool_factors = diagnostic(log_G_max, log_T_lag, R)

```

```

# Ajouter le tableau dans la deuxième colonne
donnees_tableau = [
    ["Facteur", f"Patient ({nom})", "Non Raynaud", "Avec Raynaud"],
    ["Log_10(Gmax)", f"{log_G_max}", ">0.15", "<=0.15"],
    ["Log_10(Tlag)", f"{log_T_lag}", "<0.5", ">=0.5"],
    ["R%", f"{R%}", ">75%", "<=75%"]
],
[
    ["Facteur", "Résultat"],
    ["Log_10(Gmax)", bool_factors[0]],
    ["Log_10(Tlag)", bool_factors[1]],
    ["R%", bool_factors[2]]
],
[
    ["Résultat", test_resultat],
]
]

# Titre du tableau
titre_tableau = ["Traitement des données", "Résultat de l'analyse", "Diagnostic"]

for i in range(3):
    tableau = axs[i, 1].table(cellText=donnees_tableau[i], bbox=[0, 0, 1, 1], cellLoc='center', fontsize=20)
    axs[i, 1].axis('off') # Supprimer les axes du deuxième sous-graphique
    axs[i, 1].annotate(titre_tableau[i], xy=(0.5, 1.05), xycoords='axes fraction', ha='center', fontsize=20)

if i == 2:
    tableau.auto_set_font_size(False)
    tableau.set_fontsize(16)

# Ajuster l'espacement entre les sous-graphiques
plt.tight_layout(pad=3.5)

# Sauvegarder la figure
plt.savefig(f"Résultats/{nom}.png")

# Afficher la figure
plt.show()

def diagnostic(log_G_max, log_T_lag, R):
    bool_factors = ["Non Raynaud", "Non Raynaud", "Non Raynaud"]

    if log_G_max <= 0.15:
        bool_factors[0] = "Avec Raynaud"
    if log_T_lag >= 0.5:
        bool_factors[1] = "Avec Raynaud"
    if R <= 75:
        bool_factors[2] = "Avec Raynaud"

    if bool_factors.count("Avec Raynaud") >= 2:
        return "Positif", bool_factors
    else:
        return "Négatif", bool_factors

def tracer(nom):
    n = 9
    step = 1

    fichier_txt = f"{nom}/coordinates.txt"
    nom_fichier = f"{nom}/temperatures.json"

    #Traiter les données
    donnees = lire_fichier_json(nom_fichier)
    temps, temperatures = traiter_donnees(donnees)
    temperatures_moyennes = T_moyenne(temperatures)

    #Trier les données, prend juste chaque 15 seconde
    temps_n = []
    temperature_n = []

    # for i in range(0, len(temperatures_moyennes), 50):
    for i in range(0, len(temperatures_moyennes)):
        temps_n.append(temps[i])
        temperature_n.append(temperatures_moyennes[i])

    temperatures_moyennes = np.array(temperature_n)
    temps = np.array(temps_n)

    tracer_donnees_global(temps, temperatures_moyennes, n, step, fichier_txt, nom)

```

Annexe 4 - Code du fichier traitement_donnee.py

```

● ● ●

from connect_camera import start_measure
from get_fingers_coordinates import get_coordinates
from check_coordinates import check_coordinates
from traitement_donnee import tracer
import tkinter as tk
from tkinter import messagebox

class App(tk.Tk):
    def __init__(self):
        super().__init__()

        self.title("Raynaud Syndrome Detector")
        self.geometry("400x500")
        self.resizable(False, False)

        # Étiquette pour le nom du patient
        self.name_label = tk.Label(self, text="Nom du patient")
        self.name_label.pack(pady=20)

        # Champ de saisie pour le nom du patient
        self.name_entry = tk.Entry(self)
        self.name_entry.pack(pady=20)

        # Bouton pour obtenir les coordonnées et les températures initiales
        self.get_coordinates_btn = tk.Button(self, text="Obtenir les coordonnées et les températures initiales", command=self.get_coordinates)
        self.get_coordinates_btn.pack(pady=20)

        # Bouton pour vérifier les coordonnées
        self.check_coordinates_btn = tk.Button(self, text="Vérifier les coordonnées", command=self.check_coordinates)
        self.check_coordinates_btn.pack(pady=20)

        # Bouton pour commencer à mesurer
        self.measure_btn = tk.Button(self, text="Commencer à mesurer", command=self.start_measuring)
        self.measure_btn.pack(pady=20)

        # Bouton pour afficher le résultat
        self.show_graph_btn = tk.Button(self, text="Afficher le résultat", command=self.show_graph)
        self.show_graph_btn.pack(pady=20)

        # Bouton pour quitter
        self.quit_btn = tk.Button(self, text="Quitter", command=self.quit)
        self.quit_btn.pack(pady=20)

    # Méthode pour démarrer la mesure des températures
    def start_measuring(self):
        nom = self.name_entry.get().strip()
        if nom == "":
            messagebox.showerror("Erreur", "Veuillez entrer le nom du patient")
            return
        start_measure(nom)
        messagebox.showinfo("Succès", "Températures sauvegardées")

    # Méthode pour vérifier les coordonnées des doigts
    def check_coordinates(self):
        nom = self.name_entry.get().strip()
        if nom == "":
            messagebox.showerror("Erreur", "Veuillez entrer le nom du patient")
            return
        check_coordinates(nom)

    # Méthode pour obtenir les coordonnées et les températures initiales
    def get_coordinates(self):
        nom = self.name_entry.get().strip()
        if nom == "":
            messagebox.showerror("Erreur", "Veuillez entrer le nom du patient")
            return
        get_coordinates(nom)
        messagebox.showinfo("Succès", "Coordonnées et températures sauvegardées")

    # Méthode pour afficher le graphique des résultats
    def show_graph(self):
        nom = self.name_entry.get().strip()
        if nom == "":
            messagebox.showerror("Erreur", "Veuillez entrer le nom du patient")
            return
        tracer(nom)

    # Méthode pour quitter l'application
    def quit(self):
        self.destroy()

if __name__ == "__main__":
    app = App()
    app.mainloop()

```

Annexe 5 - Code du fichier *app.py*

Les enjeux de santé au travail

Vers une reconnaissance juste : enjeux et responsabilités des maladies professionnelles

Depuis leur reconnaissance en France le 25 octobre 1919, les maladies professionnelles représentent un enjeu crucial pour la protection des travailleurs. Bien que des progrès législatifs aient été réalisés au fil du temps, des tensions persistes et entourent la reconnaissance, la gestion financière et l'indemnisation de ces affections. Cette complexité souligne la nécessité d'une révision constante des politiques et de l'implication des divers acteurs dans le processus. En effet, dès lors qu'un travailleur est reconnu comme étant atteint d'une maladie professionnelle, il a le droit à une prise en charge médicale, à une protection sur le lieu de travail et à une indemnisation financière. Cela soulève donc un certain nombre de questions. Qui doit payer ? Qui est responsable de sa maladie ? Qui décide que sa maladie est d'origine professionnelle ?

Qui doit payer ?

L'impact financier de ces affections constitue l'un des principaux points de conflit. De fait, si la maladie est attribuée aux conditions de travail de l'employé, n'est-ce pas de la responsabilité de l'entreprise de couvrir les dépenses liées à la prise en charge médicale ? Pour autant, c'est la caisse des Accidents du Travail et des Maladies Professionnelles (AT-MP) de la sécurité sociale qui finance les soins [1]. Bien que cette caisse soit en partie financée par les cotisations des employeurs, l'Etat a quand même investi 1,3 milliard d'euros en 2020 pour combler le déficit (soit 11% du budget total) [2]. On constate qu'il y a donc une double implication de l'Etat puisque si la maladie n'est pas reconnue comme étant d'origine

professionnelle, alors c'est à la caisse primaire de l'assurance-maladie (CPAM) que revient la facture. Cette situation met en lumière un premier paradoxe qui se traduit par une déresponsabilisation financière de l'entreprise. En effet, même si la maladie est due aux mauvaises conditions de travail fournies par l'entreprise, cette dernière ne payera pas l'intégralité des soins prodigués à l'ayant droit. Au vu de la situation, il me semble qu'une réflexion approfondie sur les responsabilités et les mécanismes de financement des maladies professionnelles s'impose.

Qui établit les tableaux des maladies professionnelles ?

Lorsque l'on veut faire valoir son affection comme une maladie professionnelle, il faut qu'un médecin établisse un certificat médical initial. Ce dernier détaille les symptômes et fait le lien avec l'environnement de travail du patient en s'aidant des tableaux des maladies professionnelles [3].

DÉSIGNATION DES MALADIES	DÉLAI de prise en charge	LISTE LIMITATIVE DES TRAVAUX SUSCEPTIBLES de provoquer ces maladies
Affections ostéo-articulaires confirmées par des examens radiologiques :		
- arthrose du coude comportant des signes radiologiques d'ostéophytes ;	5 ans	Travaux exposant habituellement aux vibrations transmises par : a) Les machines-outils tenues à la main, notamment : - les machines percantes, telles que les marteaux piqueurs, les burineurs, les bouchardeseuses et les foulards ; - les machines rotopercantes, telles que les marteaux perforateurs, les percuses à percussion et les clés à choc ; - les machines rotatives, telles que les polisseuses, les meuleuses, les scies à chaîne, les tronçonneuses et les débroussaillseuses ; - les machines alternatives, telles que les ponceuses et les scies sauteuses. b) Les outils tenus à la main associés à certaines machines préciées, notamment dans des travaux de burinage ; c) Les objets tenus à la main en cours de façonnage, notamment dans les travaux de meulage et de polissage et les travaux sur machine à rétreindre.
- ostéonécrose du semi-lunaire (maladie de Kienböck) ;	1 an	
- ostéonécrose du scaphoïde carpien (maladie de Kühner).	1 an	
Troubles angioneurotiques de la main, prédominant à l'index et au majeur, pouvant s'accompagner de crampes de la main et de troubles prolongés de la sensibilité et confirmés par des épreuves fonctionnelles objectivant le phénomène de Raynaud.	1 an	

Extrait du tableau n°69 des maladies professionnelles

Source : www.legifrance.gouv.fr

On peut donc légitimement se demander qui est en charge de la rédaction de ces tableaux ? Est-ce une cohorte d'intérêts public et privé ou est-ce uniquement un collège de législateurs ? Il faut savoir que ces révisions des tableaux sont orchestrées par le Conseil d'Orientation des Conditions de Travail (COCT). Cette instance émane de la volonté conjointe du ministère du travail et du ministère de la Santé de réformer par décret les considérations existantes. Pour ce faire, le COCT réunit 4 groupements [4] avec des intérêts divergents : des membres du comité régional, un collège des partenaires sociaux (8 représentants des salariés et 8 représentants des employeurs proposés par leur syndicat respectif), un collège des représentants d'organismes de sécurité sociale, d'expertise et de prévention ainsi qu'un collège des personnalités qualifiées qui contient au moins un médecin du travail. Cependant, seuls les membres du collège du comité régional ont une voix délibérative, autrement dits, les autres instances ne sont que consultatives. On remarque donc une première source de dysfonctionnement puisque le médecin du travail n'est pas en capacité de voter alors que le directeur régional de l'économie, de l'emploi, du travail et des solidarités est lui en mesure de le faire [4]. En effet comment expliquer qu'un professionnel de santé ne puisse pas participer au vote alors qu'un préfet bien souvent étranger aux questions de santé au travail le peut ? Ainsi, ce mode de fonctionnement est discutable et permet d'expliquer certaines défaillances dénoncées par ces mêmes syndicats.



Un système qui engendre des dysfonctionnements

En effet, selon les syndicats représentants les salariés comme la CGT, le COCT est une source majeure de défaillances. Par exemple, parmi les 102 tableaux des maladies professionnelles, on ne recense qu'une vingtaine de substances cancérogènes avérées sur les 121 recensées par le Centre International de Lutte contre le Cancer (CIRC) [1]. Cette sous-représentation des cancérogènes entraîne inévitablement une sous-reconnaissance des maladies professionnelles, à tel point que Noël Diricq alors rapporteur général du rapport annuel sur la loi de financement de la sécurité sociale déclarera en 2011 "[qu']un malade de cancer lié au travail sur deux ne serait pas reconnu" [5]. À l'origine de ce phénomène, ce serait la lenteur d'actualisation des tableaux puisque selon Sylvie Platel, spécialiste des maladies professionnelles, les décrets sont bien souvent en retard par rapport aux avancées scientifiques [1]. Ces dysfonctionnements sont exacerbés par les tensions. Cette situation entraîne une insatisfaction croissante parmi les travailleurs et leurs représentants, qui voient leurs revendications souvent ignorées ou retardées par des processus administratifs longs et complexes. Il est donc essentiel de repenser le fonctionnement du COCT pour mieux équilibrer les voix et garantir que les décisions prises reflètent véritablement les besoins de santé et de sécurité des travailleurs.

Bibliographie

- [1] Pillayre, H. Le prix de la maladie professionnelle. La construction des dimensions morales de l'indemnisation des maladies liées à l'amiante. *Droit et société*, 2023, n°113, pp. 133-156.
- [2] COUR DES COMPTES. La sécurité sociale : Rapport sur l'application des lois de financement de la sécurité sociale. Rapport de recherche, n°2020-10. Paris : Cour des comptes, 2020, 509 p.
- [3] Goldberg M. La sous-indemnisation des maladies professionnelles : un point de vue épidémiologique. *Sciences sociales et santé*, 2022, vol.40, pp. 31-39.
- [4] MINISTÈRE DU TRAVAIL. Article R4641-19 du Code du travail relatif à la composition du Conseil d'Orientation des Conditions de Travail. *Journal officiel*, n°257 du 7 novembre 2008, pp. 16885-16886.
- [5] Diricq N. Rapport de la Commission instituée par l'article 30 de la loi n° 96-1160 du 27 décembre 1996 du financement de la Sécurité sociale, 2011.

Qu'est-ce que cela signifie d'être malade ?

Inès CHEBBI

INSA Lyon

P24-8 , Groupe 284

1. Introduction

Dans notre sujet, nous traitons le diagnostic de la maladie de Raynaud. Bien que la maladie de Raynaud ne soit pas une maladie gravement douloureuse ou handicapante, il s'agirait d'un trouble réversif de la circulation sanguine aux bouts des doigts[1], la personne souffrant de cette maladie aurait un problème de mal circulation du sang lors d'une exposition à une baisse de température ou à une situation de stress. Mais qu'est-ce qu'une maladie en premier lieu? D'après l'OMS, la santé est "un état de complet bien-être physique, mental et social, et ne consiste pas seulement en une absence de maladie ou d'infirmité" [2]. Dans cette définition, on se rend compte de l'aspect non quantifiable de la santé, soulignant ainsi que la perception du bien-être inclut des dimensions subjectives. On se rend alors compte d'une co-existence du subjectif et de l'objectif quand on parle de maladie. L'objectif étant cet aspect physiologique issu grâce aux examens et analyses et le subjectif c'est tout ce qui est centré sur l'expérience personnelle du malade. Ce paradoxe nous pousse à se poser la question suivante: être malade est-ce quelque chose d'objectif, de quantifiable, du ressort des lois de la nature ou est-ce une question de ressenti chez le patient?

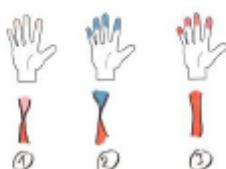


Fig. 1: Illustration du syndrome de Raynaud.

2. La Maladie : Une réalité objective et quantifiable

Cette première approche est remarquablement une approche cartésienne. L'objectivité de la maladie est remarquablement présente lors du diagnostic qui

se fait grâce au jugement de la présence ou pas de certains critères physiologiques et biologiques. L'examen clinique se fait par un médecin afin de mesurer les anomalies spécifiques. La plupart des maladies pour ne pas dire toutes les maladies reposent sur une série d'examens et d'analyses biologiques dans des centres spécialisés. On peut citer à titre d'exemple, les analyses sanguines qu'on fait dans des laboratoires et qui peuvent être un indicateur sur diverses anomalies. En effet, ces analyses permettent de mesurer des paramètres spécifiques tels que le taux de glucose, le cholestérol, les hormones.. Grâce aux données fournies et grâce aux intervalles de référence établis pour les individus sains, on peut déterminer si on a un carence, un excès ou un taux normal de chaque entité. L'aide de ces examens qui permettent de quantifier ce qui se passe dans notre corps et de voir ce que nous, humains, ne pouvons pas voir à l'œil nu, la détection de modifications cellulaires, la présence de pathogènes sont de plus en plus faisable. L'avancée technologique a aussi transformé le paysage du diagnostic médical pour le rendre le plus rapide, le plus précis et le plus accessible possible. L'influence du progrès technologique sur la médecine se manifeste dans le progrès en imagerie médicale tel que l'IRM par exemple et l'échographie. Ces méthodes d'imageries sont dotées d'une résolution spatiale assez importante[3]. Ces techniques permettent de révéler des tumeurs, les lésions et d'autres conditions pathologiques. Il serait sage de conclure que les avancées technologiques permettent de quantifier objectivement les maladies ce qui montre qu'une maladie est avant tout un état physiologique et réel.

3. La Maladie : Une expérience subjective et ressentie

La maladie, malgré son aspect physiologique et son côté quantifiable provoque une douleur. Il est bien connu que nous n'avons pas tous la même perception de la douleur. La sensibilité à la douleur change d'un individu à un autre. L'anthropologue français "Dvaïd Lebrun" qualifie cette douleur de "perception qui revêt des sens multiples en fonction du contexte ,des cultures et des trajectoires personnelles" [5]. Tout ça

pour dire que nous expérimentons la même douleur différemment. Afin d'estimer la douleur que ressent un malade, nous n'allons pas procéder par des analyses et des tests vu que celle-ci n'est pas quantifiable[5]. La diversité des réactions face à la maladie reflète la diversité du comportement et des personnalités des humains mais ceci nous poussera à se demander "L'homme crée-t-il sa douleur?". Bien que la souffrance soit de l'ordre de la sensation, elle est aussi de l'ordre de l'émotion et c'est là où la subjectivité intervient. Comme la douleur est considérée comme émotion, elle traduit alors la perception et la représentation du malade de sa propre personne et de ses relations avec le monde. Le philosophe français Georges Canguilhem interprète cela en disant " L'homme fait sa douleur comme il fait une maladie, ou comme il fait son deuil bien plutôt qu'il ne la reçoit ou ne la subit." L'homme construit alors le degré de sa souffrance à travers ses antécédents personnels et du contexte socioculturel dans lequel il vit[4]. La perception de la maladie est intrinsèquement subjective vu que celle-ci est influencée par les antécédents personnels tels que les traumatismes antérieurs, les expériences médicales etc.. Prenons à titre d'exemple une personne qui a été sujette à une maladie grave et agonisante, même après une guérison cette personne va éprouver une anxiété accrue face à des symptômes des plus minimes. En outre, les normes sociales et culturelles dictent souvent la manière dont nous gérons la douleur. Comme précédemment évoqué, la douleur a ce côté émotionnel, et dans certaines cultures éprouver de la douleur ou juste en parler ferait de la personne quelqu'un de faible et de lâche. Le malade se doit alors de montrer de la résilience et diminuer les symptômes. La variabilité de la sensibilité à la douleur est causée, selon les estimations, jusqu'à 60 pour cent par le patrimoine génétique du patient[5]. Les personnes souffrant de troubles psychiatriques sont aussi plus susceptibles de ressentir la douleur vu que leurs conditions psychologiques amplifiaient la souffrance. Afin d'illustrer cet axe personnel quant à l'expérience du malade, on peut prendre l'exemple des troubles psychosomatiques. Ces troubles sont définis par la présence de symptômes sans maladie. Cette pathologie n'a aucune cause physiologique, cependant, elle engendre des troubles factices qui sont inquantifiables et qui sont médicalement inexplicables [6].

4. Conclusion

La réponse à la question posée au début de l'écrit serait alors : être malade relève un aspect physiologique qui traduit la présence d'une anomalie ou



Fig. 2: Le normal et Le pathologique

d'un pathologie que nous pouvons quantifier mais aussi un aspect psychique et non quantifiable qui est la façon dont nous percevons la maladie et nous percevons être malade. Ce dernier point qui diffère d'une personne à une autre peut nourrir les pratiques professionnelles en médecine. La relation médecin - patient est d'une très grande importance vu que ce dernier peut mettre des mots sur le ressenti intime du patient et lui donner un sens dans le but d'éviter qu'il en souffre plus. Une prise en charge plus adaptée et rassurante est ainsi favorisée. Le malade passera alors par un processus moins isolant et angoissant ce qui évitera à d'autres maladies sous-jacentes et psychiques d'apparaître et amplifier sa souffrance[7].

5. References

1. Assurance Maladie. "Phénomène de Raynaud : Définition, symptômes et causes." ameli.fr, n.d., <https://www.ameli.fr/assure/sante/themes/phenomene-raynaud/definition-symptomes-causes>
2. Préambule à la Constitution de l'Organisation mondiale de la Santé, tel qu'adopté par la Conférence internationale sur la Santé, New York, 19 juin -22 juillet 1946; signé le 22 juillet 1946 par les représentants de 61 États. (Actes officiels de l'Organisation mondiale de la Santé, n°. 2, p. 100) et entré en vigueur le 7 avril 1948. Cette définition n'a pas été modifiée depuis 1946.
3. Lang, T. (2010). Le phénomène de Raynaud : aspects cliniques, physiopathologiques et socioculturels. Anthropologie et Santé, 1. <https://journals.openedition.org/anthropologiesante/1015>

-
4. Cohen, A. (2011). Pourquoi la douleur persistante perturbe-t-elle la qualité de vie ? *Anthropologie et Santé, 2*. <https://journals.openedition.org/anthropologiesante/1130>
 5. Santé sur le Net. (2020, avril 23). Sommes-nous tous égaux devant la douleur ? <https://www.sante-sur-le-net.com/sommes-nous-tous-egaux-devant-la-douleur/>
 6. Gaymu, J., Springer, S. (2017). La douleur chronique chez les personnes âgées. In P. Mormiche (Ed.), Psychologie du vieillissement en 40 notions (pp. 195-200). Dunod. <https://www.cairn.info/>
 7. LEBRETON D. (2010). Expériences de la douleur. Entre destruction et renaissance. Revue des Sciences Sociales, 2011, n° 45, Jeux et enjeux, 263 pages. https://editions-metailie.com/pdf/Lebreton_rss032011.pdf

Annexe 7 - Article SHS de Ines CHEBBI

DAO Thi Trang Ngan

P2I_284

L'imagerie médicale : révolution médicale ou piège à miroir ?

Comprendre les impacts de l'imagerie médicale sur notre perception de la maladie, du corps et les risques de l'abus d'imagerie médicale

Imaginez explorer les profondeurs de votre corps sans incision. C'est ce que permet l'imagerie médicale, révolution technologique transformant la médecine moderne. Radiographies, IRM et scanners offrent aux médecins une vue précise de l'intérieur du corps, facilitant les diagnostics et les traitements. Mais cette avancée extraordinaire n'est pas sans défis. L'utilisation excessive de l'imagerie médicale, connue sous le nom d'abus d'imagerie médicale, soulève des préoccupations éthiques et cliniques importantes.

L'abus d'imagerie médicale: causes et conséquences

L'abus d'imagerie médicale désigne l'utilisation excessive et souvent injustifiée des techniques d'imagerie pour diagnostiquer et suivre les patients. Selon un sondage des radiologues, cela résulte de plusieurs facteurs : la pression des patients, qui croient que plus d'examens signifient meilleurs soins; l'aversion au risque des médecins, qui préfèrent prescrire trop d'examens pour écarter toutes les possibilités; et des motivations économiques, certaines cliniques profitant de la fréquence des examens [1].

Plus de test signifie souvent de meilleurs soins, mais ce n'est pas toujours le cas. Avec l'abus d'imagerie, cela peut même avoir des effets inverses avec des conséquences multiples. Sur le plan économique, les coûts des soins de santé augmentent considérablement. Pour les patients, l'exposition inutile aux rayonnements, notamment avec des techniques comme le scanner, peut entraîner des risques sanitaires à long terme. De plus, l'utilisation

excessive de l'imagerie peut engendrer une surcharge d'informations pour les médecins, rendant parfois les diagnostics plus compliqués au lieu de les simplifier. Il existe aussi une dimension psychologique, où l'attente de résultats d'imagerie crée une anxiété supplémentaire chez les patients [1].

L'imagerie médicale et la perception de la maladie

L'accessibilité croissante de l'imagerie médicale peut conduire à une recherche systématique de maladies, même sans symptômes. Cela peut engendrer une anxiété accrue. C'est ainsi un résultat de l'imagerie médicale sur notre perception de la maladie. En effet, l'imagerie médicale a profondément impacté notre perception de la maladie, modifiant non seulement la façon dont nous diagnostiquons les pathologies, mais aussi la façon dont nous les vivons et les comprenons.

Le corps reconstruit

Cet avancée technologique nous permet de voir l'intérieur du corps humain, ce qui était auparavant impossible. Cette visualisation interne crée une nouvelle représentation du corps, souvent fragmentée [2]. Par exemple, un patient peut voir des images de son cerveau, de ses poumons ou de ses os de manière isolée, créant une perception de son corps comme une collection de parties plutôt que comme un tout intégré.

DAO Thi Trang Ngan

P2I_284

Cette fragmentation peut influencer la manière dont les patients perçoivent leur propre santé et leur vulnérabilité.

Le corps étranger

Selon Rémy Potier, l'imagerie médicale peut rendre notre propre corps étrangère à nous. Les images produites par ces techniques sont souvent difficilement interprétables par les non-professionnels, ce qui peut provoquer une dissociation entre l'imagerie médicale et l'image corporelle personnelle. Les patients peuvent avoir du mal à relier ces images techniques à leur propre expérience corporelle, ce qui peut entraîner des sentiments d'aliénation et d'anxiété. Cette dissociation peut fausser la perception de la maladie, en la rendant plus abstraite et moins reliée à l'expérience physique vécue par le patient [2].

Le réductionnisme du diagnostic

Le réductionnisme, induit par l'imagerie médicale, simplifie souvent des procédures complexes en les rendant plus accessibles et rapides. Par exemple, une IRM ou un scanner convertit des aspects physiques complexes du corps en images numériques simples. Bien que bénéfique en termes de rapidité et de non-invasivité, cette simplification peut conduire à une vision erronée de la maladie et une réduction du corps à un série d'images et données. Les maladies complexes nécessitant une compréhension multidimensionnelle peuvent être réduites à des images unidimensionnelles, négligeant des aspects critiques de la pathologie et de l'expérience du patient [3].

L'impératif scopique

L'utilisation croissante de l'imagerie dans les diagnostics crée une nouvelle norme médicale centrée sur le visuel. Cette « impératif scopique », comme le décrit Potier, met l'accent sur l'importance de voir pour croire et diagnostiquer[2] . Cependant, cette approche visuelle peut également minimiser l'importance des symptômes subjectifs et de l'expérience vécue par le patient. En se concentrant sur ce qui est visible, il y a un risque de négliger les aspects de la maladie qui ne sont pas facilement quantifiables par l'imagerie. Cela peut tromper des patients en leur donnant une fausse impression de certitude ou en exagérant la gravité de leur condition.

Bref, la présence d'une anomalie visible à l'imagerie ne signifie pas nécessairement qu'une personne est malade. Il est important de prendre en compte l'ensemble des symptômes, l'état de santé général et le contexte de vie du patient pour établir un diagnostic et proposer une prise en charge adéquate. Et aussi, l'équilibre crucial entre l'utilisation judicieuse de ces technologies et la prise en compte de l'expérience subjective des patients pour offrir des soins de santé véritablement complets.

Bibliographie

[1]: Gómez-Bogueiro, M. A., et al. (2009). Factors associated with health-related quality of life in primary care patients with chronic obstructive pulmonary disease. *BMC Health Services Research*, 9(1), 155.

[2]: Potier, R. (2012). L'imagerie médicale dans la relation de soin : enjeux psychiques et éthiques. *Laennec*, 60(4), 40-46.

[3]: Koritchev, N. (2009). L'image en médecine. Quels sont les enjeux de l'utilisation des différentes techniques d'imagerie médicale ?. *Recherches en Psychanalyse*, 12(2), 158-173.

Défauts Physiques : Discrimination Réelle ou Auto-Stigmatisation Psychologique ?

Les défauts physiques, tels que les handicaps, les cicatrices visibles ou les anomalies congénitales, sont souvent perçus comme déviant de la norme sociétale. La question de savoir si les individus souffrant de ces défauts sont plus affectés par des discriminations externes et sociales ou par une auto-stigmatisation psychologique est cruciale. Comprendre cette dynamique est essentiel pour élaborer des stratégies efficaces de soutien et d'inclusion.

La discrimination réelle se manifeste par des traitements injustes ou des préjugés basés sur les défauts physiques dans divers contextes sociaux, tels que l'emploi, l'éducation et la vie quotidienne (1). Par exemple, dans le monde du travail, les personnes incapables de marcher rencontrent des obstacles significatifs à l'embauche et à la promotion, souvent dus à des préjugés des employeurs et à un manque d'infrastructures adaptées. En éducation, les étudiants handicapés font face à des préjugés de la part des enseignants et des pairs, ainsi qu'à un manque de ressources et d'accessibilité. Dans la vie quotidienne, l'accès limité aux bâtiments publics et aux transports inadaptés illustre la discrimination tangible que ces individus rencontrent régulièrement. Des études montrent que ces formes de discrimination ont des impacts significatifs : selon une enquête de l'INSEE, 19 % des personnes handicapées déclarent avoir été victimes de discriminations au cours des cinq dernières années, principalement dans l'accès à l'emploi et aux services publics (2). Par ailleurs, selon l'Observatoire de l'Accessibilité, 40 % des bâtiments publics en France ne sont pas accessibles aux personnes en fauteuil roulant, et 35 % des personnes handicapées rapportent des difficultés majeures dans l'utilisation des transports en commun (3).

L'auto-stigmatisation est le processus par lequel les individus intérieurisent les stéréotypes et les préjugés de la société à leur propre égard, influençant ainsi leur estime de soi et leur bien-être mental (4). Les théories psychologiques, telles que la théorie de l'identité sociale et la théorie de l'auto-perception, expliquent comment les individus adoptent les perceptions négatives de la société sur leur propre handicap, menant à une comparaison sociale défavorable. La théorie de l'identité sociale postule que l'estime de soi des individus est influencée par leur appartenance à des groupes sociaux, et que les personnes cherchent à maintenir une image positive de leur groupe (5). En revanche, la théorie de l'auto-perception suggère que les individus développent leur propre identité et attitude en observant leurs comportements et en déduisant des attitudes internes à partir de ces comportements (6). Les mécanismes d'auto-stigmatisation incluent l'intériorisation des normes sociales et la comparaison sociale défavorable, poussant les personnes handicapées à internaliser des stéréotypes négatifs, comme l'idée qu'elles sont moins compétentes ou dignes de moins de respect. Les conséquences de l'auto-stigmatisation incluent une santé mentale dégradée, avec des taux plus élevés d'anxiété, de dépression et de perte de confiance en soi. Socialement, cela peut se traduire par l'isolement, le retrait et l'évitement des interactions.

sociales. Par exemple, une étude de l'Organisation Mondiale de la Santé révèle que les personnes handicapées ont un risque de dépression deux à trois fois plus élevé que la moyenne (7).

Il existe un cercle vicieux entre discrimination réelle et auto-stigmatisation. La discrimination perçue peut renforcer l'auto-stigmatisation, et vice versa. Par exemple, une personne qui fait l'expérience de discrimination à l'emploi peut intérieuriser ces expériences négatives, ce qui diminue son estime de soi et augmente son isolement social. À son tour, cette auto-stigmatisation peut rendre l'individu moins susceptible de chercher des opportunités d'emploi, renforçant ainsi la discrimination initiale. Des études de cas et des témoignages montrent cette interdépendance. Un rapport de l'Institut National de Prévention et d'Éducation pour la Santé (INPES) note que les expériences de discrimination peuvent déclencher des processus d'auto-stigmatisation, créant un cercle vicieux qui est difficile à briser sans intervention appropriée.

En synthèse, les individus souffrant de défauts physiques visibles sont confrontés à la fois à des discriminations externes et à l'auto-stigmatisation. Les discriminations réelles se manifestent dans des domaines clés tels que l'emploi, l'éducation et la vie quotidienne, avec des impacts significatifs sur la qualité de vie. En parallèle, l'auto-stigmatisation psychologique, alimentée par l'intérieurisation des normes sociales négatives, entraîne des conséquences graves sur la santé mentale et les comportements sociaux. La complexité de cette interaction souligne la nécessité de stratégies holistiques pour lutter contre la discrimination et soutenir la santé mentale des personnes handicapées, en reconnaissant et en traitant les deux aspects de cette problématique.

1. <https://www.apa.org> [Internet]. [cité 24 mai 2024]. Discrimination: What it is and how to cope. Disponible sur: <https://www.apa.org/topics/racism-bias-discrimination/types-stress>
2. Pénicaud É, Rémy N. 9 % des personnes en emploi déclarent avoir subi des traitements inégalitaires ou des discriminations au travail en 2021 - Insee Première - 1983 [Internet]. [cité 24 mai 2024]. Disponible sur: <https://www.insee.fr/fr/statistiques/7760309#titre-bloc-1>
3. Ministère de l'Education Nationale et de la Jeunesse [Internet]. [cité 5 juin 2024]. L'observatoire national de la sécurité et de l'accessibilité des établissements d'enseignement. Disponible sur: <https://www.education.gouv.fr/l-observatoire-national-de-la-securite-et-de-l-accessibilite-des-etablissements-d-enseignement-89561>
4. Suter C, Favrod J, Pellet J. Auto-stigmatisation dans la schizophrénie. Un frein au rétablissement psychologique. Laennec [Internet]. 2019 [cité 24 mai 2024];67(3):34-43. Disponible sur: <https://www.cairn.info/revue-laennec-2019-3-page-34.htm>
5. Autin F. La théorie de l'identité sociale de Tajfel et Turner. Disponible sur: [https://www.psychanalyse.com/pdf/LA%20THEORIE%20DE%20L%20IDENTITE%20SOCIALE%20DE%20TAJFEL%20ET%20TURNER%20\(7%20Pages%20-%2066%20Ko\).pdf](https://www.psychanalyse.com/pdf/LA%20THEORIE%20DE%20L%20IDENTITE%20SOCIALE%20DE%20TAJFEL%20ET%20TURNER%20(7%20Pages%20-%2066%20Ko).pdf)
6. Pangny M. Influence de la perception, autoperception et métaperception des qualités de manager sur la satisfaction au travail.
7. World Report on Disability [Internet]. [cité 24 mai 2024]. Disponible sur: <https://www.who.int/teams/noncommunicable-diseases/sensory-functions-disability-and-rehabilitation/world-report-on-disability>

Insa News

P2I-8 Tarik RAMADAN Groupe 284

QUAND LA MALADIE REDÉFINIT L'IDENTITÉ: L'IMPACT PSYCHOLOGIQUE ET SOCIAL DES MALADIES SOMATIQUES CHRONIQUES



Figure 1: Représentation de la somatisation

Heu connues par le grand public, les maladies somatiques chroniques sont des troubles, de base psychologiques qui néanmoins se caractérisent par des symptômes physiques bien persistants, accompagnés de pensées et craintes excessives et inadaptées. Elles ne se contentent pas de marquer le corps; elles vont jusqu'à redéfinir l'identité personnelle et impacter profondément les relations sociales. En quoi ces pathologies transforment-elles la perception de soi et l'intégration sociale des patients ? Cet article explore les dimensions psychologiques et sociales des maladies chroniques, mettant en lumière les défis et les adaptations des patients touchés par cela au quotidien.

Un changement drastique non voulu

Les maladies somatiques chroniques, telles que le diabète, la sclérose systémique, qui est une maladie sous-jacente

du Syndrome de Raynaud ou les maladies cardiaques, touchent des millions de personnes à travers le monde. Au-delà des symptômes physiques, ces conditions modifient profondément l'identité personnelle et les interactions sociales des patients. Comment ces maladies transforment-elles la perception de soi et l'intégration sociale ? Pour répondre à cette question, nous explorerons deux aspects essentiels : les maladies chroniques comme un fardeau puis comme une opportunité de transformation.

Les Maladies chroniques comme fardeau

Les maladies chroniques imposent une lourde charge psychologique et sociale, transformant radicalement le quotidien et la perception de soi des patients. Les limitations physiques entraînent une perte d'autonomie, obligeant les patients à renoncer à des activités appréciées, ce qui peut générer un sentiment de dévalorisation et de perte de contrôle. La dépendance accrue aux autres pour des tâches quotidiennes engendre un sentiment de vulnérabilité. Cette perte d'autonomie est perçue comme une dégradation de la qualité de vie et une menace à l'identité personnelle.

Des études montrent que l'autonomie est cruciale pour l'estime de soi et le bien-être psychologique des patients chroniques [1]. Les maladies chroniques peuvent également entraîner un isolement social, souvent aggravé par la stigmatisation. Les malades se sentent incompris ou rejetés, ce qui accentue leur solitude. La stigmatisation peut mener à une marginalisation sociale. Une étude a montré qu'environ 50% des patients touchés se sentent socialement isolés [2]. Brown ML indique que la stigmatisation conduit souvent à un retrait social volontaire, aggravant l'isolement et la détresse psychologique des patients [3]. Les traitements et les symptômes des maladies chroniques peuvent altérer l'apparence physique, modifiant la perception de soi. Dans une société valorisant très fortement l'apparence physique, ces changements sont difficiles à accepter, engendrant honte et rejet, et impactant négativement l'identité personnelle. Les patients ressentent une déconnexion entre leur apparence actuelle et leur image d'eux-mêmes avant la maladie, souvent associée à une diminution de l'estime de soi. Brown souligne que l'acceptation de soi devient un défi majeur, nécessitant très souvent un accompagnement psychologique pour éviter dépression et anxiété [3].



Figure 2: Image représentant l'exclusion sociale

Une opportunité de transformation

Malgré les nombreux défis, les maladies chroniques peuvent être une opportunité de transformation personnelle et sociale. Les patients développent des stratégies d'adaptation et trouvent de nouveaux sens à leur existence. La résilience, essentielle pour la reconstruction identitaire, leur permet de trouver de nouvelles sources de satisfaction personnelle malgré les limitations imposées par la maladie. Une étude montre que les patients résilients ont une meilleure qualité de vie et une perception plus positive de leur état [4]. La résilience aide aussi à intégrer les aspects positifs de leur expérience, menant à une meilleure acceptation de soi et à une plus grande satisfaction de vie [2]. Les changements physiques dus aux maladies chroniques offrent l'occasion de redéfinir les standards de beauté et d'acceptation de soi. Les patients apprennent à valoriser des aspects de leur identité non liés à l'apparence physique, comme leur résilience et leur capacité à surmonter les défis. En redéfinissant ce qui est beau et acceptable, ils trouvent une nouvelle source de fierté et de confiance en eux, influençant la société à adopter des standards plus inclusifs et diversifiés.

Les campagnes de sensibilisation et les représentations positives des personnes atteintes de maladies chroniques dans les médias peuvent changer les perceptions sociales et réduire la stigmatisation [4].

L'inclusion sociale est possible grâce à des initiatives communautaires et des politiques publiques adaptées. Les groupes de soutien et les programmes de sensibilisation réduisent l'isolement et la stigmatisation des patients chroniques, offrant un réseau de solidarité et un lieu de partage essentiel pour leur bien-être émotionnel et social [2]. Les interventions institutionnelles, comme les services de santé mentale et les politiques publiques, sont cruciales. Elles fournissent des ressources spécialisées et des infrastructures adaptées pour aider les patients à mieux gérer leur condition et à s'intégrer socialement. Des études montrent que l'accès à des services de santé mentale peut améliorer la qualité de vie des patients atteints et réduire les symptômes de dépression et d'anxiété associés à leur condition. Des politiques publiques efficaces incluent des programmes d'éducation, des services de soutien psychologique et des initiatives pour promouvoir l'inclusion sociale des personnes concernées [5].



Figure 3: Un patient malade au sein d'une thérapie de groupe

Ce qu'il faut retenir

Les maladies somatiques chroniques transforment inévitablement l'identité personnelle et les interactions sociales des patients. Ces transformations, malheureusement souvent perçues comme un fardeau, peuvent aussi représenter une opportunité de croissance et de redéfinition. Comprendre ces impacts et promouvoir des stratégies d'adaptation et de soutien est essentiel pour améliorer la qualité de vie des personnes affectées. Les efforts conjoints des professionnels de santé, des familles et de la société sont nécessaires pour soutenir ces individus dans leur parcours complexe.

Bibliographie

[1].STEPANIAN N., LARSEN MH., MENDELSOHN JB, et al. Empowerment interventions designed for persons living with chronic disease - a systematic review and meta-analysis of the components and efficacy of format on patient-reported outcomes (2023). Accepté pour publication : <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC10463815/>

[2].LOVINO P., VELLONE E., CEDRONE N, et al. A Middle-Range Theory of Social Isolation in Chronic Illness (2023). Accepté pour publication : <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC10049704/>

[3].BROWN LM. Chronic Medical Conditions and Peripartum Mental Illness: A Systematic Review and Meta-Analysis (2021). <https://academic.oup.com/aje/article/187/9/2060/4964666?login=false>

[4].SALSMAN ML., NORDBERG HO., HOWELL J, et al. Psychological distress and symptom-related burnout in asthma during the COVID-19 pandemic (2023): <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC10211287/>

[5].COCKERHAM WC., HAMBY BW., OATES GR. The Social Determinants of Chronic Disease (2017). Accepté pour publication : <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5328595/>

Annexe 10 - Article SHS de Tarik RAMADAN