

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITÉ CONSTANTINE 2 - ABDELHAMID MEHRI



Analyse des images thermiques pour la détermination de la température corporelle des patients du cancer à l'aide de méthodes d'apprentissage profond

RÉALISÉ PAR :
NEZLI Amara
KHETTAT Brahim

SOUS LA DIRECTION DE :
DR. KITOUNI Ilham
DR. MENNOUR Rostom

Juillet 2019

Table des matières

Liste des figures	ii
Liste des tables	iii
Chapiter 1 : État de l’art	1
1 Apprentissage automatique (Machine Learning)	2
1.1 Introduction	2
1.2 Techniques d’apprentissage automatique	2
1.2.1 Apprentissage supervisé	3
1.2.2 Apprentissage non-supervisé	3
1.3 Autres types d’apprentissage	5
1.3.1 Apprentissage semi-supervisé	5
1.3.2 Apprentissage par renforcement	5
1.4 Conclusion	5
2 Apprentissage profond (Deep Learning)	6
2.1 Introduction	6
2.2 Apprentissage profond	6
2.3 Réseaux de Neurones Artificiels (ANNs)	7
2.3.1 Historique	7
2.3.2 Neurone biologique	7
2.3.3 Définition	8
2.4 Réseau neuronal convolutif (CNN)	9
2.5 Régression	11
3 Traitement d’Image (Image Processing)	12
3.1 Introduction	12
3.2 Image numérique	12
3.3 Image thermique	13
3.4 Traitement d’image	13
3.5 But du traitement d’image	14
3.6 Méthodes pour le traitement d’image	14
3.7 Applications existantes	15
3.8 Perspectives de la recherche	16
3.9 Conclusion	17
Chapiter 2 : Context et problématique du projet	18
Contexte et problématique du projet	19

4	Introduction	19
5	E-santé	19
5.1	Définition	19
5.2	Domaines d'application	20
5.3	Importance de la e-santé	20
6	Santé connectée	21
6.1	Principales fonctions de la santé connectée	22
6.2	Différents champs d'application de la santé connectée	22
6.3	IOT en santé	22
6.4	Avantages et inconvénients	23
7	Température corporelle	24
7.1	Définition	24
7.2	Température chez les enfants	24
7.3	Causes de l'élévation de la température chez l'enfant	24
8	Cancer	25
8.1	Définition	25
8.2	Cancer de l'enfant	25
8.3	Cancers les plus fréquents chez l'enfant	26
8.4	Symptômes	27
8.5	Focus sur le Cancer	27
9	Problème de la prise de température corporelle chez les enfants cancéreux	27
9.1	Solution existantes	28
9.1.1	Thermomètre	28
10	Solution Proposée	33
11	Conclusion	33
Chapiter 3 : Conception de la solution proposée		34
12	Introduction	35
13	Objectif	35
14	Architecture générale de la solution	35
14.1	Présentation de la solution	36
14.2	Objectifs du processus général	36
14.3	Description de chaque couche	36

15 Architecture Détaillée de la solution	36
15.1 Principe de fonctionnement	36
15.2 Partie matériel	37
16 Partie logiciel	39
16.1 Algorithme d'élimination des bruits	40
17 Conclusion	41
Chapiter 4 : Réalisation de la solution proposée	42
18 Implémentation de la version 1 de la solution	43
18.1 Algorithmes de classification d'image	43
18.1.1 Partie logiciel	43
18.1.2 Implémentation	44
19 Implémentation de la version 2 de la solution	46
19.1 Introduction	46
19.2 Outils et matériels	46
19.2.1 Outils	46
19.2.2 Matériels	48
19.3 Ensemble de données (Dataset)	48
19.3.1 Étape de l'augmentation	49
19.4 Entraînement ou création du modèle? Ay ta3ti w halha b3id	49

Table des figures

1	Schéma d'un neurone biologique	8
2	Schéma d'un réseau artificiel de neurones	9
3	détection de bord écrit en matrice de convolution 3×3	10
4	Un filtre de flou écrit sous forme de matrice de convolution 3×3	10
5	Architecture de modèle linéaire(régression) CNN	11
6	Schéma d'un neurone biologique	12
7	Présentant les étapes d'un traitement d'une image	14
8	IOT dans la santé	23
9	Le cancer chez l'enfant	26
10	Thermomètre à gallium	29
11	Mesurer la température avec thermomètre électronique	30
12	Thermomètre infrarouge	31
13	Thermomètre tétine	32
14	Bracelet pour mesurer la température	32
15	Architecture de la solution	35
16	Architecture détaillée de la solution	54
17	Adafruit AMG8833 IR Thermal Camera	55
18	Raspberry Pi 2 Model B	55
19	caméra thermique <i>Adafruit AMG8833 IR</i> relie avec un Raspberry Pi	56
20	Architecture de système logiciel version 1	57
21	Élimination des bruits d'une image avec l'algorithme Gaussian Blur	57
22	Logo python	58
23	Logo OpenCv	58
24	Détection de visage avec Haar cascade	59
25	Capture montre comment détecter le visage	60
26	Élimination des bruits	60
27	Élimination des bruits d'une image avec OpenCv	61
28	Logo de Google Colab	61
29	Logo de Keras	61
30	Logo Node.js	62
31	Logo Raspberry Pi	62
32	Script Bash	63
33	Capture Dataset.csv	64
34	Pandas	64
35	I don't Know	65
36	Création du réseau CNN	65
37	Training	65
38	M3ref wsh chhal epoque z3ma?	65
39	predecting	65

40 predicting value 66

41 Accuracy 66

42 loss 67

Liste des tableaux

1	Choix de la méthode de prise de température suivant l'âge de l'enfant	25
---	---	----

Chapiter 1

État de l'art

1 Apprentissage automatique (Machine Learning)

1.1 Introduction

La faculté d'apprendre est essentielle à l'être humain pour reconnaître une voix, une personne, un objet... On distingue en général deux types d'apprentissage : l'apprentissage «par cœur» qui consiste à mémoriser telles quelles des informations, et l'apprentissage par généralisation où l'on apprend à partir d'exemples un modèle qui nous permettra de reconnaître de nouveaux exemples. Pour les systèmes informatiques, il est facile de mémoriser un grand nombre de données (textes, images, vidéos...), mais difficile de généraliser. Par exemple, il leur est difficile de construire un bon modèle d'un objet et d'être ensuite capable de reconnaître efficacement cet objet dans de nouvelles images.

L'apprentissage automatique est une tentative pour comprendre et reproduire cette faculté d'apprentissage dans des systèmes artificiels. Il semble donc approprié d'utiliser des techniques issues de ce domaine pour découvrir et modéliser des connaissances liant texte et image.

L'apprentissage automatique se trouve au carrefour de nombreux autres domaines : intelligence artificielle, statistiques, sciences cognitives, théorie des probabilités, de l'optimisation, du signal et de l'information... Il est donc bien difficile de donner une taxonomie des techniques d'apprentissage.

Après avoir donné quelques définitions, nous présentons brièvement dans ce chapitre les deux principaux types d'apprentissage : l'apprentissage supervisé et non-supervisé, et nous donnons pour chacun d'eux quelques exemples de techniques d'apprentissage.

1.2 Techniques d'apprentissage automatique

Dans ce mémoire, nous nous intéressons aux techniques d'apprentissage sur de grande masses d'images. Cependant, avant de pouvoir utiliser les techniques d'apprentissage, il est nécessaire de réaliser quelques pré-traitements sur les données. L'ensemble des techniques utilisées avant, pendant et après l'apprentissage sur de grandes masses de données est souvent regroupé sous le terme de Exploration de données dite «Data Mining».

Exploration de données «Data Mining» c'est une technique qui considère tout le processus d'extraction de connaissances à partir d'un grand nombre de données [1].

Ses principales étapes sont :

1. L'extraction et le stockage des données.
2. L'exploration des données pour la détection de valeurs aberrantes, atypiques, d'incohérences, et pour la sélection et la transformation des données à étudier...
3. Le partitionnement aléatoire des données en trois ensembles : apprentissage, validation et test.

4. La réalisation d'un apprentissage numérique ou symbolique à partir des données nettoyées avec estimation de la complexité du modèle et optimisation des paramètres sur l'ensemble de validation.
5. La comparaison des résultats obtenus à l'aide des modèles optimaux sur l'ensemble de validation avec les résultats obtenus sur l'ensemble de test afin de tester la capacité de généralisation du modèle.

Il est utilisé dans de nombreux domaines : bases de données, analyse de données, statistiques, classification, programmation logique, visualisation...

1.2.1 Apprentissage supervisé

La classification supervisée (appelée aussi classement ou classification inductive) a pour objectif d'apprendre par l'exemple. Elle cherche à expliquer et prédire l'appartenance de documents à des classes connues a priori. Ainsi c'est l'ensemble des techniques qui visent à deviner l'appartenance d'un individu à une classe en s'aidant uniquement à des valeurs qu'il prend [2].

L'apprentissage supervisé suppose qu'un oracle fournit les étiquettes de chaque donnée d'apprentissage.

L'oracle c'est pour chaque x_i , fournit une étiquette u_i dans U (avec une distribution de probabilité $F(u|x)$ inconnue).

On distingue en général trois types de problèmes auxquels l'apprentissage supervisé est appliqué : la classification supervisée, la régression, et les séries temporelles. Ces trois types de problèmes se différencient en fonction du type d'étiquettes fournies par l'oracle. Nous présentons maintenant brièvement trois algorithmes classiques d'apprentissage supervisé :

1. Les k plus proches voisins (k - NN) : déterminer pour chaque nouvel individu que l'on veut classer, la liste des k plus proches voisins parmi les individus déjà classés.
2. La classification bayésienne : Le classifieur bayésien va choisir la classe C_k qui a la plus grande probabilité, on parle de règle MAP (maximum a posteriori).
3. Machines à vecteurs de support (SVM) : (Support Vector Machines) La méthode à base de SVM cherche l'hyperplan séparateur le plus éloigné des documents du corpus d'apprentissage. `cv2.fastNlMeansDenoisingColored()`

1.2.2 Apprentissage non-supervisé

Contrairement à l'apprentissage supervisé, dans l'apprentissage non-supervisé il n'y a pas d'oracle qui explicite les étiquettes. L'utilisation de ce type d'algorithme permet de trouver des structures, des dépendances entre descripteurs, qui sont inconnues (on dit aussi latentes).

Le plus connu des problèmes non-supervisés est la classification non-supervisée ou clustering. Les classes, que nous appellerons clusters, sont formées par regroupement des documents qui ont certaines caractéristiques en commun.

Un autre problème non-supervisé est l'estimation de densité. Son objectif est de modéliser la distribution des données. Le modèle doit pouvoir fournir une bonne estimation d'un document de test issu de la même distribution (inconnue) que les données d'apprentissage. Son objectif est de résumer l'information importante, de la dissocier du bruit.

Le clustering est un outil important pour l'analyse de données. En français, le mot classification est ambiguë, car il s'agit soit de retrouver la classe à laquelle le document appartient (classification supervisée), soit de construire des regroupements de documents (classification non-supervisée). Pour distinguer ces deux cas, nous parlerons de classement pour la première et de clustering pour la seconde. Le clustering vise à trouver les structures intrinsèques des données en les organisant en groupes homogènes et distincts (les clusters). Les objets dans un même cluster doivent être similaires entre eux et différents des objets des autres clusters [3]. Pour construire un regroupement de ces données, un utilisateur a trois choix méthodologiques à faire :

1. Choisir une mesure de ressemblance entre les données.
2. Choisir le type de structure qu'on veut obtenir : partition, hiérarchie, arbre, pyramide.
3. Choisir la méthode permettant d'obtenir la structure désirée.

On distingue généralement quatre types d'approches du clustering [4] :

- (a) Les approches basées sur le partitionnement des données : les points de données sont divisés en k partitions, où chaque partition représente un cluster. La partition est faite sur la base de certains objectifs fonctionnels. Une de ces fonctions standard est de minimiser le carré d'erreur.
- (b) Densités : sont définies comme des zones de densité supérieure au reste de l'ensemble de données. Les objets rares dans ces zones - qui sont nécessaires pour séparer les clusters - sont généralement considérés comme du bruit et des points frontières.
- (c) L'espace (grid) : utilise une structure de données de grille multi-résolution. Il quantifie l'espace objet en un nombre fini de cellules qui forment une structure de grille sur laquelle toutes les opérations de clustering sont effectuées.
- (d) Les approches hiérarchiques : les plus petites clusters sont fusionnées en plus grandes, ou les plus grandes clusters sont découpés en plus petites clusters. Le résultat de l'algorithme est un arbre de cluster, appelé dendrogramme, qui montre la relation entre les clusters.

Nous présentons trois algorithmes classiques d'apprentissage non-supervisé :

4. Les k - moyennes (k - means) : est un outil de partitionnement des données non-hiérarchique qui permet de répartir les données en k clusters homogènes [5].
5. Les cartes auto-organisatrices (SOM - self organizing map ou carte de Kohonen (1982)) : appartiennent aux techniques de clustering par partitionnement des données. Cette technique est un cas particulier de réseau de neurones non-supervisé [6].

6. La Classification Ascendante Hiérarchique (CAH) : Il appartient à la méthode des heuristiques. Cette méthode est utilisée pour construire des clusters pour les documents ainsi que pour les visualiser [7].

1.3 Autres types d'apprentissage

Il existe d'autres types d'apprentissage. Citons l'apprentissage semi-supervisé et l'apprentissage par renforcement.

En effet, l'apprentissage semi-supervisé est un bon compromis entre apprentissage supervisé et non-supervisé, car il permet de traiter un grand nombre de données sans avoir besoin de toutes les étiqueter, et, bien utilisé, il donne de meilleurs résultats que l'apprentissage non-supervisé.

L'apprentissage par renforcement est utile dans le cas d'apprentissage interactif, comme les techniques de bouclage de pertinence.

1.3.1 Apprentissage semi-supervisé

L'apprentissage semi-supervisé suppose que l'on dispose de peu de données étiquetées et d'un grand nombre de données non étiquetées. L'apprentissage s'effectue alors à partir des deux sources de données.

Un exemple d'apprentissage semi-supervisé est le co-apprentissage (co-training). L'apprentissage actif est une forme particulière d'apprentissage semi-supervisé, car il consiste à faire annoter par l'utilisateur quelques exemples positifs et négatifs.

Il permet d'intervenir dans le processus de construction de l'ensemble d'apprentissage dans le cadre de la recherche interactive. Certaines techniques classiques ont été étendues au cas de l'apprentissage semi-supervisé [8].

1.3.2 Apprentissage par renforcement

L'apprentissage par renforcement désigne toute méthode adaptative permettant de résoudre un problème de décision séquentielle. L'apprentissage par renforcement est synonyme d'apprentissage par interaction. Pendant l'apprentissage, le système adaptatif agit en interaction avec son environnement, et en retour reçoit des signaux de renforcement. Son objectif est de maximiser une mesure de gain dépendant des signaux reçus. Le terme adaptatif signifie que l'on part d'une solution inefficace, et qu'elle est améliorée progressivement en fonction de l'expérience du système.

1.4 Conclusion

Dans cette partie, nous avons décrit quelques techniques d'apprentissage de différents types (supervisés, non-supervisés, semi-supervisés, par renforcement) qui peuvent être employées pour l'indexation et la recherche de document.

2 Apprentissage profond (Deep Learning)

2.1 Introduction

Après avoir présenté de manière globale l'apprentissage automatique, nous allons maintenant nous intéresser plus particulièrement à l'apprentissage profond. Pour illustrer la discussion, nous allons d'abord présenter en détail le type de modèle le plus utilisé dans ce contexte : les Réseaux de Neurones Artificiels (ANNs).

2.2 Apprentissage profond

La notion d'apprentissage profond est tout d'abord une traduction directe du terme anglais « Deep Learning », que certain préfère traduire par la notion d'apprentissage statistique. De même que sa traduction, sa définition varie également, mais principalement au niveau des détails [9]. Pour définir cette notion dans les grandes lignes, on pourrait dire que L'apprentissage profond est un algorithme d'abstraction de haut niveau qui permet de modéliser les données à partir de grands ensembles de données apprises.

Précisons quelques termes [9] :

- **L'abstraction** suppose que les données initiales diffèrent largement des données de sorties, avec pour résultat possible la classification d'images, la prédiction d'un comportement ou une traduction. L'abstraction signifie qu'il n'y a pas de relation simple entre l'entrée et la sortie.
- **La modélisation** signifie que nous tentons de créer un certain scénario réaliste de sorte qu'une classification ou un résultat réaliste en découle.
- **La notion relative aux grands ensembles de données** signifie que les données d'entrée sont extrêmement diverses. L'apprentissage profond ou l'apprentissage automatique implique généralement que les propriétés importantes de ces données sont détectées lors du processus d'apprentissage.

De nombreux termes de ceux utilisés proviennent des sciences neurologiques, notamment de la notion de réseau de neurones. Un réseau neuronal est une sorte de logiciel cérébral ou de machine virtuelle composée de milliers d'unités (les neurones) qui effectuent des calculs. Plus précisément, des unités logiques et de prises de décisions (neurones, perceptrons) relient les données d'entrées et de sorties entre elles par l'intermédiaire d'un réseau complexe (réseau, cerveau) capable de prendre des décisions complexes.

A l'origine, ces systèmes portaient le nom de réseaux artificiels de neurones (ANN, Artificial Neural Networks) afin de les différencier des systèmes biologiques. Ils se composent en général d'un certain nombre de données d'entrées et de sorties (input / output layer), d'un réseau étroit de neurones et de plusieurs strates intermédiaires (hidden layers). Ces couches intermédiaires permettent de traiter des problèmes complexes ; sans elles, le système ne résout que des calculs simples. Le nombre de couches est donc un facteur décisif pour la complexité du système, et de l'apprentissage ; les données s'associent d'une couche à l'autre, les résul-

tats d'une première couche servant d'entrée à la prochaine, et ainsi de suite afin d'aboutir à une prise de décision complexe. Ce fonctionnement en strates donne toute sa profondeur au réseau et à l'apprentissage.

2.3 Réseaux de Neurones Artificiels (ANNs)

2.3.1 Historique

C'est dans les années 40 que la neurophysiologie a commencé à comprendre le fonctionnement des neurones biologiques, avec notamment les notions d'influx nerveux, de seuil d'activation, d'excitation du neurone et de renforcement de certaines structures par l'apprentissage [10].

Naturellement, les chercheurs essayèrent alors de reproduire un neurone de façon artificielle, d'abord sous forme de circuits électriques puis lorsque les langages de programmation le permirent, sous forme de code. En 1957, "Franck Rosenblatt" invente le "Perceptron", qui est la première tentative de reconnaissance d'image par un algorithme.

Après un creux dans les années soixante en raison de doutes sur la robustesse théorique de ces modèles, la recherche sur les ANN prit un second souffle en 1986 lorsque l'algorithme dit de « rétro-propagation » (back-propagation) permit de multiplier le nombre de couches d'un ANN et donc sa capacité à reconnaître des concepts de plus en plus complexes. En 1998, "Yann Le Cun" proposa le fameux réseau LeNet-5 pour la reconnaissance de caractères [10].

Mais pénalisés par le manque de données et la puissance limitée des machines de l'époque, les réseaux neuronaux passèrent de mode à nouveau au début des années 2000 au profit d'autres techniques de machine learning. Ce n'est que vers 2010 que débuta l'accélération connue aujourd'hui.

2.3.2 Neurone biologique

L'unité de calcul principal du système nerveux, le neurone, est constitué de trois parties : l'arbre dendritique, le soma et l'axone ; une illustration est présentée à la figure 1. Au repos, l'intérieur du neurone est polarisé négativement par rapport à l'extérieur. Cela est dû à un ensemble de pompes contrôlant les concentrations relatives de différents ions, entre l'intérieur et l'extérieur du neurone. Les synapses sont les points de jonctions entre l'axone et les dendrites de deux neurones, un message y est transmis sous la forme de composés chimiques : les neurotransmetteurs. Lorsque ceux-ci se lient aux récepteurs poste-synaptiques, des canaux ioniques s'ouvrent ou se ferment sur la membrane et des courants poste-synaptiques apparaissent.

Ces courants sont ensuite intégrés de manière complexe et non-linéaire (Koch et al., 1983) dans l'arbre dendritique. Le potentiel du soma va changer et, si il dépasse un certain seuil, un potentiel d'action sera initié et propagé à travers l'axone, ce qui libérera des neurotransmetteurs aux synapses auxquelles il est relié. Les mécanismes de création et de propagation

du potentiel d'action sont expliqués par le modèle d'Hodgkin-Huxley (Hodgkin and Huxley, 1952) basé sur un ensemble d'équations différentielles non-linéaires.

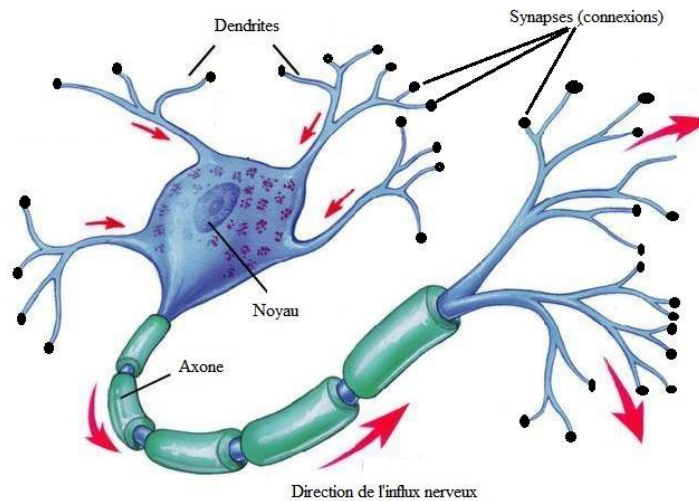


FIGURE 1 – Schéma d'un neurone biologique

2.3.3 Définition

L'idée de neurone artificiel n'a pas encore été vraiment spécifiée. Au sein d'un processeur, l'unité logique se compose de transistors ; on pourrait également y trouver un réseau neuronal « câblé », mais il faudrait qu'il soit « adaptatif », qu'il ait une « capacité d'apprentissage ». En effet, la réponse d'un neurone à des impulsions entrantes doit pouvoir évoluer tout au long du processus d'apprentissage. C'est ce qu'on appelle la « pondération » : un neurone évalue (pondère) diverses variables d'entrée pour obtenir la variable de sortie souhaitée. C'est pourquoi les neurones sont généralement des fonctions mathématiques qui relient entre elles des variables d'entrée et de sortie [9].

Dans la phase d'apprentissage, les neurones modifient leur comportement de pondération et affinent les résultats de sortie en fonction des variables d'entrée. Il doit donc y avoir un retour d'information du résultat global qui influence chaque neurone. On peut donc dire que les variables d'entrée et de sortie d'un réseau neuronal sont connues, mais que les valeurs des neurones, surtout dans les couches cachées restent inconnues. On a affaire à une « boîte noire » [9].

Pris isolément, un réseau neuronal qui n'a pas été entraîné ne « connaît » rien et fournit des résultats aléatoires, voire chaotiques pour l'utilisateur. Seul un système entraîné fournira le résultat souhaité. Si le problème posé est simple, un programme simple, plus facile à déboguer, pourra le résoudre. Pour un problème plus complexe, on aura recours à un réseau de neurones, que l'on entraînera à l'aide de grands ensembles de données. Chaque neurone

peut fournir des variables de sortie complexes et réagir linéairement ou non linéairement aux variables d'entrée.

C'est là un point assez subtil, car les neurones doivent être en mesure de réagir à l'ensemble des possibilités afin de fournir un résultat adéquat [9].

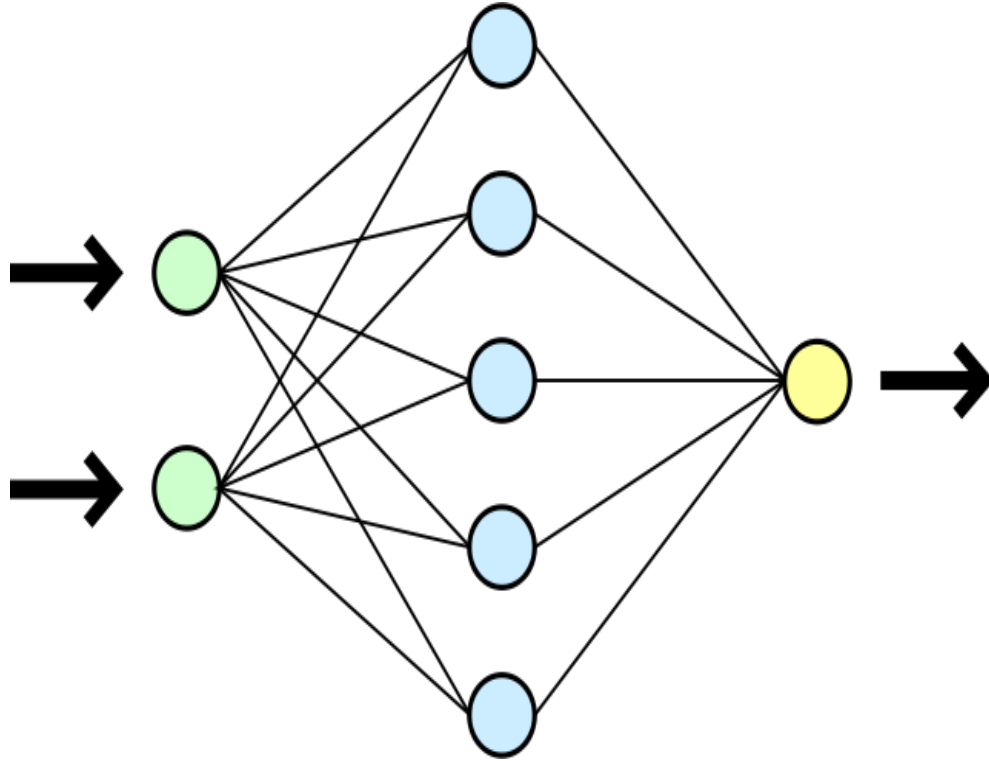
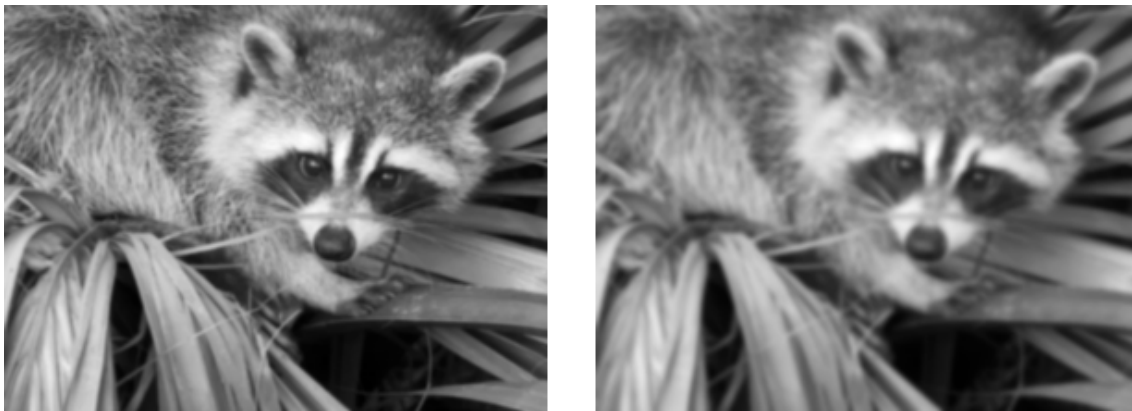


FIGURE 2 – Schéma d'un réseau artificiel de neurones

2.4 Réseau neuronal convolutif (CNN)

Le réseau de neuronal convolutif (CNN : Convolutional Neural Networks) ou plus généralement connue “ConvNets” a été inspiré par la façon dont le cortex visuel est supposé fonctionner. CNN est similaire à ANN (Réseaux de Neurones Artificiels) mais utilise l'opérateur matrice convolutif. Le volume 3D formé par plusieurs canaux de matrices 2Ds est appelé tenseur «Tensor de l'anglais». Étant donné une image d'entrée sous la forme d'un tenseur formé de plusieurs matrices 2Ds de pixels pour chaque canal de couleur, plusieurs filtres peuvent être écrits sous forme de matrice de convolution [11].

Comme la détection des contours (voir la figure 3), la netteté, le lissage / flou (voir la figure 4) et l'appariement de motifs. ANN peut être utilisé pour apprendre les valeurs dans de nombreuses matrices de convolution, ce qui permet d'obtenir des filtres d'image qui s'activent lorsqu'ils sont exposés sur des caractéristiques ou des structures visuelles spécifiques.

FIGURE 3 – détection de bord écrit en matrice de convolution 3×3 FIGURE 4 – Un filtre de flou écrit sous forme de matrice de convolution 3×3

La taille de chaque matrice de filtre de convolution, également appelée «taille du noyau» ou «taille du voisinage», spécifie le champ de réception du filtre. Par exemple, un noyau de taille 3×3 signifie que le cadre de délimitation du voisinage commence par un pixel à gauche, un pixel vers le haut et se termine par un pixel à droite et un pixel vers le bas, tandis qu'une taille de noyau de 5×5 signifie un voisinage de deux pixels de chaque côté.

L'opérateur de convolution utilisé dans CNN est appelée convolution 2D (habituellement appelé "de *conv2d()*" ou "*conv_{2d}()*" en fonction du langage utilisé) et il fonctionne sur les volumes 3Ds (en prenant un volume 3D en entrée et résultant d'un volume 3D comme sortie), par exemple, une entrée peut être une image en couleur de taille $224 \times 224 \times 3$ [12] et une profondeur de 3 canaux RGB(Red : rouge, Green : vert, Blue : bleu) lorsqu'il est passé à une convolution sur une taille de voisinage 3×3 et une profondeur de 96 canaux (écrites $3 \times 3 \times 96$) résultat serait un volume de sortie de taille 224×224 (ou 222×222 en cas d'absence de remplissage) et de profondeur de 96. La taille de l'entrée est largeur \times hauteur \times profondeur. La profondeur du noyau de convolution représente le nombre de filtres que nous souhaitons appliquer / apprendre.

2.5 Régression

Les techniques de régression sont largement utilisées pour résoudre des tâches ayant pour but de prédire des valeurs continues [13]. En vision par ordinateur, les techniques de régression couvrent un large éventail de scénarios d'application, tels que : détection du visage, estimation de la pose humaine, estimation de l'âge..etc. Au cours de la dernière décennie, les architectures d'apprentissage en profondeur ont dépassé de loin l'état de la technique dans de nombreuses tâches de vision informatiques traditionnelles telles que la classification des images, ou la détection d'images.

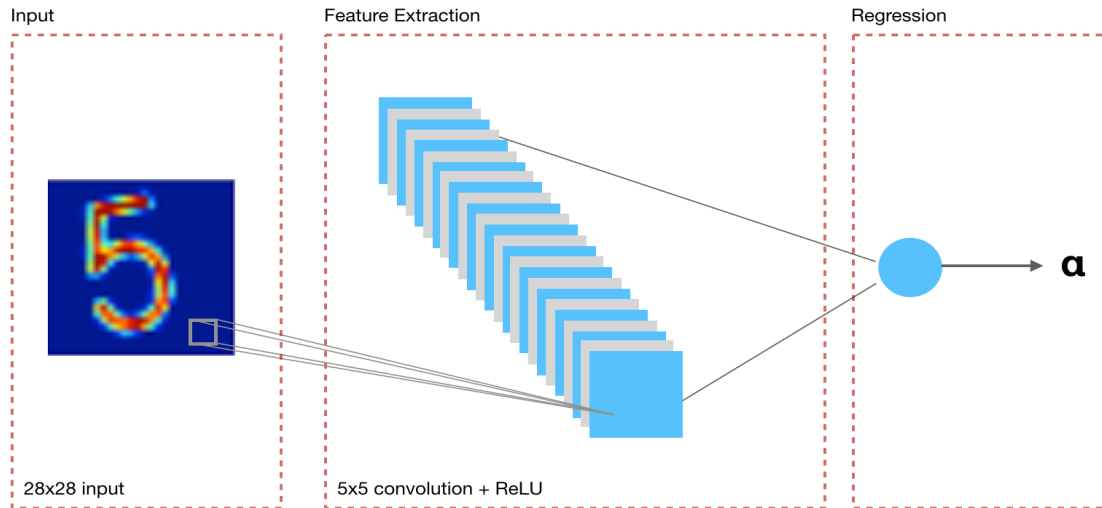


FIGURE 5 – Architecture de modèle linéaire(régression) CNN

En gros, ces architectures se composent de plusieurs couches convolutives, généralement suivies de quelques couches entièrement connectées, et d'une couche de classification "softmax" avec, par exemple, une perte d'entropie croisée; l'architecture globale s'appelle un réseau de neurones convolutionnels (CNN ou ConvNet). En plus de la classification, les réseaux de neurones convolutionnels sont également utilisés pour résoudre des problèmes de régression. Dans ce cas, la couche "softmax" est généralement remplacé par une couche de régression entièrement connectée avec des activations linéaires ou "sigmoid".

3 Traitement d'Image (Image Processing)

3.1 Introduction

Les images sont le moyen le plus courant et le plus pratique de transmettre des informations "Une image vaut mieux que mille mots". Les images transmettent de manière concise des informations sur les positions, les tailles et les relations entre les objets. Ils décrivent des informations spatiales que reconnaître en tant qu'objets. Les êtres humains sont capables de tirer des informations de telles images, grâce à leurs capacités mentales et visuelles innées. Environ 75% des informations reçues par l'homme sont sous forme graphique.

3.2 Image numérique

Une image numérique est la représentation d'une image en deux dimensions avec un ensemble de nombres déterminés d'ensembles finis de valeurs numériques appelées éléments d'image ou pixels. Les valeurs de pixels représentent généralement les niveaux de gris, les couleurs, les hauteurs, les opacités, etc. Chaque pixel est un nombre qui représente le degré de confiance d'une zone relativement petite dans une scène. La plage de valeurs nombre numérique étant normalement comprise entre 0 et 255. La taille de cette zone affecte la reproduction des détails dans la scène. Au fur et à mesure que la taille du pixel est réduite, plus de détails de la scène sont préservés en représentation numérique [14].

Une image numérique $a[m, n]$ décrite dans un espace discret 2D est dérivée d'une image analogique $a(x, y)$ située dans un espace continu 2D par le biais d'un processus d'échantillonnage appelé fréquemment numérisation. L'effet de la numérisation est illustré à la figure 3. L'image continue 2D $a(x, y)$ est divisée en N lignes et M colonnes. L'intersection d'une ligne et d'une colonne est appelée un pixel. La valeur attribuée aux coordonnées entières $[m, n]$ avec $\{m = 0, 1, 2, \dots, M - 1\}$ et $\{n = 0, 1, 2, \dots, N - 1\}$.

En fait, dans la plupart des cas, un (x, y) - que nous pourrions considérer comme le signal physique qui frappe la face d'un capteur 2D - est en fait une fonction de nombreuses variables, notamment la profondeur (z), la couleur (Λ), et le temps (t) [15].

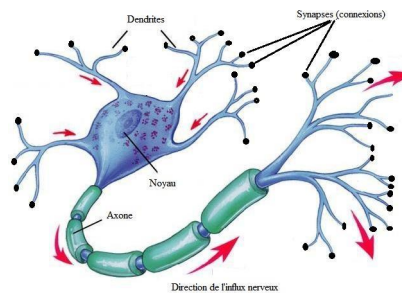


FIGURE 6 – Schéma d'un neurone biologique

L'image présentée à la figure 3 a été divisée en $N = 16$ lignes et $M = 16$ colonnes. La valeur attribuée à chaque pixel est la luminosité moyenne dans le pixel arrondis à la valeur entière. Le processus de représentation de l'amplitude du signal 2D à une coordonnée donnée sous forme de valeur entière avec L niveaux de gris différents est généralement appelé quantification d'amplitude ou simplement quantification.

3.3 Image thermique

L'image thermique représente la répartition structurée des données représentatives du rayonnement infrarouge en provenance d'une scène thermique (Norme AFNOR A 09-400).

Tout corps dont la température est supérieure au zéro absolu émet en permanence un rayonnement électromagnétique. Le rayonnement thermique est le phénomène d'écoulement de la chaleur par lequel l'énergie calorifique se transmet entre deux objets de température différente et séparés dans l'espace par un milieu transparent.

Le spectre des radiations électromagnétiques est divisé arbitrairement en un certain nombre de régions déterminées en fonction des générateurs ou récepteurs appropriés [16].

Le spectre infrarouge est divisé en trois grandes régions suivant les capteurs utilisables pour les déceler [17] :

1. de $0,75$ à $1,5 \mu\text{m}$ ¹, l'infrarouge proche décelé par les émulsions photographiques
2. de $1,5$ à $20 \mu\text{m}$, l'infrarouge moyen décelé par des détecteurs thermiques photoconducteurs ou photovoltaïques.
3. de 20 à $1000 \mu\text{m}$, l'infrarouge lointain décelé par les détecteurs thermiques.

3.4 Traitement d'image

Le traitement et l'analyse d'images peuvent être définis comme "l'acte d'examiner des images dans le but d'en identifier et d'en juger le sens". L'analyste d'images étudie les données de télédétection et tente, via un processus logique, de détecter, identifier, classer, mesurer et évaluer la signification de données physiques. Le traitement numérique de l'image est un ensemble de techniques permettant de manipuler des images numériques par ordinateur. Les données brutes reçues des capteurs d'imagerie sur les plates-formes satellites contiennent des défauts et des carences [18].

Pour surmonter ces défauts et lacunes afin d'obtenir l'originalité des données, celles-ci doivent subir plusieurs étapes de traitement. Cela varie d'une image à l'autre en fonction du type de format d'image, des conditions initiales de l'image, des informations qui vous intéressent et de la composition de l'image [18]. Le traitement des images comprend essentiellement les trois étapes suivantes :

1. Importation de l'image avec un scanner optique ou par photographie numérique.

1. $\mu\text{m} \rightarrow \text{Micro mètre} = 1 \times 10^{-6}$

2. Analyser et manipuler l'image, ce qui inclut la compression des données, l'amélioration de l'image et la détection de motifs qui ne sont pas visible à l'œil humain comme les photographies satellites.
3. La sortie est la dernière étape dans laquelle le résultat peut être une image modifiée ou un rapport basé sur une analyse d'image.

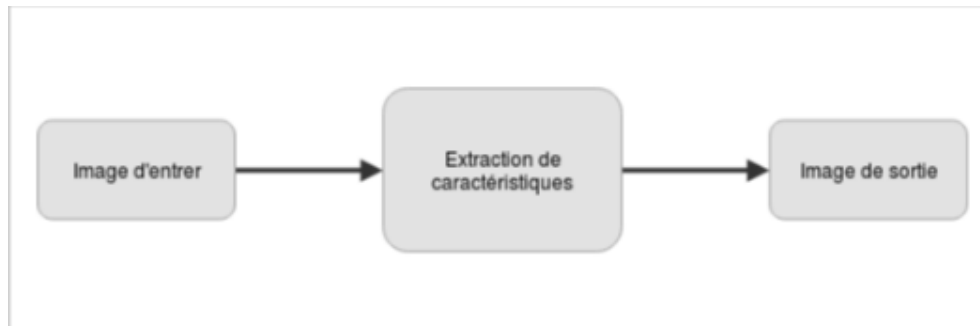


FIGURE 7 – Présentant les étapes d'un traitement d'une image

3.5 But du traitement d'image

Le traitement de l'image est divisé en 5 groupes.
Elles sont :

1. Visualisation : Observez les objets non visibles.
2. Netteté et restauration d'image : Pour créer une meilleure image.
3. Récupération d'image : Recherchez l'image a la-quel on s'intéresse.
4. Mesure du motif : Mesure divers objets dans une image.
5. Reconnaissance d'image : Distinguer les objets dans une image.

3.6 Méthodes pour le traitement d'image

Les deux types de méthodes utilisées pour le traitement d'images sont le traitement d'images analogique et numérique. Des techniques de traitement d'image analogiques ou visuelles peuvent être utilisées pour les copies papier telles que les impressions et les photographies. Les analystes d'images utilisent divers principes d'interprétation lors de l'utilisation de ces techniques visuelles. Le traitement de l'image ne se limite pas à un domaine à étudier, mais à la connaissance de l'analyste. L'association est un autre outil important dans le traitement des images par le biais de techniques visuelles. Les analystes appliquent donc une combinaison de connaissances personnelles et de données collatérales au traitement des images.

Les techniques de traitement numérique aident à manipuler les images numériques en utilisant des ordinateurs. Les données brutes des capteurs d'imagerie contiennent des lacunes et pour surmonter ces défauts et obtenir l'originalité de l'information, l'image doit subir différentes phases de traitement.

Les trois phases générales que doivent subir tous les types de données lors de l'utilisation de la technique numérique sont les suivantes : Prétraitement, Amélioration et Affichage, Extraction d'informations.

3.7 Applications existantes

1. Systèmes de transport intelligents - Cette technique peut être utilisée pour la reconnaissance automatique de plaques d'immatriculation et la reconnaissance de panneaux de signalisation [19].
2. Télédétection - Pour cette application, les capteurs capturent les images de la surface de la Terre dans des satellites de télédétection ou un scanner multispectral monté sur un avion. Ces images sont traitées en les transmettant à la station terrienne. Les techniques utilisées pour interpréter les objets et les régions sont utilisées dans la lutte contre les inondations, la planification urbaine, la mobilisation de ressources, le suivi de la production agricole, etc [20].
3. Suivi d'objet en mouvement - Cette application permet de mesurer les paramètres de mouvement et d'acquérir un enregistrement visuel de l'objet en mouvement. Les différents types d'approche permettant de suivre un objet sont les suivants : Suivi basé sur le mouvement et suivi basé sur la reconnaissance [21].
4. Surveillance de la défense - Des méthodes de surveillance aérienne sont utilisées pour surveiller en permanence les terres et les océans. Cette application est également utilisée pour localiser les types et la formation des navires de la surface de l'océan. L'important est de diviser les différents objets présents dans la partie de l'image contenant de l'eau. Les différents paramètres tels que longueur, largeur, surface, périmètre et compacité sont configurés pour classer chacun des objets divisés. Il est important de reconnaître la répartition de ces objets dans différentes directions (est, ouest, nord, sud, nord-est, nord-ouest, sud-ouest et sud-ouest) pour expliquer toutes les formations possibles des navires. On peut interpréter l'ensemble du scénario océanique à partir de la distribution spatiale de ces objets [22].
5. Système d'inspection visuelle automatique - Cette application améliore la qualité et la productivité du produit dans les industries. Système d'inspection automatique des filaments des lampes à incandescence - Cela implique un examen du processus de fabrication de l'ampoule. En raison de l'absence d'uniformité dans le pas des câbles de la lampe, le filament de l'ampoule se fond rapidement. Dans cette application, une tranche d'image binaire du filament est créée à partir de laquelle la silhouette du filament est fabriquée. Les silhouettes sont analysées pour reconnaître la non-

uniformité du pas du câblage dans la lampe. Ce système est utilisé par la “General Electric Corporation”.

- (a) Systèmes automatiques d'inspection des surfaces - Dans les industries métallurgiques, il est essentiel de détecter les défauts sur les surfaces. Par exemple, il est essentiel de détecter tout type d'aberration sur la surface du métal laminé dans les laminoirs à chaud ou à froid d'une aciérie. Des techniques de traitement d'image telles que l'identification de texture, la détection de bord, l'analyse fractale, etc. sont utilisées pour la détection.
 - (b) Identification des composants défectueux - Cette application identifie les composants défectueux dans les systèmes électroniques ou électromécaniques. Une plus grande quantité d'énergie thermique est générée par ces composants défectueux. Les images infrarouges sont produites à partir de la distribution des énergies thermiques dans l'assemblage. Les composants défectueux peuvent être identifiés en analysant les images infrarouges.
6. Techniques d'imagerie biomédicale - Pour le diagnostic médical, différents types d'outils d'imagerie tels que les rayons X, les ultrasons, la tomographie assistée par ordinateur (CT), etc. sont utilisés [23]. Certaines des applications des applications d'imagerie biomédicale sont les suivantes :
- (a) Identification des maladies cardiaques - Il est nécessaire de connaître les caractéristiques de diagnostic importantes telles que la taille du cœur et sa forme afin de classer les maladies cardiaques. Pour améliorer le diagnostic des maladies cardiaques, des techniques d'analyse d'images sont utilisées pour les images radiographiques [24] [25].
 - (b) Identification des maladies pulmonaires - Dans les rayons X, les régions qui apparaissent sombres contiennent de l'air, tandis que celles qui apparaissent plus claires sont des tissus solides. Les os sont plus radio-opaques que les tissus. Les côtes, le cœur, la colonne thoracique et le diaphragme qui sépare la cavité thoracique de la cavité abdominale sont clairement visibles sur le film radiographique [26] [27].
 - (c) Mammographies numériques - Ceci est utilisé pour détecter la tumeur du sein. Les mammogrammes peuvent être analysés à l'aide de techniques de traitement d'images telles que la segmentation, l'analyse de forme, l'amélioration du contraste, l'extraction de caractéristiques, etc [28].

3.8 Perspectives de la recherche

Une vaste recherche est en cours dans la technique de traitement d'image.

1. Imagerie du cancer - Différents outils, tels que la ponction trachéo-œsophagienne (TEP), l'IRM (Imagerie par Résonances Magnétique) et la détection assistée par ordinateur, aident à diagnostiquer la tumeur et à en prendre conscience.

2. Imagerie cérébrale - Se concentre sur le développement normal et anormal du cerveau, le vieillissement cérébral et les états pathologiques courants.
3. Cette recherche intègre l'IRM structurelle et fonctionnelle en neurologie, l'analyse de la forme et de la structure des os, le développement d'outils d'imagerie fonctionnelle en oncologie et le développement de logiciels de traitement d'images TEP [29].
4. Le développement de la technologie de l'image impose de déterminer si les nouvelles technologies sont efficaces et rentables, et si cette technologie fonctionne dans les domaines tel-que :
 - (a) Imagerie par résonance magnétique du genou.
 - (b) Détection assistée par ordinateur en mammographie.
 - (c) Échographie endoscopique dans la stadification du cancer de l'œsophage.
 - (d) Imagerie par résonance magnétique dans les douleurs lombaires.
 - (e) Imagerie ophtalmique - Cela fonctionne dans deux catégories :
 - Technologie d'imagerie - Technologie d'imagerie - Développement d'un logiciel automatisé - Analyse les images de la rétine pour montrer les signes précoces de rétinopathie diabétique
 - Développement de l'instrumentation - Se concentre sur le développement de l'ophtalmoscope à balayage laser.

3.9 Conclusion

Nous sommes tous en pleine révolution déclenchés par le développement rapide de la technologie informatique et de l'imagerie. Contrairement aux idées reçues, les ordinateurs ne sont pas en mesure d'associer les humains aux calculs liés au traitement et à l'analyse des images.

Mais avec la sophistication croissante et la puissance de l'informatique moderne, le calcul ira au-delà de l'architecture séquentielle conventionnelle de "Von Neumann" et envisagera également l'exécution optique. Les paradigmes de l'informatique distribuée et parallèle devraient améliorer les réponses pour les résultats du traitement des images.

Chapiter 2

Context et problématique du projet

Contexte et problématique du projet

4 Introduction

On se positionne dans ce projet à la frontière de la santé numérique et la diagnostic médicale aussi que l'aide à la prise de décision, dans cette section nous allons faire le tour des concepts liés à notre sujet et détailler la problématique à laquelle on s'attaque, à savoir la santé connectée, la température corporelle et le cancer.

5 E-santé

5.1 Définition

E-santé est un domaine émergent qui se situe au croisement de l'informatique médicale, de la santé publique et des entreprises, de la référence aux services de santé et à l'information fournie ou améliorée via Internet et les technologies associées. Dans un sens plus large, le terme caractérise non seulement un développement technique, mais également un état d'esprit, une façon de penser, une attitude et un engagement envers la pensée globale en réseau afin d'améliorer les soins de santé aux niveaux local, régional et mondial. en utilisant les technologies de l'information et de la communication [30].

Le terme *e-santé* désigne l'ensemble des technologies et services - pour les soins médicaux spécifiquement - basés sur les technologies de l'information et de la communication. Ceux ci comprennent :

- Les réseaux régionaux et nationaux d'information pour la santé et les systèmes de dossiers électroniques distribués y compris les systèmes d'information pour les professionnels de santé et les hôpitaux, les services en ligne tels que la prescription électronique, les bases de données...
- Les systèmes de télémedecine et les services associés.
- Les outils spécialisés pour les professionnels de santé et les chercheurs (robotique et environnements avancés pour le diagnostic et la chirurgie, outils pour la simulation et la modélisation, grilles pour la santé et outils pour la formation).

La santé connectée consiste en l'utilisation des nouvelles technologies pour améliorer la santé des citoyens. Ces technologies peuvent faciliter collecte, la circulation, l'utilisation efficaces d'informations sur la santé, l'accès aux soins et permettent à leurs utilisateurs une prise en charge personnalisée en matière de prévention ou de soins médicaux.

Elle regroupe plusieurs leviers : faire des patients des acteurs de leur santé, promotion de l'e-santé à travers les professionnels santé, les données médicales comme levier majeur d'innovation, favoriser le rapprochement patients-médecins [31].

5.2 Domaines d'application

Pour présenter les applications de la santé numérique, on peut se baser sur la chronologie du développement et de la prise en charge d'une maladie à savoir les stades de prévention, de diagnostic, puis de prise en charge thérapeutique et d'établissement d'un pronostic.

Les applications sont nombreuses : On peut distinguer les lieux de prise en charge que sont le cabinet médical pour la médecine ambulatoire et l'hôpital lors des hospitalisations. Le maintien à domicile des patients est un enjeu important.

E-santé inclut :

1. **La télésanté** qui comprend les actes de prévention et de soins réalisés à distance : information via des portails grand public, sites de promotion de la santé, systèmes d'alerte téléphonique, prescriptions électroniques à distance...
2. **La télémedecine** (actes médicaux réalisés à distance par un médecin) : consultation par vidéoconférence, téléassistance d'un médecin lors d'une intervention, télésurveillance du patient, télé-expertise (échange des avis des médecins)...
3. **La m-santé (mobile santé)** qui comprend les applications numériques pour smartphones ou objets connectés (bracelets...) en lien avec la santé.
4. **Les systèmes de dossiers électroniques de santé.**

5.3 Importance de la e-santé

1. Prévoir une population vieillissante avec une prévalence croissante de maladie chronique, qui coûte de plus en plus cher à traiter.
2. Améliorer la sécurité des patients et réduire les erreurs.
3. Aider les patients à devenir des consommateurs informés qui prennent un rôle actif dans leurs propres soins de santé.
4. La transition démographique vers une population vieillissante vivant plus longtemps avec des maladies chroniques signifie que les prestataires de soins de santé doivent trouver les ressources pour prendre soin de ces personnes. Les technologies de l'information et de la communication (sous les divers aspects de la santé en ligne, télésoins, télésanté, etc.) sont considérées comme une réponse à ces attentes. Les solutions Ehealth sont présentées comme des méthodes relativement peu coûteuses de fournir des soins et une assistance à la fois à distance et avec l'automatisation. Cela comprend la surveillance et la consultation à distance dispensées par des praticiens de la santé, ainsi que des outils d'auto-surveillance pour soutenir l'autogestion. L'objectif est de maintenir une vie autonome pour les personnes atteintes de maladie chronique et de réduire le recours aux soins secondaires.

6 Santé connectée

Santé connectée implique plusieurs ressources et acteurs tel que :

- **L’interopérabilité** : Activés par des systèmes IT² de santé qui communiquent entre eux, échangent des données et utilisent des informations.
- **Le personnes** : Habilités à accéder à leurs propres informations sur la santé, à les gérer et à participer activement à leurs soins
- **Les professionnels de santé** : Appuyés par les programmes fédéraux et les outils IT de la santé pour la prestation de soins de haute qualité axés sur le patient, afin de soutenir la participation de tous les individus et fournisseurs de soins de santé à la santé connectée.
- **Le partage de données et intégration** : Améliorer les soins, améliorer la surveillance et faire avancer la recherche.

Approche de la santé connectée offre trois niveaux de création de valeur

- **Efficacité clinique**

Y compris la réduction des activités administratives et des coûts, l’élimination des doublons de tests de laboratoire et de radiologie ; améliorer la sécurité des patients grâce à un accès 24 heures sur 24, 7 jours sur 7, à des dossiers médicaux complets et lisibles ; et accélérer l’accès aux antécédents médicaux des patients et aux informations vitales.

- **Savoir partagé**

Y compris la réduction des erreurs médicales et l’amélioration de la qualité des soins, les alertes d’interaction médicamenteuse, des outils sophistiqués pour améliorer la prise de décision clinique par le biais de protocoles de soins fondés sur des preuves, ainsi que des innovations et de nouvelles capacités en matière de soins de population.

- **Transformation de soins**

Incluant des analyses avancées pour éclairer la prise de décision clinique, la gestion de la santé de la population et de nouveaux modèles de prestation de soins.

2. Les technologies de l’information et de la communication.

6.1 Principales fonctions de la santé connectée

Les solutions de santé connectée s'articulent autour de 5 fonctions principales :

1. Capter une information, via un objet (une balance, un tensiomètre, un podomètre...).
2. Transmettre automatiquement l'information captée.
3. Intégrer l'information dans un système informatique.
4. Afficher l'information de manière compréhensible pour l'utilisateur.
5. Mettre en relation, en s'affranchissant des problèmes de distance, patients et professionnels de santé.

6.2 Différents champs d'application de la santé connectée

Les domaines d'applications pour les solutions de santé connectée sont vastes :

- Mesure de paramètres vitaux et leur télétransmission à un plateau médical.
- Mise en relation de patients à travers des réseaux sociaux dédiés.
- Services de prévention personnalisée Web.
- Téléconsultation, télémédecine et diagnostic à distance.
- ...

L'intérêt de ces outils est directement lié à la manière de les utiliser. La santé connectée constitue une révolution qui permettra de proposer à chacun utilisateur des services de santé efficaces, accessibles et adaptés à ses besoins.

6.3 IOT en santé

Les objets connectés ou objets communicants sont en train de révolutionner tous les secteurs, y compris celui de la médecine générale. On parle alors de santé connectée ou d'e-santé. Cependant leur prescription par les médecins généralistes reste freinée par certaines craintes, notamment en ce qui concerne la protection du secret médical.

Un objet connecté est un objet relié à internet via un système de communication sans fil alors qu'il n'avait pas vocation d'être une interface web, à l'origine. Par exemple, on peut parler de tensiomètre connecté mais un smartphone n'est pas considéré comme un objet connecté puisqu'il est conçu dès le départ pour « surfer » sur le web. En pratique, les dispositifs médicaux connectés contiennent des composants électroniques, leur permettant de communiquer avec différents systèmes : une tablette, un ordinateur, un smartphone... Beaucoup sont des wearables e-santé, c'est-à-dire des objets connectés portables du type montre ou bracelet.

Ils sont capables de :

- Collecter diverses données santé de vos patients,
- Traiter les données,

- Transmettre les résultats obtenus aux professionnels de santé (ex. : médecin traitant, infirmière à domicile),
- Donner l’alerte en cas d’urgence.

Ce qui permet :

- De faciliter le diagnostic en télé-consultation,
- D’assurer un meilleur suivi des patients à distance (télé-surveillance),
- D’aider les patients à suivre leur traitement correctement,
- De faire de la prévention dans divers domaines.



FIGURE 8 – IOT dans la santé

6.4 Avantages et inconvénients

La e-santé à plusieurs avantages telque :

- Réduit le stress du personnel.
- Fait un dossier patient efficace et accessible.
- Réaliser un gain de temps et réduction des travaux indirects, ce qui conduit à une prestation de soins plus directe.
- Causes de garder le personnel en leur possession et de l’attirer.

Les inconvénients peuvent être :

- La modification des processus de communication avec le personnel
- La formation du personnel prend beaucoup de temps sur ce type de système.

L’étude Accenture [32] montre clairement les avantages des soins de santé intégrés et de l’échange de données à l’échelle du système. Il montre que la santé connectée facilite une meilleure coordination des soins, une gestion améliorée de la maladie, moins d’erreurs cliniques et de nouvelles opportunités d’économie de coûts administratifs et cliniques.

7 Température corporelle

7.1 Définition

La température corporelle est définie comme la température moyenne du corps humain. La température moyenne est estimée à environ 37 C°, bien que cela puisse varier en fonction du moment de la journée, généralement de 0,5 C° le soir par rapport au matin.

Le centre qui régule la température corporelle est situé dans une glande, l'hypophyse, et le point exact de régulation peut être modifié en cas de dommage ou de maladie, d'où l'apparition de fièvre.

Selon les puristes, ce processus est distinct de l'hyperthermie, qui définit l'augmentation de la température corporelle causée par l'environnement ou l'effort physique, et de l'hypothermie, qui est une diminution et est essentiellement due à une exposition prolongée au froid.

Dans les deux cas, le point de régulation n'est pas modifié et le corps initie certains processus destinés à ramener la température à la normale, par exemple en transpirant ou en frissonnant.

7.2 Température chez les enfants

La température chez l'enfant doit normalement être comprise entre 36 C° et 37,5 C°. On parle de fièvre quand elle atteint ou dépasse les 38 C°. On dit alors familièrement que l'enfant a de la température. Entre 37,5 C° et 37,9 C°, on parle de fièvre modérée ou de fébricule. La fièvre est très courante chez les enfants. Souvent sans gravité, il faut toutefois surveiller de près son évolution car au-dessus de 40 C° son issue peut être mortel [33].

7.3 Causes de l'élévation de la température chez l'enfant

Parmi les causes de l'élévation de la température, on peut distinguer deux grandes familles. La première regroupe toutes les causes extérieures : coup de soleil, coup de chaleur...

Cette fièvre infantile est alors liée à la chaleur du milieu extérieur. La seconde famille regroupe les très nombreuses causes infectieuses (virus, bactérie, champignon, parasite).

En effet, pour combattre une infection, le système immunitaire de l'organisme entre en grande activité. Activité qui génère l'élévation de la température [34].

les enfants cancéreux souffrent d'une infection (causée par une bactérie ou un virus), il est normal qu'il fasse de la fièvre, ils existent plusieurs moyens de prendre la température corporelle qui sont :

1. par voie rectale (par le rectum ou les fesses),
2. par voie buccale (par la bouche),
3. par voie axillaire (sous l'aisselle),

4. par voie auriculaire (par l'oreille).

TABLE 1 – Choix de la méthode de prise de température suivant l'âge de l'enfant

Âge	Techniques recommandées
De la naissance à 2 ans	1 ^{er} choix : Rectum (pour obtenir une lecture exacte) 2 ^{ème} choix : Aisselle (pour vérifier si bébé fait de la fièvre
De 2 à 5 ans	1 ^{er} choix : Rectum 2 ^{ème} choix : Oreille 3 ^{ème} choix : Aisselle
Plus de 5 ans	1 ^{er} choix : Bouche 2 ^{ème} choix : Oreille 3 ^{ème} choix : Aisselle

8 Cancer

8.1 Définition

Le cancer est une maladie caractérisée par une prolifération cellulaire, ou tumeur maligne, anormalement importante formée à partir de la transformation par mutation ou instabilité génétique d'une cellule initialement normale. Parfois, les cellules cancéreuses envahissent les tissus environnants, ou se détachent de la tumeur d'origine pour migrer vers d'autres régions du corps, c'est ce qu'on appelle des métastases. C'est pourquoi il est important de dépister le cancer le plus tôt possible afin d'éviter cette migration. La majorité des cancers prennent plusieurs années à se former et peuvent apparaître à tout âge.

Les symptômes sont très variables d'une personne à l'autre mais aussi en fonction du type de cancer et de son stade [35].

Il existe un certain nombre de cancers différents, ayant chacun leurs propres symptômes et pouvant toucher diverses parties du corps. Parmi les cancers les plus fréquents, on retrouve :

- Le cancer de la peau,
- Le cancer du sein,
- Le cancer du colon,
- Le cancer de la prostate,
- ...

8.2 Cancer de l'enfant

Le cancer est une cause majeure de décès chez les enfants et les adolescents dans le monde. Il est diagnostiqué chaque année chez environ 300 000 enfants âgés de 0 à 19 ans [36].

Le cancer de l'enfant (ou cancer pédiatrique) recouvre de nombreux types de tumeurs spécifiques apparaissant chez l'enfant et l'adolescent entre 0 et 19 ans. Les formes les plus fréquentes sont la leucémie, les cancers du cerveau, les lymphomes et les tumeurs solides telles que le neuroblastome et la tumeur de Wilms [36] [37].

La plupart des cancers de l'enfant peuvent être guéris grâce aux médicaments génériques et à d'autres formes de traitement, notamment la chirurgie et la radiothérapie. Le traitement du cancer de l'enfant peut avoir un bon rapport coût/efficacité [37].

Le cancer dépossède le patient de son système immunitaire qui alter son traitement de chimio ce qui perturbe sa guérison. Cela produit un retour négative sur la santé du patient surtout que la maladie du cancer attaque le système immunitaire ce qui le rend vulnérable à des infections, à la fatigue, sueur, insomnie, perte du poids, ...etc.



FIGURE 9 – Le cancer chez l'enfant

8.3 Cancers les plus fréquents chez l'enfant

Les cancers les plus fréquents chez l'enfant [38] sont les suivants :

- les leucémies (33% de toutes les maladies cancéreuses chez l'enfant en Suisse) [39].
- les tumeurs au cerveau et dans la moelle épinière (20%) .
- les lymphomes hodgkiniens et non hodgkiniens (12%) .
- les tumeurs du système nerveux sympathique (7%) .
- les cancer des tissus mous (7%) .

- le cancer du rein (5%) .
- le cancer des os (4%) .
- les tumeurs germinales (3%) .
- les tumeurs oculaires (3%) .

8.4 Symptômes

Les signes suivants peuvent indiquer l'existence d'une maladie cancéreuse chez l'enfant [38] :

- un ventre anormalement gonflé, des grosseurs.
- une fièvre inexpliquée et persistante.
- une pâleur, de l'apathie, une perte de poids.
- des douleurs inexpliquées et persistantes dans les articulations et les membres.
- des maux de tête, souvent associés à des vomissements.
- des hématomes fréquents, des saignements inexpliqués .
- des sueurs nocturnes.
- des sautes d'humeur et un changement soudain de comportement.
- un reflet blanchâtre dans la pupille (« œil de chat »), un strabisme.

8.5 Focus sur le Cancer

La prévention et les soins du cancer dépendent d'un accès à des informations exactes et complètes et d'une coordination étendue entre les patients, les soignants et les équipes de soins.

Est un organisme à but non lucratif composé de médecins, d'infirmières en oncologie, de survivants du cancer et de membres de la famille d'individus atteints du cancer. Nous nous engageons à changer la vie des personnes touchées par le cancer et à responsabiliser les patients et leurs proches au cours de ce voyage. Nous espérons qu'un jour, le cancer sera une maladie du passé.

9 Problème de la prise de température corporelle chez les enfants cancéreux

Les enfants cancéreux peuvent souffre d'une infection (virus, bactérie,... etc), il est normale qu'il fasse de la fièvre.

La méthode de la prise de température corporelle chez l'enfant dans ce cas dépendra l'age de l'enfant, il est important que la mesure soit exacte. Chez les enfants cancéreux il faut mesurer la température corporelle chaque deux heures par l'infirmière ou le garde malade (Mère ou sœur, ... etc).

En Algérie les services hospitaliers qui s'occupent des enfants cancéreux souffrent de beaucoup de problèmes notamment le manque de personnel **soignant** aussi que la charge excessive sur les médecins, on fait généralement recours aux parents des enfants, pour prendre soin de ceux ci durant la journée et la nuit, les soins ici sont différents des soins médicaux qui sont la responsabilité du personnel médicale.

En général, les gardes malades (mère, sœur, ...) sont responsables de la prise de température corporelle de l'enfant périodiquement.

En cas de fièvre le garde malade alerte le professionnel médicale (Infirmière ou médecin), selon le cas pour prendre en charge ce problème de la fièvre.

ce qui pose des problèmes entre autres :

- Le stress des enfants dû à la fréquence de la pris de température corporelle.
- Les dérangements engendrés par la prise multiple de la température (l'enfant à réveillé, manipulé, ... à différentes heures de la nuit).
- La mauvaise lecture de la température corporelle par le garde malade.
- Le cas de la prise de température corporelle dans les délais oubliés.
- Le stress et l'angoisse des parents dû à cette responsabilité.

9.1 Solution existantes

Ils existent de part le monde des solutions pour la prise de la température corporelle des enfants, qui soient intelligents ou non.

Nous allons présenter quelques solutions.

9.1.1 Thermomètre

Est l'un des outils essentiels de la trousse de premiers soins. Ils existent différents modèles de thermomètres et différentes méthodes de prise de température corporelle.

1. **Le thermomètre à gallium** c'est le thermomètre qui a remplacé celui au mercure. Il renferme un mélange de gallium, d'étain et d'indium qui, sous l'effet de la chaleur, se dilatent dans le thermomètre. Il est, comme son ancêtre, en verre gradué et permet de lire facilement la température [40].



FIGURE 10 – Thermomètre à gallium

2. **Les thermomètres électronique** très facile à utiliser, il affiche la température en quelques secondes sur un écran à cristaux liquides. Au bout d'une vingtaine de secondes, un bip sonore indiquera que la température a atteint le bon niveau. En cas de fièvre, certains thermomètres électroniques possèdent un bip spécifique.

Un peu plus cher que le thermomètre à gallium "Figure 10", il reste tout de même très économique et fiable. On peut l'utiliser autant pour la prise de température buccale, axillaire et rectale [40].



FIGURE 11 – Mesurer la température avec thermomètre électronique

3. **Un thermomètre infrarouge** est un instrument permettant de mesurer la température de surface d'un objet à partir de l'émission de lumière de type corps noir qu'il produit. Un tel thermomètre est parfois appelé à tort thermomètre laser s'il est aidé d'un laser pour viser, ou encore thermomètre sans-contact pour illustrer sa capacité à mesurer la température à distance [41].



FIGURE 12 – Thermomètre infrarouge

4. **Le thermomètre tétine** peut-être un gadget, mais le thermomètre tétine peut s'avérer pratique si on n'a pas d'autre thermomètre sous la main.
Une fois encore, chez le bébé, la prise de température par voie rectale est la plus fiable et la plus précise [40].



FIGURE 13 – Thermomètre tétine

5. Il existe une autre façon de mesurer la température d'un enfant en plaçant un bracelet sur sa main, dans le cas d'une température élevée, cette dernière émit un son.



FIGURE 14 – Bracelet pour mesurer la température

10 Solution Proposée

Notre objectif dans ce projet est de résoudre les problèmes déjà cités liés à la prise de température corporelle de l'enfant.

Notre solution consiste en un système intégré (Matériel et logiciel) qui se base sur le sujet IOT et l'apprentissage automatique pour déterminer la température corporelle de l'enfant.

1. **La partie matériel** consiste en un prototype de caméra infrarouge qui va permettre de prendre l'image thermique du visage de l'enfant, l'envoyer au système de surveillance et d'alerte.
2. **Un système de surveillance et d'alerte** qui détermine la température corporelle à partir de l'image et déclenche une alerte si la température corporelle est élevée.
Le système de surveillance et d'alerte implémente un modèle qui est déjà établi dans une 1^{er} phase de ce projet.

11 Conclusion

La e-santé et les objets connectés ne vont pas impacter la médecine, mais bien le parcours de soin dans sa globalité.

Dans ce chapitre nous avons présenté le contexte et la problématique à laquelle on s'attaque aussi que la solution proposée.

Chapter 3

Conception de la solution proposée

12 Introduction

L'enfant cancéreux souffre en silence, il affronte de sérieux problèmes. Sa maladie est mortelle, on doit s'occuper de lui et trouver des solutions pour diminuer sa souffrance.

Pour cela on utilise des outils inventé par l'homme pour faciliter la tache de la surveillance de cet enfant, tel que la caméra thermique.

13 Objectif

Notre contribution est la réalisation d'un modèle basée sur l'apprentissage automatique qui détecte la température corporelle de l'enfant cancéreux, basé sur une image thermique.

Pour cela on utilise des images thermiques prisent périodiquement (la période sera définie par le professionnel de santé), elle est souvent estimée à deux heures, elle fera l'objet d'entrée dans le modèle établi afin de déduire la température corporelle de l'enfant.

Si la température est élevée (cas de fièvre) une alerte est lancée par le système afin d'avertir l'infirmière ou le médecin, la présence de l'un des deux n'est pas indispensable tout le temps cela lui permet de s'occuper des autres malades par exemple.

14 Architecture générale de la solution

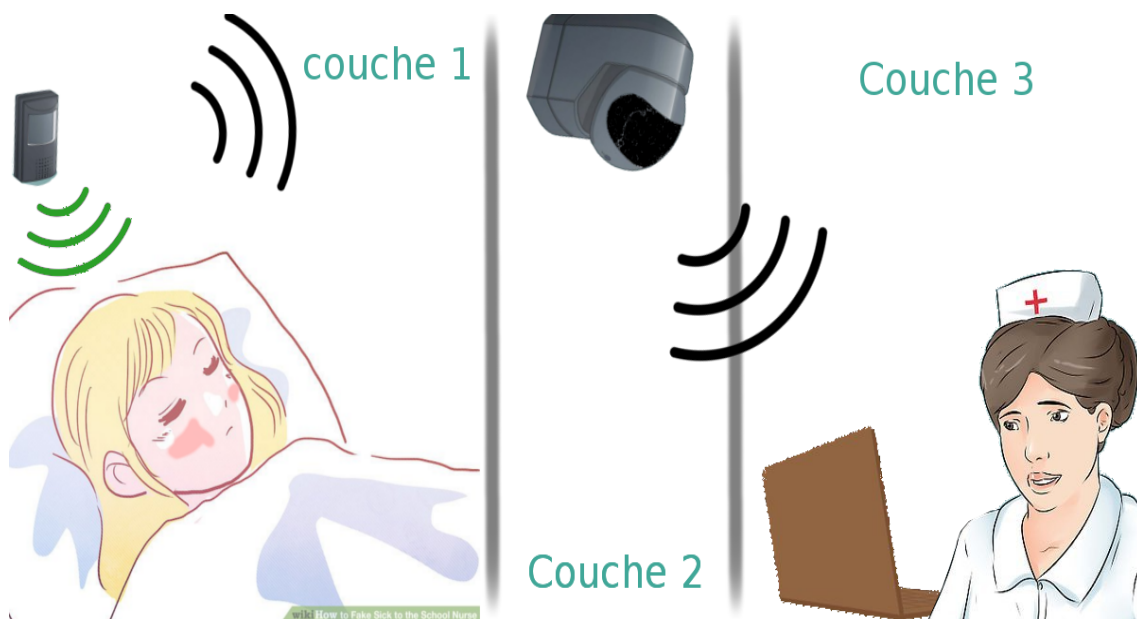


FIGURE 15 – Architecture de la solution

14.1 Présentation de la solution

Une caméra est installée au dessus du lit de l'enfant malade, cette caméra est relie avec un Système de surveillance et d'alerte, cette dernière photographie cet enfant de temps en temps, elle envoie la photo prise au modèle qui va la traiter et donne la décision selon la température de l'enfant, si la température est élevée une alerte sera lancée a l'infirmière ou au médecin, ils le prennent en charge, si la température est normale il y aura aucune alerte.

L'image prise, la décision et les coordonnées de l'enfant seront sauvegardées dans une base de données.

14.2 Objectifs du processus général

- L'enfant sera surveillé et sous contrôle tout le temps.
- Quant à l'infirmière, le fait de surveiller le malade tout le temps est très contraignant. Avec notre système on gagne du temps, d'efforts et précision.
- Notre solution permet une amélioration des soins et du confort de l'enfant qui ne sera pas dérangé si la température est normale.
- Notre solution permet d'introduire les nouvelles technologies ainsi que l'intelligence dans les composants pour améliorer le travail des professionnel de santé.
- Notre solution contribue dans l'amélioration du système de santé en Algérie.

14.3 Description de chaque couche

1. La 1^{er} couche : Le dispositif est posé sur la tête de lit du malade.
2. La 2^{ème} couche : Système de surveillance et d'alerte qui contient un modèle pour estimer la température et une base de données pour sauvegarder les données.
3. La 3^{ème} couche : L'application qui détecte les alerte lancées par notre système de surveillance, elle sera consultée par le professionnel de santé.

15 Architecture Détaillée de la solution

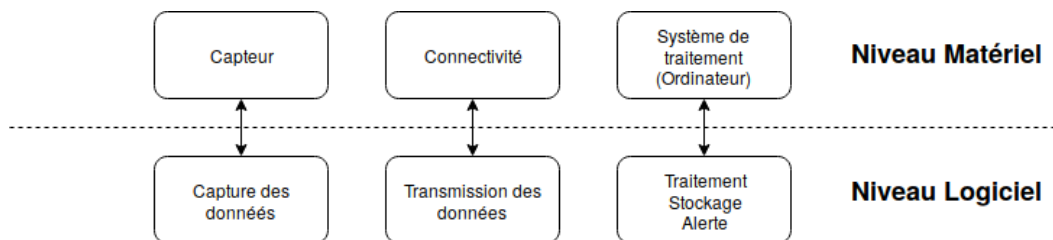


FIGURE 16 – Architecture détaillée de la solution

15.1 Principe de fonctionnement

— Étape 1

Une caméra thermique qui prend l'image du visage de l'enfant, l'enfant doit être juste sous la caméra à une distance de 2 mètres, pour qu'elle puisse prendre une image claire de son visage, cette caméra est reliée avec le système de surveillance et d'alerte.

— Étape 2

L'image collecte est envoyée au système de surveillance et d'alerte via un système de connectivité.

— Étape 3

L'image sera envoyée au système de surveillance et d'alerte, qui a l'aide du modèle déjà établi va traiter l'image de l'enfant et estime la température, en cas de température élevée le système lance une alerte.

L'image, la décision et les coordonnées de l'enfant seront sauvegardées dans une base de données.

15.2 Partie matériel

- **Caméra thermique AMG8833** [42] qui a comme fonction la prise des images thermiques.

1. Description

- L'AMG8833 est la nouvelle génération de capteurs infrarouges thermiques 8x8 de Panasonic et offre des performances supérieures.
- C'est comme des caméras thermiques sophistiquées, mais suffisamment compactes et simples pour une intégration facile.
- Cette caméra mesurera des températures allant de 0 C° à 80 C° avec une précision de + - 2,5 C°.
- Elle peut détecter un être humain à une distance maximale de 7 mètres (23 pieds). Avec une fréquence d'images maximale de 10 Hz, elle est idéale pour créer des systèmes de détecteur humain.

2. Détails techniques

Dimensions du produit : 25.8mm x 25.5mm x 6.0mm / 1.0 "x 1.0" x 0.2 "

Poids du produit : 2.9g / 0.1oz

La AMG8833 est caractérisée qualitativement par sa courbe MRTD³ qui correspond à l'évolution de la résolution thermique (plus petit objet visible) en fonction de la résolution spatiale (plus petit contraste de température perceptible).

3. Prix

Le prix de cette caméra thermique est \$ 39.95

3. Minimum resolvable temperature difference

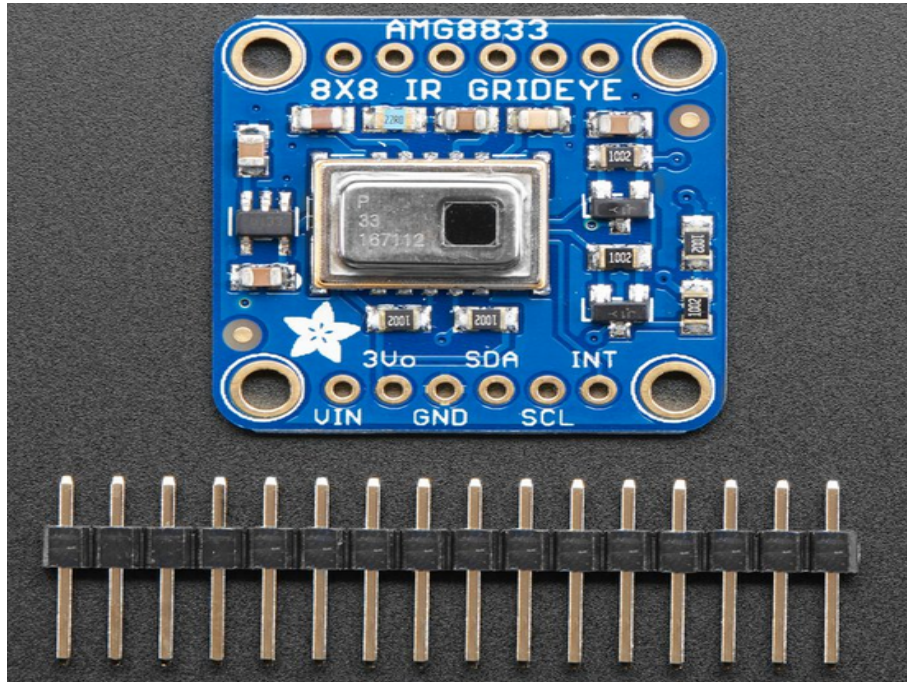


FIGURE 17 – Adafruit AMG8833 IR Thermal Camera

— Raspberry Pi 2 Model B [43]

1. Description

Le Raspberry Pi est un ordinateur au format carte de crédit. Le Raspberry Pi 2 Model B est la deuxième génération de Raspberry Pi. Il est basé sur le système sur puce (SoC⁴) BCM2836, qui comprend un processeur ARM Cortex-A7 à quatre cœurs et un puissant processeur graphique.

Le Raspberry Pi 2 Model B est à un niveau totalement nouveau par rapport à ses prédécesseurs en étant 6 fois plus rapide que le Raspberry Pi Model B +.

2. Spécifications techniques

- (a) Ordinateur à carte unique alimenté par processeur Broadcom BCM2836 ARMv7 à quatre cœurs fonctionnant à 900 MHz.
- (b) 1 Go de RAM.
- (c) GPIO étendu à 40 broches.
- (d) 4 x ports USB.
- (e) Sortie stéréo 4 pôles et port vidéo composite.

4. Broadcom BCM2836

- (f) HDMI pleine taille.
- (g) Port de caméra CSI pour connecter la caméra Raspberry Pi.
- (h) Port d'affichage DSI pour connecter l'écran tactile Raspberry Pi.
- (i) Port Micro SD pour le chargement de votre système d'exploitation et le stockage de données.
- (j) Source d'alimentation micro USB.

3. Prix

Le prix de Raspberry Pi 2 Model B est \$ 43.32



FIGURE 18 – Raspberry Pi 2 Model B

Un prototype d'une caméra thermique *Adafruit AMG8833 IR* relie avec un Raspberry Pi est présenté par la figure 19.

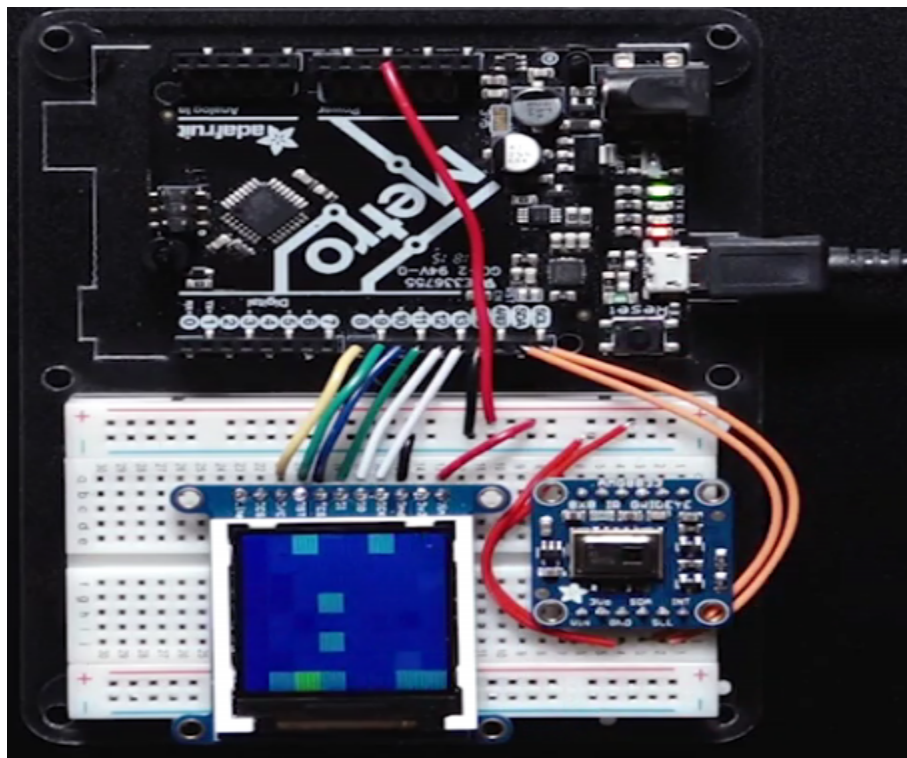


FIGURE 19 – caméra thermique *Adafruit AMG8833 IR* relie avec un Raspberry Pi

16 Partie logiciel

Nous avons pour ce projet proposé une 1^{er} version de la solution afin de déterminer la température sur la base de l'image thermique de l'enfant.

La figure 20 présente cette architecture *version 1* que l'on va implémenter en une 1^{er} temps pour nous familiariser avec les concepts.

Une 2^{ème} version sera présentée en un 2^{ème} temps basée sur l'apprentissage profond.

Nous présentons dans ce qui suit l'architecture du système de surveillance et d'alerte *version 1* en quelques étapes :

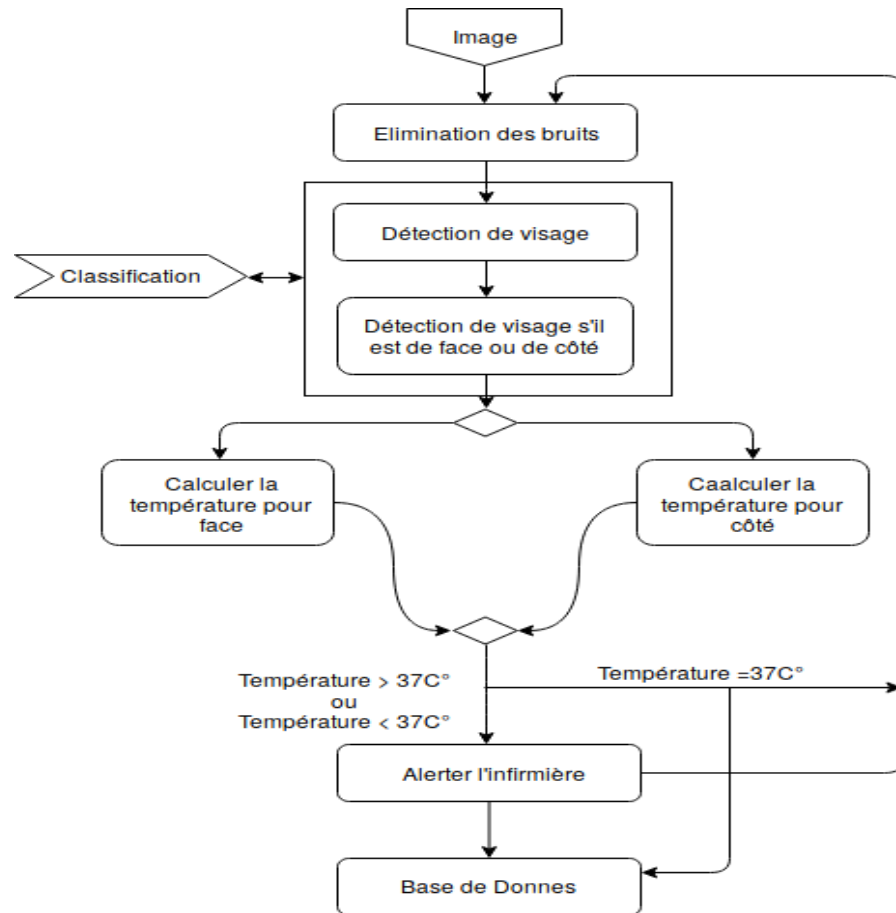


FIGURE 20 – Architecture de système logiciel version 1

1. Collecte de l'image thermique de l'enfant.
2. Élimination des bruits trouvés dans cette image.
3. Détection du visage de l'enfant c'est une classification de l'image prise, pour classifier cette image on utilise le *haar cascade*.
4. Détection s'il s'agit de face ou de profile c'est une classification de l'image.
5. Calcule de la température pour visage et profile.
6. l'image, décision et les coordonnées seront sauvegardées dans une base de données.
7. l'opération se répète à partir de l'étape 2.
8. si la température est élevée :
 - (a) une alerte est lancée à l'infirmière,

16.1 Algorithme d'élimination des bruits

Dans une image numérique on appelle bruit numérique toute information parasite ou dégradation que subit l'image de l'instant de son acquisition jusqu'à son enregistrement.

Le bruit numérique est une notion générale à tout type d'image numérique, et ce quel que soit le type du capteur à l'origine de son acquisition (appareil photo numérique, scanner, caméra thermique...etc).

Les sources de bruit numérique sont multiples, certaines sont physiques liées à la qualité de l'éclairage, de la scène, la température du capteur, la stabilité du capteur de l'images durant l'acquisition, d'autres apparaissent durant la numérisation de l'information.

Gaussian Blur

Gaussian Blur (également appelé lissage gaussien) est un algorithme de résolution du flou d'une image par une fonction gaussienne. C'est un effet largement utilisé dans les logiciels graphiques, généralement pour réduire le bruit de l'image et les détails. L'effet visuel de cette technique de flou est un flou lisse ressemblant à celui de la visualisation de l'image à travers un écran translucide, produit par un objectif flou ou l'ombre d'un objet sous un éclairage habituel.

Le lissage gaussien est également utilisé comme étape de prétraitement dans les algorithmes de vision par ordinateur afin d'améliorer les structures d'images à différentes échelles.

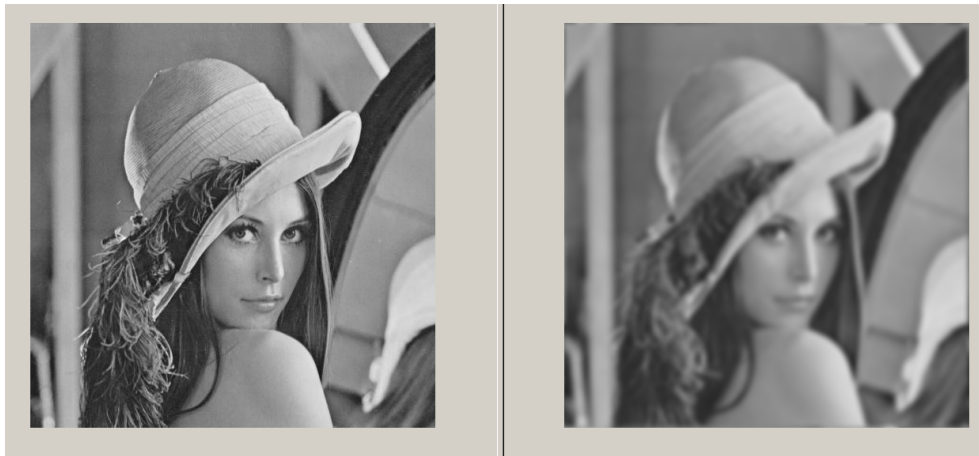


FIGURE 21 – Élimination des bruits d'une image avec l'algorithme Gaussian Blur

17 Conclusion

Les enfants cancéreux doivent être surveillés tout le temps, le processus dont on a parlé facilite cette tâche d'une manière rapide et sûre.

Il faut noter que nous n'avons pas réalisé le prototype de la partie matérielle, car nous avons jugé *bon* de nous **consecier** à l'élaboration du modèle et l'implémentation des différentes applications aussi la réalisation de ce type de prototype n'est pas chose difficile, elle fera l'objet d'un travail future.

Chapiter 4

Implémentation des solutions proposées

18 Implémentation de la version 1 de la solution

Pour l'implémentation de la solution proposée en version 1 nous allons étudier quelques algorithmes et présenter ce qui a été réalisé.

18.1 Algorithmes de classification d'image

Ils existent plusieurs algorithmes pour le traitement d'image notamment l'élimination des bruits et la détection de visage.

18.1.1 Partie logiciel

Python

Python est un langage de programmation de haut niveau largement utilisé. Il a été initialement conçu par “Guido van Rossum en 1991” et développé par “Python Software Foundation”. Il a été principalement développé pour mettre l'accent sur la lisibilité du code et sa syntaxe permet aux programmeurs d'exprimer des concepts en moins de lignes de code. Python est un langage de programmation qui permet de travailler rapidement et d'intégrer les systèmes plus efficacement.



FIGURE 22 – Logo python

OpenCv

OpenCV (pour Open Computer Vision) est une bibliothèque graphique libre, initialement développée par Intel, spécialisée dans le traitement d'images en temps réel. La société de robotique Willow Garage et la société ItSeez se sont succédé au support de cette bibliothèque. Depuis 2016 et le rachat de ItSeez par Intel, le support est de nouveau assuré par Intel.



FIGURE 23 – Logo OpenCv

18.1.2 Implémentation

Détection de visage : Haar Cascade

Haar Cascade est fondamentalement un classificateur utilisé pour détecter l'objet pour lequel il a été formé, à partir de la source.

La Haar Cascade est formée en superposant l'image positive sur un ensemble d'images négatives. La formation se fait généralement sur un serveur et à différentes étapes. De meilleurs résultats sont obtenus en utilisant des images de haute qualité et en augmentant le nombre d'étapes pour lesquelles le classificateur est formé.

On peut également utiliser des cascades Haar prédéfinies, disponibles sur le gitHub [16]

Voici une capture présente comment détecter le visage d'un enfant à partir d'une image thermique avec l'utilisation de Haar cascade.

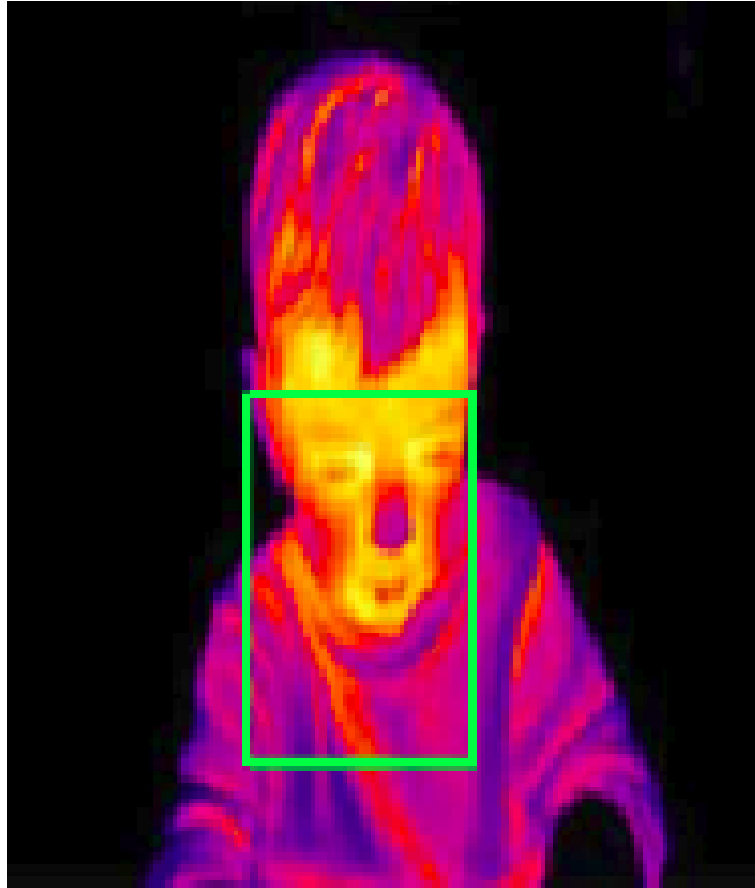


FIGURE 24 – Détection de visage avec Haar cascade

```

1 import cv2
2 import numpy as np
3 import matplotlib.pyplot as plt
4
5 face_cascade = cv2.CascadeClassifier('haar/haarcascade_frontalface_default.xml')
6 eye_cascade = cv2.CascadeClassifier('haar/haarcascade_eye.xml')
7
8 img = cv2.imread('enfant.png')
9 b, g, r = cv2.split(img)
10 plt.hist(b.ravel(), 256, [0, 256])
11 plt.hist(g.ravel(), 256, [0, 256])
12 plt.hist(r.ravel(), 256, [0, 256])
13
14 gray = cv2.cvtColor(img, cv2.COLOR_BGR2GRAY)
15 faces = face_cascade.detectMultiScale(gray)
16 for x, y, w, h in faces:
17     cv2.rectangle(img, (x, y), (x + w, y + h), (0, 255, 0), 2)
18     roi_gray = gray[y:y + h, x:x + w]
19     roi_color = img[y:y + h, x:x + w]
20     eyes = eye_cascade.detectMultiScale(roi_gray)
21     for ex, ey, ew, eh in eyes:
22         cv2.rectangle(roi_color, (ex, ey), (ex + ew, ey + eh), (0, 255, 0), 2)
23
24 key = cv2.waitKey(30) & 0xff
25 if key == 27:
26     break

```

FIGURE 25 – Capture montre comment détecter le visage

Élimination des bruits

Denoising d'image dans OpenCV

OpenCV fournit quatre variantes de cette technique :

1. *cv2.fastNlMeansDenoising()* fonctionne avec une seule image en niveaux de gris.
2. *cv2.fastNlMeansDenoisingColored()* fonctionne avec une image couleur.
3. *cv2.fastNlMeansDenoisingMulti()* fonctionne avec des séquences d'images capturées en peu de temps (images en niveaux de gris).
4. *cv2.fastNlMeansDenoisingColoredMulti()* comme ci-dessus, mais pour les images en couleur.

Nous utilisons la fonction *cv2.fastNlMeansDenoisingColored()*, comme mentionné ci-dessus, il est utilisé pour supprimer le bruit des images en couleur. Voir la figure ci-dessous :

Voici une capture présente on a éliminer les bruits. s

```

31 dst = cv2.fastNlMeansDenoisingColored(img, None, 10, 10, 7, 21)
32 plt.subplot(121), plt.imshow(img)
33 plt.subplot(122), plt.imshow(dst)
34 plt.show()
35 cv2.waitKey()
36 cv2.destroyAllWindows()

```

FIGURE 26 – Élimination des bruits

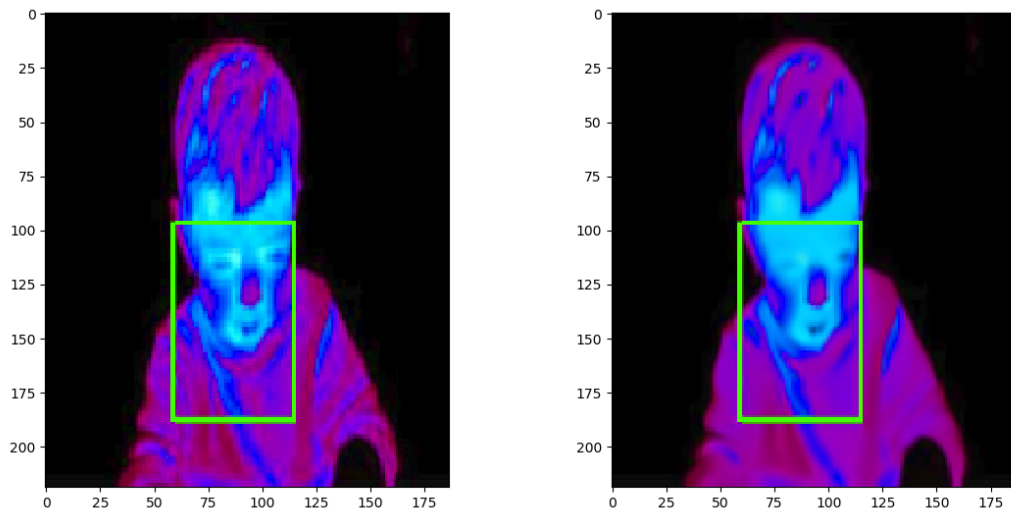


FIGURE 27 – Élimination des bruits d'une image avec OpenCv

19 Implémentation de la version 2 de la solution

19.1 Introduction

Après avoir parler de l'apprentissage automatique, l'apprentissage profond et le traitement d'image dans le chapitre de l'état de l'art nous allons présenter dans cette partie une solution a notre problème on ce basant sur les techniques.

19.2 Outils et matériels

19.2.1 Outils

Google Colaboratory

Google Colab est un service “Cloud” gratuit livré avec des infrastructures d’apprentissage automatique pré-installées, telles que “Tensorflow”, “Keras”, “OpenCV” et GPU gratuits, à exécuter sur Google. Le laboratoire propose actuellement les services informatiques d’un GPU Tesla K80 gratuitement. Le seul problème est que *l’on pour* utiliser les services informatiques pendant un maximum de 12 heures à la fois.

En règle générale, lorsque on entraîne les modèles dans le laboratoire, on est connecté à une machine virtuelle basée sur un processeur graphique, où on dispose de 12 heures maximum à la fois, après quoi on perd l’accès à cette instance de machine virtuelle particulière. Au bout de 12 heures, une autre machine virtuelle (gratuitement, bien sûr) attribuée et le cycle se répète.



FIGURE 28 – Logo de Google Colab

Le choix de “Google Colab” était une nécessité, d’abord l’accès à une vitesse de traitement rapide sachant que notre matériel (ordinateur) n’est pas équipé d’un processeur GPU donc le choix était vite fait, et que nous allons utiliser avec “Colab” comme service et on plus l’access aux autres services de Google en matière de stockage, rapidité et la gratuite du service.

Comme “Colab” python était une nécessité premièrement parce que dans “Colab” il n’y a que le langage Python ou les commandes “Shell”, deuxièmement les package offerts dans ce langage qui concernant notre domaine Apprentissage profond (Deep Learning) ainsi que dans les autre domaine mathématique, web, etc , très intéressants et complètes, troisièmement la facilite du langage, il ne faut pas avoir une bonne connaissance dans le domaine du développement pour bien le maîtriser.

Keras

Est une API de haut niveau permettant de créer et de former des modèles d’apprentissage en profondeur. Il est utilisé pour le prototypage rapide, la recherche avancée et la production,

avec trois avantages principaux :

1. **Convivialité** : Keras dispose d'une interface simple, cohérente et optimisée pour les cas d'utilisation courants. Il fournit des commentaires clairs et exploitables pour les erreurs des utilisateurs.
2. **Modulaire et composable** : les modèles Keras sont fabriqués en reliant des blocs de construction configurables ensemble, avec peu de restrictions.
3. **Facile à étendre** : on peut écrire des blocs de construction personnalisés pour exprimer de nouvelles idées de recherche. On peut créer de nouvelles couches, des fonctions de perte et développer des modèles à la pointe de la technologie.



FIGURE 29 – Logo de Keras

Node

(Ou plus officiellement Node.js) Est un environnement d'exécution open source, multi-plate forme, qui permet aux développeurs de créer tout type d'outils et d'applications côté serveur en JavaScript. Le moteur d'exécution est conçu pour une utilisation en dehors du contexte du navigateur (c'est-à-dire s'exécutant directement sur un système d'exploitation ou serveur). En tant que tel, l'environnement omet les API JavaScript spécifiques au navigateur et ajoute la prise en charge des API de système d'exploitation plus traditionnelles, notamment HTTP et les bibliothèques de système de fichiers.



FIGURE 30 – Logo Node.js

Cela a motivé notre choix, aussi la maîtrise de l'outil et la facilite qu'il offre.

19.2.2 Matériels

PC portable : N'importe quelles pc fera l'affaire a condition qu'il a les bon outils précédemment déclarer dans la partie outils.

Raspberry Pi : Est un ordinateur économique de la taille d'une carte de crédit qui se branche à un écran d'ordinateur ou d'un téléviseur, et utilise un clavier et une souris standard.

C'est un petit appareil capable qui permet aux gens de tous âges d'explorer l'informatique, et d'apprendre à programmer dans des langues comme Scratch et Python. Il est capable de faire tout ce que vous attendez d'un ordinateur de bureau à faire, de la navigation sur Internet et de jouer à la vidéo haute définition, à la fabrication de feuilles de calcul, traitement de texte, et les jeux.

De plus, le "Raspberry Pi" a la capacité d'interagir avec le monde extérieur, et a été utilisé dans un large éventail de projets de fabricants numériques, des machines à musique aux stations météorologiques.



FIGURE 31 – Logo Raspberry Pi

Une des caractéristique d'un Raspberry Pi c'est qu'on peut le transformer on un serveur portable d'où l'utilité de ce dernier mais dans un premier temps c'était un matériel pour crée un ensemble de données (datasets) avec la camera infrarouge, mais le manque de la camera infrarouge nous a conduit a improviser avec un serveur portable pour une simulation de notre figure 15.

19.3 Ensemble de données (Dataset)

Un ensemble de données est le résultat au niveau individuel d'une enquête, conceptualisée sous forme de tableau ou de matrice. Les lignes contiennent des valeurs pour les réponses codées de chaque individu. L'ensemble des données comprennent toutes les informations recueillies lors d'une enquête qui doit être analysée.

Dans le cas de notre étude on utilise le Dataset proposé dans [100] qui comporte des image infrarouge avec des niveaux de gris. La taille des image et comme suit : 320x220x1, mais pour des besoin programmatique et manque de mémoire on a réduit la taille de ces images a 64x64x3.

Le problème avec cette Dataset c'est qu'elle n'est pas annoter, c-à-d celle-ci n'est pas conçu *on proposé* pour la détermination de la température corporelle .

19.3.1 Étape de l'augmentation

La solution à ce problème était d'utiliser un plan qui consiste a classifier l'image en se basant sur l'oeil humaine en cinq classes qui sont : hotter (très chaud), hot (chaud), normal (normal), cold (froid) et colder (très froid).

Après cette classification on a fait des recherche sur la température normal d'un individu qui se trouve entre l'intervalle [36.8 - 37.6] de ceci on constate que l'intervalle est d'un écart de 0.8 donc on peut déduire approximativement l'intervalle des autre classes.

Pour la classe hotter : [38.5 - 39.3], la classe hot : [37.7 - 38.5], la classe cold : [35.9 - 36.7] et la classe colder : [35.0 - 35.8].

Après cette analyse et traitement on a presque un ensemble de données complet mais dans notre problème on veut prédire la température exacte de l'individu, on parle ici de régression, cela consiste à implémenter un script "Bash" qui va donner des valeurs (température) aléatoirement pour chaque classe et *les insérer* dans un fichier "CSV (Comma-Separated Values)" comme fichier de sortie pour formater notre ensemble de données.

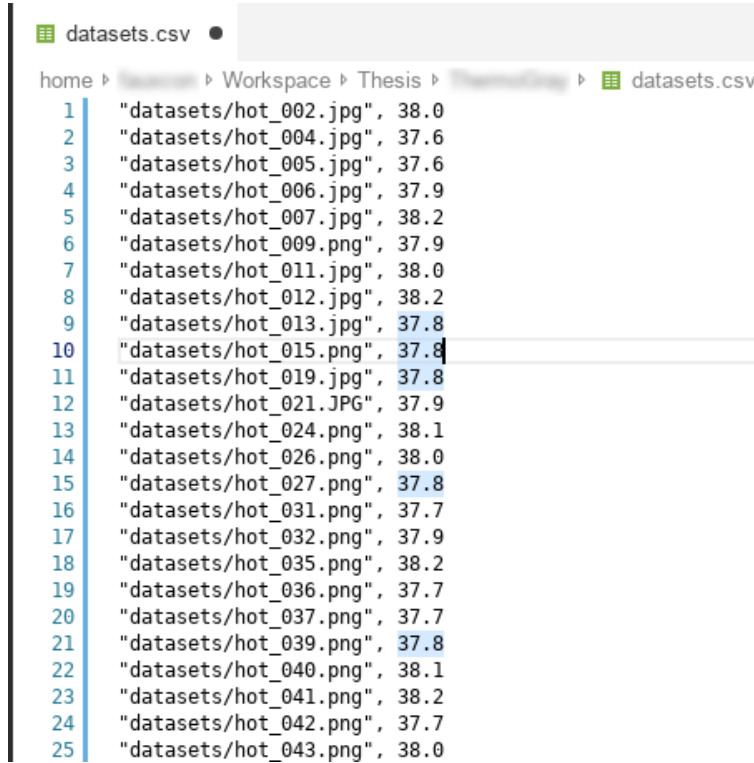
```
1 #!/bin/bash
2
3 # Copyleft 2019 ThermoMed
4 # This program is free software: you can redistribute it and/or modify
5 # it under the terms of the GNU General Public License as published by
6 # the Free Software Foundation, either version 3 of the License, or
7 # ( CopyLeft License ) any later version.
8 # This program is distributed in the hope that it will be useful,
9 # but WITHOUT ANY WARRANTY; without even the implied warranty of
10 # MERCHANTABILITY or FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE. See the
11 # GNU General Public License for more details.
12 # You should have received a copy of the GNU General Public License
13 # along with this program. If not, see <http://www.gnu.org/licenses/>.
14 outcsv(){
15     echo "${1}\", ${2}" >> "datasets.csv"
16 }
17
18 for img in dsets/*; do
19     prefix=$(cut -d' ' -f1 <<< $(basename "$img"))
20     case "$prefix" in
21         "hotter")
22             randomizer=$(seq 38.25 .1 39.3 | shuf | head -n1)
23             outcsv $img $randomizer
24             ;;
25         "hot")
26             randomizer=$(seq 37.7 .1 38.5 | shuf | head -n1)
27             outcsv $img $randomizer
28             ;;
29         "normal")
30             randomizer=$(seq 36.8 .1 37.6 | shuf | head -n1)
31             outcsv $img $randomizer
32             ;;
33         "cold")
34             randomizer=$(seq 35.9 .1 36.7 | shuf | head -n1)
35             outcsv $img $randomizer
36             ;;
37         "colder")
38             randomizer=$(seq 35.0 .1 35.8 | shuf | head -n1)
39             outcsv $img $randomizer
40             ;;
41     esac
42 done
```

FIGURE 32 – Script Bash

Titre ta3 Hadi

La sortie de ce fichier "datasets.csv" est de la forme "chemin de l'image" et la "température de l'image" comme le montre la figure 33.

Ces deux colonnes séparées par une virgule sont indispensable pour l'entraînement de notre modèle.



```

1 "datasets/hot_002.jpg", 38.0
2 "datasets/hot_004.jpg", 37.6
3 "datasets/hot_005.jpg", 37.6
4 "datasets/hot_006.jpg", 37.9
5 "datasets/hot_007.jpg", 38.2
6 "datasets/hot_009.png", 37.9
7 "datasets/hot_011.jpg", 38.0
8 "datasets/hot_012.jpg", 38.2
9 "datasets/hot_013.jpg", 37.8
10 "datasets/hot_015.png", 37.8
11 "datasets/hot_019.jpg", 37.8
12 "datasets/hot_021.JPG", 37.9
13 "datasets/hot_024.png", 38.1
14 "datasets/hot_026.png", 38.0
15 "datasets/hot_027.png", 37.8
16 "datasets/hot_031.png", 37.7
17 "datasets/hot_032.png", 37.9
18 "datasets/hot_035.png", 38.2
19 "datasets/hot_036.png", 37.7
20 "datasets/hot_037.png", 37.7
21 "datasets/hot_039.png", 37.8
22 "datasets/hot_040.png", 38.1
23 "datasets/hot_041.png", 38.2
24 "datasets/hot_042.png", 37.7
25 "datasets/hot_043.png", 38.0

```

FIGURE 33 – Capture Dataset.csv

19.4 Entraînement ou création du modèle ? Ay ta3ti w halha b3id

Après avoir initialiser notre ensemble de données on peut commencer à écrire notre programme qui va prédire la température d'un individu on se basant sur son image thermique. Mais avant tout delà il faut d'abord créer notre modèle et l'entraîner, tout d'abord il a connaissance du langage python et un prototype modèle pour extraire quelque notion de comment prédire une valeur exacte d'une image, j'ai choisie un prototype qui prédit le prix d'une maison on se basant sur image de l'intérieur d'une maison. Le principe et le même il y a quelque modification et de la configuration dans les couches cachées de notre ANN (Réseaux de Neurones Artificiels).

Commençant par importer notre ensemble de données et faire quelque pré-traitement qui consiste à redimensionner nos images à une largeur et une hauteur de 64×64 pixels par image.

Étape de la normalisation

Après avoir importer notre ensemble de données et les images redimensionnées dans la mémoire de la machine (PC ou Colab) nous procédons à la création de notre modèle mais avant il faut faire des traitement sur les valeurs des pixels en divisions les images sur 255

```
thermo > dataset.py > {} pd
1 import pandas as pd
2 import numpy as np
3 import cv2
4 import sys
5
6 def load_dataset(dataset_path):
7     cols = ["path", "tempture"]
8     df = pd.read_csv(dataset_path, sep=",", header=None, names=cols)
9     return df
10
11 def load_images(df, resize=(64, 64)):
12     images = []
13     for path in df["path"]:
14         p = path.split("\n")[0]
15         if os.path.exists(p):
16             img = cv2.imread(p)
17             img = cv2.resize(img, resize)
18             if img is not None:
19                 images.append(img)
20                 sys.stdout.write("\r [ * ] Loading "+str(len(images) * 100 / df.shape[0])+"% images. Remain: "+str(df.shape[0]-len(images)))
21                 sys.stdout.flush()
22             else:
23                 print "[?] This {} does not exist".format(p)
24     print ""
25     return np.array(images)
--
```

FIGURE 34 – Pandas

(l'écart de chaque classe $[0, 255]$) pour ajuster les intensités des pixels de nos images à la plage $[0, 1]$.

Pour cette partie nous allons proportionner les données en groupes d'entraînement et de test en utilisant 75% des données pour l'entraînement et les 25% restants pour le test, et on va faire comme on a fait pour les image on va diviser notre table de température à la valeur maximum des températures pour avoir un intervalle de $[0, 1]$ ça nous conduit à un meilleur souverainement et à une bonne convergence, comme le montre la figure 35 ci dessous.

```
35 df = load_df(args["datasets"])
36 print "[ i ] There is {} line in the DataFrame".format(df.shape[0])
37 images = dataset.load_images(df, resize=(args["resize"], args["resize"]))
38 images = images / 255.0
39 (trainAttrX, testAttrX, trainImagesX, testImagesX) = test_split(df, images)
40
41 maxTempture = trainAttrX["tempture"].max()
42 trainY = trainAttrX["tempture"].astype(float) / maxTempture
43 testY = testAttrX["tempture"].astype(float) / maxTempture
44 print "[ i ] Creating the model"
```

FIGURE 35 – I don't Know

Création du réseau CNN

Dans cette partie on va déclarer les couches cachées de notre réseau de neurone. Les configurations sont presque aléatoire on va changer les valeur de la Conv2D et la densité de nos couches cachées.

Puis on a compile le modèle en utilisant le pourcentage d'erreur absolu moyen (Mean Absolute Percentage Error) comme perte, ce qui implique que nous cherchons à minimiser la différence en pourcentage absolu entre nos prédictions de température et la température

```

7 def create_cnn(width, height, depth, filters=(16, 32, 64), regress=False):
8     input_shape = (height, width, depth)
9     model = Sequential()
10    model.add(Lambda(lambda x: x/127.5-1.0, input_shape=input_shape))
11    model.add(Conv2D(24, (5, 5), activation='elu', subsample=(2, 2)))
12    model.add(Conv2D(36, (5, 5), activation='elu', subsample=(2, 2)))
13    model.add(Conv2D(48, (5, 5), activation='elu', subsample=(2, 2)))
14    model.add(Conv2D(64, (3, 3), activation='elu'))
15    model.add(Conv2D(64, (3, 3), activation='elu'))
16    model.add(Dropout(0.5))
17    model.add(Flatten())
18    model.add(Dense(100, activation='elu'))
19    model.add(Dense(50, activation='elu'))
20    model.add(Dense(10, activation='elu'))
21    model.add(Dense(1))
22    return model

```

FIGURE 36 – Création du réseau CNN

réelle, et en utilisant l'optimiseur Adam⁵ (Adam est un algorithme d'optimisation qui peut être utilisé à la place de la procédure classique de descente de gradient stochastique pour mettre à jour les pondérations de réseau itératives en fonction des données d'apprentissage).

```

46    model = model.create_cnn(64, 64, 3, regress=True)
47    model.compile(
48        loss="mean_absolute_percentage_error",
49        optimizer=Adam(lr=1e-3, decay=1e-3 / 200),
50        metrics=['accuracy'])

```

FIGURE 37 – Training

Gatlak chghol Epoque w zebi

Après la compilation de notre modèle on va procéder à l'entraînement du modèle avec un "batch_size" pour le nombre d'échantillons par mise à jour de gradient et on ajoute le nombre des époques pour former notre modèle. Une époque est une itération sur l'ensemble des données x et y fournies. Le modèle n'est pas formé pour un certain nombre d'itérations données par les époques, mais uniquement jusqu'à ce que les époques d'index soit atteinte.

```

53    print "[ i ] Training model..."
54    model.fit(trainImagesX, trainY, validation_data=(testImagesX, testY),
55            epochs=args["epochs"], batch_size=50)

```

FIGURE 38 – M3ref wsh chhal epoque z3ma ?

Maintenant que notre modèle est prêt on commence à faire les calculs de notre prédiction sur le modèle, tout d'abord on calcule la moyenne (**mean** : calcule la moyenne arithmétique le long de l'axe spécifié) et l'écart (**std** : calcule l'écart type le long de l'axe spécifié)

5. méthode d'optimisation stochastique


```

16
17 def predicting(model):
18     preds = model.predict(testImagesX, verbose=1)
19     diff = preds.flatten() - testY
20     percentDiff = (diff / testY) * 100
21     absPercentDiff = np.abs(percentDiff)
22     mean = np.mean(absPercentDiff)
23     std = np.std(absPercentDiff)
24     return mean, std
25

```

FIGURE 39 – predeciting

Et puis on affiche l'évaluation de notre modèle, le calcule ce fait manuellement avec la bibliothèque "Keras", on affiche la précision de notre modèle pour l'entrainement et pour les tests, comme le montre la figure 40.

```

58
59     print "[ i ] Predicting tempture"
60     mean, std = predicting(model)
61     print "[ * ] Mean: {:.2f}%, STD: {:.2f}%".format(mean, std)
62
63     loss, accuracy = model.evaluate(trainImagesX, trainY, verbose=1)
64     print "[ * ] Training Accuracy: {:.4f}, Loss: {:.4f}".format(accuracy, loss)
65     loss, accuracy = model.evaluate(testImagesX, testY, verbose=1)
66     print "[ * ] Testing Accuracy: {:.4f}, Loss: {:.4f}".format(accuracy, loss)
67

```

FIGURE 40 – predicting value

Et pour conclure on affiche les résultats dans les graphiques suivants on utilisant la bibliothèque "Matplotlib". Les modèles affiches présente la précision du modèle et les pertes du modèle .

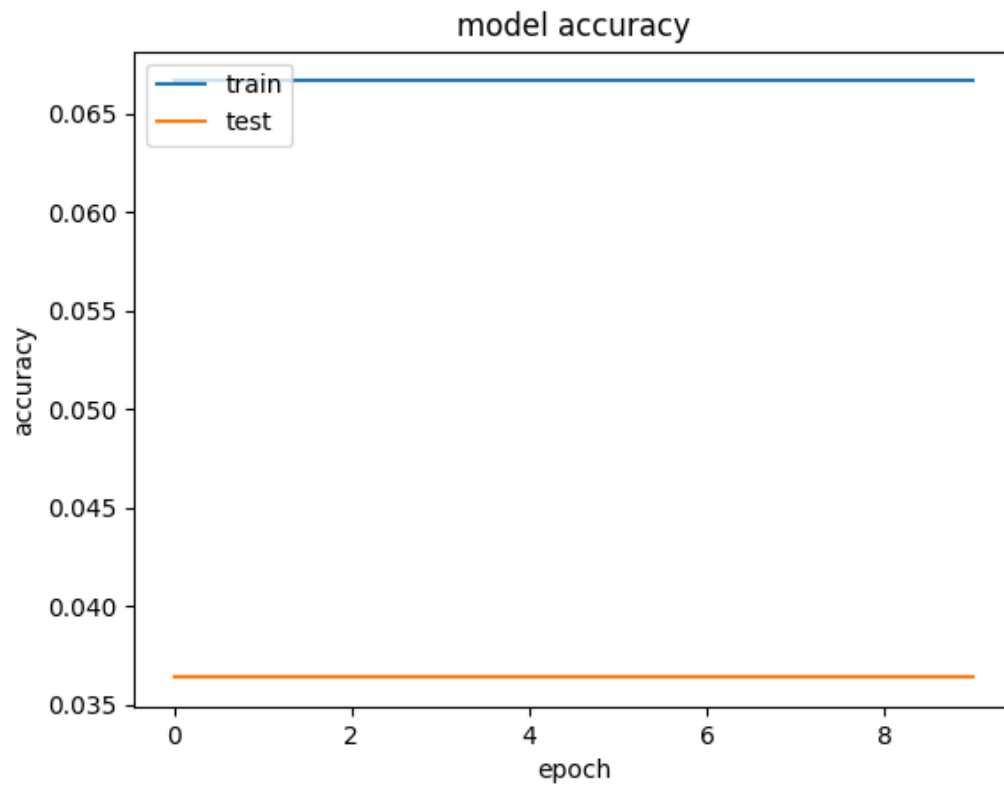


FIGURE 41 – Accuracy

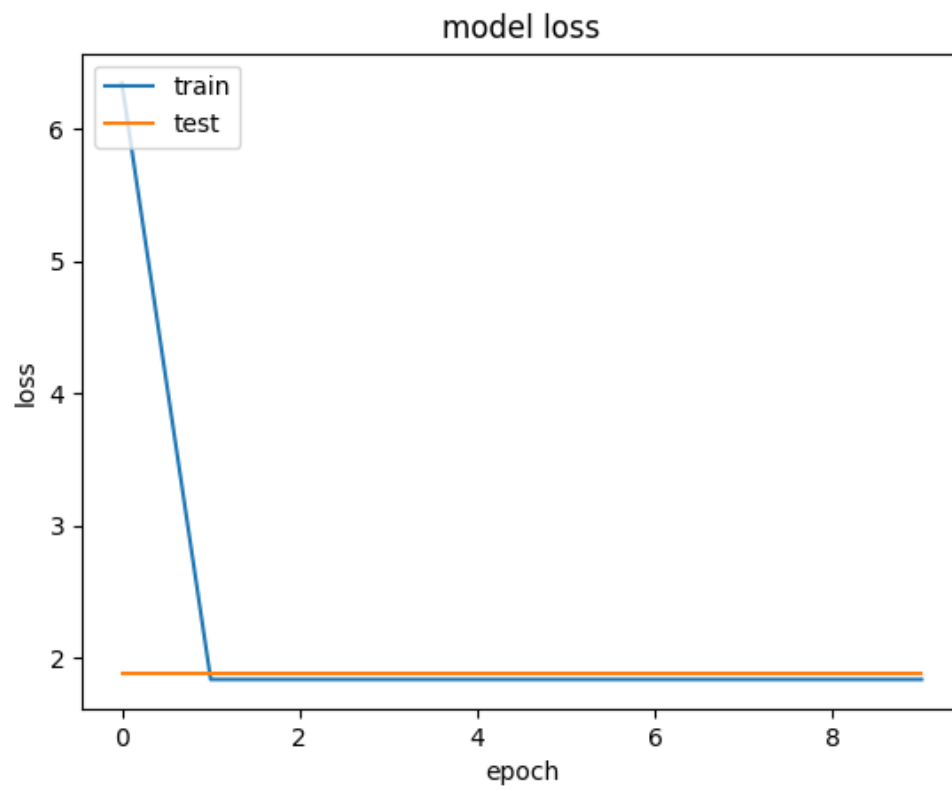


FIGURE 42 – loss

Références

- [1] J. Grabmeier and Rudolph, “A. data mining and knowledge discovery (2002) 6 : 303.” <https://doi.org/10.1023/A:1016308404627>.
- [2] G. Govaert, “Classification et modèle de mélange. analyse de données,” in *Hermès, Paris*, pp.263-292, 2003.
- [3] unsupervised learning, “22c :145 artificial intelligence,” in *The University of Iowa*.
- [4] J. Int, “Advanced networking and applications volume : 5 issue : 6 pages : 2104-2116 (2014) issn : 0975-0290,”
- [5] E. W. Forgy, “Cluster analysis of multivariate data : efficiency versus interpretability of classifications,” in *Biometrics. 21 (3) : 768–769. JSTOR 2528559*, 1965.
- [6] K. et al., T. Kohonen, S. Kaski, K. Lagus, J. Salojärvi, J. Honkela, V. Paatero, and A. Saarela, “Self organization of a massive document. iee transactions on neural networks, 11(3), 574-585,” 2000.
- [7] lance & Williams., G. N. Lance, and W. T. Williams, “A general theory of classificatory sorting strategies : I. hierarchical systems. computer journal, 9, 373-380,” 1967.
- [8] V. Vladimir, “Statistical learning theory, book,” September 16, 1998.
- [9] “Apprentissage automatique et deep learning.” <https://www.stemmer-imaging.com/fr-ch/conseil-techniqu/apprentissage-automatique-et-apprentissage-profond/> consulté le 2019/6/9.
- [10] “Le deep learning (1) : une tentative de vulgarisation.” <https://www.second-glance.fr/2017/02/06/le-deep-learning-1-une-tentative-de-vulgarisation/> consulté le 2019/6/10.
- [11] F. Chollet, “Xception : deep learning with depthwise separable convolutions. iee conference on computer vision and pattern recognition (cvpr), 1800–1807. iee. doi :10.1109/cvpr.2017.195,” 2017.
- [12] Y. Lecun, L. Bottou, Y. Bengio, and P. Haffner, “Gradient-based learning applied to document recognition,” in *Proceedings of the IEEE, vol. 86, no. 11, pp. 2278-2324, Nov. 1998. doi : 10.1109/5.726791*, 1998.
- [13] “Les techniques de régression.” <https://arxiv.org/pdf/1803.08450.pdf> consulté le 2019/06/21.
- [14] “International journal of scientific engineering research, volume 4, issue 6 , issn 2229-5518,” June -2013.
- [15] D. E. Dudgeon and R. M. Mersereau, “Multidimensional digital signal processing. englewood cliffs, new jersey : Prentice-hall,” 1984.
- [16] C. SIRJEIX, “élédtecton thermique rapproché appliquée aux ouvrages souterrains : sites du barrage de vieux-pré et de deux tunnels ferroviaires à bayonne. thèse de doctorat de l’université de bordeaux i,” 1990a.

- [17] G. GAUSSORGUES, “La thermographie infrarouge. technique et documentation, paris. 540 p.,” 1989.
- [18] K. R. Castleman, “Digital image processing. seconded. englewood cliffs, newjersey : Prentice- hall,” 1996.
- [19] “Stpi/p6/2015 – 02,” 2015.
- [20] D. Tuia and G. Camps-Valls, “Recent advances in remote sensing image processing, 2009 16th ieee international conference on image processing (icip), cairo, 2009, pp. 3705-3708. doi : 10.1109/icip.2009.5414281,” 2009.
- [21] N. Laouar and M. S. Laraba, “Détection d’un mouvement dans une séquence vidéo par filtres morphologiques, projet de fin d’étude, enp, alger,” 2009.
- [22] P. Satyanarayana, V. B. K. L. Aruna, and P. N. V. S. Kumar, “International boundary scanning and ship surveillance system,” 2017 international conference on electrical, electronics, communication, computer, and optimization techniques (iceecot), mysuru, 2017, pp. 212-215. doi : 10.1109/iceecot.2017.8284669,” 2017.
- [23] A. D. Silva, “Méthodes optiques pour le diagnostic et l’imagerie biomédicale. optique [physics.optics]. aix-marseille université, tel-01053305,” 2013.
- [24] S. B. Mudigoudar and A. I. Rasheed, “Design and implementation of image processing algorithms for cardiac blockage detection on fpga, 2016 ieee annual india conference (indicon), bangalore, 2016, pp. 1-5. doi : 10.1109/indicon.2016.7839159,” 2016.
- [25] D. Pugazhenthii and M. V, “Detection of ischemic heart diseases from medical images, 2016 international conference on micro-electronics and telecommunication engineering (icmete), ghaziabad, 2016, pp. 355-360. doi : 10.1109/icmete.2016.97,” 2016.
- [26] A. Chaudhary and S. S. Singh, “Lung cancer detection on ct images by using image processing, 2012 international conference on computing sciences, phagwara, 2012, pp. 142-146. doi : 10.1109/iccs.2012.43,” 2012.
- [27] S. Khobragade, A. Tiwari, C. Y. Patil, and V. Narke, “Automatic detection of major lung diseases using chest radiographs and classification by feed-forward artificial neural network, 2016 ieee 1st international conference on power electronics, intelligent control and energy systems (icpeices), delhi, 2016, pp. 1-5. doi : 10.1109/icpeices.2016.7853683,” 2016.
- [28] M. Freedman, D. S. Artz, and S. K. Mun, “Image processing in digital mammography : the optimum image for each woman’s breasts, iee colloquium on digital mammography, london, uk, 1996, pp. 1/1-1/6. doi : 10.1049/ic :19960484,” 1996.
- [29] M. Osadebey, M. Pedersen, D. Arnold, and K. Wendel-Mitoraj, “Image quality evaluation in clinical research : A case study on brain and cardiac mri images in multi-center clinical trials, in ieee journal of translational engineering in health and medicine, vol. 6, pp. 1-15, 2018, art no. 1800915. doi : 10.1109/jtehm.2018.2855213,” 2018.

- [30] G. Eysenbach, “Articles from journal of medical internet research are provided here courtesy.” <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1761894/> consulté le 2019/06/09.
- [31] “La santé connectée.” <https://www.nmmedical.fr/materiel-de-diagnostic/sante-connectee.html> consulté le 2019/06/09.
- [32] “L’étude accenture.” <https://www.accenture.com/us-en/insight-making-case-connected-health> consulté le 2019/06/10.
- [33] D. M. Consolini, “Md, assistant professor of pediatrics, sidney kimmel medical college of thomas jefferson university.” <https://www.msmanuals.com/fr/professional/p%C3%A9diatrie/sympt%C3%B4mes-chez-le-nourrisson-et-l-enfant/fi%C3%A8vre-chez-le-nourrisson-et-l-enfant> consulté le 2019/06/09.
- [34] “Les causes de l’élévation de la température, mediresource inc. 1996 – 2019.” <https://santecheznous.com/condition/getcondition/fievre> consulté le 2019/06/09.
- [35] M. Lambert, “Le cancer, le 17 février 2016 à 12 :35.” https://www.maxisciences.com/cancer/cancer-definition-causes-types-qu-est-ce-que-c-est_art35165.html consulté le 2019/06/09.
- [36] E. Steliarova-Foucher, M. Colombet, R. LAG, and et al, “International incidence of childhood cancer, 2001-10 : a population-based registry study. lancet oncol. 2017 ;18(6) :719-731,” 2017.
- [37] S. Gupta, S. Howard, S. Hunger, and et al, “Treating childhood cancer in low- and middle-income countries. in : Disease control priorities, volume,”
- [38] “Le cancer chez l’enfant.” <https://www.liguecancer.ch/a-propos-du-cancer/les-differents-types-de-cancer/le-cancer-chez-lenfant/> consulté le 2019/06/09.
- [39] C. Kühni and N. von der Weid, “Registre suisse du cancer de l’enfant.,”
- [40] E. Perrin, “Les thermomètres, le 5 août 2016 à 16 :03.” https://www.maxisciences.com/thermometre/thermometre-quel-type-de-thermometre-choisir-et-ou-prendre-la-temperature_art38501.html consulté le 2019/06/09, 2016.
- [41] “Les thermomètres infrarouge.” <http://dictionnaire.sensagent.leparisien.fr/Thermom%C3%A8tre%20infrarouge/fr-fr/#anchorWiki> consulté le 2019/06/17.
- [42] “Caméra thermique.” <https://www.adafruit.com/product/3538> consulté le 2019/06/23.
- [43] “Raspberry pi.” <https://thepihut.com/products/raspberry-pi-2-model-b?variant=18198528708> consulté le 2019/06/23.
- [44] R. Mieziako, “Terravic research infrared database,” *IEEE OTCBVS WS Series Bench*, 2005.