

MEMOIRE DE PROJET DE FIN D'ETUDE

Pour l'obtention du diplôme de Master Sciences et Techniques
Systèmes Intelligents et Energie
(S.I.E)

Réalisé au sein de : SIGER



Développement d'un modèle python pour la détection de la température et du rythme respiratoire à distance basée sur l'intelligence artificielle pour la prévention contre la pandémie du COVID-19.

Réalisé par :

- **OUKHADDA Hafida**
- **EL GHAOUASS Othmane**

Encadré par :

P^r ZAZ Ghita (FST FES)

P^r MARKTANI ALAMI Malika (ENSA FES)

Soutenu le 17 Juillet 2021, devant le jury composé de :

Pr. ZAZ Ghita	Encadrante (FST-FES)
Pr. MARKTANI ALAMI Malika	Encadrante (ENSA-FES)
Pr. ALI AHAILOUF	Examineur (FST-FES)
Pr. ABDELLAH MECHEQRANE	Examineur (FST-FES)
Pr. A. ELBASSET	Examineur (FST-FES)

ANNEE UNIVERSITAIRE 2020-2021

DEDICACE

À vous nos chers parents...

Pour tout ce que vous faites pour nous, Toutes vos prières, tous vos efforts, pour nous voir heureux,

À nos chers frères et à nos chères sœurs...

Pour votre soutien moral et vos encouragements,

*À tous ceux qui ont participé de près ou de loin
pour la réalisation de ce travail*

*On vous respecte tous, avec vous nous avons passé les
meilleurs moments de notre vie,*

*À toutes nos familles, nos amis et à tous ceux que nous
respectons...,*

Nous dédions ce modeste travail

OUKHADDA Hafida

EL GHAOUASS Othmane

Remerciement

De notre profonde reconnaissance, nous tenons à remercier toute personne ayant contribué au bon déroulement de notre stage au sein du Laboratoire Systèmes Intelligents, Géo-ressources et Énergies Renouvelables (SIGER) à la Faculté des Sciences et Techniques de Fès.

Nous remercions très chaleureusement notre professeur Monsieur AHAITOUF Ali, le Directeur du laboratoire, pour son suivi, sa disponibilité ainsi que les discussions que nous avons eu autour de ce projet.

Au terme de notre Projet de Fin d'Étude, nous tenons à exprimer nos sincères remerciements et gratitude à nos encadrants : Pr. G.ZAZ, Pr. M. ALAMI MARKTANI, pour leurs encouragements, leurs soutiens morales et leurs conseils et aides qui nous ont octroyé tout au long de la période de notre stage.

Nous sommes fiers de travailler sous leurs directives.

Nous saisissons cette occasion pour adresser tous nos remerciements au corps professoral de la FST. Nous le prions de bien vouloir trouver ici les expressions de notre plus grand dévouement et notre profonde reconnaissance.

Enfin, nous nous plaignons à reconnaître notre dette envers tous ceux et celles qui d'une manière ou d'une autre, ont contribué à l'élaboration du présent travail.

RESUME :

Le but de ce travail est de développer un modèle, basé sur l'intelligence artificielle écrit en python pour la détection à distance de la température et du rythme respiratoire pour la prévention contre la pandémie du COVID-19. Nous avons suivi une approche basée sur des « Landmarks » et des algorithmes d'intelligence artificielle.

Avant de faire le développement de ce modèle, nous avons effectué une étude préalable concernant l'environnement de travail, autrement dit : nous avons fait une recherche sur les différentes bibliothèques qui permettent de détecter les « Landmark » du visage, ceci permet d'estimer la forme approximative du visage via différents points de repère en temps réel et qui a été utilisé avec une grande précision pour extraire les zones d'intérêts : la partie nasale, frontale et lacrymale. Une fois que ces points de repère faciaux identifiés, nous extrairons les positions pixels de ces régions d'intérêt afin de récupérer par la suite les températures exactes dans ces points.

Le but de ce sujet sera donc de réaliser un système intelligent capable de mesurer à distance la température corporelle et d'analyser le rythme respiratoire en surveillant les changements de température autour de la zone nasale.

Mot clés : Température corporelle, Rythme respiratoire, Imagerie thermiques, COVID-19, Intelligence artificielle et Région d'intérêt.

ABSTRACT:

The aim of this work is to develop an artificial intelligence-based model written in python for the remote sensing of temperature and respiratory rate for prevention against the COVID-19 pandemic. We followed an approach based on "Landmarks" and artificial intelligence algorithms.

Before developing this model, we carried out a preliminary study concerning the working environment, in other words: we did a research on the different libraries that allow the detection of facial landmarks, which estimate the approximate shape of the face. via different landmarks in real time and which has been used with great precision to extract the areas of interest: the nasal, frontal and lacrymal part. Once these facial landmarks have been identified, we will extract the positions of the pixels from these regions of interest in order to subsequently recover the exact temperatures at these points.

The goal of this topic will therefore be to achieve an intelligent system capable of remotely measuring body temperature and analyzing the respiratory rate by monitoring changes in temperature around the nasal area.

Keywords: Body temperature, Respiratory rhythm, Thermal imaging, COVID-19, Artificial intelligence and region of interest.

Table des matières

MEMOIRE DE PROJET DE FIN D'ETUDE	1
Introduction :	1
Chapitre1 : Présentation de l'organisme d'accueil et contexte du projet :	1
Introduction :	2
I. Présentation de l'organisme d'accueil SIGER :	2
1- L'équipe de laboratoire Systèmes Intelligents, Géo-ressources et Energies (SIGER) :	2
2- Effectif & Etablissement d'accueil :	3
3- Thématiques de recherche :	3
II. L'impact de la crise du coronavirus sur l'économie mondiale :	4
III. Contexte du projet :	4
1- Problématique :	4
2- Cahier de charges :	4
3- Planning :	5
4- Objectif du travail :	5
IV. Méthodologie du travail :	6
Conclusion :	7
Chapitre 2 : État de l'art :	2
Introduction :	9
I. L'intelligence artificielle :	9
1- Définition :	9
2- L'apprentissage machine :	9
3- Apprentissage profond et réseaux neuronaux :	9
II. Réseau neuronal convolutif CNN :	10
1- Définition :	10
2- Prétraitement de l'ensemble des données :	10
3- Architecture du CNN :	11
III. Principes de l'imagerie thermique :	11
1- Relation entre température et infrarouge :	11
2- La température corporelle :	13
3- Extraction de la température ROI :	13
IV. Les techniques de mesure de la température à distance :	13
1- Mesure de la température à base d'une caméra thermique :	13
2- Mesure de la température à base d'un infrarouge :	14
V. Les techniques d'analyse de la fréquence respiratoire à distance :	15

1-	Définition de la fréquence respiratoire :	15
2-	Techniques d'analyse du rythme respiratoire (RR) :	15
2-1	Mesure des changements de luminosité et de couleur de la peau de zones spécifiques :	15
2-2	Mesure des mouvements du thorax :	16
a-	Utilisation du signal vidéo classique RVB :	16
b-	Utilisation de capteurs de distance :	16
c-	Utilisation d'un radar Doppler. :	16
2-3	Mesure thermique de zones spécifiques à partir d'image thermique :	16
2.3.1	Approches basées sur le son :	17
2.3.2	Approches basées sur la camera RGB :	17
	Conclusion :	18
	Chapitre 3 : La Solution proposée pour la détection de température et du rythme respiratoire à distance :	1
	Introduction :	19
I.	L'environnement technique du projet :	19
1-	Installation du logiciel :	19
2-	Langage de programmation python :	20
3-	Les bibliothèques importées :	21
II.	Détection de la température corporelle par caméra thermique :	22
1-	Détection du masque :	22
a-	Description d'algorithme utilisé :	23
b-	Couches internes de notre CNN :	24
c-	Détection de visage :	25
2-	Détection des Landmark :	26
a-	Description de la méthode utilisée :	26
b-	Diagramme descriptif :	27
III.	Contrôle du rythme respiratoire à distance basé sur l'imagerie thermique :	27
1-	Identification de la ROI (Partie Nasale) :	27
2-	Mesure du rythme respiratoire :	28
	Conclusion :	28
	Chapitre 4 : Résultats de simulations	1
	Introduction :	30
I.	Présentation de la caméra :	30
1-	Caractéristiques :	30
2-	Choix de la caméra et relation avec notre solution :	30
II.	Mise en œuvre de la solution :	31

1-	Résultats de détection du masque :	31
2-	Résultats de l'application des Landmark sur le visage :	32
3-	Résultat du fusionnement des deux programmes :	33
III.	Extraction pixels des régions d'intérêt Lacrymale, Nasale et Frontale :	34
IV.	Extraction de la température des régions d'intérêt :	35
	Conclusion :	37
	Conclusion & Perspectives :	38
	Bibliographie :	1

Table des figures:

Figure 1:ORGANIGRAMME DE L'ORGANISME D'ACCUEIL.....	2
Figure 2:Diagramme de Gantt.....	5
Figure 3:Méthodologie du travail.....	6
Figure 4 : Architecture CNN.....	11
Figure 5:Longueur d'onde.....	12
Figure 6: Loi de Planck.....	12
Figure 7: Loi de Wien.....	12
Figure 8:Exemple d'image thermique.....	14
Figure 9:Relation couleur/température.....	14
Figure 10 : le volume d'air entrant et sortant des poumons au cours du temps.....	15
Figure 11:les changements de température de la région nasale.....	17
Figure 12: l'environnement du travail.....	19
Figure 13:Chemin suivi pour la détection de la température.....	22
Figure 14: Exemples des images avec/sans masque de notre dataset.....	23
Figure 15:schéma du CNN.....	24
Figure 16:résultat de la détection du visage.....	25
Figure 17:468 Landmarks du visage.....	26
Figure 18:Diagramme descriptif.....	27
Figure 19:Placement automatique du ROI.....	27
Figure 20: Caméra Thermique.....	30
Figure 21: Images en temps réel pour la détection du masque.....	31
Figure 22: Application de la détection des Landmark en temps réel par Dlib.....	32
Figure 23:Application de la détection des Landmark en temps réel par MediaPipe.....	32
Figure 24: Détection des régions d'intérêt en temps réel.....	33
Figure 25:Coordonnées Pixels.....	34
Figure 26: Image avant application du Programme.....	34
Figure 27: Après Applications du Programme.....	35
Figure 28:Coordonnées Pixels.....	35
Figure 29: Palette de couleur.....	36
Figure 30:Extraction de la température.....	36

Liste des tableaux:

Tableau 1: Caractéristiques de la Caméra.....	30
Tableau 2: Informations sur la caméra.....	31

Liste des acronymes :

ROI : Région d'intérêts.

USMBA : UNIVERSITÉ SIDI MOHAMED BEN ABDELLAH.

PCR: Polymerase Chain Reaction.

MENSSUP: Ministère nationale, de la formation professionnelle de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique.

CNRST : Centre National pour la Recherche Scientifique et Techniqu

Introduction :

Le Coronavirus SARS-CoV2 est à l'origine de la pandémie (COVID-19) est une maladie infectieuse respiratoire pouvant être mortelle apparue en décembre 2019, pour la première fois en Chine dans la province du Hubei et s'est ensuite diffusée à l'échelle mondiale sur tous les continents. Elle se transmet par contact rapproché avec des personnes infectées. Ce virus affecte les individus de différentes manières ; les symptômes principaux de la maladie sont la fièvre, la fatigue, la toux et le rythme respiratoire.

Le Maroc prend des précautions importantes de prévention pour éviter la propagation de l'épidémie comme maintenir la distanciation physique, porter un masque, bien ventiler les pièces, se laver régulièrement les mains et suivre les recommandations des autorités locales les lieux de vie et de travail.

Dans ce projet, financé par le MENSSUP, CNRST et l'USMBA dans le but de lutter contre le CORONA virus, nous proposons une solution intelligente basée sur des Landmark et des algorithmes d'intelligence artificielle pour la détection à distance de la température et du rythme respiratoire.

L'objectif de notre projet est de développer un modèle écrit en python qui permet de détecter la température et le rythme respiratoire à distance à partir des images thermiques en utilisant une approche basée sur l'extraction des différentes positions des zones d'intérêt : Lacrymale, nasale et frontale.

Ce projet, intitulé « Développement d'un modèle python pour la détection à distance de la température et du rythme respiratoire pour la prévention contre la pandémie du COVID-19 », s'articule autour de quatre chapitres :

Le premier chapitre est consacré à la présentation du cadre général du projet Laboratoire Systèmes Intelligents, Géo-ressources et Énergies Renouvelables (SIGER) à la Faculté des Sciences et Techniques de Fès de l'USMBA. Il permet d'avoir une idée sur les équipements du laboratoire et savoir le contexte du projet et ses objectifs. Ensuite nous expliquons dans le même chapitre la méthodologie du travail pour atteindre l'objectif souhaité.

Le deuxième chapitre est dédié à l'état art, La première tâche qui nous a été confiée est de faire une étude comparative (benchmarking) des différentes techniques existantes pour la détection de température et du rythme respiratoire.

Le troisième chapitre consiste à expliquer notre méthode abordée pour la réalisation du système, c-à-d la solution proposée pour le développement du code python afin de détecter les repères du visage et extraire les régions d'intérêts qui vont nous permettre de savoir si la personne souffre des symptômes liés au COVID-19 ou non.

Finalement le quatrième chapitre contient les résultats de simulation de notre modèle pour assurer le bon fonctionnement et la performance de notre programme.

**Chapitre 1 : Présentation de
l'organisme d'accueil et
contexte du projet :**

Introduction :

L'objectif de ce chapitre est de présenter l'établissement de stage, le laboratoire SIGER, et ses équipes, identifier le contexte du projet et préciser la méthodologie du travail suivie.

I. Présentation de l'organisme d'accueil SIGER :

Les chercheurs, membres de ce projet ont décidé de se regrouper pour constituer le laboratoire SIGER Systèmes Intelligents, Géo-ressources et Énergies Renouvelables, dont objectif est une recherche de qualité et une excellence opérationnelle au service d'un développement durable, d'un environnement préservé, d'un potentiel humain qualifié et d'une production de connaissances de haut niveau[1].

1- L'équipe de laboratoire Systèmes Intelligents, Géo-ressources et Energies (SIGER) :

Le laboratoire regroupe plusieurs compétences qui travaillent collectivement sur les sujets de recherches transversaux d'intérêt commun et d'utilité nationale et internationale. SIGER formé de quatre équipes de recherche dont les intitulés et les coordinateurs sont montrés dans l'organigramme de la figure 1 :

- Mathématique, Informatique et Intelligence Artificielle (**M2IA**)
- Géologie et Géophysique appliquées aux Géo-ressources et Géorisques (**2GA2G**)
- Systèmes Embarqués, Électronique et Télécommunications (**S2ET**)
- Energies Renouvelables et Développement Durable (**ER2D**)

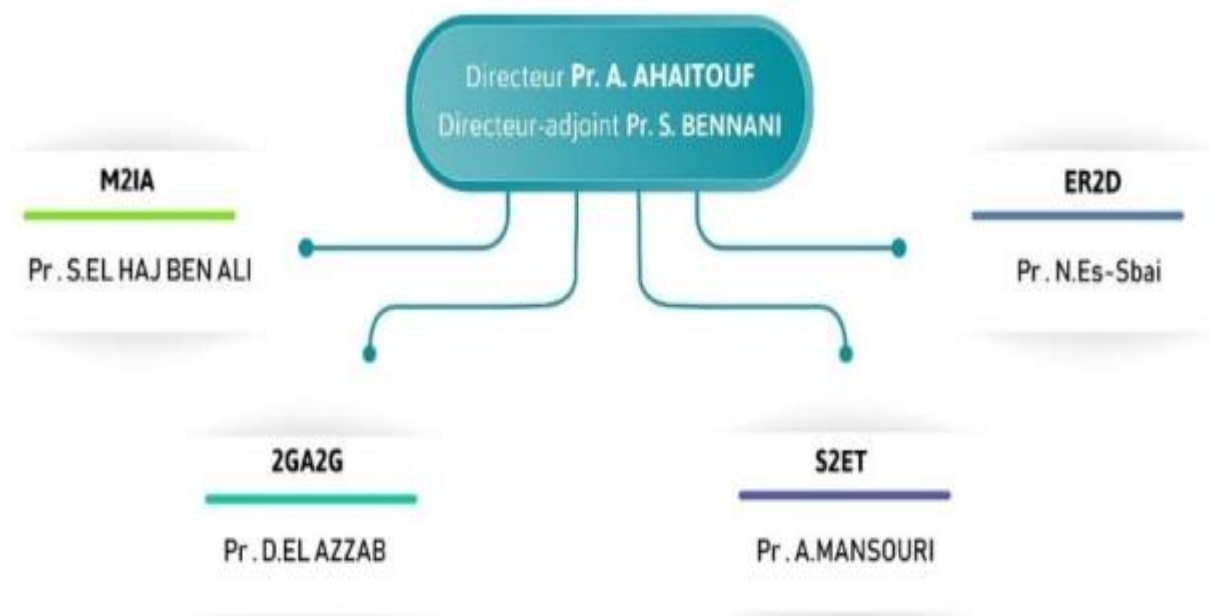


Figure 1: ORGANIGRAMME DE L'ORGANISME D'ACCUEIL

2- Effectif & Etablissement d'accueil :

Le laboratoire a un effectif de :

- 30 enseignants chercheurs permanents,
- 77 Doctorants,
- 29 chercheurs associés,
- Etablissement d'accueil : FST de Fès
- Etablissement membre : ENSA de Fès

3- Thématiques de recherche :

Le laboratoire a pour objectif d'encourager la recherche dans des thématiques qui s'inscrivent parmi les priorités du pays. En effet, la convergence des intérêts scientifiques des chercheurs et la complémentarité des savoirs seront investis. Ces thématiques sont [1]:

- Traitement de signaux, traitement d'image et traitement vidéo ;
- Description matérielle, architectures parallèles, systèmes temps réel ;
- Problème de la médiane ordonnée d'un nombre fini de fonctions rationnelles, la Théorie de localisation et ses applications pratiques, comme en gestion et valorisation des ressources naturelles et gestion des risques.
- Calcul Scientifique, Optimisation Polynomiale, Optimisation Multi-objectif et la Programmation Semi-définie positive, utiles aux modélisations visant la connaissance, la maîtrise et la gestion des systèmes naturels et environnementaux ;
- Services Web, Ingénierie dirigée par les Modèles, Adaptations et applications aux problèmes de gestion, voire d'anticipation de l'évolution des systèmes ;
- Risques et sécurité des systèmes d'information ;
- Physique des composants de l'échelle micro à l'échelle nanométrique, Physique des capteurs, capteurs intelligents et leurs applications ;
- Conception des circuits intégrés analogiques et numériques multi-usages.
- Télécommunications, Antennes microonde, propagation et RFID et exploration des opportunités de leurs usages prospectifs, y compris dans le domaine de l'environnement.
- Géophysique de subsurface (méthodes électriques, électromagnétisme, magnétisme, gravimétrie et sismiques) : application à la prospection des ressources naturelles, aux risques naturels et à l'environnement.
- Géophysique aéroportée (magnétomètres embarqués avec GPS, Spectromètre γ , capteurs électromagnétique émetteur - récepteur, caméra vidéo, altimètre radar, télédétection) : Traitements de données appliquées : 1/ à l'exploration minière et hydrique, 2/ aux structures géologiques, 3/ aux Géorisques, 4/ à la pédologie, 5/ la désertification et 6/ à la cartographie thématique.

- Tectonophysique et dynamique terrestre appliquées à différentes échelles : identification des zones vulnérables (urbaines et ruraux) aux aléas naturels et de sites destinés à l'installation des capteurs de surveillance de ces aléas, mise en place de gisements miniers et exploration des énergies fossiles.
- Physique des roches (essais géotechniques, rhéologie) : qualité des sols et identification et valorisation des géo matériaux.

II. L'impact de la crise du coronavirus sur l'économie mondiale :

Afin de contenir la contamination et la propagation du virus qui a déjà fait de nombreuses victimes, les autorités de tous les pays du monde ont pris une série de mesures qui peuvent avoir un impact sur les déplacements de leurs déplacements et les plans d'exportations vers ces pays.

L'impact de cette crise sanitaire sur l'activité mondiale à des conséquences graves plus long terme sur tous les domaines savoir la fermeture d'usines, arrêt de projets de construction et d'infrastructures, perturbations graves des chaînes d'approvisionnement des firmes pendant le confinement ce qui provoque une violente récession économique par une chute grave de la production industrielle.

III. Contexte du projet :

1- Problématique :

Les coronavirus forment une famille de virus variés (Coronaviridae), c'est un nouveau virus très contagieux qui se propage facilement contaminant ainsi d'autres personnes. Il se propage d'une manière incroyable dans le monde. Les symptômes les plus répandus de ce virus contagieux sont : la fièvre, la toux et le rythme respiratoire.

Dans le cadre de lutter contre la contamination très élevée de ce virus, il existe différentes techniques intelligentes qui permettent de lire la température élevée de la personne. Pourtant ces techniques telles que les caméras infrarouges existantes dans le marché ne permettent pas d'extraire la température corporelle exacte puisque ces caméras fournissent la température la plus élevée détectée dans l'image thermique. Cependant cette température généralement est influencée par l'environnement extérieure. Pour cela nous avons abordé une approche qui va nous permettre d'extraire des zones précises dans le visage tel que : zone nasale, lacrymale, et frontale. Les recherches ont montré que la partie lacrymal et nasale reflètent la température interne exacte du corps humain, ce qui va nous permettre de déterminer précisément si la personne présentent des symptômes liés au COVID-19 ou non.

2- Cahier de charges :

Vu à la crise sanitaire actuelle et la difficulté d'identifier les personnes souffrantes du coronavirus sans passer le test (PCR) ; le CNRST, le MENSSUP et l'USMBA lancé un programme de soutien à la recherche scientifique et technologique en lien avec le COVID-19.

Dans ce cadre, le projet intitulé « Système intelligent de multi-capteurs pour la détection du COVID-19 » a été retenu.

Le but principal de ce projet est de proposer une solution pour détecter, à distance, de la température corporelle, le rythme respiratoire et la toux des individus traversant un système équipé par une caméra thermique et un réseau de microphone lié à un système d'acquisition et de traitement de données. Ce prototype peut être installé à l'entrée des portes (facultés, entreprises, gares, Aéroports...) dans le but contrôler les gens qui souffrent de l'épidémie.

Dans le cadre de ce projet, l'objectif de notre stage de fin d'étude concerne le développement d'un modèle python pour la détection de la température et du rythme respiratoire basée sur l'intelligence artificielle et l'imagerie thermique.

3- Planning :

Après avoir identifié le cahier de charge de notre projet, nous avons proposé un plan de travail bien précis. La figure (figure 2) montre le diagramme de Gantt que nous avons suivi durant cette période de ce stage.

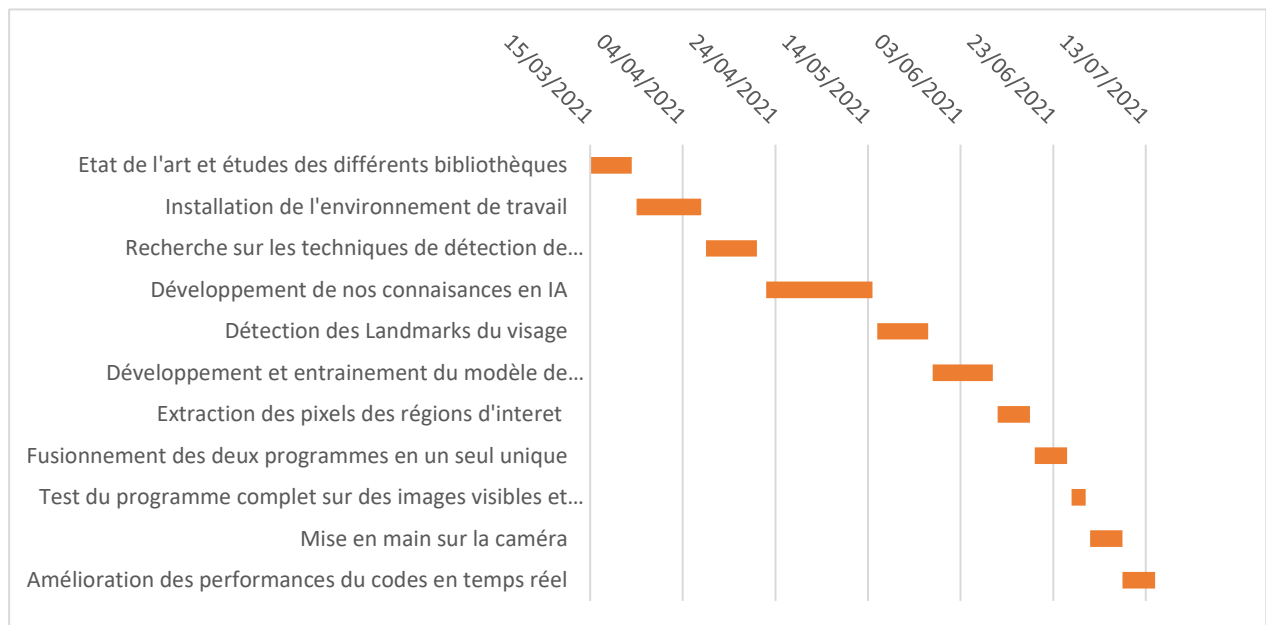


Figure 2: Diagramme de Gantt.

4- Objectif du travail :

Afin d'atteindre cet objectif, nous avons procédé de la manière suivante :

- État de l'art sur les techniques de détection de la température et du rythme respiratoire.
- Méthodologie et installations d'environnement de travail.
- Développement du code pour la détection du masque.
- Entraînement du modèle.
- Développement du code pour Landmark
- Fusionnement des 2 codes sur un seul code unique.
- Récupération des zones d'intérêts à partir des images thermiques

- Extraction des températures à partir des positions pixels des ROI (Lacrymale, nasale, frontale).
- Le suivi de la partie nasale et calcul de la moyenne des températures pour mesurer le rythme respiratoire.
- Validation de notre solution proposée.

IV. Méthodologie du travail :

Il existe de nombreuses méthodologies très spécialisées selon les problématiques qui permet une bonne synthèse du problème. La figure (figure3) dessous montre la méthodologie que nous avons proposée pour traiter ce problème.

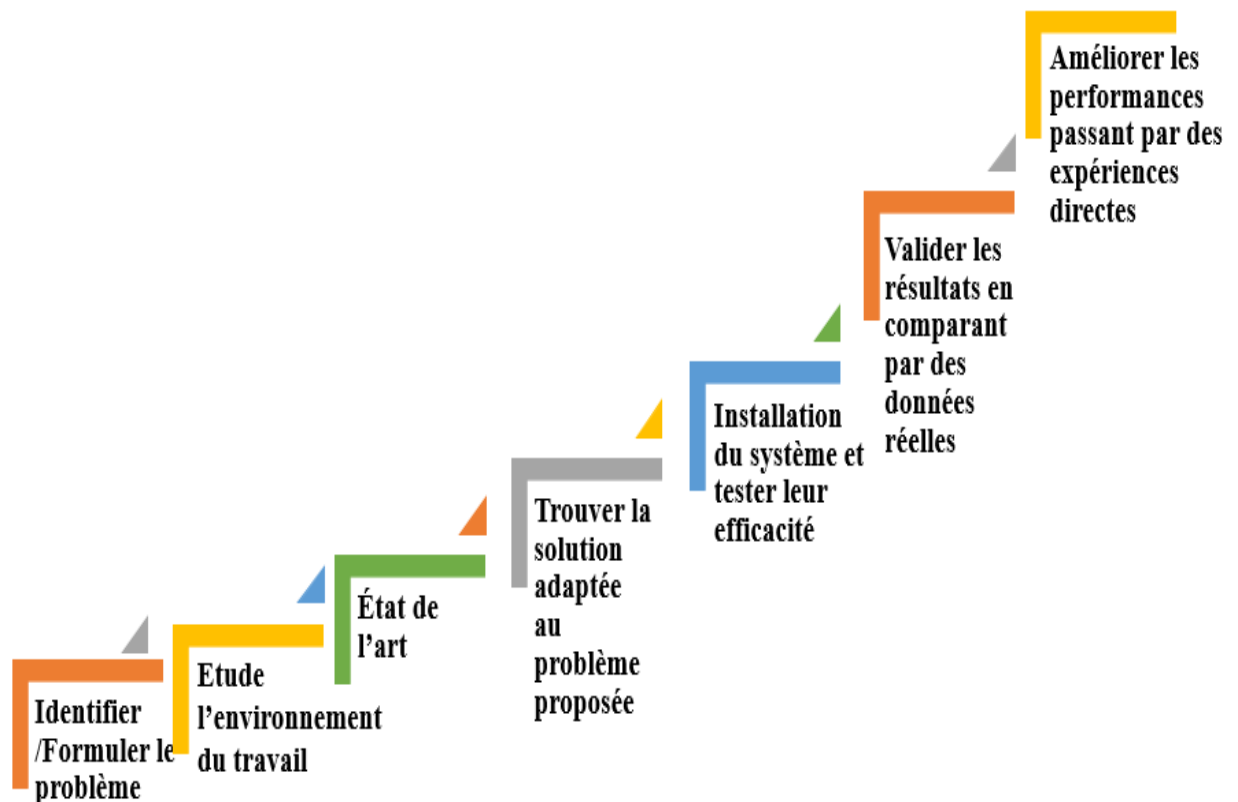


Figure 3: Méthodologie du travail.

Résoudre le problème actuel imposé par cette crise sanitaire (coronavirus) revient à s'appuyer sur une méthode et des outils adaptés. Nous vous proposons une démarche et une suggestion d'outils à utiliser pour chaque étape. Voilà les étapes que nous avons suivies :

- **Définir le problème à traiter** : La première étape est de bien comprendre toutes les dimensions de la problématique à résoudre et recueillir le maximum d'informations qui faciliteront la recherche sur la nouvelle maladie (coronavirus) et utiliser les diagnostics des médecins pour pouvoir détecter les symptômes importants de ce virus qui sont la température, le rythme respiratoire et la toux.
- **Etude l'environnement du travail** : Un point important est de bien choisir le bon espace de travail qui garantit l'efficacité de notre solution.

- **L'état de l'art :** Dans le cadre de la résolution de ce problème, nous avons fait des recherches sur les techniques existantes pour la détection de la température et du rythme respiratoires.
- **Trouver une solution :** C'est le cœur de notre projet, nous avons fait des recherches sur le domaine d'intelligence artificielle et l'imagerie thermique dans le but de réaliser un prototype efficace capable de déterminer les gens soupçonnés d'être infectés par le coronavirus.
- **Lancer les actions : mettre en œuvre la solution retenue :** Une fois le choix des bibliothèques nécessaires pour le fonctionnement de la caméra et du modèle de l'IA est effectué, l'étape suivante est de tester et valider notre solution.
- **Suivre de l'efficacité de la solution et de sa mise en œuvre :** Cette étape consiste à valider les résultats obtenus par notre solution en comparant aux données mesurées par d'autres moyens afin d'identifier la précision de nos algorithmes.

Conclusion :

Ce chapitre a été consacré à la présentation du laboratoire SIGER, ses équipes de recherche. Il définit également le contexte général du projet. Enfin il présente les objectifs à atteindre et la méthodologie du travail suivie.

Chapitre 2 : État de l'art :

Introduction :

Avant d'entamer notre projet, il s'avère primordial de justifier pourquoi nous avons choisi l'Intelligence Artificielle et l'imagerie thermique. Ce chapitre présente aussi certaines notions de la littérature et une revue de bibliographie sur la détection de la température et du rythme respiratoire à distance.

I. L'intelligence artificielle :

De nos jours, la plupart des entreprises scientifiques lance des projets basés sur l'intelligence artificielle, elle est devenue un sujet omniprésent pour pouvoir réellement automatiser des tâches de façon fiable, pérenne et avec de réels gains de performance. Les solutions basées sur l'intelligence artificielle sont complexes à développer et à maintenir. Cette complexité qui demande des connaissances solides en termes de codes, de manipulation des données ou de leur interprétation garantit la fiabilité et la stabilité de la solution.

1- Définition :

L'intelligence artificielle (IA) est un ensemble de techniques permettant à des machines d'accomplir des tâches et de résoudre des problèmes normalement réservés aux humains et à certains animaux. On associe presque toujours l'intelligence aux capacités d'apprentissage. C'est grâce à l'apprentissage qu'un système intelligent capable d'exécuter une tâche peut améliorer ses performances et pourra apprendre à exécuter de nouvelles tâches et acquérir de nouvelles compétences[2].

2- L'apprentissage machine :

Un système entraînable peut être vu comme une boîte noire avec une entrée, par exemple une image, un son, ou un texte, et une sortie qui peut représenter la catégorie de l'objet dans l'image ; Dans sa forme la plus utilisée, l'apprentissage machine est supervisé : on montre en entrée de la machine une photo d'un objet, la machine ajuste ses paramètres internes de manière à rapprocher sa sortie de la sortie désirée. Après avoir montré à la machine des milliers ou des millions d'exemples étiquetés avec leur catégorie, la machine devient capable de classer correctement la plupart d'entre eux. Mais ce qui est plus intéressant, c'est qu'elle peut aussi classer correctement des images qu'elle n'a jamais vues durant la phase d'apprentissage. C'est ce qu'on appelle la capacité de généralisation cela entraîne l'importance d'écrire un programme qui fonctionnera de manière robuste dans toutes les situations[3].

3- Apprentissage profond et réseaux neuronaux :

L'apprentissage profond ou deep learning est une classe de méthodes dont les principes sont connus depuis la fin des années 80, mais dont l'utilisation ne s'est vraiment généralisée que depuis 2012.

Le système entraînable est constitué d'une série de modules, chacun représentant une étape de traitement. Chaque module est entraînable, comportant des paramètres ajustables similaires aux poids des classificateurs linéaires. Le système est entraîné de bout en bout : à chaque exemple, tous les paramètres de tous les modules sont ajustés de manière à rapprocher la sortie produite par le système de la sortie désirée. Le qualificatif profond vient de l'arrangement de ces modules en

couches successives. La différence entre machine learning et Deep Learning réside que les algorithmes de Machine Learning vont traiter des données quantitatives et structurées (valeurs numériques), lorsque ceux de Deep Learning traiteront des données non-structurées, comme le son, l'image, le texte[3].

II. Réseau neuronal convolutif CNN :

1- Définition :

Dans cette partie, nous allons focaliser sur un des algorithmes les plus performants du Deep Learning, les Convolutional Neural Network ou CNN : Réseaux de neurones convolutifs en français, ce sont des modèles de programmation puissants permettant notamment la reconnaissance d'images en attribuant automatiquement à chaque image fournie en entrée, une étiquette correspondant à sa classe d'appartenance.

Pour simplifier l'explication du processus de la couche de convolution, il faut savoir qu'une image se représente en 3D, il y a 2 dimensions pour une image en niveaux de gris qui correspondent à la largeur et à la hauteur de l'image et une troisième dimension qui correspond à la composante couleur (un pixel est composé de trois couleurs rouge, verte et bleu). Ainsi une image sera un tableau 3D de taille : (largeur, hauteur, 3)[4].

Cette méthode est bien plus efficace à cause de deux principales raisons [5]:

- Moins d'erreur dans l'apprentissage car le modèle n'apprend pas des images mais des caractéristiques, des motifs.
- Plus de précision dans la détection, car le modèle doit justement reconnaître des caractéristiques, des motifs.

2- Prétraitement de l'ensemble des données :

➤ *Répartition des données, 80% pour la formation et 20% pour le test*

- Données d'entraînement = C'est le sous-ensemble de nos données utilisées pour former(entraîner) notre modèle.
- Données de test = Sous-ensemble de données que le modèle n'a jamais vu auparavant. Elles sont utilisées pour tester la performance de notre modèle.

➤ *Création des modèles de classification*

Les étapes de classification de notre modèle et son fonctionnement sont divisés en 4 parties :

- Chargement et visualisation de l'ensemble de données de notre dataset.
- Prétraitement de l'ensemble des données.
- Entraînement des classificateurs.
- Test des modèles.

3- Architecture du CNN :

Notre modèle est basé sur un réseau de neurones de bout en bout pour déduire une représentation approximative en maillage 3D en temps réel d'un visage humain à partir d'une seule entrée de caméra avec une qualité de prédiction élevée.

Un CNN possède différents types de couches. Parmi elle, les couches de convolution. Une couche de convolution est une couche fully-connected (FC), c'est-à-dire que tous les neurones de la couche précédente sont reliés à tous les neurones de cette couche. CNN possède une architecture à suivre et différentes couches peut être divisé à deux phases importantes : la convolution et la classification comme la figure (figure 4) suivante montrer[6] :

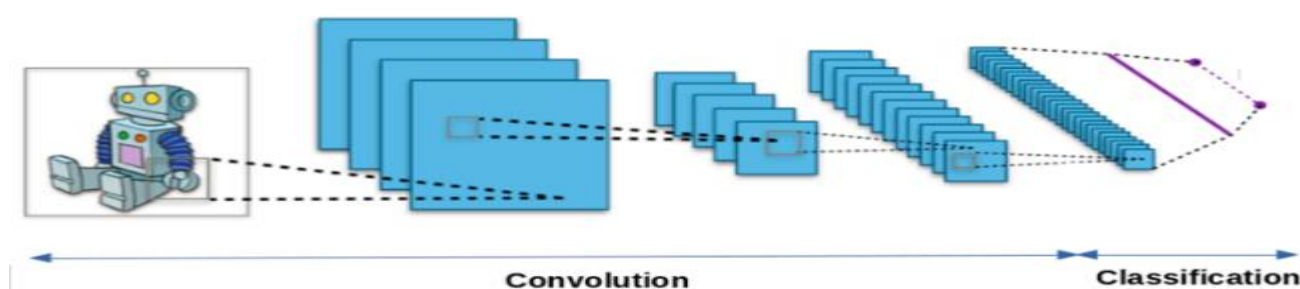


Figure 4 : Architecture CNN

III. Principes de l'imagerie thermique :

Pour surveiller les températures corporelles et mesurer le rythme respiratoire à distance on utilise l'imagerie thermique. C'est une technologie qui permet de détecter des personnes et des objets et d'obtenir des images thermiques d'une scène par analyse des infrarouges.

1- Relation entre température et infrarouge :

Un corps noir est un objet imaginaire "une abstraction mathématique" qui absorbe tout rayonnement incident. Le rayonnement que le corps noir émet ne dépend que de sa température et non du rayonnement incident. Les objets réels ne sont pas exactement des corps noirs. De plus, le corps humain n'est pas du tout un corps noir, ses caractéristiques optiques différent suivant la région du spectre. Un corps noir est défini comme un corps opaque et non réfléchissant émet un rayonnement électromagnétique, également appelé rayonnement complet ou rayonnement thermique. On peut considérer que le corps humain se comporte sensiblement comme un corps noir. Ainsi le corps humain, qui est à une température d'environ 37°C (soit environ $37+273 = 310\text{ K}$) émet un rayonnement principalement dans l'infrarouge à $9,3\text{ }\mu\text{m}$ (d'où les jumelles à infrarouge utilisées pour repérer des êtres humains la nuit). La température étant inversement proportionnelle à la longueur d'onde du pic d'émission, plus un corps est chaud, plus son rayonnement a lieu vers les hautes énergies, c'est-à-dire vers les petites longueurs d'onde. La figure suivante présente les rayons d'onde et ces longueurs d'ondes.

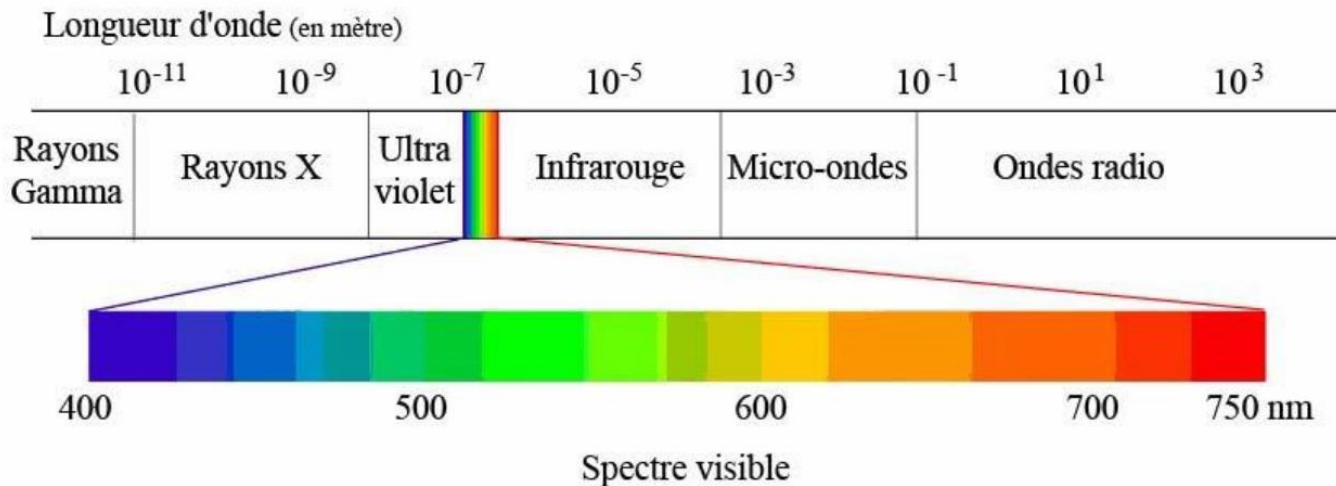


Figure 5:Longueur d'onde

Tout corps ayant une température (T) supérieure au zéro absolu (-273°C ou 0°K) émet, selon sa température, une énergie infrarouge spécifique. Cette énergie est provoquée par le mouvement mécanique au sein des molécules. L'intensité de ce mouvement dépend de la température du corps. L'infrarouge est associé à la chaleur car, à température ambiante ordinaire, les objets émettent spontanément des radiations dans le domaine infrarouge. La relation est modélisée par la loi du rayonnement du corps noir dite aussi loi de Planck[7].

Loi de Planck :

$$L_{\lambda}^{\circ} = \left(\frac{2hc^2}{\lambda^5} \right) \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda k_B T}} - 1}$$

Figure 6: Loi de Planck

Où c: la vitesse de la lumière dans le vide

h: la constante de Planck

KB: la constante de Boltzmann

L_{λ}° s'exprime en $\text{W m}^{-2} \text{sr}^{-1} \text{m}^{-1}$

La longueur d'onde du maximum d'émission d'un corps noir porté à une température absolue T (en kelvin) est donnée par la loi du déplacement de Wien.

Loi de Wien :

$$\lambda_{\max} = \frac{2,89777291 \times 10^{-3} \text{ m K}}{T}$$

Figure 7: Loi de Wien

Avec T: la température absolue du corps en Kelvin [8].

2- La température corporelle :

La mesure de la température corporelle est l'une des principaux signes à surveiller la fièvre pour détecter les cas du coronavirus.

La température nasale peut être utilisée comme mesure de substitution fiable de la température du corps, en effet une étude [9] est effectuée autour la température cutanée modifiée en tant que mesure de substitution précise de la température centrale en comparant les mesures de la température obtenus par la nasale à celles obtenus par le stéthoscope. L'intervalle de prédiction à 95% pour la différence de deux températures était de -0.2°C et $+0.3^{\circ}\text{C}$. Donc les températures nasale et lacrymale sont les deux températures les plus proches de la température corporelle.

3- Extraction de la température ROI :

L'un des défis majeurs est l'utilisation de l'imagerie thermique pour surveiller les températures, les occupants peuvent se déplacer par rapport à la caméra installée. Nous décrivons une approche pour extraire la température en localisant des régions spécifiques du visage dans les images thermiques. L'approche consiste à récupérer les pixels des ROIS (Region Of Interest) et lire la correspondance de ces points à l'échelle de la température de notre caméra. L'imagerie thermique peut fournir des résultats très précises pour prédire les températures pour évaluer la fièvre et mesurer la fréquence respiratoire [9].

IV. Les techniques de mesure de la température à distance :

Les caméras thermiques et les thermomètres infrarouges présentent un grand intérêt pour cette application puisque ces deux instruments permettent de contrôler à distance et sans contact l'élévation de température d'un individu et ainsi de détecter la fièvre.

1- Mesure de la température à base d'une caméra thermique :

Cette méthode permet d'utiliser la caméra thermique (ou caméra infrarouge) qui permet de mesurer à distance et sans contact une température à la surface d'un objet ou d'un être vivant. Les caméras infrarouges détectent automatiquement la température la plus élevée pour évaluer la température de la personne contrôlée.

La caméra infrarouge affiche sur l'écran une image en temps réel dont le codage couleurs permet d'apprécier la température superficielle de la source. Chaque couleur correspond à un niveau d'intensité du rayonnement infrarouge reçu, et donc à une gamme de température, ce qui facilite la lecture directe de la température sur chaque zone de l'image. Cette figure présente les niveaux de la température, chaque couleur correspond à une température[11].

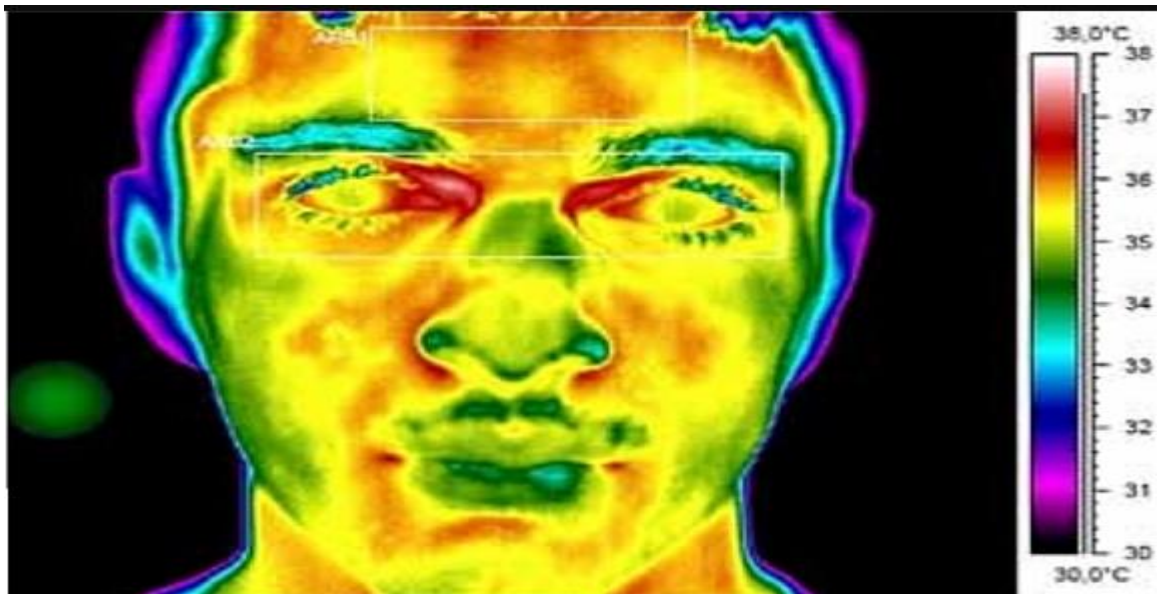


Figure 8: Exemple d'image thermique

Le tableau suivant vous présente la correspondance couleur à température en Faraday et en Celsius [12] :

F		C	Yarn
100		38	Dark Red
90		32	Red
80		27	Scarlet
70		21	Orange
60		16	Yellow
50		10	Rich Green
40		4	Green
30		-1	Sky Blue
20		-7	Blue
10		-12	Purple
0		-18	Pinky Purple
-10		-23	Magenta

Figure 9: Relation couleur/température.

2- Mesure de la température à base d'un infrarouge :

Un thermomètre infrarouge est un instrument de mesure permet de mesurer rapidement la température à distance à travers la radiation infrarouge d'un corps d'un point bien précis et non d'une surface comme caméra thermique ; Tout thermomètre infrarouge intègre un rayon laser pour pouvoir indiquer le point de mesure.

Chaque thermomètre à un rapport de distance au point de mesure qui vous donne le diamètre de la surface mesurée par rapport à la distance de la cible. La mesure de la température d'un individu doit être réalisée à une distance de 5 à 20 cm[11].

V. Les techniques d'analyse de la fréquence respiratoire à distance :

Dans cette partie, nous allons définir la fréquence du cycle respiratoire d'une façon générale et ensuite on va présenter les techniques d'analyse pour détecter à distance le rythme respiratoire basant sur la température des Landmark autour de la zone nasale.

1- Définition de la fréquence respiratoire :

La fréquence respiratoire est le nombre de respirations par minute ou, plus formellement, le nombre de mouvements indicatifs de l'inspiration et de l'expiration par unité de temps. En pratique, la fréquence respiratoire est généralement déterminée en comptant le nombre de fois où la poitrine monte ou descend par minute. Le but de la mesure de la fréquence respiratoire est de déterminer si les respirations sont normales, anormalement rapides, anormalement lentes ou inexistantes[13].

La fréquence respiratoire normale est de :

- 40 à 60 cycles par minute chez le nouveau-né (< 1 semaine)
- 30 à 40 cycles par minute chez le nourrisson (< 1 an)
- 20 à 30 cycles par minute chez l'enfant (< âge de la puberté)
- 12 à 20 cycles par minute chez l'adulte (et adolescent)

Un cycle respiratoire est le nombre d'inspiration et d'expiration pendant une minute, la figure 6 suivante présente le volume d'air pendant l'inspiration et l'expiration pour une durée de temps[14].

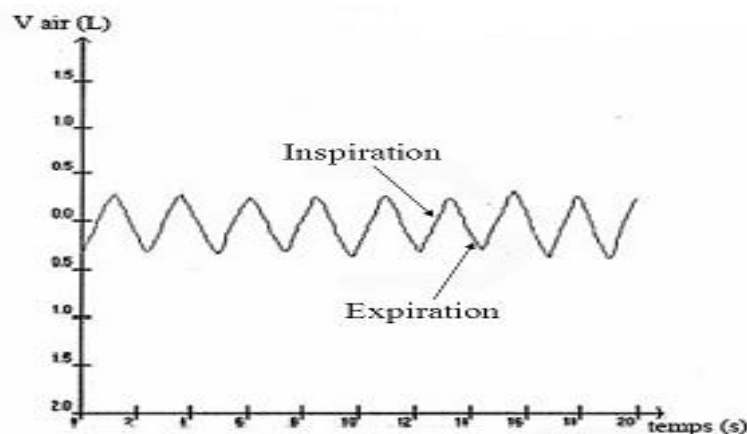


Figure 10 : le volume d'air entrant et sortant des poumons au cours du temps.

2- Techniques d'analyse du rythme respiratoire (RR) :

2-1 Mesure des changements de luminosité et de couleur de la peau de zones spécifiques :

Cette technique utilise un signal vidéo RVB pour détecter les changements de couleurs de la peau. Elle se base sur la mesure du rythme cardiaque pour en déduire le RR à l'aide d'une caméra RVB. Il y a une variation dans la couleur de la peau en fonction de l'afflux sanguin dans les

vaisseaux permettant de détecter le rythme cardiaque, ce qui peut être fait avec une analyse séparée des composantes colorimétriques du signal vidéo d'une caméra RVB[15].

2-2 Mesure des mouvements du thorax :

Des méthodes permettant la mesure sans contact se basent aussi sur la mesure des variations de la circonférence de la cage thoracique dues à l'expansion et la contraction des poumons lors de la phase d'inspiration et d'expiration[15].

a- Utilisation du signal vidéo classique RVB :

Il est possible de mesurer le RR en utilisant le signal vidéo d'une caméra RVB et en appliquant des techniques avancées de traitement de l'image, il est envisageable de mesurer les petits mouvements du thorax engendrés par l'augmentation du volume thoracique lorsque les poumons se gonflent et se dégonflent.

b- Utilisation de capteurs de distance :

Il est possible d'utiliser des capteurs de distance devant et derrière la personne en utilisant par exemple les technologies laser, infrarouge ou ultrason, pour mesurer en permanence le volume de la cage thoracique. La mesure doit être faite sur plusieurs points dont les emplacements sont à déterminer en fonction de la personne. Il faut toutefois utiliser des capteurs de distance très précis pour réaliser des mesures fines. Les résultats obtenus sont en haute corrélation avec une mesure standard.

c- Utilisation d'un radar Doppler.

Les radars à effet Doppler permettent de mesurer le mouvement d'une cible en utilisant l'Effet Doppler. Il est possible de mesurer le RR avec des radars. L'avantage avec ce type de radar est qu'avec une fréquence d'émission des ondes électromagnétiques de l'ordre de 24 GHz, il y a réflexion quasi-totale sur la surface de la peau permettant de s'affranchir des vêtements portés et du mouvement des organes internes. Ils surveillent les mouvements thoraciques du corps provoqués par la respiration pour estimer la fréquence respiratoire.

2-3 Mesure thermique de zones spécifiques à partir d'image thermique :

Les méthodes permettant la mesure sans contact se basent, dans la plupart des cas, sur la différence thermique entre l'air inspiré et expiré. La température de l'air inspiré est proche de la température ambiante alors que celle de l'air expiré est plus proche de celle du corps. En règle générale, la température de l'air expiré est souvent plus élevée que celle de l'air inspiré. De plus, l'air expiré est presque saturé en humidité. La visualisation de ces variations thermiques peut être faite à l'aide du signal vidéo d'une caméra thermique. En effet, une caméra thermique permet de visualiser les rayonnements infrarouges du corps et donc les émissions de chaleur. La forme d'onde de respiration peut être obtenue en utilisant une caméra infrarouge pour mesurer de tels changements de température de la région nasale associés à la respiration comme il est montré dans la figure suivante[16] :

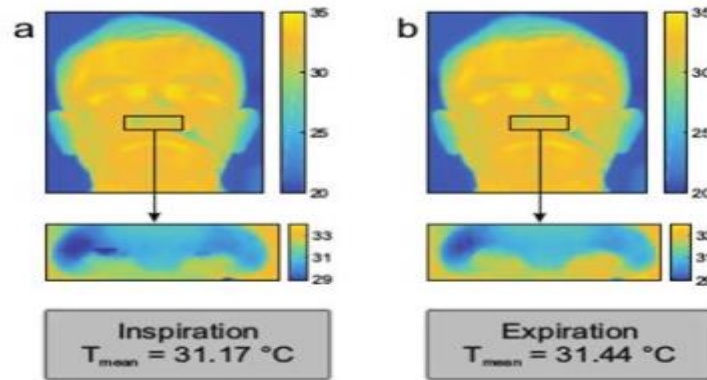


Figure 11: les changements de température de la région nasale.

2.3.1 Approches basées sur le son :

Le souffle d'un sujet est enregistré à l'aide du microphone et est ensuite traité à l'aide d'un algorithme de détection et d'analyse de la respiration. Cette approche convient pour surveiller le rythme respiratoire des sujets sans mobilité, comme les patients au lit. Détecter et analyser les données obtenues à partir du microphone pour un grand nombre de sujets est un défi. Pour les approches basées sur le son, le bruit ambiant reste une difficulté pour l'extraction du signal[17].

2.3.2 Approches basées sur la camera RGB :

Chaque vidéo peut être considérée comme une série de f frames (c'est-à-dire des images polychromatiques), où f est le nombre de frames collectés. Chaque frame est une image composée des trois couleurs primaires rouge (R), vert (G) et bleu (B). Chaque image RGB est une matrice composée de pixels.

La taille de la matrice (de dimensions x le long de l'axe x , et y le long de l'axe y) dépend de la résolution de la caméra utilisée pour la collecte des données. Chaque pixel prend une valeur représentant l'intensité de la lumière de couleur : la valeur 0 signifie le noir, tandis que la valeur maximale est le blanc. La valeur numérique de chaque pixel dépend du nombre d'octets utilisés pour représenter une couleur R, G, B donné.

Pour les caméras commerciales 8 bits /chanel (24 bits pour les couleurs rouge, vert, bleu), la valeur maximale est de 28 (soit 255 couleurs dont zéro).

Lorsqu'un objet est enregistré par une vidéo, le pixel de chaque image de la vidéo suppose un niveau d'intensité provoqué par la lumière réfléchi par l'objet sur une surface bidimensionnelle : grille de pixels. Dans le modèle de couleur RGB, des signaux d'intensité séparés correspondant à chacune des couleurs $V_r(x, y, f)$, $V_g(x, y, f)$, $V_b(x, y, f)$ peuvent être enregistrés à chaque frame f . L'intensité mesurée de toute lumière réfléchi (V) peut être décomposée en deux composantes : (i) intensité de l'éclairage (I), et (ii) réflectance de la surface (R).

$$V(x, y, f) = I(x, y, f) \cdot R(x, y, f)$$

L'activité respiratoire provoque le mouvement périodique de la paroi thoracique. Pendant l'inspiration, la cage thoracique s'élargit : elle entraîne un mouvement ascendant du thorax, pendant l'expiration, le contraire se produit.

En considérant la paroi thoracique couverte par les vêtements comme la surface encadrée par la caméra, et l'intensité d'éclairage presque constante, les changements d'intensité de la lumière

réfléchie entre deux frames consécutifs peuvent être considérés comme causées par le mouvement de la surface de la poitrine.

Les mouvements de la poitrine liés à la respiration sont transmis aux vêtements (p. ex., t-shirts, chandails), de sorte que les changements ultérieurs de V peuvent être utilisés pour collecter indirectement les schémas et événements respiratoires.

Le défi avec ces méthodes est de faire la différence entre les mouvements induits par la respiration et les autres mouvements qui ne sont pas liés à la respiration[18].

Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons présenté plusieurs techniques de mesures et de contrôle de la température et du rythme respiratoires existantes. Or ces techniques de détection de température ne permettent pas d'avoir la température corporelle exacte. Pour cela nous allons présenter dans le chapitre suivant la solution proposée pour faire face à ce problème.

**Chapitre 3 : La Solution
proposée pour la détection
de température et du rythme
respiratoire à distance :**

Introduction :

Dans ce chapitre nous présentons la solution abordée pour notre système intelligent de détection de température et du rythme respiratoire à distance. Pour cela, dans la première partie nous abordons une présentation générale de la stratégie que nous avons suivi sous forme d'un diagramme par la suite nous présentons le principe de fonctionnement des algorithmes utilisées. En fin nous traitons les différents cas qu'on pourra avoir.

I. L'environnement technique du projet :

Dans cette partie on va présenter les différents outils de développement que nous avons utilisé pour atteindre l'objectif principal du projet.

1- Installation du logiciel :

ANACONDA est une distribution Python libre, est le moyen le plus simple d'effectuer la science des données Python et l'apprentissage automatique sur une seule machine. C'est la boîte à outils qui nous permet de travailler avec des milliers de packages et de bibliothèques open source et comprend plus de 250 paquets populaires en science des données adaptés pour Windows, Linux et MacOs. Il n'est donc plus nécessaire de les installer, mais on peut en ajouter d'autres si nécessaire avec le gestionnaire de packages Conda. Les applications suivantes sont disponibles par défaut dans le navigateur : Jupyter Notebook, JupyterLab, Spyder, PowerShell prompt...[19].

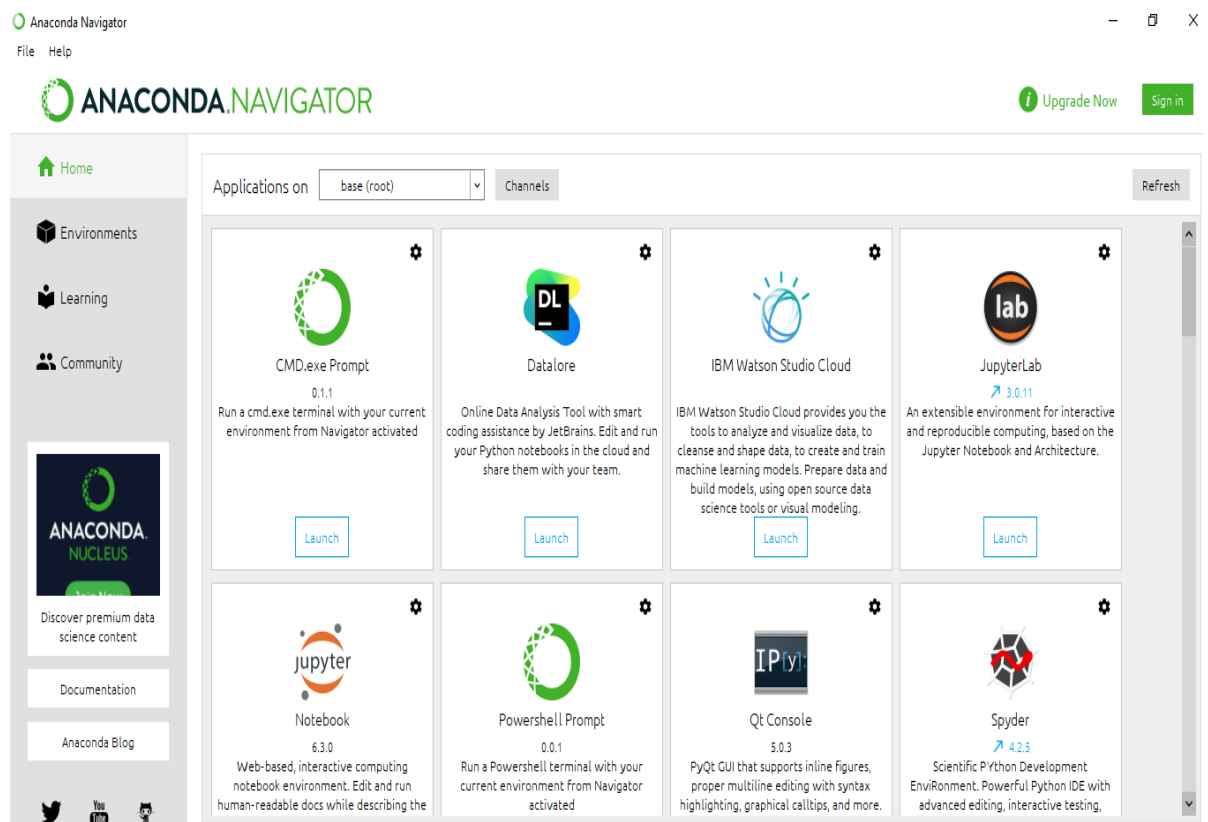


Figure 12: l'environnement du travail

➤ **Spyder :**

Spyder est un environnement de développement pour Python et multiplateforme (Windows, Mac OS, GNU/Linux), il intègre de nombreuses bibliothèques d'usage scientifique : Matplotlib, Numpy, Scipy... Créé et développé par Pierre Raybaut en 2008, Spyder est maintenu, depuis 2012, par une communauté de développeurs qui ont pour point commun d'appartenir à la communauté Python scientifique[20].



➤ **Jupyter :**

Créé à partir de Python en 2014, Jupyter est un notebook de calcul open source, gratuit et interactif. C'est une application web basée client permettant de créer et de partager du code, des équations, des visualisations ou du texte. C'est un environnement de développement interactif basé sur le Web pour les blocs-notes, le code et les données. Jupyter est une application web utilisée pour programmer dans plus de 40 langages de programmation[21].



2- Langage de programmation python :

Python est le langage de programmation open source créé par le programmeur Guido van Rossum en 1991, le plus utilisé dans le domaine du Machine Learning, du Big Data et de la Data Science pour cause, ce langage est simple, lisible, propre, flexible et compatible avec de nombreuses plateformes.

La grande majorité des bibliothèques utilisées pour la science des données ou le Machine Learning ont des interfaces Python. Ainsi, ce langage est devenu l'interface de commande de haut niveau la plus populaire pour les bibliothèques de Machine Learning et autres algorithmes numériques. Ses nombreuses bibliothèques, telles que TensorFlow, Scipy et Numpy permettent d'effectuer une large variété de tâches[22].



3- Les bibliothèques importées :

➤ **MediaPipe :**

MediaPipe Face Mesh est une solution de géométrie de visage qui estime 468 points de repère de visage 3D en temps réel, il permet de suivre les points de repère clés sur les visages. Ne nécessitant qu'une seule entrée de caméra sans avoir besoin d'un capteur de profondeur dédié[23].



➤ **Open CV :**

OpenCV (Open Computer Vision) est une bibliothèque graphique libre, initialement développée par Intel, spécialisée dans le traitement d'images en temps réel, que ce soit pour de la photo ou de la vidéo. Elle est disponible sur la plupart des systèmes d'exploitation et existe pour les langages Python, C++ et Java, il peut être réutilisé librement[24].



➤ **TensorFlow :**

Développé par Google Brain, TensorFlow est une bibliothèque de Machine Learning. Ses graphiques de data flow et son architecture flexible permettent d'effectuer des opérations et des calculs de données à l'aide d'une API unique sur de multiples CPU ou GPU depuis un PC, un serveur ou même un appareil mobile[25].



➤ **Keras :**

Keras est une API de réseaux de neurones de haut niveau, écrite en Python et ineffaçable avec TensorFlow, CNTK et Theano. Elle a été développée avec pour objectif de permettre des expérimentations rapides. Être capable d'aller de l'idée au résultat avec le plus faible délai possible étant la clef d'une recherche efficace[26].

II. Détection de la température corporelle par caméra thermique :

Notre objectif est de détecter la température corporelle exacte, pour cela nous allons procéder de la manière suivante :

- Faire un test si la personne porte le masque ou non.
- Récupération de l'information et application de l'algorithme Face Landmark.
- Extraction des positions exacte des Landmark souhaitées (nasale, lacrymale et frontale).
- Récupération de la température exacte dans ces positions.

Ce diagramme (figure10) montre exactement la méthode suivie :

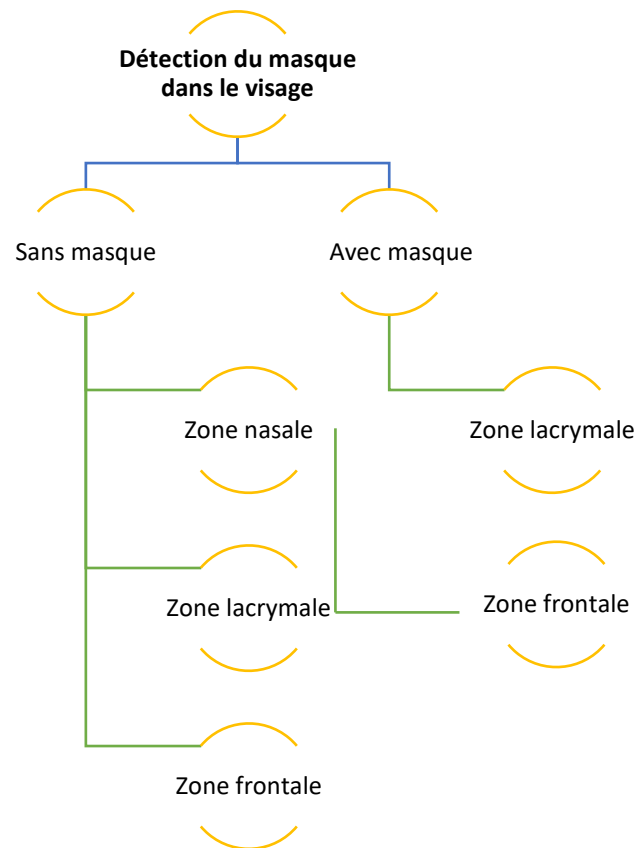


Figure 13:Chemin suivi pour la détection de la température

1- Détection du masque :

Le masque est un moyen pour protéger nos santés et nos familles durant cette crise sanitaire, donc il est important de le mettre à l'extérieur et surtout dans des espaces fermés et pleines.

La détection du masque est la première étape dans notre système, c'est à partir de cet algorithme et ce programme que nous allons récupérer l'information qui va être utile par la suite afin d'appliquer les Landmarks sur visage.

- Si la personne porte le masque, le programme va nous informer et nous récupérons les Landmark de la partie Lacrymale et frontale.
- Si la personne ne porte pas du masque, nous récupérons les Landmark de la partie Lacrymale, Nasale et Frontale.

Pour cela, nous avons développé et entraîné un modèle avec une base de données labélisée : avec et sans masque.

a- Description d'algorithme utilisé :

Dans cette partie, nous allons expliquer l'algorithme utilisé pour générer le modèle de détection du masque.

La base de données utilisée est recueillie auprès des sources suivantes :

- Kaggle datasets
- RMFD dataset[27].

Cet ensemble de donnée se compose de 4095 images appartenant à deux classes :

- Avec Masque : 2165 images
- Sans Masque : 1930 images



Figure 14: Exemples des images avec/sans masque de notre dataset

Alors pour développer ce modèle, nous avons eu recours à l'architecture du réseau de neurones CNN, montrée à la figure suivante. Nous observons les différentes couches constituants CNN en

partant des couches de convolutions jusqu'à la couche de sortie. Par la suite nous expliquerons ces couches en se basant sur notre modèle utilisé.

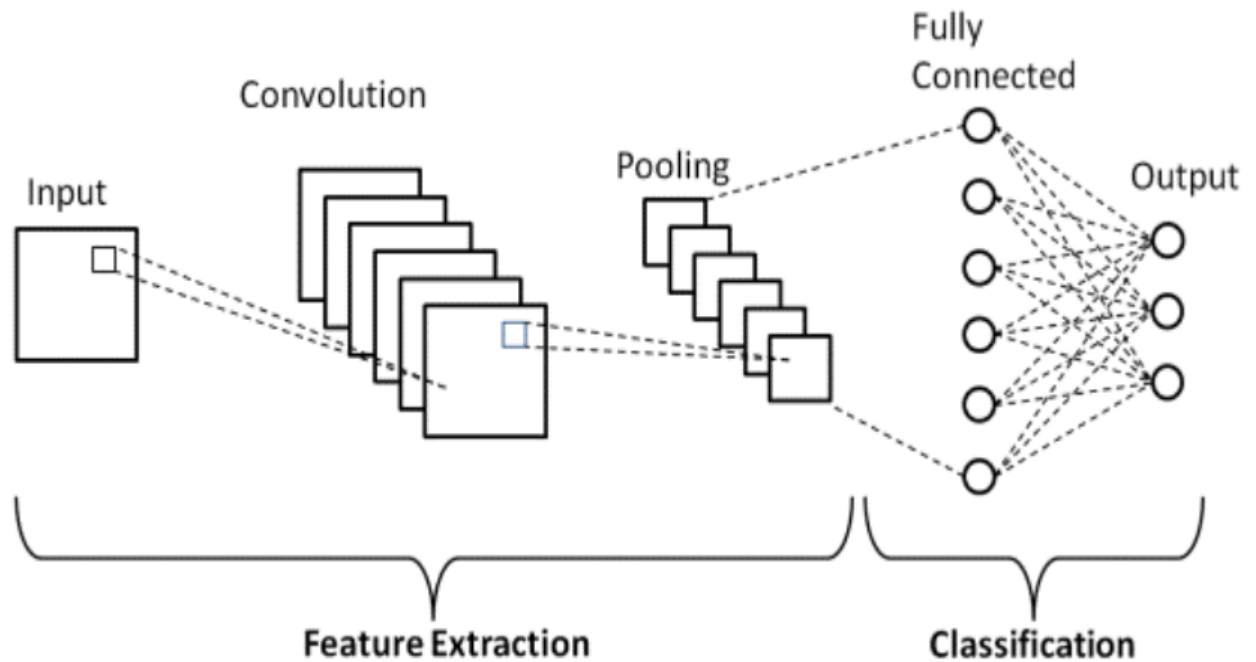


Figure 15:schéma du CNN

b- Couches internes de notre CNN :

➤ Couche convolutive :

Dans cette première couche de notre modèle, nous faisons glisser des filtres de taille (3,3) sur l'image. Après on récupère une carte de caractéristiques qui sera transmise à d'autres couches pour avoir plus d'informations et de caractéristiques. L'image sera convolué avec un ensemble de 100 filtres.

➤ Couche Max-Pooling :

Dans cette deuxième couche, se fait l'opération de pooling qui permet de filtrer la taille de (2,2), et donc la dimension de l'image résultante sera divisée par deux.

Dans notre modèle, nous avons utilisé deux couches convolutives de 100 filtres de taille (3,3), et en appliquant deux Max-pooling de taille (2,2).

➤ Couche Flatten :

Cette couche est utilisée pour faire la liaison entre les couches de convolution et les couches Dense que nous verrons par la suite.

➤ Couches Dense :

Nous avons utilisé deux couches Dense, la première couche est constituée de 128 unités avec une fonction d'activation « reLu ». Ses 128 unités seront connectées aux couches précédentes.

La dernière couche est une couche dense aussi avec 2 unités et une fonction d'activation « Softmax » qui va donner une probabilité pour chaque classe. Enfin le modèle va faire une prédiction en fonction de la classe avec la probabilité très élevée.

Donc après avoir décrit l'architecture interne de notre modèle CNN, maintenant vient la partie d'entraînement du modèle sur la base de données avec et sans masque. Pour se faire, nous avons divisé notre base de données en deux types : Base de données d'entraînement et de Test, avec un pourcentage de 80% pour l'entraînement et 20% pour le Test.

c- Détection de visage :

Après avoir généré notre modèle CNN entraîné pour la détection de masque, il est temps d'utiliser ce modèle dans le programme principal. Pour se faire, il fallait en premier temps cibler le visage dans l'image, le récupérer, et après faire le passer par le modèle que nous avons déjà entraîné.

Nous avons utilisé le détecteur de visage basé sur l'apprentissage profond de la bibliothèque OpenCV, **Caffe-based face detector**, qui permet de donner les positions (x, y, w, h) de la boîte détectée pour la faire afficher à la fin du frame utilisé. Il existe plusieurs types de détecteur de visage comme **Haar_Cascade_Classifier** que vous pouvez les utiliser, tous avec la même efficacité.

Résultats :

Nous voyons clairement, qu'après application de ce détecteur de visage, on récupère tous les boîtes représentées en jaunes pour plusieurs et différentes personnes.

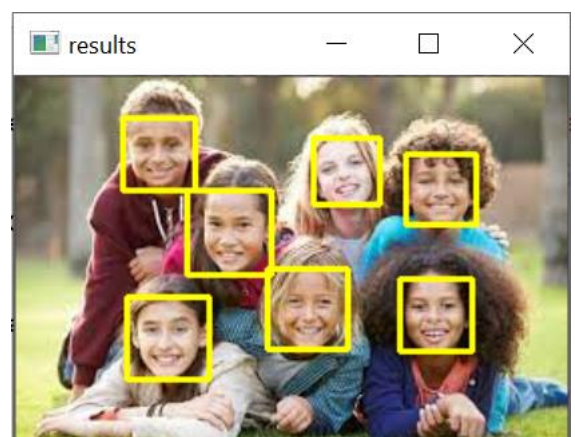


Figure 16: résultat de la détection du visage

2- Détection des Landmark :

Dans cette partie, nous allons expliquer comment on a procédé pour récupérer les Landmarks des régions d'intérêt. Pour cela avant tous, nous allons vous mettre dans la situation et de vous expliquer le but du choix de ses Landmark et précisément les régions Lacrymale, Nasale et frontale.

Dans le marché, les caméras déjà existantes permettent de récupérer la température maximale dans l'image thermique. Pourtant cette température ne reflète pas la température corporelle exacte, car elle est influencée par la température extérieure, donc ne permet pas de prédire exactement la température.

Les recherches ont montré que la zone Lacrymale et nasale reflète exactement la température interne du corps humain, la raison pour laquelle nous voudrions cibler ses zones afin de récupérer par la suite les positions exactes de ses régions et d'extraire les températures correspondantes [8].

Ses températures extraites seront récupérées pour prédire si une personne souffre des symptômes liés aux COVID-19 ou non.

a- Description de la méthode utilisée :

Pour la détection des Landmark, nous avons procédé de la manière suivante :

- Utilisation d'algorithme pré-entraîné pour estimation des positions de repère faciaux de l'ensemble du visage.
- Extraction des zones Lacrymale, Nasale, et frontale.
- Développement du code Python pour la récupération des pixels exacte en temp réel de ses zones d'intérêt.

Cette figure montre les 468 points des Landmark pour repérer la totalité des points du visage.

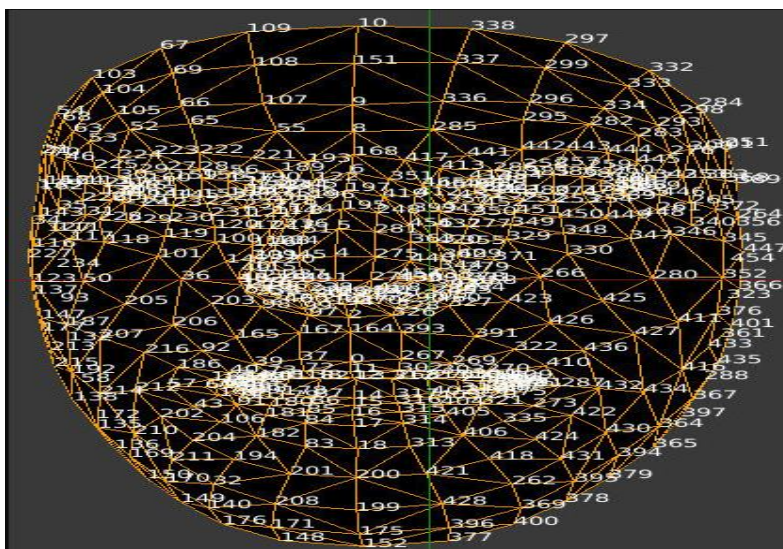


Figure 17:468 Landmarks du visage

b- Diagramme descriptif :

Ce diagramme montre la méthodologie suivie pour extraire et suivre les positions pixels des points Nasal, Lacrymale et frontale en temps réel. Pour cela, nous avons commencé par l'importation des modules et bibliothèques nécessaires. Le module OpenCV, et du module MediaPipe, qui disposent des fonctionnalités dont nous avons besoin pour effectuer l'estimation des points de repère du visage.

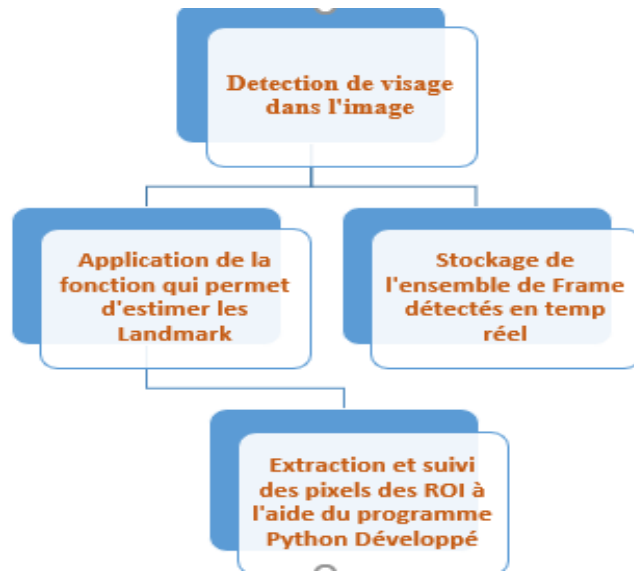


Figure 18:Diagramme descriptif

III. Contrôle du rythme respiratoire à distance basé sur l'imagerie thermique :

1- Identification de la ROI (Partie Nasale) :

L'objectif principal de cette partie est de développer une technique de mesure du rythme respiratoire sans contact utilisant une caméra thermique HIKVISION. Le système doit être capable de suivre la région nasale d'une personne en temps réel lorsqu'elle est en mouvement grâce à un algorithme de suivi traitant une séquence d'images. Le choix de la région du nez, et plus particulièrement celle des narines, n'est pas aléatoire, les régions contenant une forte représentation du signal respiratoire sont les deux zones entre les yeux et le nez et le bas du nez, montrées à la figure suivante :

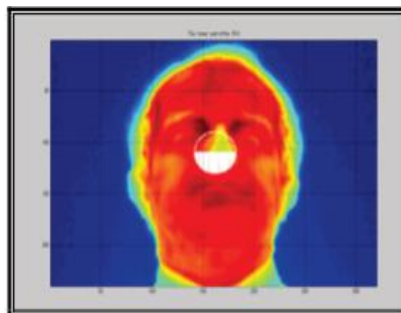


Figure 19:Placement automatique du ROI.

2- Mesure du rythme respiratoire :

La première étape consiste à détecter la zone d'intérêt, nous nous sommes concentrés sur le bas du nez, par l'application de l'algorithme des Face Landmark qui permet d'identifier 468 points et après nous faisons le suivi des changements de température autour du nez associés à la respiration pour la surveillance du RR en mesurant les variations thermiques à travers la région nasale. Cette approche utilise la température du flux d'air expiré par le nez, Pendant l'expiration, de l'air chaud provenant de l'intérieur des poumons est libéré et augmente la température dans la région nasale, tandis que pendant l'inhalation, l'air frais de l'environnement externe est respiré et abaisse la température dans la région nasale [15].

Les différentes étapes menant à la mesure du RR sont les suivantes :

- Détection des Landmark du visage
- Identification automatique de la région d'intérêt (zone nasale)
- Suivi du ROI (zone nasale)
- Prise de la valeur moyenne des pixels de la zone nasale pendant un cycle respiratoire.

(Cycle respiratoire = 1 inspiration + 1 expiration).

Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté notre solution abordée pour détecter la température et le rythme respiratoire à distance en utilisant les algorithmes de détection de masque et du Face Landmark. Par la suite nous montrerons les résultats obtenus pour chaque étape, ainsi que l'application sur des images visibles, thermiques en temps réel et extraction de la température exacte.

Chapitre 4 : Résultats de simulations

Introduction :

Ce dernier chapitre décrit la phase finale de notre projet. Il donnera les principales caractéristiques des éléments utilisés pour la mise en œuvre de notre système intelligent. Pour se faire, une présentation générale de la caméra utilisée sera élaborée, ensuite une simulation du code Python développé sera réalisée, les résultats de validation de nos algorithmes seront détaillés à la fin de ce chapitre.

I. Présentation de la caméra :

1- Caractéristiques :

Dans le cadre de ce projet, la caméra HIKVISION DS-2TD1217B-6/PA a été mise à notre disposition afin de prendre des images thermiques de haute résolution. Le tableau suivant affiche les informations caractéristiques de cette caméra.

Champs de vision	39.42° × 22.14°(H ×V)
Longueur de la lentille thermique	6mm
Fréquence d'images	50(p)fps
Plage de la température	Entre 30° et 45°
Précision	± 0,5 °C
Résolution d'imagerie thermique	160 × 120
Résolution	1024 × 768

Tableau 1: Caractéristiques de la Caméra



Figure 20: Caméra Thermique

2- Choix de la caméra et relation avec notre solution :

Tous les dispositifs utilisés doivent bien sûr être sans contact pour éviter toute transmission d'agent infectieux. C'est donc la technologie infrarouge (IR) qui est choisie puisque les caméras infrarouges permettent de mesurer la température rapidement et à distance.

Notre système peut être installé à l'entrée des portes pour pouvoir contrôler la température des passants à partir de la caméra thermique, la caméra exploite la technique thermographie infrarouge pour fournir une image thermique d'un individu par l'acquisition et l'analyse des rayonnements infrarouges et exploite les ondes lumineuses infrarouges. Elle capture via son capteur infrarouge les rayonnements IR émis par un corps ou un objet. L'intensité de ces rayonnements varie en fonction de leur température. Cependant la caméra fournit la température maximale détectée et qui peut être influencée par la température extérieure. D'où l'intérêt de la solution que nous avons proposé et qui permet de déterminer la température en différents points du visage à une distance de 1 à 3 mètres.

Le tableau suivant présente un ensemble d'informations concernant l'installation de la caméra et sa plage de température :

Hauteur d'installation	Distance entre la caméra et les personnes à contrôler	Température de fonctionnement	Plage de mesure de température corporelle
1.5 à 2 mètres avec un angle maximum de 20°	Entre 1.5 et 3 mètres	Entre 10° et 35°	Entre 30° et 45°

Tableau 2: Informations sur la caméra.

II. Mise en œuvre de la solution :

Dans cette partie nous expliquerons chaque étape adoptée lors du développement de la solution, ainsi qu'une présentation des résultats de simulation.

1- Résultats de détection du masque :

Après avoir entraîné le modèle sur deux bases de données : une sans masque et l'autre avec masque, nous avons appliqué notre modèle sur des images RGB en temps réel. Le résultat est donné sur la figure ci-dessous :

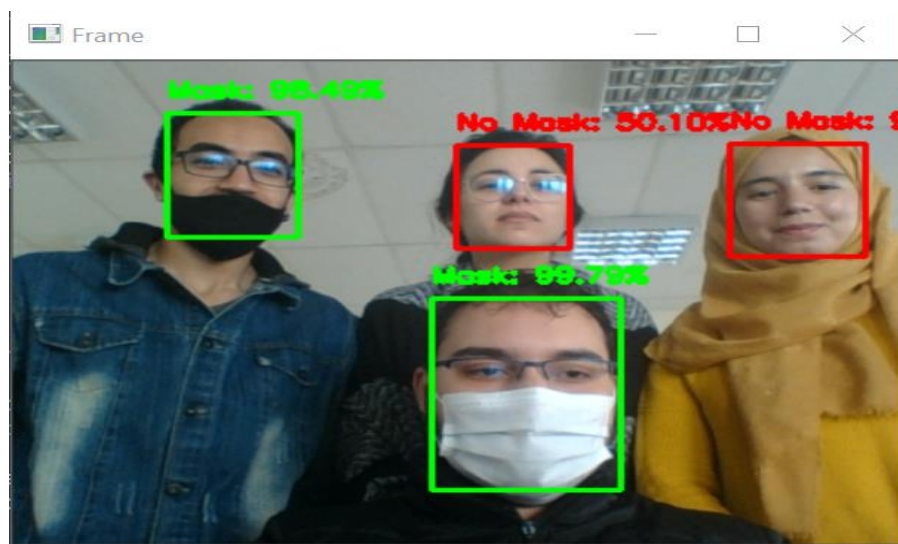


Figure 21: Images en temps réel pour la détection du masque

Dans cette figure, on voit clairement que le programme de détection de masque fonctionne parfaitement avec une grande précision pour une ou plusieurs personnes dans le champ de vision de la caméra.

2- Résultats de l'application des Landmark sur le visage :

Dans le but de détecter des zones bien précises sur le visage, nous allons utiliser la bibliothèque MediaPipe qui permet d'estimer 468 points de repère du visage. Dans un premier temps, nous avons choisi la bibliothèque Dlib qui estime 68 points, après nous avons remarqué que la précision diminue lorsque la personne porte le masque, et il y avait un problème de suivi (tracking) de ces 68 points Landmark lorsque la personne bouge : en particulier la partie nasale se décale vers la bouche, ce qui ne permet pas d'obtenir les positions exactes des régions d'intérêt : Nasale, Lacrymale et Frontale.

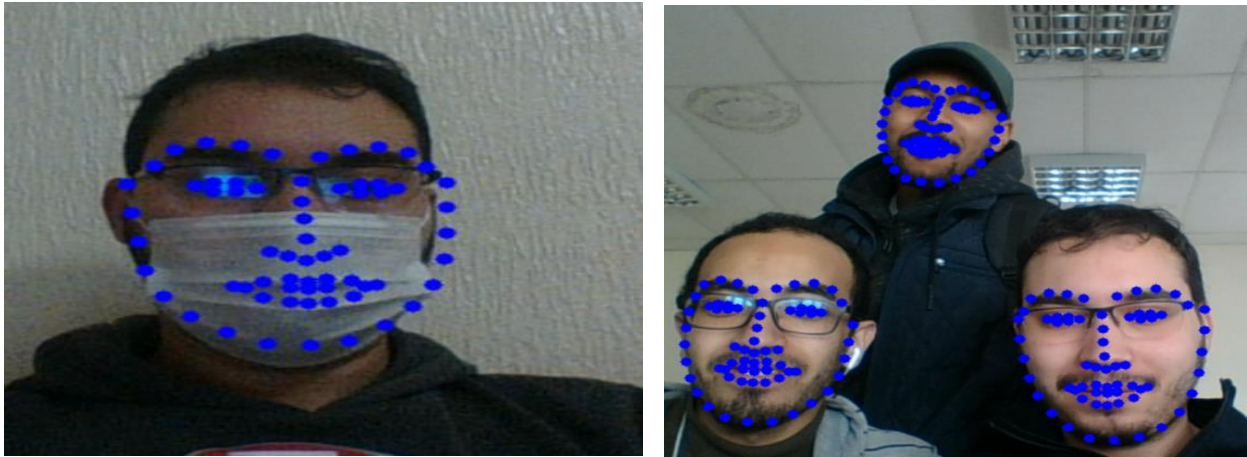


Figure 22: Application de la détection des Landmark en temps réel par Dlib

Par la suite nous avons décidé d'utiliser un nouveau framework appelé MediaPipe qui permet le maillage et le suivi des visages en 3D, il donne des résultats très satisfaisants (cf. figures ci-dessous).

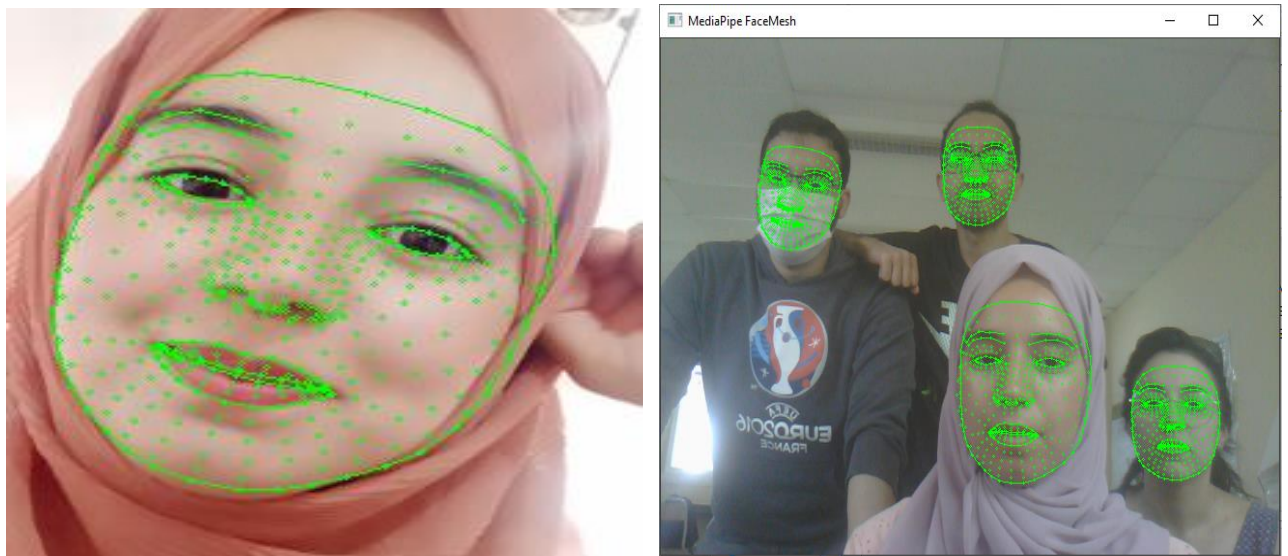


Figure 23: Application de la détection des Landmark en temps réel par MediaPipe.

Après avoir testé le bon fonctionnement des deux algorithmes : détection du masque et détection des repères de visages, il est temps maintenant de fusionner les deux programmes dans un code unique pour avoir un programme python complet capable de :

- Prendre une image en entrée,
- Appliquer le modèle de détection du masque,
- Afficher les Landmark des régions d'intérêt selon le résultat obtenu pour la détection du masque.

3- Résultat du fusionnement des deux programmes :

Cette partie est la plus importante, après le développement des modèles de détection du masque et des Landmarks, on arrive au point le plus délicat de notre travail, c'est le fusionnement des deux modèles en un seul programme. Cette étape nous a pris beaucoup de temps en raison de l'incompatibilité des bibliothèques utilisées dans les deux programmes lors du fusionnement.

Nous avons procédé de la manière suivante :

- Au cas où la personne ne porte pas du masque, nous détectons les Landmark du visage et précisément les régions d'intérêt (ROI) les parties nasale, lacrymale et frontale.
- Dans l'autre cas, c-à-d avec masque, on récupère les régions lacrymale et frontale.

Les figures suivantes montrent le résultat des deux cas avec et sans masque :

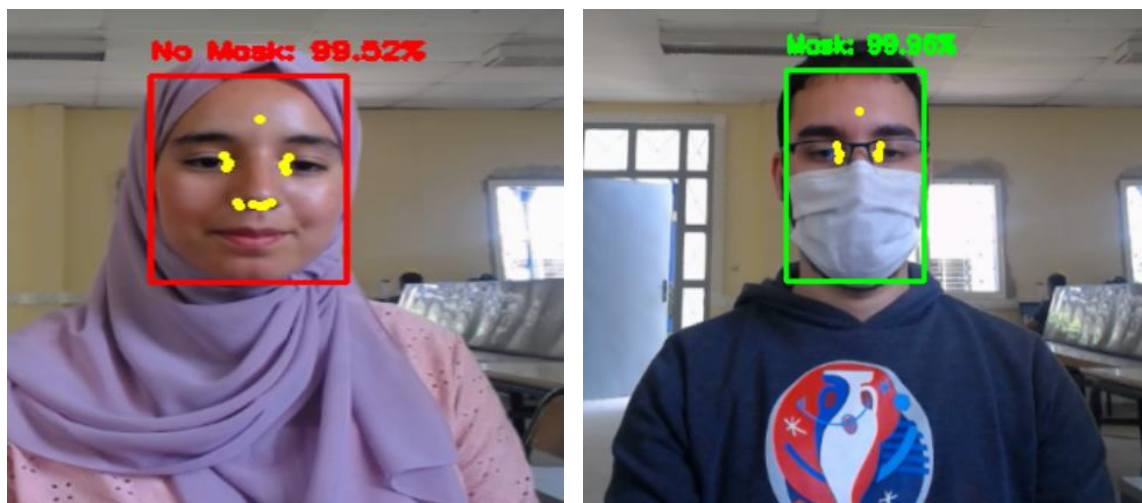


Figure 24: Détection des régions d'intérêt en temps réel


Nous observons d'après la figure que lorsque la personne porte le masque, ce sont les régions lacrymale et frontale qui sont détectées. La région nasale est ignorée puisqu'elle est cachée par le masque. Par contre lorsque la personne ne porte pas de masque, on détecte les trois régions Lacrymale, frontale et nasale.

Maintenant vient la partie de récupération des positions pixels exactes des régions d'intérêt Lacrymale, nasale et frontale pour le suivi en temps réel.

III. Extraction pixels des régions d'intérêt Lacrymale, Nasale et Frontale :

Après la détection des zones souhaitées dans le visage sur une image RGB, il est temps maintenant de récupérer les positions des pixels correspondant sur l'image IR pour le suivi et la récupération en temps réel de la température exacte dans ces positions-là .

Nous avons développé en premier temps le code qui permet de dénormaliser les positions détectées, puisque la solution MediaPipe offre des repères de visage normalisés par la longueur et la largeur. Il a fallu récupérer en premier les positions (x, y), ensuite les multiplier par la longueur et la largeur de l'image afin de récupérer les pixels exacts des régions d'intérêt.



```
30 242 136
75 232 209
151 264 124
155 245 164
166 251 207
173 245 161
241 261 210
256 284 168
286 285 156
354 269 210
382 282 164
398 282 162
458 272 200
459 275 207
```

ID Landmark

Coordonnées X et Y

Figure 25:Coordonnées Pixels

Applications sur des Images thermiques :

Après l'application sur des images RGB, maintenant on applique notre programme sur des images thermiques. Les figures suivantes montrent les résultats obtenus :

Avant :

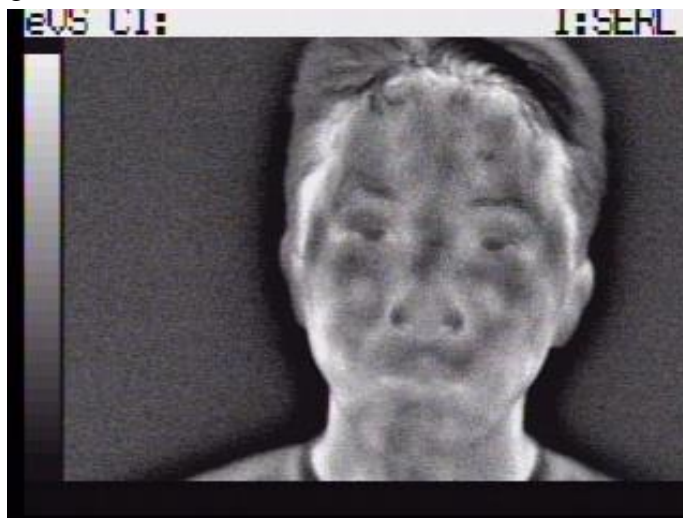


Figure 26: Image avant application du Programme

Après :



Figure 27: Image après Applications du Programme

D'après les deux figures précédentes, il est clair que la détection des régions d'intérêt sur des images thermiques se fait parfaitement.

Extraction des Pixels :

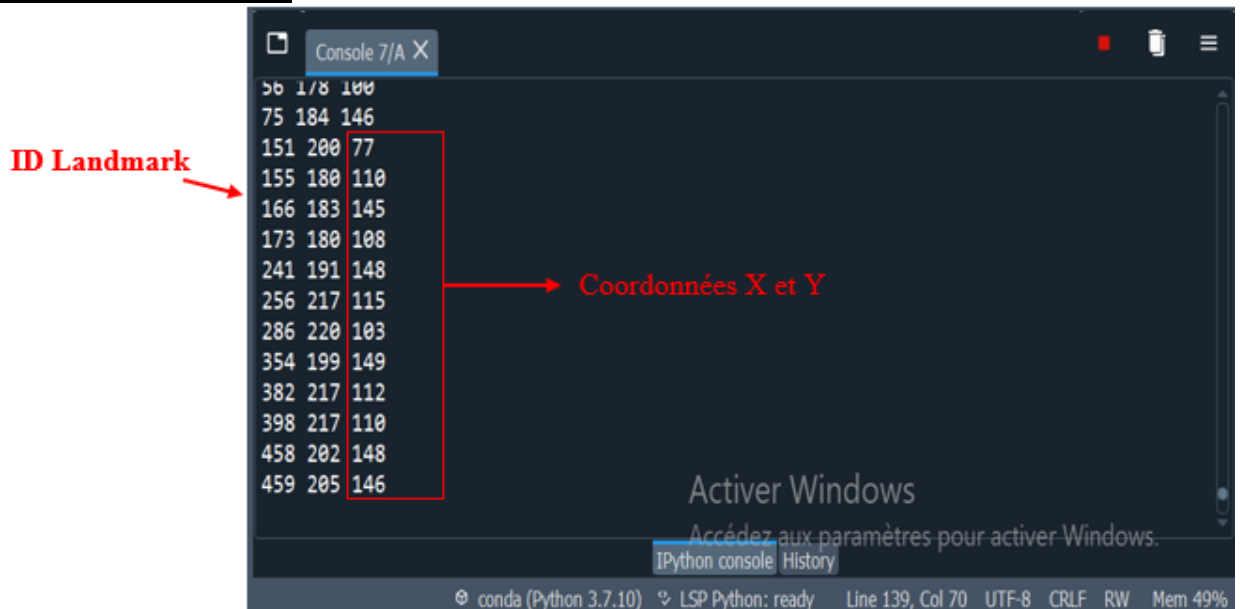


Figure 28: Coordonnées Pixels

Nous avons choisi en premier temps de suivre toute une région de Landmark, après ne nous concentrons sur les 3 points Nasal, Lacrymal et Frontal.

IV. Extraction de la température des régions d'intérêt :

La récupération de la température des régions détectées pour avoir la température corporelle correspondante avec précision est une partie primordiale dans ce travail. Pour se faire, nous avons développé un code Python qui réalise cette fonctionnalité. La solution est basée sur l'imagerie thermique en niveau de gris.

Nous procédons de la manière suivante :

- Récupération du pixel de la région d'intérêt.
- Suivi en temps réel de la ROI
- Extraction de la couleur en niveau gris du pixel correspondant
- Faire la correspondance avec la palette de la caméra thermique.
- Récupération de la température corporelle exacte dans les trois zones Lacrymale, Nasale et Frontale.

La palette de couleur utilisée est la suivante :

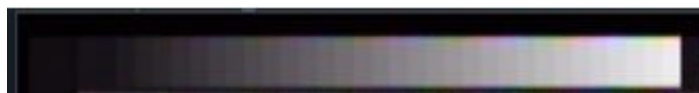


Figure 29: Palette de couleur

Le niveau de gris dans les images varie de 0 à 255, c-à-d du noir au blanc. C'est l'approche que nous allons utiliser lors de l'extraction de la température en faisant la correspondance de la couleur extraite avec celle de la palette.

Applications :

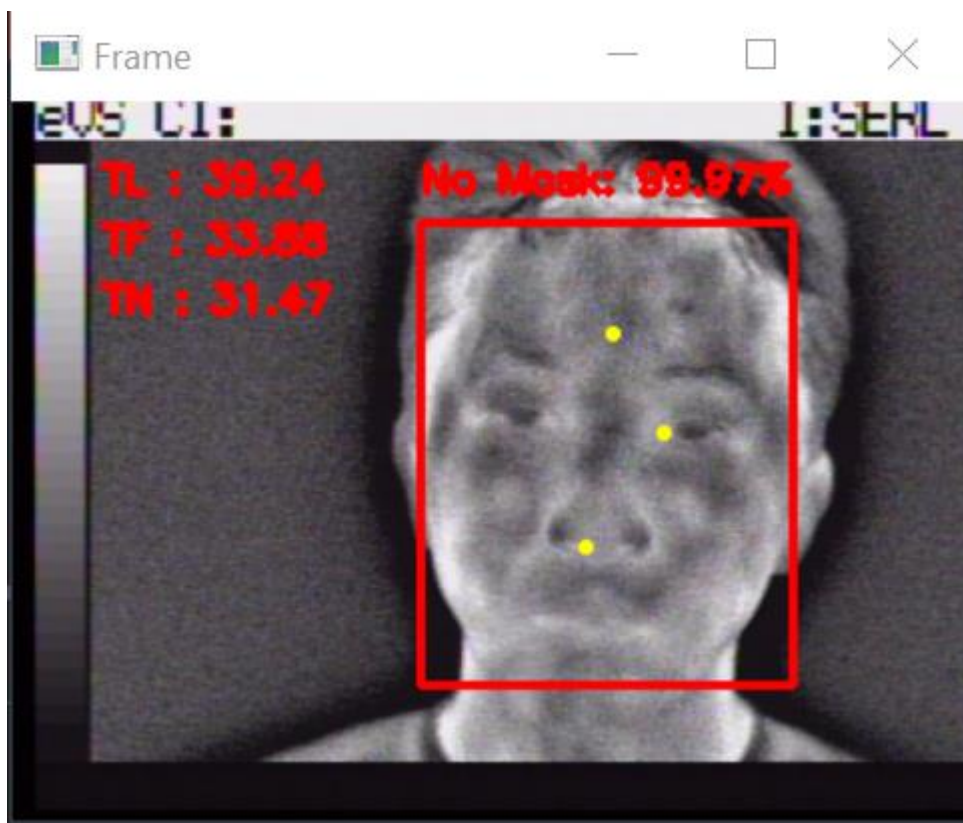


Figure 30:Extraction de la température

D'après la figure ci-dessus, on remarque que le programme premièrement détecte si la personne porte le masque ou non, après il détecte les trois régions nasale, lacrymale et frontale, puis extrait la couleur de chaque pixel de ces trois zones, et enfin les comparent avec la palette de couleur pour récupérer la température exacte dans ces positions.

Les trois températures TN, TL et TF respectivement température nasale, lacrymale et frontale sont récupérées et affichées sur l'image de sortie. Ainsi on pourra extraire de la température corporelle exacte et faire la comparaison avec la température maximale fournie par la caméra thermique.

Conclusion :

Ce chapitre est consacré à la validation des résultats par des expériences sur des images visibles et thermiques en temps réel. Grâce au modèle développé, on peut extraire la température corporelle exacte de plusieurs individus simultanément et en temps réel.

Conclusion & Perspectives :

Le travail présenté dans ce mémoire a été consacré au développement d'un système intelligent basé sur l'intelligence artificielle capable de détecter la température et le rythme respiratoire à distance pour la prévention contre la pandémie COVID – 19.

Nous avons commencé notre projet dans un premier temps en enrichissant nos connaissances sur l'intelligence artificielle et l'imagerie thermique, puis un état de l'art sur les différentes techniques de détection à distance de la température et du rythme respiratoire.

La deuxième partie était consacrée à l'étude de l'environnement du travail, l'installation et l'importation des bibliothèques nécessaires. Ensuite le développement du modèle python complet qui permettra de détecter si une personne porte un masque ou pas, détecter les régions d'intérêt et faire un suivi afin d'extraire les températures nasale, lacrymale et frontale dans le but d'évaluer la température corporelle et de mesurer le rythme respiratoire.

Enfin, une validation des résultats en appliquant les algorithmes développés sur des images visibles et thermiques en utilisant la caméra thermique. Les résultats obtenus sont satisfaisants et encourageants.

Dans le cadre de cette crise sanitaire, ce projet a été proposé dans le but de détecter les symptômes les plus importants du CORONA VIRUS : la température, le rythme respiratoire et la toux. En guise de perspectives, nous essayerons de fusionner notre travail avec celui de nos collègues qui ont travaillé sur le développement d'un modèle permettant la détection de la toux en utilisant un réseau de microphones.

Donc dans notre prochain travail, nous devons compléter la partie rythme respiratoire par le calcul de la moyenne de température et le suivi du cycle inspiration-expiration, ainsi que de fusionner notre programme avec celui de nos collègues afin de valider le fonctionnement du système sur le portique.

Bibliographie :

- [1] “Laboratoire : Systèmes Intelligents, Géoressources et Energies Renouvelables (SIGER),” *Université Sidi Mohamed Ben Abdellah Faculté des Sciences et Techniques de Fès*. https://www.fst-usmba.ac.ma/laboratoire_siger/ (accessed Jul. 05, 2021).
- [2] F. Cavazza, “Pourquoi l’intelligence artificielle ? Pour faire plus avec moins,” *FredCavazza.net*, Feb. 18, 2019. <https://fredcavazza.net/2019/02/18/pourquoi-lintelligence-artificielle-pour-faire-plus-avec-moins/> (accessed Jul. 05, 2021).
- [3] A. l’humain à l’IA and A. S. D. M. O.-E. Dit, “Les différences entre intelligence artificielle, apprentissage machine et apprentissage profond - Substance,” *Substance ÉTS*, Oct. 2017, Accessed: Jul. 05, 2021. [Online]. Available: <https://substance.etsmtl.ca/differences-intelligence-artificielle-apprentissage-machine-apprentissage-profond>
- [4] “Convolutional neural network,” *Formation Data Science | DataScientest.com*, Jun. 25, 2020. <https://datascientest.com/convolutional-neural-network> (accessed Jul. 05, 2021).
- [5] “CNN et Couche de Convolution, qu’est-ce que c’est ?,” *Inside Machine Learning*, Feb. 13, 2021. <https://inside-machinelearning.com/cnn-couche-de-convolution/> (accessed Jul. 05, 2021).
- [6] “Les réseaux de neurones convolutifs.,” *L’innovation au service de la biodiversité*. <https://www.natural-solutions.eu/blog/la-reconnaissance-dimage-avec-les-reseaux-de-neurones-convolutifs> (accessed Jul. 05, 2021).
- [7] “Accueil - Université de Lorraine.” <https://hal.univ-lorraine.fr/index/index> (accessed Jul. 11, 2021).
- [8] “Loi du déplacement de Wien,” *Wikipédia*. Aug. 01, 2019. Accessed: Jul. 11, 2021. [Online]. Available: https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Loi_du_d%C3%A9placement_de_Wien&oldid=161446278
- [9] J. V. Roth and L. E. Braitman, “Nasal Temperature can be used as a Reliable Surrogate Measure of Core Temperature,” *J Clin Monit Comput*, vol. 22, no. 4, pp. 309–314, Aug. 2008, doi: 10.1007/s10877-008-9134-z.
- [10] A. Aryal and B. Becerik-Gerber, “Skin Temperature Extraction Using Facial Landmark Detection and Thermal Imaging for Comfort Assessment,” in *Proceedings of the 6th ACM International Conference on Systems for Energy-Efficient Buildings, Cities, and Transportation*, New York, NY, USA, Nov. 2019, pp. 71–80. doi: 10.1145/3360322.3360848.
- [11] “Comment mesurer sans contact la température corporelle et ainsi détecter la fièvre ? • Actutem,” *Actutem*, May 09, 2020. <https://www.actutem.com/comment-mesurer-sans-contact-la-temperature-corporelle-et-ainsi-detecter-la-fievre/> (accessed Jul. 05, 2021).
- [12] “Icon color change - Configuration,” *Home Assistant Community*, Nov. 17, 2019. <https://community.home-assistant.io/t/icon-color-change/148936> (accessed Jul. 05, 2021).
- [13] “Frequence respiratoire.” <http://www.automesure.com/Pages/frequence-respiratoire.html> (accessed Jul. 05, 2021).

- [14] “TP5, adaptation du système respiratoire à l’exercice physique - ppt video online télécharger.” <https://slideplayer.fr/slide/510808/> (accessed Jul. 05, 2021).
- [15] “51333971.pdf.” Accessed: Jul. 05, 2021. [Online]. Available: <https://core.ac.uk/download/pdf/51333971.pdf>
- [16] C. B. Pereira, X. Yu, V. Blazek, and S. Leonhardt, “Robust remote monitoring of breathing function by using infrared thermography,” *Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc*, vol. 2015, pp. 4250–4253, 2015, doi: 10.1109/EMBC.2015.7319333.
- [17] E. Dafna, T. Rosenwein, A. Tarasiuk, and Y. Zigel, “Breathing rate estimation during sleep using audio signal analysis,” *Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc*, vol. 2015, pp. 5981–5984, 2015, doi: 10.1109/EMBC.2015.7319754.
- [18] C. Massaroni, D. Lo Presti, D. Formica, S. Silvestri, and E. Schena, “Non-Contact Monitoring of Breathing Pattern and Respiratory Rate via RGB Signal Measurement,” *Sensors (Basel)*, vol. 19, no. 12, p. E2758, Jun. 2019, doi: 10.3390/s19122758.
- [19] “Anaconda Individual Edition — Anaconda documentation.” <https://docs.anaconda.com/anaconda/index.html> (accessed Jul. 05, 2021).
- [20] “Spyder (logiciel),” *Wikipédia*. May 20, 2021. Accessed: Jul. 05, 2021. [Online]. Available: [https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Spyder_\(logiciel\)&oldid=183073090](https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Spyder_(logiciel)&oldid=183073090)
- [21] “Jupyter Notebook : documents Web pour l’analyse de données, live-coding, etc.,” *IONOS Digitalguide*. <https://www.ionos.fr/digitalguide/sites-internet/developpement-web/jupyter-notebook/> (accessed Jul. 05, 2021).
- [22] “Python : cours, tutoriels, définition tout savoir sur ce langage Big Data.” <https://www.lebigdata.fr/python-langage-definition> (accessed Jul. 05, 2021).
- [23] “Hands,” *mediapipe*. <https://google.github.io/mediapipe/solutions/hands.html> (accessed Jul. 05, 2021).
- [24] J. Howse, P. Joshi, and M. Beyeler, *OpenCV: Computer Vision Projects with Python*. Packt Publishing Ltd, 2016.
- [25] +Bastien L, “TensorFlow : tout savoir sur la bibliothèque Machine Learning open source,” *LeBigData.fr*, Oct. 19, 2018. <https://www.lebigdata.fr/tensorflow-definition-tout-savoir> (accessed Jul. 05, 2021).
- [26] “Keras : une bibliothèque open source pour la constitution de réseaux neuronaux,” *IONOS Digitalguide*. <https://www.ionos.fr/digitalguide/web-marketing/search-engine-marketing/quest-ce-que-keras/> (accessed Jul. 05, 2021).
- [27] “RMFD Dataset | Papers With Code.” <https://paperswithcode.com/dataset/rmfd> (accessed Jul. 11, 2021).