

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE: MATHÉMATIQUES ET INFORMATIQUE

DEPARTEMENT : INFORMATIQUE

N° : .....



DOMAINE : MATHÉMATIQUES ET  
INFORMATIQUE

FILIERE : INFORMATIQUE

OPTION : RÉSEAUX ET TECHNOLOGIE  
DE L'INFORMATION ET DE  
LA COMMUNICATION.

Mémoire présenté pour l'obtention  
Du diplôme de Master Académique

Par: ZEMMIT Saad

Intitulé

---

# Identification d'un individu par L'EMG

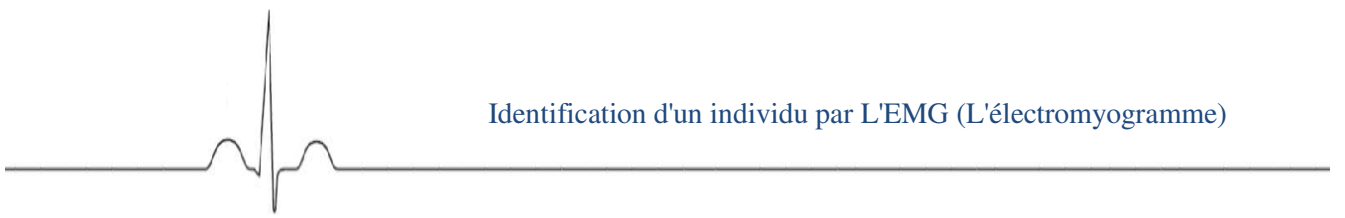
## (L'électromyogramme)

---

Soutenu devant le jury composé de :

.....	Université de M'sila	Président
BENOUIS Mohamed	Université de M'sila	Rapporteur
.....	Université de M'sila	Examineur

Année universitaire : 2017/2018



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE: MATHÉMATIQUES ET INFORMATIQUE

DEPARTEMENT : INFORMATIQUE

N° : .....



DOMAINE : MATHÉMATIQUES ET  
INFORMATIQUE

FILIERE : INFORMATIQUE

OPTION : RÉSEAUX ET TECHNOLOGIE  
DE L'INFORMATION ET DE  
LA COMMUNICATION.

Mémoire présenté pour l'obtention  
Du diplôme de Master Académique

Par: ZEMMIT Saad

Intitulé

---

# Identification d'un individu par L'EMG

## (L'électromyogramme)

---

Soutenu devant le jury composé de :

.....

Université de M'sila

Président

BENOUIS Mohamed

Université de M'sila

Rapporteur

.....

Université de M'sila

Examineur

Année universitaire : 2017/2018

---



# Dédicace

*Je dédie ce modeste travail:*

*À mes parents, ne mérite pas hommage*

*Leur amour n'arrête pas de me remplir. Dieu leur a donné*

*Bonne santé et longue vie.*

*À celui que j'aime beaucoup et qui m'a soutenue tout au long de*

*ce projet : ma femme, et bien sûr mes enfants :*

*Mohamed El Amine , Salsabil et Asinat.*

*Pour toute ma famille, À mes amis : Azizi Abdelali, Doumi Abdelmoumene*

*mes collègues groupe RTIC.*

*Et à tous ceux qui ont contribué directement ou indirectement à cette*

*Le projet est possible, je dis Merci.*



*Zemmit.S*



# REMERCIEMENTS

*Au terme de ce modeste travail je voudrais exprimer ma Profonde gratitude  
au bon DIEU « الله ».*

*Qui m'a donnée la volonté et la patience pour achever mes études.*

*A Mon Encadreur*

*Mr :Benouis Mohamed*

*Votre compétence, votre encadrement ont toujours suscité mon profond respect.*

*Je vous remercie pour votre accueil et vos conseils.*

*Veillez trouver ici, l'expression de mes gratitude et de ma grande estime.*

*Je dois un remerciement à tous les enseignants de faculté de mathématiques  
et d'informatique, pour leurs qualités scientifiques et pédagogiques.*



*Zemmit.S*



# Table des Matières

Dédicace .....	I
Remerciements .....	II
Table de matières .....	III
Liste des figures .....	VI
Liste des tables.....	VIII
Liste des abréviations .....	IX
Introduction Générale .....	1

## CHAPITRE I LA BIOMETRIE

<b>I.1</b> Introduction .....	3
<b>I.2</b> La biométrie.....	4
<b>I.3</b> Les caractéristiques biométriques .....	4
<b>I.4</b> Types de biométrie .....	5
<b>I.4.1</b> Biométries physiologiques .....	5
<b>I.4.2</b> Biométries comportementales .....	6
<b>I.5</b> Les applications de la biométrie .....	7
<b>I.5.1</b> Contrôle d'accès aux locaux .....	7
<b>I.5.2</b> Systèmes d'informations .....	7
<b>I.5.3</b> Machines et équipement divers .....	7
<b>I.5.4</b> Etat administration .....	7
<b>I.6</b> Principe de fonctionnement .....	7
<b>I.7</b> Exemple de l'architecteur d'un système biométrique basé sur .....	8
<b>I.7.1</b> L'empreinte .....	8
<b>I.7.2</b> L'iris.....	10
<b>I.8</b> Les avantages et les limites de la biométrie .....	10
<b>I.8.1</b> Les avantages de la biométrie.....	10
<b>I.8.2</b> Les limites de la biométrie.....	11
<b>I.9</b> Performances d'un système biométrique .....	13
<b>I.10</b> Conclusion .....	15



# CHAPITRE II PRINCIPES DE L'INTERPRETATION DES SIGNAUX ELECTROMYOGRAMMES (EMG)

<b>II.1</b>	Introduction .....	16
<b>II.2</b>	Système musculaire.....	16
<b>II.2.1</b>	Notions d anatomie et de physiologie du muscle.....	16
<b>II.2.2</b>	Structure du muscle.....	17
<b>II.2.3</b>	Les propriétés du muscle.....	17
<b>II.2.4</b>	Fonctions musculaires.....	18
<b>II.2.5</b>	Les différents types de muscles.....	19
<b>II.2.6</b>	Les fibres musculaires.....	23
<b>II.2.7</b>	La contraction musculaire.....	24
<b>II.2.8</b>	Mécanismes cellulaires de la contraction musculaire.....	24
<b>II .3</b>	L' électromyogramme ( EMG).....	26
<b>II.3.1</b>	Source de signal EMG.....	26
<b>II.3.2</b>	Définition du signal EMG.....	28
<b>II.3.3</b>	Détection de signal EMG.....	29
<b>II.3.4</b>	Utilisations des EMG.....	30
<b>II.3.5</b>	L'électromyogramme de surface (EMGs) .....	31
<b>II.3.6</b>	Relation entre l'EMG et la force du muscle.....	32
<b>II.3.7</b>	Le signal EMGs bruit.....	32
<b>II.3.8</b>	Traitement du signal EMG.....	33
<b>II.3.9</b>	Filtrage du signal.....	35
<b>II.3.10</b>	Les fibres idéaux.....	36
<b>II.3.11</b>	Le filtre passe- bas (liwe-passe-filtre) .....	36
<b>II.3.12</b>	Le filtre passe- haut (High-passe-filtre) .....	37
<b>II.3.13</b>	Le filtre passe bande ( bande-passe-filtre) .....	37
<b>II.3.14</b>	Le filtre coupe-bande ou filtre réjecteur de bande.....	37
<b>II.3.15</b>	La reconnaissance des formes.....	38
<b>II.3.16</b>	Avantages du signal EMGS.....	39

II.4 L'électrocardiographie ( ECG).....	40
II.5 Domaines d'application de l'EMG.....	41
II.5.1 Application en kinésiologie.....	41
II.5.2 L'EMG dans le domaine de l'ergonomie.....	41
II.5.3 Place de l'EMG dans les sciences du sport .....	41
II.5.4 Application clinique.....	42
II.6 Conclusion.....	43

## CHAPITRE III RESULTATS EXPERIMENTAUX

III.1 Introduction .....	44
III.2 Présentation d'Arduino.....	44
III.2.1 Histoire d'Arduino.....	44
III.2.2 Définition .....	45
III.2.3 Le but et l'utilité .....	46
III.2.4 Les applications.....	46
III.3 Les avantages de la technologie Arduino.....	46
III.4 L'environnement de la programmation.....	47
III.5 Interface du logiciel arduino.....	47
III.6 Etude de la partie matérielle et logiciel du projet.....	49
III.6.1 la liste des outils utilisés durant ce travail.....	49
III.6.2 Langage de programmation .....	52
III.7 Un diagramme montrant un résumé des étapes utilisées pour obtenir le signal EMG en fonction du mouvement effectuée à la main.....	55
III.8 L'architecture du système proposé .....	56
III.9 Features et Classification du signal EMG .....	56
III.10 Résultats et Discussions .....	57
III.11 Paramètres (features) des signaux EMGs.....	61
III.12 Classification du signal EMG.....	61
III.13 Conclusion.....	61
<b>Conclusion Générale</b> .....	62
<b>Bibliographie</b> .....	



# Liste des Tables

<b>Table I.1:</b> Les avantages et les inconvénients l'empreinte digitale.....	09
<b>Table I.2:</b> Les avantages et les inconvénients iris.....	10
<b>Table III.1:</b> Caractéristiques de la carte Arduino MEGA 2560.....	51
<b>Table III.2:</b> Caractéristiques de RedBot Sensor - Accelerometer.....	52
<b>Table III.3:</b> Caractéristiques d'ordinateur Portable HP 250.....	52
<b>Table III.4:</b> Données obtenues par personne1.....	58
<b>Table III.5:</b> Le signal EMG par personne1.....	58
<b>Table III.6:</b> Données obtenues par personne2.....	59
<b>Table III.7:</b> Le signal EMG par personne2.....	59
<b>Table III.8:</b> Données obtenues par personne3.....	60
<b>Table III.9:</b> Le signal EMG par personne3.....	60
<b>Table III.10:</b> Paramètre le signal EMG / Personne1.....	61
<b>Table III.11:</b> Paramètre le signal EMG / Personne2.....	61
<b>Table III.12:</b> Paramètre le signal EMG / Personne3.....	61



# Liste des Figures

<b>Figure I.1:</b> Types de biométrie.....	05
<b>Figure I.2:</b> Types De Biométrie: ADN, Oreille, Visage ,Iris ,Signature.....	06
<b>Figure I.3:</b> Types De Biométrie: tracé de sa signature, taper sur un clavier, et sa démarche, ECG,EMG..	07
<b>Figure I.4:</b> Les application de la biométrie.....	07
<b>Figure I.5:</b> Types Principe de fonctionnement.....	08
<b>Figure I.6:</b> Architecture d'un système biométrique basé sur l'empreinte.....	09
<b>Figure I.7:</b> Architecture d'un système biométrique basé sur l'iris.....	10
<b>Figure I.8:</b> La marge d'erreur autorisée/ ERR.....	14
<b>Figure II.1:</b> Les composants de base du muscle squelettique.....	18
<b>Figure II.2:</b> structure d'un muscle le strié squelettique.....	18
<b>Figure II.3:</b> Exemples de muscles lisses.....	21
<b>Figure II.4:</b> Muscles cardiaque.....	21
<b>Figure II.5:</b> Exemples de muscles squelettique.....	22
<b>Figure II.6:</b> Différents types d'arrangements de fibres musculaires.....	23
<b>Figure II.7:</b> Représentation des filaments (lignes et zones) dans une fibre musculaire .....	24
<b>Figure II.8:</b> Mécanismes cellulaires de la contraction musculaire.....	25
<b>Figure II.9:</b> Exemple d'un potentiel d'action.....	28
<b>Figure II.10:</b> Décomposition d'un signal EMG brute résulte des TPAUMs individuelles.....	29
<b>Figure II.11:</b> Les électrodes à aiguille.....	30
<b>Figure II.12:</b> Les électrodes de surface.....	31
<b>Figure II.13:</b> Schéma synoptique simplifié de l'acquisition d'électromyogramme de surface. ....	31
<b>Figure II.14:</b> EMG de surface.....	32
<b>Figure II.15:</b> Principe de filtrage.....	33
<b>Figure II.16:</b> Le signal EMG avant filtrage.....	33
<b>Figure II.17:</b> Signal EMG après le filtrage.....	36
<b>Figure II.18:</b> Présentation des trois types des filtres : haut-bas-bande.....	36
<b>Figure II.19:</b> Filtre passe bas.....	37
<b>Figure II.20:</b> Filtre passe haut.....	37

<b>Figure II.21:</b> Filtre passe bande.....	38
<b>Figure II.22:</b> Filtre passe coupe bande.....	38
<b>Figure II.23:</b> La reconnaissance des formes comporte deux phases.....	39
<b>Figure II.24:</b> La méthode des k plus proches voisins KNN.....	40
<b>Figure II.25:</b> Représentation un électrocardiogramme normal, et chaque onde P,Q,R,S et T est signalée	40
<b>Figure II.26:</b> Exemple l'EMG dans les sciences du sport.....	42
<b>Figure II.27:</b> Exemple l'EMG Le domaine médical.....	43
<b>Figure III.1:</b> logo Arduino.....	44
<b>Figure III.2:</b> Interface du logiciel Arduino.....	47
<b>Figure III.3:</b> Barre de boutons Arduino.....	48
<b>Figure III.4:</b> HyperTerminal de l' Arduino (Moniteur Série).....	48
<b>Figure III.5:</b> la liste des outils utilisés.....	49
<b>Figure III.6:</b> Caractéristiques La carte Arduino MEGA 2560.....	50
<b>Figure III.7:</b> RedBot Sensor - Accelerometer.....	51
<b>Figure III.8:</b> Interface du Jupyter Notebook.....	53
<b>Figure III.9:</b> Logo Python.....	53
<b>Figure III.10:</b> Guido van Rossum.....	53
<b>Figure III.11:</b> Un diagramme montrant un résumé des étapes utilisées pour obtenir le signal EMG.....	55
<b>Figure III.12:</b> L'architecture du système proposé.....	56
<b>Figure III.13:</b> Les mouvements effectués ( <b>P</b> : Personne - <b>M</b> : Mouvement) .....	57



# LISTE DES ABREVIATIONS

- PIN** : Numéros d'Identification Personnelle
- ECG** : L'électrocardiogramme
- EMG** : L'électromyogramme
- EEG** : L'électroencéphalogramme
- ADN** : L'acide désoxyribonucléique
- TFA** : Le taux de fausses acceptations
- TFR** : Le taux de faux rejets
- FAR** : Le taux de fausses acceptations
- ERR** : Equal Error Rate
- ADP** : Adénosine diphosphate
- ATP** : Adénosine triphosphate
- Ca** : Calcium
- Pi** : Phosphate inorganique
- PA** : Potentiel d'action
- Na +**: Sodium
- PAUM** : Potentiel d'action d'une unité motrice
- UM** : Unité motrice
- RM** : Root Mean Square
- TF** : La transformée de Fourier
- KNN** : K-Nearest Neighbor



## Introduction Générale

Le marché de la sécurité informatique est encore atomisé, vendeurs fournisseurs peuvent prétendre offrir une gamme complète de produits. Les spécialistes estiment que ce marché est en pleine croissance et qu'il va également se concentrer.

La biométrie présente malheureusement un inconvénient majeur ; en effet aucune des mesures utilisées ne se révèle être totalement exacte, car il agit bien là d'une des caractéristiques majeures de tout organisme vivant : on s'adapte à l'environnement, on vieillit, on subit des traumatismes plus ou moins importants, bref on évolue et les mesures changent.


Cependant, ils sont considérés est une alternative sécurisée des méthodes traditionnelles de vérification d'identité des individus tels que les mots de passe et autres. Vu la nécessité croissante du besoin de sécurité, la biométrie est en pleine croissance et la recherche de nouvelles techniques biométriques est d'actualité.

La biométrie utilise les caractéristiques anatomiques, physiologiques ou comportementales uniques à chacun afin de déterminer l'identité des individus. Il existe plusieurs types de méthodes biométriques tels que l'empreinte digitale, la géométrie de la main, la reconnaissance du visage, l'iris, etc. Malheureusement, et avec le développement des technologies de falsification (spoofing), ces caractéristiques peuvent être falsifiées d'où la nécessité de recherche de nouvelles caractéristiques difficiles à imiter comme les signaux physiologiques.

L'utilisation de la technologie du signal physiologique comme l'EMG et l'ECG n'est pas très répandue en biométrie, nouvelle technique dans la science des mesures biométriques, les signaux physiologiques présentent des différences et des caractéristiques très spécifiques difficiles à imiter ou à falsifier.

Ce travail décrit en détail les définitions biométriques proposées. Il est organisé en trois chapitres.

- Dans le chapitre I, nous présentons des généralités sur les manières traditionnelles d'identifier l'identité biologique d'un individu, en donnant des



exemples de leur utilisation, puis en montrant leurs avantages et leurs inconvénients.

- Dans le deuxième chapitre vise à expliquer la méthode d'identification biométrique en étudiant les principes du signal électromagnétique (EMG), cela inclut:
  - ✓ Étude musculaire (muscle squelettique) responsable de la génération de ce signal.
  - ✓ Définition EMG de surface.
  - ✓ Extraire toutes features et classification du signal par lequel l'identité de l'individu est déterminée .
- Le chapitre III est dédié aux résultats expérimentaux qui ont été réalisés pour un nombre spécifique de personnes.

Enfin, nous clôturons ce mémoire par une conclusion dans laquelle nous résumons notre solution et exposant quelques perspectives futures.

# CHAPITRE I

## LA BIOMETRIE

### I.1 Introduction

Dans ces jours les méthodes de sécurité classique ou traditionnelle des systèmes d'informations ne sont pas acceptables tellement elles sont utilisées par quelqu'un, il existe deux manières de cette sécurité : La première repose sur la connaissance de la personne comme un mot de passe ou un code PIN. La seconde est basée sur ce que possède la personne comme un badge ou une carte à puce. Dans le premier cas, le mot de passe peut être oublié par son utilisateur ou bien deviné par une autre personne. Dans le second cas, le badge (ou la pièce d'identité ou la clef) peut être perdu ou volé. Pour contourner cette limitation ou cette faiblesse, un autre moyen de la sécurité a été développé qui permet d'utiliser, non pas l'information qu'un individu possède ou connaît, mais une information intrinsèque à cette personne. Cette nouvelle façon d'identification des individus est la biométrie [1].

## I.2 La biométrie

La biométrie est un ensemble des technologies (appelées les technologies biométriques) qui exploitent des caractéristiques humaines physiques ou comportementales telles que la signature, l'électrocardiogramme (ECG), l'électromyogramme (EMG) et l'électroencéphalogramme (EEG). Parmi eux, le signal EMG est un signe généré lorsque les muscles se déplacent, ce qui peut être utilisé dans divers domaines tels que la reconnaissance de mouvement, l'identification personnelle, et le diagnostic de la maladie.

Ces caractéristiques sont traitées par certains ordres des processus automatisés à l'aide des dispositifs comme des modules de balayage ou des appareils-photo.

À la différence des mots de passe ou des PINs (Numéros d'Identification Personnelle) qui sont facilement oubliés ou exposés à l'utilisation frauduleuse, ou des clefs ou des cartes magnétiques qui doivent être portées par l'individu et sont faciles à être volées, copiées ou perdues, ces caractéristiques biométriques sont uniques à l'individu et il y a peu de possibilités que d'autres individus puissent remplacer ces caractéristiques, donc les technologies biométriques sont considérées les plus puissantes en termes de sécurité [2].

Une autre définition de la biométrie est « toutes caractéristiques physiques ou traits personnels automatiquement mesurables, robustes et distinctifs qui peuvent être utilisés pour identifier un individu ou pour vérifier l'identité prétendue d'un individu » [3].

*Les causes derrière l'utilisation de la Biométrie sont :*

- Besoins accrus en termes de sécurité.
- Les systèmes de vérification standards : cartes à codes, badges magnétiques présentent des inconvénients : perte, vol, falsification.
- L'usage de la biométrie reste encore très limité: problème d'acceptabilité, de performances, d'usages, de législation...

## I.3 Les caractéristiques biométriques

Les caractéristiques biométriques par lesquelles il est possible de vérifier l'identité d'un individu sont appelées modalités biométriques. Ces modalités sont basées sur l'analyse des données liées à l'individu et sont généralement classées en trois catégories : *biométrie biologique, comportementale et morphologique*. Pratiquement, n'importe quelle

caractéristique morphologique ou comportementale peut être considérée comme une caractéristique biométrique, dans la mesure où elle satisfait les propriétés suivantes :

- ✓ **Universalité** : toutes les personnes à identifier doivent la posséder.
- ✓ **Unicité** : l'information doit être aussi dissimilaire que possible entre les différentes personnes.
- ✓ **Collectabilité** : l'information doit être collectable et mesurable afin d'être utilisée pour les comparaisons.
- ✓ **Permanence** : l'information collectée doit être présente pendant toute la vie d'un individu.
- ✓ **Acceptabilité** : le système doit respecter certains critères (facilité d'acquisition, rapidité...etc.) afin d'être employés.

#### I.4 Types de biométrie:

Les systèmes biométriques sont généralement classés par l'industrie dans deux grandes catégories : la *biométrie physiologique* ou *morphologique* et la *biométrie comportementale* . (voir Figure I.1)

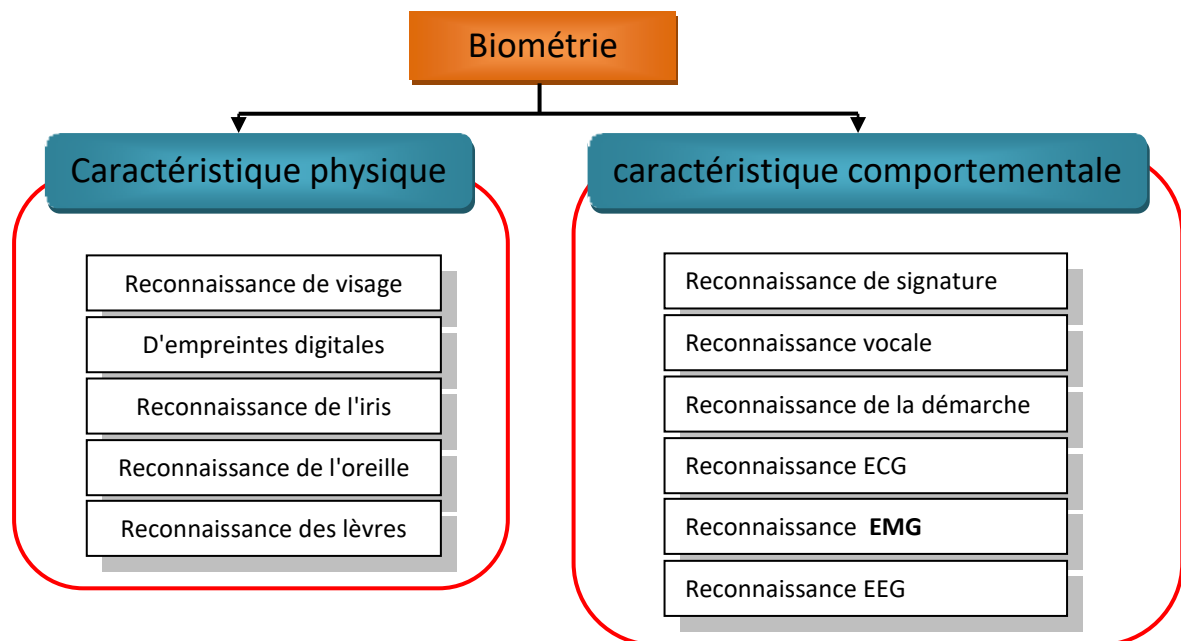
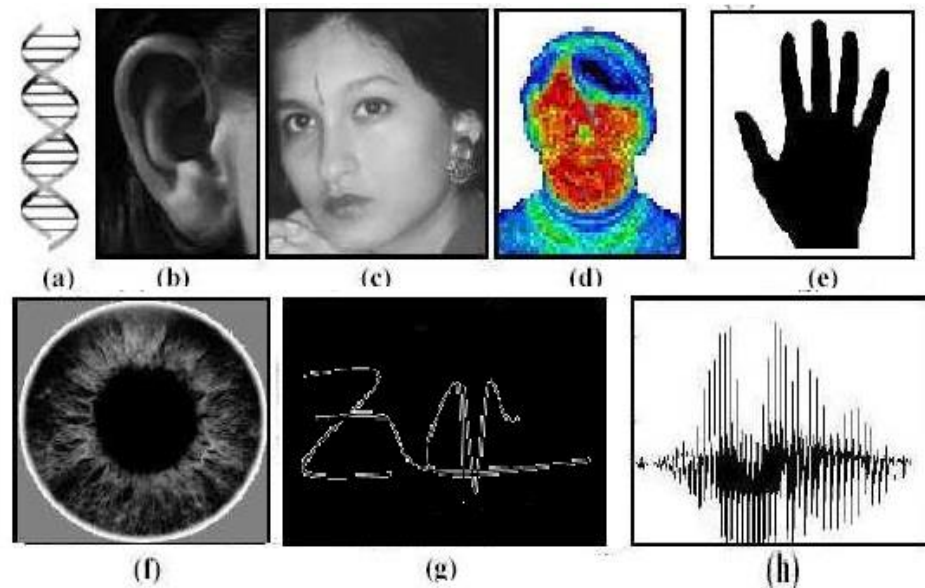


Figure I.1. Types de biométrie [4].

### I.4.1 Biométries physiologiques

Ce type est basé sur l'identification de traits physiques particuliers qui, pour toute personne, sont uniques et permanents. Cette catégorie regroupe la reconnaissance des empreintes digitales, de la forme de la main, de la forme du visage, de la rétine, de l'ADN et de l'iris de l'œil ,... (voir Figure I.2)



**Figure I.2.** Types De Biométrie: a) ADN, b) Oreille, c) visage, d) visage infrarouge, e) veine main, f) iris, g) signature, h) voix. [5]

### I.4.2 Biométries comportementales

Ce type de systèmes se base sur l'analyse de certains comportements d'une personne comme le tracé de signatures sa démarche et sa façon de taper sur un clavier.

- **L'écriture** (la signature) : Les systèmes de reconnaissance de l'écriture consistent à analyser les caractéristiques spécifiques d'une signature comme la vitesse, la pression sur le crayon, le mouvement, les points et les intervalles de temps où le crayon est levé

- **Dynamique** de frappe au clavier : Un système basé sur cette dynamique ne nécessite aucun équipement particulier, seulement un ordinateur disposant d'un clavier. Il s'agit d'un dispositif logiciel qui calcule le temps où un doigt effectue une pression sur une touche et le temps où un doigt est dans les airs (entre les frappes), aussi, la suite de lettres et la reconnaissance de mots précis.

- **Analyse de la démarche** : On peut aussi modéliser la démarche d' une personne à travers plusieurs techniques, mais le problème c'est qu'on peut tromper ce système facilement. (voir Figure I.3)



**Figure I.3.** Types De Biométrie: tracé de sa signature, taper sur un clavier, et sa démarche, ECG, EMG, EEG.

## I.5 Les application de la biométrie:

Les applications de la biométrie peuvent être divisées en plusieurs groupes principaux [6]: (voir Figure I.4)

### I.5.1 Contrôle d'accès aux locaux:

- Salles informatiques
- Sites sensibles (service de recherche , site nucléaire)



### I.5.2 Systèmes d'informations:

- Lancement du système d'exploitation
- Accès au réseau.
- Commerce électronique
- Certains logiciels



### I.5.3 Machines et équipement divers:

- Coffre fort avec serrure .
- Distributeur automatique de billets
- Contrôle des temps de présences



### I.5.4 Etat/Administration:

- Fichier judiciaire
- Titres d'identité
- Permis de conduire
- Système de votes électronique



**Figure I.4.** (1-5) Les application de la biométrie

## I.6 Principe de fonctionnement

- Capture de l'information à analyser (image ou son).
- Traitement de l'information et création d'un fichier « signature/gabarit » (éléments caractéristiques de l'image), puis mise en mémoire de ce fichier de référence sur un support (disque dur, carte à puce, code barre).
- Dans la phase de vérification, l'on procède comme pour la création du fichier « signature/gabarit » de référence, ensuite on compare les deux fichiers pour déterminer leur taux de similitude et prendre la décision qui s'impose [7].  
(voir Figure I.5).

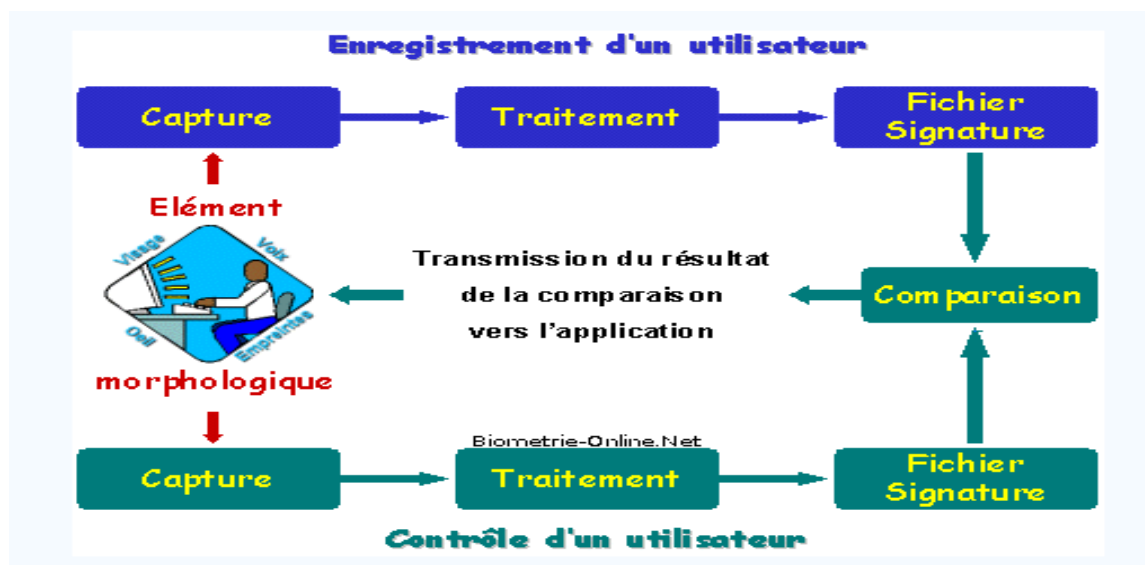


Figure I.5 Types Principe de fonctionnement. [7]

Les informations stockées ne sont en jamais les images d'origine, mais un modèle mathématique des éléments qui distinguent l'échantillon biométrique d'un autre. Ce modèle est appelé un « gabarit » ou « signature ». De cette manière, on obtient alors des fichiers de très petite taille. Par exemple, l'image d'origine d'une empreinte digitale à une taille de l'ordre de 100 000 octets, et son gabarit une taille de l'ordre de 500 octets.

La création d'un gabarit s'effectue pendant la phase d'enrôlement qui est l'opération de génération et d'enregistrement du gabarit ainsi que des informations sur l'identité de la personne comme son nom, son prénom, son identifiant (numéro d'identification personnel). Dans cette phase, la qualité de l'image de l'échantillon biométrique pour le gabarit est primordiale pour la pleine satisfaction de l'utilisation du dispositif biométrique.

## I.7 Exemple de l'architecture d'un système biométrique basé sur :

### I.7.1 L'empreinte :

Un système de reconnaissance automatique d'empreintes digitales renvoie un résultat positif ou négatif après avoir comparé l'empreinte à identifier à toutes les autres empreintes qu'il possède dans sa base de données. (voir Figure I.6)

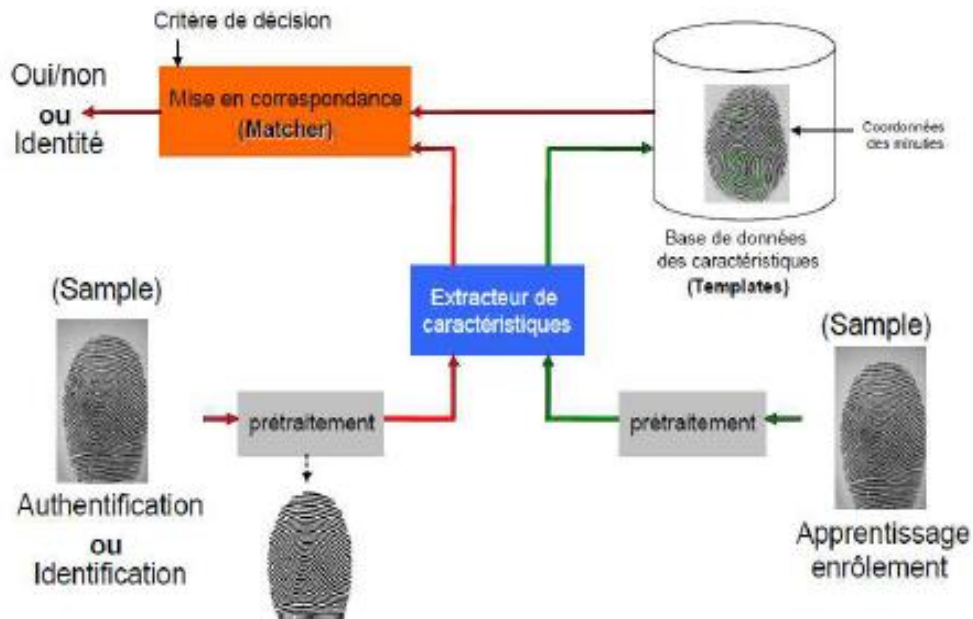


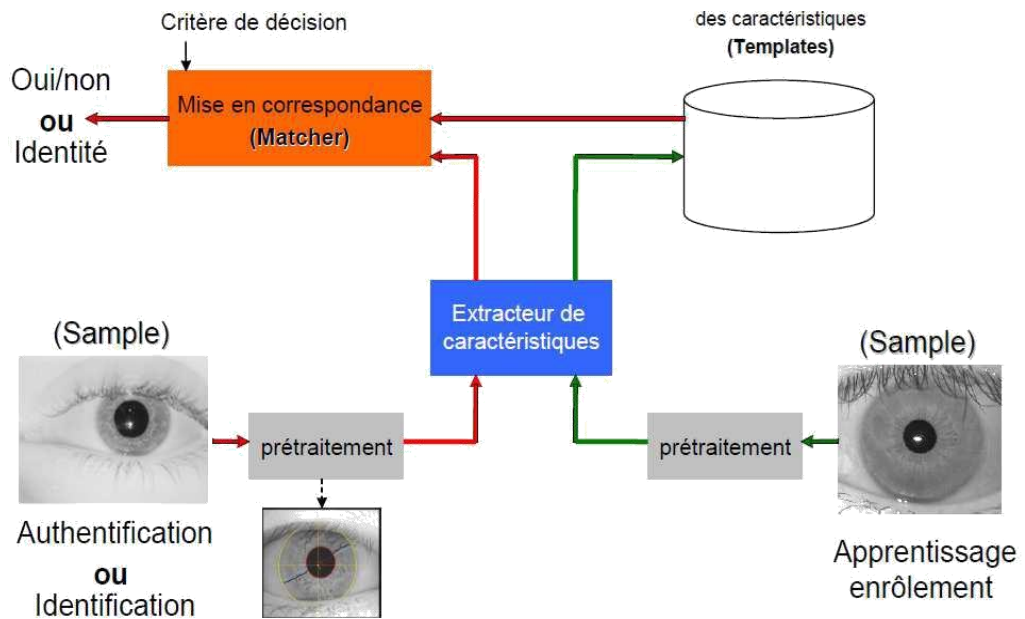
Figure I.6 Architecture d'un système biométrique basé sur l'empreinte. [2]

### ✚ Évaluation des systèmes basés sur l'empreinte digitale :

AVANTAGES	INCONVÉNIENTS
<p>La technologie la plus éprouvée techniquement et la plus connue du grand public.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Petite taille du lecteur facilitant son intégration dans la majorité des applications (téléphone portables, PC).</li> <li>• Faible coût des lecteurs grâce aux nouveaux capteurs de type "Chip silicium".</li> </ul> <p>Traitement rapide</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bon compromis entre le taux de faux rejet et le taux de fausse acceptation.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Image "policrière" des empreintes digitales.</li> <li>• Besoin de la coopération de l'utilisateur (pose correcte du doigt sur le lecteur).</li> <li>• Certains systèmes peuvent accepter un moulage de doigt ou un doigt coupé (la détection du doigt vivant permet d'éviter ce type d'usurpation).</li> </ul>

Table 1.1 Les avantages et les inconvénients l'empreinte digitale

**I.7.2 L'iris :**



**Figure I.7** Architecture d'un système biométrique basé sur l'iris [2]

**✚ Évaluation des systèmes basés sur l'iris:**

AVANTAGES	INCONVÉNIENTS
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Grande quantité d'information contenu dans l'iris.</li> <li>• Vrais jumeaux non confondus</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aspect psychologiquement invasif de la méthode.</li> <li>• L'iris est aisément visible et peut être photographié. Le problème de sécurité alors lié aux vérifications effectuées lors de la prise de vue. (Problème identique pour les empreintes, la voix, l'oreille... Mais moins pour la rétine)</li> </ul>

**Table 1.2** Les avantages et les inconvénients iris

**I.8 Les avantages et les limites de la biométrie**

**I.8.1 Les avantages de la biométrie :**

La biométrie est une technologie récente et commence à être adoptée par de grands constructeurs de matériel informatique.

L'usage de la biométrie est un complément de l'utilisation des méthodes d'authentification comme des mots de passe, des badges, des cartes à puce.

- **Suppression des mots de passe, Suppressions des clés :**

Au lieu de retaper son mot de passe dès que le PC se met en veille, une simple pression de l'empreinte digitale sur le capteur suffit et permet facilement de changer la session d'utilisateur.

- **Utilisation d'une signature biométrique:**

Grande sécurité, intransmissible à une autre personne.

Une identité vérifiée (Le destinataire est bien la personne autorisée à visualiser ou à utiliser les données).

Lors de transactions financières, il est capital de savoir quel moyen de paiement du consommateur est le plus sûr.

La biométrie offre le chaînon manquant dans la triade du problème de sécurité:

- Diminution de la fraude.
- Rehaussement de l'intégrité des informations et la sécurité.
- Réduction des attaques à l'égard des programmes gouvernementaux.
- Croissance de la confiance envers les systèmes de sécurité.
- Diminution des frais administratifs.
- Accélération des services.

### **I.8.2 Les limites de la biométrie:**

La biométrie présente malheureusement un certain nombre d'inconvénients parmi eux : le problème de la qualité de l'authentification.

Ces méthodes ne sont en effet pas toujours fiables à 100% , ce qui empêche des utilisateurs de bonne foi d'accéder à leur système. Car il s'agit bien là d'une des caractéristiques majeures de tout organisme vivant : on s'adapte à l'environnement, on vieillit, on subit des traumatisme plus ou moins importants, bref on évolue et les mesures changent.

Prenons le cas le plus simple, celui des empreintes digitales (mais la même chose s'applique à toute donnée physique).Suivant les cas, nous présentons plus ou moins de transpiration, la température des doigts n'est pas régulière. Il suffit de se couper pour présenter une anomalie dans le dessin de ses empreintes [6].

Dans la majorité des cas, les mesures du capteur et du logiciel associé retourneront un résultat différent de la mesure initiale de référence.

Or, il faut pourtant bien réussir à se faire reconnaître. En pratique, cela sera réalisé dans la plupart des cas car le système est amené à autoriser une marge d'erreur entre la mesure et la référence.

De manière générale, les faiblesses de ces systèmes ne se situent pas au niveau de la particularité physique sur laquelle ils reposent, mais bien sur la façon avec laquelle ils la mesurent, et la marge d'erreur qu'ils autorisent. Là encore, il convient de ne pas se laisser impressionner par une image illusoire de haute technologie - produit miracle.

De plus, les experts techniques mettent au passif de cette technologie, d'une part, son coût, d'autre part, la question de sa révocation. En effet, confronté à une personne qui a subtilisé un mot de passe ou une signature manuscrite, le titulaire du mot de passe ou de la signature peut facilement les remplacer ou les révoquer. La chose semble plus complexe pour une empreinte digitale ou rétinienne. Si un tiers s'approprie une identité biométrique du type empreintes digitales ou identité visuelle, il peut au moyen de ces identités biométriques passer tout type d'actes au nom de la victime. Comment la victime pourrait-elle alors révoquer sa propre empreinte digitale ou identité visuelle ? Les experts en sécurité sont partagés sur la question, même si, en majorité, ils semblent considérer que cette révocation est possible. Tous reconnaissent cependant la difficulté à mettre au passif cette protection technique.

Les données biométriques sont comparables à tout autre système de contrôle d'accès comme des mots de passe, ...etc.

Car du point de vue du système informatique, ce ne sont rien d'autres que des séries de bits comme toute donnée. Autrement dit, la difficulté réside dans la contrefaçon de la caractéristique physique et biologique que l'on mesure.

Si la biométrie se généralise dans notre environnement, il est dangereux de penser qu'il s'agit de la réponse à tous les problèmes de sécurité. La biométrie, de par ses limites fonctionnelles, techniques et juridiques n'est en aucun cas synonyme de technologie miracle et de sécurité absolue.

➤ **Les limites fonctionnelles:**

Les systèmes d'authentification biométrique représentent une grande partie des limites fonctionnelles. En effet, les systèmes biométriques laissent la place à un certain nombre de faux rejets et de fausses acceptations.

Ils ne peuvent à eux seuls garantir à 100% que seules les personnes autorisées pourront passer le contrôle. Ils ne peuvent même pas garantir qu'une personne autorisée ne sera pas rejetée par le système. Il y aura toujours une marge d'erreur à prendre en compte, ce qui n'est pas forcément très rassurant.

➤ **Les limites techniques :**

Bien que cela représente un travail assez conséquent, les données biométriques peuvent être imitées, notamment celles qui laissent des traces sur le passage de l'individu telles que les empreintes digitales. Un individu mal intentionné peut récupérer les empreintes digitales sur un objet tenu par la victime, les imiter et tenter de passer le contrôle biométrique à l'aide de ces empreintes. De plus, les données biométriques sont dans la majeure partie des cas numérisées sur un support, de préférence individuel. Si ce support n'est pas protégé contre les intrusions et le piratage, tout le système biométrique tombe à l'eau.

## I.9 Performances d'un système biométrique

Lorsque des systèmes biométriques sont utilisés, il est difficile d'obtenir des résultats 100% exempts d'erreur. La raison est peut-être à chercher dans des différences d'environnement lors de l'acquisition de données (éclairage, température, etc.) et dans des différences dans le matériel utilisé (caméras, scanners, etc.). Les paramètres d'évaluation des performances les plus souvent utilisés sont le taux de fausses acceptations (TFA) et le taux de faux rejets (TFR), qui peuvent être adaptés en fonction du système utilisé [8]:

- **FRR:** taux de faux rejet

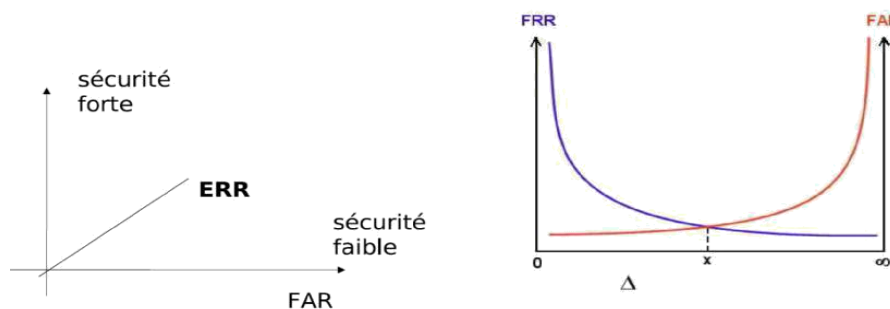
Le taux de faux rejets (TFR) est la probabilité qu'un système produise un faux rejet. Un faux rejet se produit lorsqu'aucune correspondance n'est établie entre une personne et son modèle biométrique. Il est également connu sous le nom de «taux de faux négatifs».

- **FAR** : taux de fausse acceptation

Le taux de fausses acceptations (TFA) est la probabilité qu'un système biométrique identifie de manière incorrecte une personne ou ne réussisse pas à rejeter un imposteur. Il mesure le pourcentage d'intrants non valides qui sont acceptés à tort. Il est également connu sous le nom de «taux de faux positifs».

**FR** : nb faux rejets      **FA** : nb fausses acceptations

**NL** : nb total légitimes   **NI** : nb total imposteurs



**Figure I.8** La marge d'erreur autorisée/ ERR [2].

À partir du FR et FA on calcule :  $TFR = FR/NL$  et  $TFA = FA/NI$ .

Le delta sur la figure représente la marge d'erreur autorisée/ ERR : Equal Error Rate.

Avec un réglage correct du système et un bon ajustement de la configuration, les erreurs critiques des systèmes biométriques peuvent être minimisées au niveau permis pour l'utilisation opérationnelle en réduisant les risques d'évaluation incorrecte. Un système parfait présentera un TFA et un TFR de zéro, mais ces taux ont le plus souvent une corrélation négative. L'augmentation du TFA réduit souvent le niveau du TFR.

Il est important d'évaluer la finalité du traitement, le TFA et le TFR ainsi que la taille de la population au moment de déterminer si la précision d'un système biométrique particulier est acceptable ou non. Par ailleurs, l'évaluation de la précision d'un système biométrique peut également tenir compte de la capacité à détecter un échantillon vivant.

Par exemple, les empreintes digitales latentes peuvent être copiées et utilisées pour créer des faux doigts. Un lecteur d'empreintes digitales ne doit pas être mystifié et donner une identification positive dans ce type de situation [2].

## I.9 Conclusion

La biométrie distingue les individus les uns des autres car ils sont basés sur des caractéristiques individuelles. La technique la plus couramment utilisée est d'identifier une empreinte digitale, car il est plus simple, mais nous utilisons aussi la définition de l'iris est efficace, mais il est très coûteux, par le son, ce qui est le plus moyen de documenter l'identification, sur le visage, ce qui est la façon la plus naturelle , Aussi bien l'électrocardiogramme (ECG), l'électromyogramme (EMG) et l'électroencéphalogramme (EEG). Parmi eux, le signal EMG est un signe généré lorsque les muscles se déplacent, ce qui peut être utilisé dans divers domaines tels que la reconnaissance de mouvement, l'identification personnelle, et le diagnostic de la maladie.

Aujourd'hui, nous utilisons la biométrie, surtout en matière de sécurité: nous les trouvons dans les aéroports, dans certaines entreprises (qui les utilisent pour remplacer les badges), et même les gens les utilisent. Certains pays l'utilisent beaucoup plus que d'autres, comme les États-Unis, par exemple, ce qui est très sûr. Ils sont maintenant utilisés dans les passeports biométriques pour s'assurer que la personne qui a présenté son passeport est celle qui prétend être présente.

La biométrie a ses avantages: ils sont sûrs et permettent la sécurité, mais beaucoup de gens s'y opposent, ils la considèrent comme une intrusion dans la vie privée. Il est vrai que les données biométriques peuvent être converties en faveur de personnes ayant des intentions frauduleuses en relation avec leur utilisation.

## CHAPITRE II

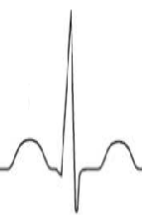
# PRINCIPES DE L'INTERPRÉTATION DES SIGNAUX ELECTROMYOGRAMMES (EMG)

### II.1 Introduction

L'appareil musculaire représente depuis très longtemps un sujet d'étude scientifique.

Réalisés initialement à la main, l'évaluation et le traitement de l'activité musculaire ont bénéficié des progrès technologiques qui ont joué un rôle important dans ce domaine de recherche. Premier signe de la vie, le mouvement a fait l'objet d'une grande curiosité et donc de nombreuses expériences pour mieux le comprendre. Parmi les plus anciennes, on distingue les expériences portant sur la détection de l'électricité et la fonction du muscle.

Dès le XVII<sup>ème</sup> siècle, Swammerdam décrivait différentes expériences sur la stimulation, la dépolarisation et la contraction nerveuse et musculaire. En 1666, Redi fut le premier à déduire que les muscles produisaient de l'électricité, ce qui amena de nombreux chercheurs à s'intéresser à ce phénomène. A la fin du XVIII<sup>ème</sup> siècle, considéré comme le père de la neurophysiologie, Galvani a montré que «la stimulation électrique d'un tissu musculaire produit une contraction et de la force » [9]. Par la suite, il a été découvert qu'il est possible d'enregistrer l'activité électrique durant une contraction musculaire volontaire et le premier enregistrement de cette activité fut réalisé par Piper en 1907 par le biais d'électrodes sur la peau en regard du muscle. Le terme « électromyographie » (EMG) fut inventé et une première description des électromyogrammes était disponible à la fin des 1920. Progressivement, de nombreuses études ont contribué à l'amélioration des systèmes d'enregistrement du signal EMG et à la compréhension de la contraction musculaire.



## II.2 Système musculaire

Le corps humain comprend plus de 600 muscles individuels fixés sur le squelette, qui fournissent une force de traction qui permet le déplacement. Ces muscles constituent environ 40 % du poids total du corps. Les points d'attache des muscles aux os ou autres muscles sont appelés origines ou insertions. Le point d'origine est le point d'attache à l'os qui reste fixe. Le point d'insertion est le point d'attache du muscle à l'os qu'il met en mouvement.

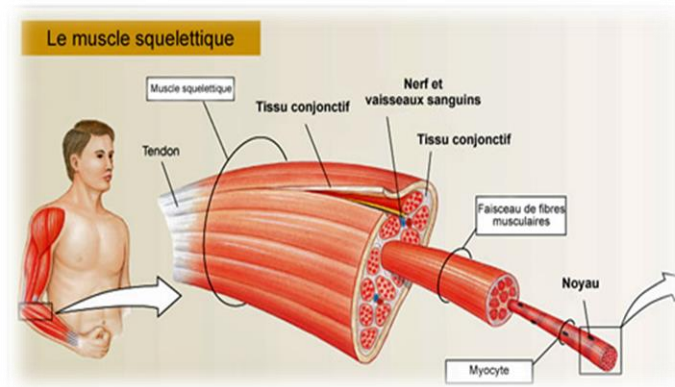
En règle générale, les muscles sont fixés par de solides structures fibreuses appelées tendons. Ces fixations relient une ou plusieurs articulations et le résultat de la contraction musculaire est le mouvement de ces articulations. Le corps est mu principalement par des groupes musculaires et non pas par des muscles individuels. Ces groupes musculaires fournissent la puissance nécessaire à toute action, allant de l'introduction d'un fil dans le chas d'une aiguille au port de charges lourdes [10].

L'étude de système musculaire est très important pour bien comprendre la naissance du signal EMG.

### II.2.1 Notions d'anatomie et de physiologie du muscle

L'appareil musculaire est constitué de l'ensemble des muscles, organes actifs du mouvement. Cet appareil fait partie, avec le squelette osseux, de l'appareil locomoteur, car il assure la motricité du corps. Les muscles sont des organes charnus dont le rôle est de par leur contraction de mouvoir activement les segments osseux sur lesquels ils s'insèrent ou les viscères auxquels ils sont affectés.

Dans l'avant-bras, il y a plusieurs muscles qui sont directement liés à la flexion, l'étendue des doigts et le mouvement de la main de haut en bas. En même temps, bien sûr, il y a des nerfs et des artères qui supportent ces mouvements (voir Figure II.1).



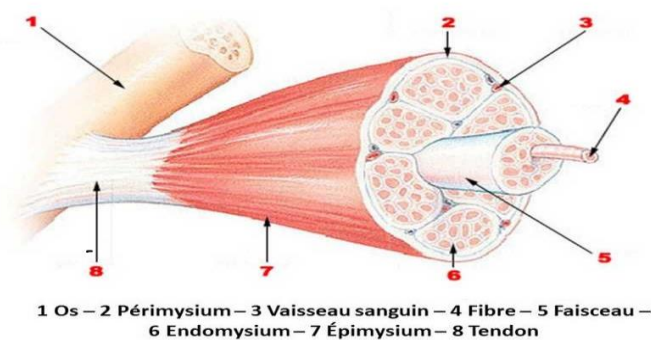
**Figure II.1** Les composants de base du muscle squelettique [11].

### II.2.2 Structure du muscle :

Les muscles sont fixés sur le squelette par des tendons (*tissus conjonctifs*). Ce sont ces insertions musculaires qui permettent le mouvement du squelette pour le contrôle de l'individu. Ainsi, de part la contraction de ses fibres musculaires (généralement situées au centre) chaque muscle est prédisposé à une fonction.

Anatomiquement le muscle squelettique se présente (voir Figure II.2) comme suit :

- Il est constitué par un ensemble de fibres ou chaque fibre (cellule) musculaire est enveloppée dans une fine gaine de tissu, appelée *endomysium*.
- Les faisceaux de fibres musculaires sont recouverts par une gaine plus épaisse de tissu conjonctif: *le pérимysium*.
- L'ensemble du muscle est renforcé et recouvert par une dernière gaine de tissu, nommée *l'épимysium*.



**Figure II.2** structure d'un muscle le strié squelettique [12].

### II.2.3 Les propriétés du muscle:

Les propriétés du muscle (*excitabilité, contractilité, élasticité...*) lui permettent de remplir ses fonctions [13]:

✓ **Excitabilité :**

C'est la faculté de percevoir un stimulus et d'y répondre. En ce qui concerne les muscles squelettiques, le stimulus est de nature chimique : l'acétylcholine qui est libérée par la terminaison nerveuse motrice. La réponse de la fibre musculaire est la production et la propagation le long de sa membrane d'un courant électrique (potentiel d'action) qui est à l'origine de la contraction musculaire.

✓ **Contractilité:**

C'est la capacité de se contracter avec force en présence de la stimulation appropriée. Cette propriété est spécifique du tissu musculaire.

✓ **Élasticité:**

L'élasticité est une propriété physique du muscle. C'est la capacité qu'ont les fibres musculaires de s'étirer et de reprendre leur longueur de repos, après l'étirement. L'élasticité joue un rôle d'amortisseur lors de variations brutales de la contraction.

✓ **Extensibilité:**

C'est la faculté d'étirement. Si lorsque les fibres musculaires se contractent, elles raccourcissent, lorsqu'elles sont relâchées, on peut les étirer au-delà de la longueur de repos.

✓ **Plasticité:**

Le muscle a la propriété de modifier sa structure selon le travail qu'il effectue. Selon le type d'entraînement (ou d'utilisation), le muscle s'adapte au type d'effort. Ainsi, on peut rendre un muscle plus résistant ou plus endurant. Chez les coureurs sprinters, il existe une prédominance de fibres musculaires de type « résistant » au niveau des membres inférieurs alors que chez les coureurs marathoniens, ce sont les fibres musculaires de type « endurant » qui prédominent.



### II.2.4 Fonctions musculaires :

Les muscles ont différentes fonctions dans le corps. En effet :

- Produisent des mouvements en agissant sur les os du squelette, en pompant du sang ou en propulsant des substances dans les systèmes d'organes creux.
- Les muscles aide à maintenir la posture en ajustant la position du corps par rapport à la gravité.
- Stabilisent les articulations en exerçant une tension autour de l'articulation.
- Produisent de la chaleur en fonction de leurs processus métaboliques cellulaires.
- Les muscles produisent de la chaleur en fonction de leurs processus métaboliques cellulaires.

### II.2.5 Les différents types de muscles

Il existe différents types de muscles : le muscle lisse, le muscle cardiaque, et le muscle squelettique.

#### A. Muscle lisse :

Les muscles lisses constituent nos organes. Ce ne sont pas des muscles responsables de la motricité et du mouvement, mais ils assurent certains mouvements des organes internes. Parmi cette catégorie musculaire on peut citer les parois artérielles, ou encore les bronches. Les muscles lisses ont pour but principal d'apporter les éléments extérieurs aux divers organes.

Par exemple, les fibres musculaires de la paroi artérielle ont pour but d'ajuster le diamètre de l'artère afin de faciliter le transport du sang vers les organes visés.

Leur contraction ou leur relâchement ne sont pas soumis à des ordres volontaires du cerveau, mais à des réflexes nerveux. Les muscles lisses, contrairement aux muscles squelettiques, ne se fatiguent pas : ils sont capables de fonctionner en continu. (Figure II.3) [14].

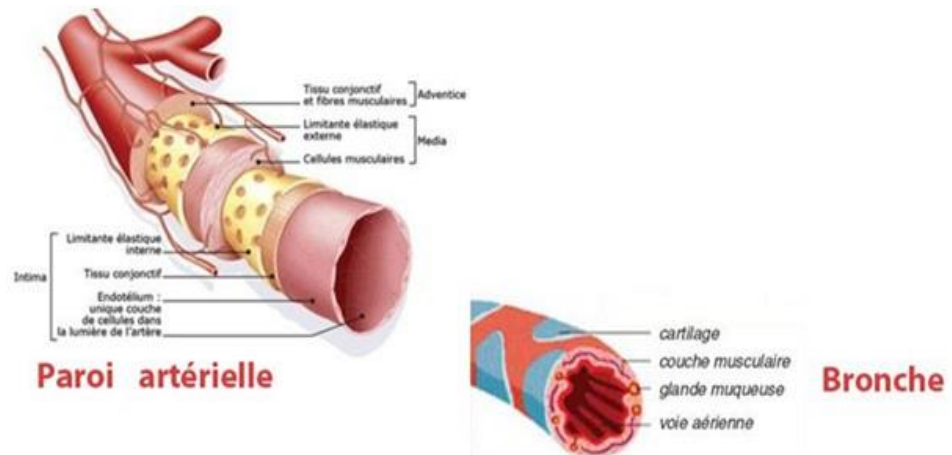


Figure II.3 Exemples de muscles lisses [14]

### B. Muscle cardiaque :

C'est un muscle viscéral mais strié dont la contraction est involontaire [10].

Il constitue le tissu du cœur et est appelé myocarde. Si le système nerveux régule sa contraction, il est néanmoins doué d'automatisme et peut battre de façon autonome (Figure II.4).

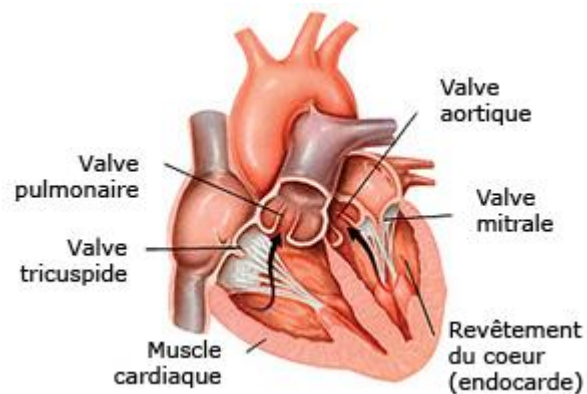


Figure II.4 Muscles cardiaque [15].

### C. Muscle squelettique:

C'est un muscle strié dont la contraction est volontaire, et contrôlée par le système nerveux spinal et conscience. Il est responsable des mouvements du squelette et de certaines organes (Figure II.5).



**Figure II.5** Exemples de muscles squelettique

Ainsi désigné, car rattaché aux os et déplace des parties du squelette. (Certains muscles squelettiques sont aussi rattachés à la peau, à d'autres muscles ou aux fascias profonds).

Appelé aussi muscle strié, car au microscope il présente des bandes (stries) claires et foncées en alternance .

C'est un tissu musculaire volontaire: possible de le contracter ou de le relâcher consciemment.

Ils peuvent aussi être définis qui recouvrent le squelette humain et qui sont attachés directement aux os par des tendons (une structure également fibreuse résistant aux extensions) qui actionnent les articulations. Ils sont rapide dans leurs contractions et décontractions ce qui les rend aptes à enchaîner de multiples mouvements.

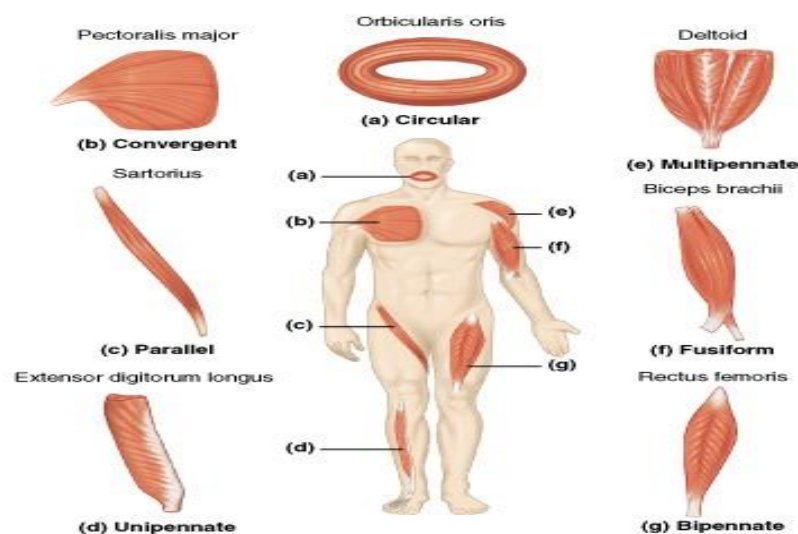
- **L'architecture des muscles squelettiques**

L'architecture du muscle squelettique est définie en termes « d'arrangement des fibres musculaires par rapport à l'axe de génération de force ». L'agencement des muscles du squelette, ainsi que leur activité révèle de bonnes organisations au niveau macroscopique.

Les propriétés fonctionnelles du muscle squelettique dépendent fortement de leur architecture.

Il existe différents types d'arrangements de fibres musculaires, qui sont décrites comme suit:

- Les muscles avec des fibres qui s'étendent parallèlement à l'axe de génération de force musculaire sont appelés Parallèle, fusiforme ou les muscles disposés longitudinalement, par exemple : biceps brachial (biceps musculaire) et Sartorius (aine musculaire).
- Muscles avec des fibres qui sont orientées à un angle unique par rapport à l'axe de génération de force, sont appelés muscles unipenne , un exemple de ce type de muscle est l'extenseur d'Orteils.
- L'angle entre la fibre musculaire et l'axe de génération de force varie généralement de 0 ° à 30 °. Les muscles sont orientés à plus d'un angle. La plupart des muscles entrent dans cette catégorie et ils sont appelés muscles multipenne.
- Les muscle orbiculaire (bouche musculaire) sont des muscles qui entourent une ouverture de façon à former une forme fermée sont connus comme muscles circulaires.
- Les muscles dans lesquels leurs fibres convergent vers l'insertion pour maximiser la force de contraction sont connus comme muscles convergents tel que le Pectoral (Figure II.6) [16] .



**Figure II.6** Différents types d'arrangements de fibres musculaires [17].

➤ Diffèrent entre eux par :

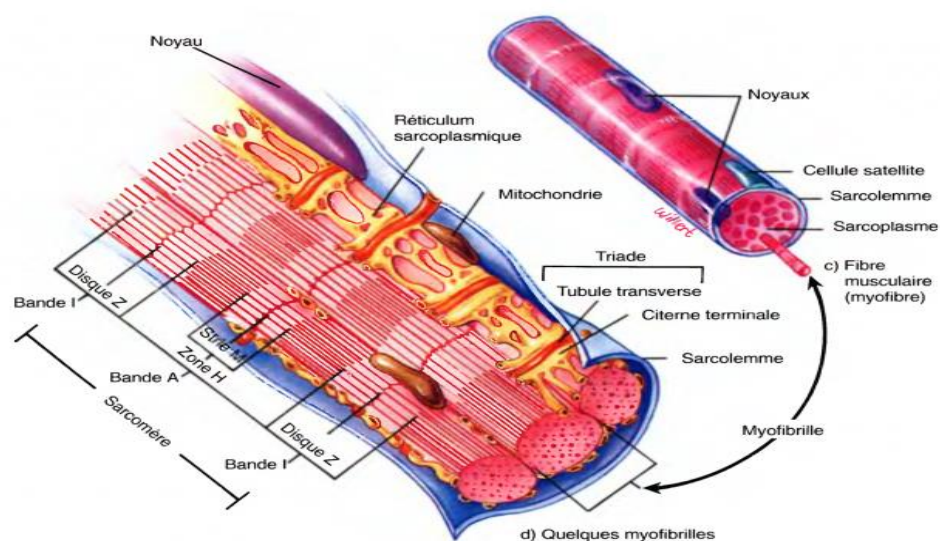
- ✓ Leur aspect microscopique.
- ✓ Leur emplacement.
- ✓ La régulation qu'exercent les systèmes nerveux et endocrinien.

Dans l'étude du signal électromyogramme (EMG) de surface (le cas de notre projet) on s'intéresse beaucoup plus pour aux muscles Squelettiques.

## II.2.6 Les fibres musculaires

La fibre musculaire (voir figure II.7) est composée d'un ensemble de myofibrille de nature protéique. Chaque myofibrille est constituée de succession d'unités contractiles appelées sarcomères [19] (unités contractiles de base étant de  $2\mu\text{m}$ ). Elles ont des myofilaments qui se chevauchent et sont reliés à des disques Z à chaque extrémité du sarcomère [18]. Les myofilaments qui composent les myofibrilles sont constitués de filaments épais (myosine) et minces (actine) (structure hexagonale en coupe) [20]. Un disque Z est principalement composé de la protéine alpha actinine et est relié aux disques Z de myofibrilles adjacentes par des filaments intermédiaires composés de des min.

La tétine de filament élastique fixe les filaments épais en disques Z et s'étend dans les filaments épais jusqu'à la ligne M (correspondant au milieu du sarcomère) (voir figure 1.4). Le glissement des filaments fin par rapport au filament épais entraîne le raccourcissement du sarcomère et donc du muscle [19].



**Figure II.7** Représentation des filaments (lignes et zones) dans une fibre musculaire [21].

## II.2.7 La contraction musculaire

La contraction musculaire résulte de la contraction coordonnée de chacune des cellules du muscle. Il existe quatre phases au cours de la contraction d'une cellule musculaire « type » :

- l'excitation ou la stimulation qui correspond à l'arrivée du message nerveux sur la fibre musculaire .
- le couplage excitation-contraction qui regroupe l'ensemble des processus permettant de transformer le signal nerveux reçu par la cellule en un signal intracellulaire vers les fibres contractiles.
- la contraction proprement dite .
- la relaxation qui est le retour de la cellule musculaire à l'état de repos physiologique.

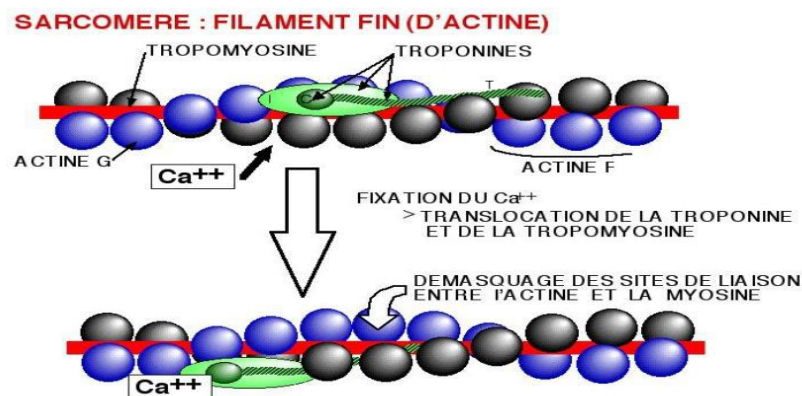
## II.2.8 Mécanismes cellulaires de la contraction musculaire :

### ➤ Théorie des filaments glissants

Pendant la contraction ou le relâchement musculaire , la longueur des filaments d'actine ou de myosine reste constante , par contre la longueur des sarcomères varie en fonction des glissements des filaments fins d'actine dans le réseau des filaments épais de myosine .Une cascade d'évènements survient entre le moment où le sarcolemme est dépolarisé et le moment où il est raccourci [22] (voir figure II.8).

**Etape 1 :** libération du calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ )

**Etape 2 :** le  $\text{Ca}^{2+}$  se fixe sur la troponine libérant ainsi le site de fixation de myosine.



**Figure II.8** Mécanismes cellulaires de la contraction musculaire [22].

Dans le même temps , la fixation du  $\text{Ca}^{2+}$  permet la scission de l'ATP en  $\text{ADP} + \text{Pi}$  (  $\text{Pi}$  = Phosphate inorganique ) , scission productrice d'énergie .

**Etape 3 :** Le  $\text{Pi}$  puis l'ADP se détachent , modifiant ainsi l'angle formé par les têtes de myosine fixées à l'actine (  $90^\circ \rightarrow 50^\circ \rightarrow 45^\circ$  ) et donc entraînant le glissement des filaments d'actine sur les filaments de myosine .

**Etape 4 :** Seule la présence d'une nouvelle molécule d'ATP permet la rupture de la liaison entre l'actine et la myosine (  $45^\circ \rightarrow 90^\circ$  ) et la formation d'un nouveau complexe myosine-ATP .

→ Si la concentration en  $\text{Ca}^{2+}$  est suffisante , le cycle se reproduit . Au cours d'une contraction , le cycle se reproduit plusieurs fois en fonction du potentiel d'action émis par le motoneurone .

Plus le nombre de cycles est grand , plus le raccourcissement est important.

**Etape 5 :** Le mécanisme prend fin quand la concentration en  $\text{Ca}^{2+}$  est inférieure à la contraction de repos [  $1 \mu\text{mol/l}$  ] .

Les canaux calciques du RE se ferment , le calcium est transporté activement dans le réticulum endoplasmique [22] .

➤ Dans le mécanisme assurant la contraction , l'élément - clé de la régulation est l'ion calcium.

L'organisation ultra structurale est essentielle dans le fonctionnement de la cellule musculaire

- ✓ La jonction neuromusculaire permet la dépolarisation de la membrane de la fibre musculaire .
- ✓ Les triades permettent la libération massive du calcium .
- ✓ L'organisation des sarcomères permet le raccourcissement.

### II.3 L'électromyogramme (EMG)

L'EMG peut être définie comme «l'étude fonctionnelle du muscle à travers le recueil et l'analyse du signal électrique généré au niveau des muscles en contraction» . Une fois bien maîtrisée, l'EMG a été et reste utilisée dans de nombreux domaines, en particulier celui du mouvement humain et du diagnostic neuromusculaire.

Cet outil de mesure scientifique, très utilisé ces dernières 50 années, permet d'obtenir des informations sur les stratégies de contrôle nerveux qui permettent à l'homme de s'adapter à l'environnement et de réaliser des tâches motrices. L'étude EMG a la particularité de pouvoir être réalisée de manière invasive ou non-invasive. La méthode non-invasive, dite « EMG de surface » (EMGs) présente une procédure simple d'utilisation et ne requière pas de qualifications médicales particulières, ce qui a contribué à son application dans de multiples champs de recherche, tels que l'ergonomie, l'analyse biomécanique du mouvement, la médecine du travail, les sciences du sport et de l'espace, ou bien encore la gynécologie.

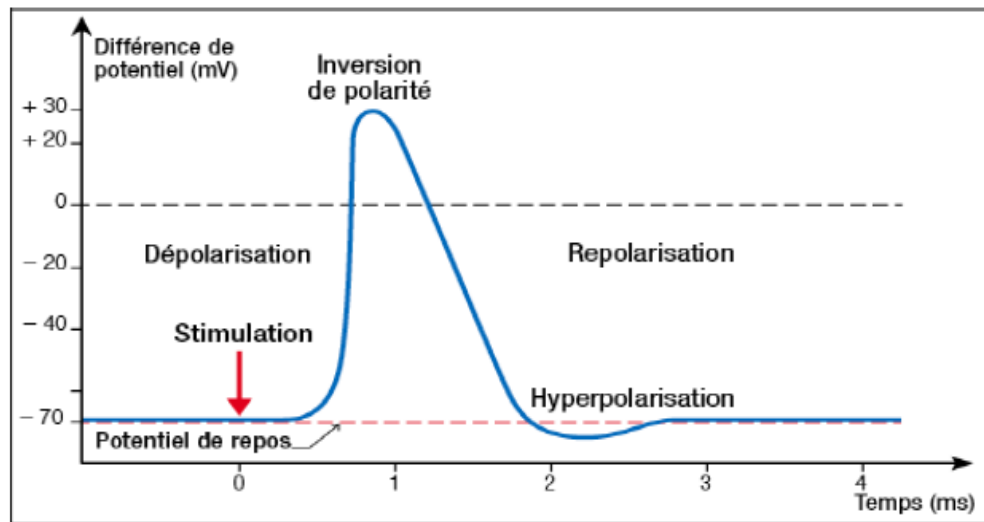
**L'EMG** signifie aussi bien : *électromyographie (l'examen), l'électromyographie (l'appareil) et l'électromyogramme (le tracé obtenu par électromyographie)*  
*Cet examen consiste à enregistrer l'activité d'un muscle ou d'un nerf pour déceler une éventuelle pathologie [23].*

### II.3.1 Source de signal EMG

#### ➤ Potentiel d'action (PA)

Le potentiel d'action ou influx nerveux, correspond à une inversion transitoire, locale, brève de la membrane plasmique, sa durée est entre 1 et 2 ms, et son amplitude absolue atteint 100mV.

Si un certain niveau de seuil est dépassé dans le flux des ions de Na<sup>+</sup> (ion de sodium), la dépolarisation de la membrane provoque un potentiel d'action qui change rapidement de -70 mV à +30 mV. Il s'agit d'un éclatement électrique monopolaire qui est immédiatement rétablie par la phase de repolarisation et suivie d'une période d'hyperpolarisation de la membrane (voir Figure 1.9).



**Figure II.9** Exemple d'un potentiel d'action [24]

La contraction des fibres musculaires se produit lorsque des potentiels d'action sont générés dans le Neurone moteur qui les fournit. Lorsque le potentiel d'action atteint le neurone moteur et l'axone Terminale dépasse le seuil de dépolarisation dans la membrane post synaptique de la Neuromusculaire, il devient un potentiel d'action musculaire.

➤ **Potentiel d'action d'une unité motrice (PAUM):**

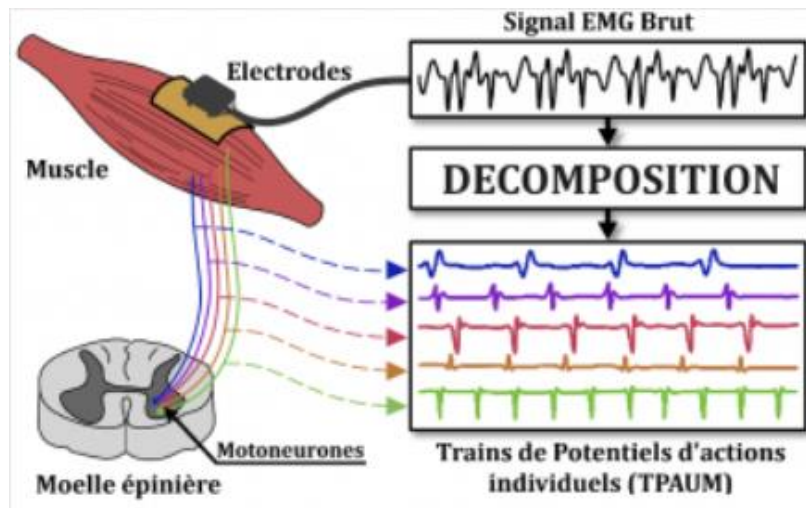
Quand une unité motrice est activée via le neurone moteur à partir de la moelle épinière vers la jonction neuromusculaire (plaque motrice), les fibres appartenant à cette unités motrices sont toutes excitées et se contractent ensemble [25]. La somme des potentiels de fibre musculaire créée par la dépolarisation et la repolarisation spatialement et temporellement dispersées de toutes les fibres excitées d'une seule unité motrice (UM) est appelée potentiel d'action de l'unité motrice (PAUM).[26]

Afin de maintenir une contraction musculaire, les unités motrices doivent être activées de manière répétitive et chaque unité motrice génère des PAUMs multiples. La collection de tous les PAUMs génère un train de potentiels d'une unité motrice (TPAUM).

La superposition des TPAUMs de toutes les unités motrices recrutées constitue un signal EMG. (voir Figure II.10).

Par conséquent, l'analyse des PAUMs créés par les UMs d'un muscle se contractant peut aider à identifier son état de santé [26].

En raison de la nature du tissu musculaire qui est considéré comme un volume conducteur, le potentiel d'action résultant, se propageant dans les deux directions de la fibre et atteignant les tendons, crée un courant dans le voisinage de la fibre. Ce dernier crée un champ électrique dans tout le volume conducteur, qui est à l'origine des signaux EMGs détectés par des électrodes de surface.[25]



**Figure II.10** Décomposition d'un signal EMG brute résulte des TPAUMs individuelles.[27]

### II.3.2 Définition du signal EMG

Les signaux myo-électriques, appelés aussi électromyogrammes (EMG), sont des signaux électriques pouvant être enregistrés au niveau des muscles. Ces signaux biologiques sont étudiés depuis plusieurs décennies. Plus faciles à mesurer que d'autres signaux émis par les nerfs ou bien encore au niveau du cerveau, ils peuvent fournir des informations diverses sur un individu.

Le signal électromyogramme (EMG) est une addition des trains de potentiel d'action des unités motrices qui sont détectés par un système d'électrodes à proximité des fibres. Quand les électrodes sont placées sur la surface de la peau, le signal détecté est désigné sous le nom d'électromyogramme de surface (EMGs).

### II.3.3 Détection de signal EMG :

Les électrodes jouent un rôle majeur dans la détection des signaux EMG. Les signaux EMG générés dans notre corps ont une très faible amplitude ainsi que la durée, donc si les

électrodes n'ont pas une bonne conductivité alors elles affecteront la qualité des signaux. Il existe principalement deux types d'électrodes l'une est «électrode insérée» (cas de la détection de l'EMG intramusculaire) et l'autre est «électrode de surface ou électrode de peau» (cas de l'EMG de surface). Toutefois pour garantir une bonne détection du signal EMG, il faut qu'avant l'application des électrodes EMG de surface, une bonne préparation de la peau. Pour cela:

- ✓ On doit retirer complètement les cheveux de l'endroit où les électrodes doivent être placées.
- ✓ Un gel abrasif est recommandé pour réduire la couche sèche de la peau.
- ✓ Il ne devrait pas y avoir d'humidité ou de sueur sur la peau. Dans le cas contraire la peau doit être nettoyée avec de l'alcool .[16].

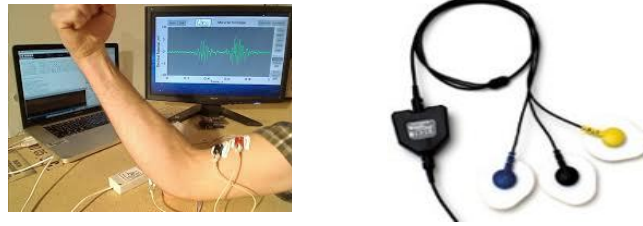
Pour détecter ces signaux, deux types d'appareil de mesure sont utilisés.

- **Les électrodes à aiguille** : Elles touchent directement la fibre musculaire. Elles permettent d'obtenir le signal émis par une seule fibre mais présentent l'inconvénient d'abîmer la peau et le tissu musculaire (voir Figure II.11).



**Figure II.11** : Les électrodes à aiguille

- **Les électrodes de surface** : Elles sont fixées sur la peau au niveau du muscle ciblé. Elles fournissent le signal émis par un ensemble de fibres musculaires et non plus d'une seule comme précédemment. Parmi les électrodes de surface, on distingue (voir Figure II.12).:
  - les électrodes humides à base de gel Ag/AgCl, à usage unique et à durée de vie limitée.
  - les électrodes sèches, réutilisables et à plus grande durée de vie.Leur impédance électrique est haute et instable et la transpiration déforme légèrement le signal.



**Figure II.12 :** Les électrodes de surface

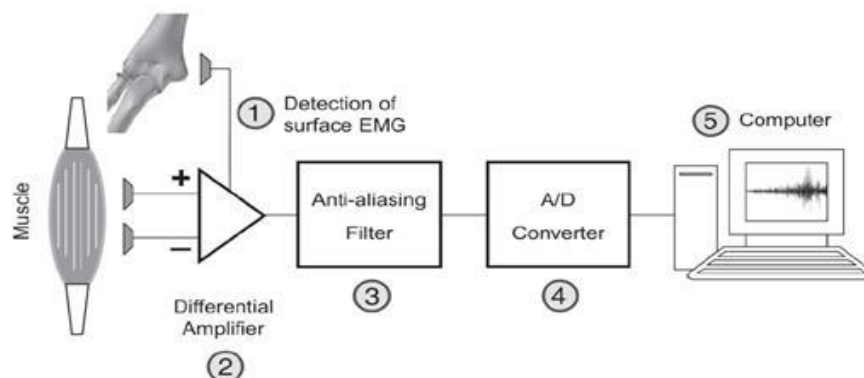
### II.3.4 Utilisations des EMG

L'EMG peut être définie comme « l'étude fonctionnelle du muscle à travers le recueil et l'analyse du signal électrique généré au niveau des muscles en contraction »

Une fois bien maîtrisée, l'EMG a été et reste utilisée dans de nombreux domaines, en particulier celui du mouvement humain et du diagnostic neuromusculaire. Cet outil de mesure scientifique, très utilisé ces dernières 50 années, permet d'obtenir des informations sur les stratégies de contrôle nerveux qui permettent à l'homme de s'adapter à l'environnement et de réaliser des tâches motrices. L'étude EMG a la particularité de pouvoir être réalisée de manière invasive ou non-invasive.

La méthode non-invasive, dite « EMG de surface » (EMGs) présente une procédure simple d'utilisation et ne requière pas de qualifications médicales particulières, ce qui a contribué à son application dans de multiples champs de recherche, tels que l'ergonomie, l'analyse biomécanique du mouvement, la médecine du travail, les sciences du sport et de l'espace, ou bien encore la gynécologie.

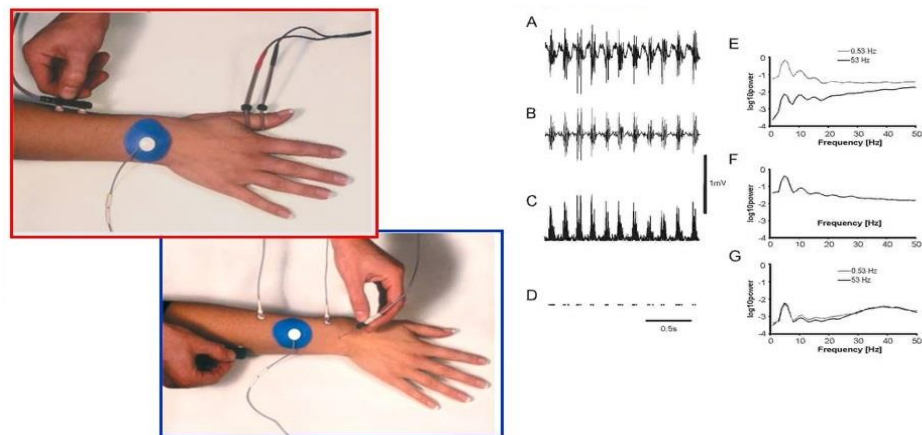
En peut schématisée l'instrumentation en EMG comme cela:(voir Figure II.13).



**Figure II.13 :** Schéma synoptique simplifié de l'acquisition d'électromyogramme de surface.

### II.3.5 L'électromyogramme de surface (EMGs)

L'électromyographie de surface (EMG de surface) est l'une des méthodes non invasives qui permettent d'analyser le système neuromusculaire (lien). Il est dit de surface car les électrodes qui recueillent le signal sont placées directement sur la peau au regard du muscle à étudier. Cet examen consiste à enregistrer l'activité électrique des muscles (lien) et des nerfs (lien). Les nerfs sont stimulés par des impulsions électriques, à différentes intensités. Ces stimulations font apparaître des réactions musculaires. Les réponses enregistrées par les électrodes sont ensuite visualisées sur un écran vidéo. (voir Figure II.14).



**Figure II.14 :** EMG de surface

La somme des phénomènes électriques, correspondant à la contraction des différentes fibres musculaires impliquées dans l'activité du muscle considéré, génère un champ électrique suffisamment important pour pouvoir être recueilli, soit localement (dans le muscle), soit à distance (à la surface de la peau). On parle alors d'électromyographie, ou de recueil d'électromyogramme (EMG).

L'électromyographie est employée dans les domaines de l'étude du mouvement humain et du diagnostic neuromusculaire. Elle est le plus fréquemment employée dans le domaine de la neurophysiologie clinique ou de la médecine électrodiagnostique [Dumitru, 1995].

➤ Dans l'électromyographie élémentaire (locale), on utilise de petites électrodes coaxiales intramusculaires pour mesurer l'activité des fibres situées dans le champ de détection de l'aiguille.

- Dans l'électromyographie globale (de surface), on utilise des électrodes de surface collées sur la peau pour mesurer l'activité musculaire globale sous-jacente, correspondant à plusieurs unités motrices.

### II.3.6 Relation entre l'EMG et la force du muscle

La force développée par un muscle dépend du niveau d'activation mise en œuvre, par conséquent, la forme du signal EMG dépend fortement du recrutement des unités motrices (recrutement spatial) et de leurs fréquences de décharge (recrutement temporel), ainsi qu'à la longueur du muscle.

### II.3.7 Le signal EMGs bruit

Un signal EMGs non filtré et non traité sauf l'amplification passe-bande (Amplificateurs reliés aux électrodes EMGs) est appelé un signal EMGs bruit. (voir Figure II.15 et Figure II.16).



Figure II.15: Principe de filtrage

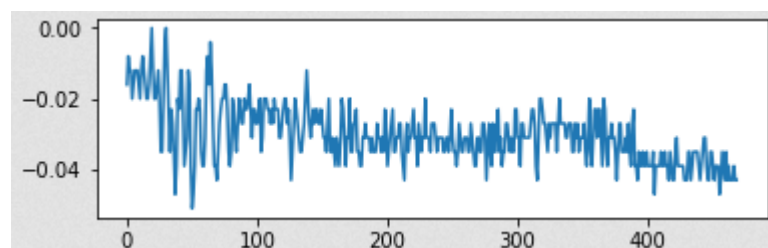


Figure II.16: Le signal EMG avant filtrage

### II.3.8 Traitement du signal EMG

Le signal EMG de surface est généralement analysé dans trois domaines: *le domaine temporel, le domaine fréquentiel et le domaine temps-fréquence.*

#### II.8.3.1 Domaine Temporel

1- EMG rectifié:

Les valeurs du signal EMG sont soit positives, soit négatives, et il est difficile de juger si le potentiel d'action s'approche ou s'éloigne de l'électrode. Pour bien quantifier toutes les phases positives et négatives, le signal EMG est rectifié en prenant sa valeur absolue.

### 2- EMG normalisé en amplitude

L'amplitude du signal EMG varie en fonction du placement de l'électrode et de la conductivité de la peau, variable d'un sujet à l'autre. Pour pouvoir comparer l'activité de l'EMG de différents sujets dans différentes conditions de recueil, on normalise généralement l'EMG, par exemple en le divisant par l'amplitude maximale obtenue lors de contraction maximale volontaire. On obtient ainsi un EMG normalisé en amplitude.

### 3- EMG lissé

Pour diminuer la variance et le bruit haute fréquence du signal EMG rectifié (bruit de digitalisation, d'échantillonnage, intrinsèque), ce signal est lissé par un filtre passe bas ou une moyenne glissante. Cet outil peut permettre d'obtenir par exemple une meilleure détection du début et de la fin d'une bouffée.

### 4-EMG moyen (ou intégré) sur un intervalle de temps

Pour quantifier le niveau moyen d'excitation sur un intervalle de temps fixé, on utilise souvent la moyenne (ou l'intégration) du signal EMG rectifié.

Ces deux paramètres peuvent diminuer la variabilité due à l'excitation instantanée des fibres musculaires.

### 5-Moyenne quadratique de l'EMG sur un intervalle de temps (Root Mean Square, RMS)

La plupart du temps, le signal EMG est quantifié dans le domaine temporel au moyen de sa moyenne quadratique (Root Mean Square, RMS), qui représente l'amplitude du signal EMG sur un intervalle de temps donné :

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{T} \cdot \int_{t-T/2}^{t+T/2} (x(t))^2 \cdot dt} \quad (1)$$

où  $x(t)$  est le signal EMG à analyser,  $T$  l'intervalle de temps.

### II.8.3.2 Domaine fréquentiel:

La transformée de Fourier (TF) est un outil classique de traitement du signal. En analysant le contenu spectral du signal, cette TF permet de dévoiler et de représenter dans le domaine fréquentiel des caractéristiques (répartition de l'énergie en fonction des fréquences) que la simple représentation temporelle ne permet pas de percevoir. Son expression mathématique est la suivante:

$$X(f) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t)e^{-i2\pi ft} dt \quad (2)$$

où  $x(t)$  est le signal EMG à analyser,  $X(f)$  est sa transformée de Fourier.

Mais elle ne permet pas de localiser la présence ou l'évolution d'une composante fréquentielle dans le temps. De ce fait, la transformée de Fourier n'est utile que dans le cas d'un signal stationnaire parce que les propriétés statistiques d'un tel signal restent constantes par rapport au temps.

### II.8.3.3 Domaine temps-fréquence

Pour étudier les évolutions temporelles du contenu spectral d'un signal non stationnaire, il est possible d'utiliser la TF et de satisfaire localement à la condition de stationnarité. Pour cela, il est commun de diviser les signaux en blocs de courte durée où existe la stationnarité au sens large [Lo Conte et Merletti, 1995 ; Merletti et Lo Conte, 1995].

Cette méthode est définie comme la Transformée de Fourier à Court Terme. Cependant, cette approche souffre d'une limitation importante en termes de résolution, à cause du compromis en temps et fréquence [Hostens et coll., 2004].

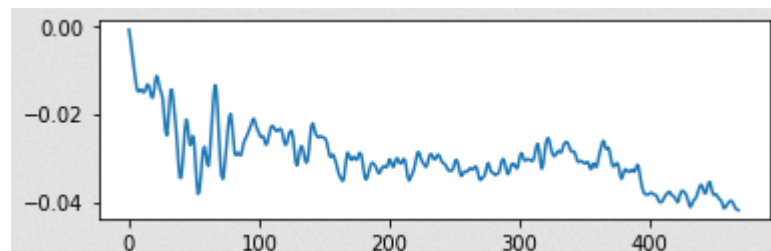
## II.3.9 Filtrage du signal

L'amplitude des électromyogrammes détectés est de 10mV maximum. La détection de ces signaux est facilement affectée par le bruit (changement de température, choc au niveau des électrodes, etc.) ou les inductions électrostatiques et électromagnétiques engendrées par les sources d'alimentation électriques. De plus, la

peau atténue le signal dans le cas des EMG de surface. Pour pallier à ces interférences, le signal est amplifié et filtré.

Un autre phénomène qui bruite les signaux myo-électriques est l'effet Cross-Talk .

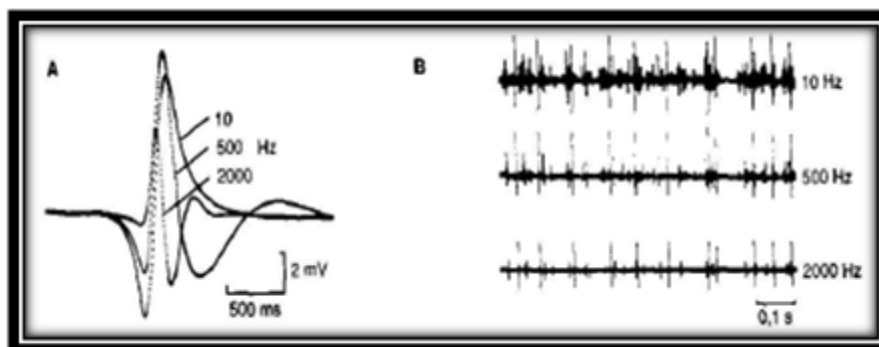
Cet effet est spécifique aux signaux mesurés par les électrodes de surface. Il est dû aux problèmes d'interférence entre les signaux EMG émis par les muscles qui se trouvent au voisinage de l'électrode de mesure. Il empêche d'avoir un signal propre à l'activité du muscle à mesurer. Pour améliorer la classification, le signal est filtré de manière à réduire au maximum cet effet. (voir Figure II.17)



**Figure II.17:** Signal EMG après le filtrage

Le filtrage des signaux est nécessaire pour éliminer les artéfacts d'enregistrement et le bruit généralement lié à l'amplification. Caractérisé par une fréquence de coupure, il laisse passer les fréquences au dessous ou au dessus de cette fréquence de coupure.

*Passé haut* , *Passé bas* , *Passé bande* (voir Figure II.18)



**Figure II.18:** Présentation des trois types des filtres : haut-bas-bande.

### II.3.10 Les filtres idéaux :

Une filtre idéal peut être caractérisé par :

Sa bande passante (passe band), dans la quelle toutes les composantes fréquentielles d'un signal sont transmises avec une atténuation nulle, et sans déphasage sa bande atténuée (stop band), à l'intérieur de laquelle toutes les composantes fréquentielles d'un signal sont transmises avec une atténuation infinie.

Les dispositions relatives de ces bandes sur l'axe des fréquences varies permettent de définir quatre types de filtres idéaux.

### II.3.11 Le filtre passe- bas (Lowe-passe-filtre) :

Dont la bande passante s'étend du continu à une fréquence donnée FC

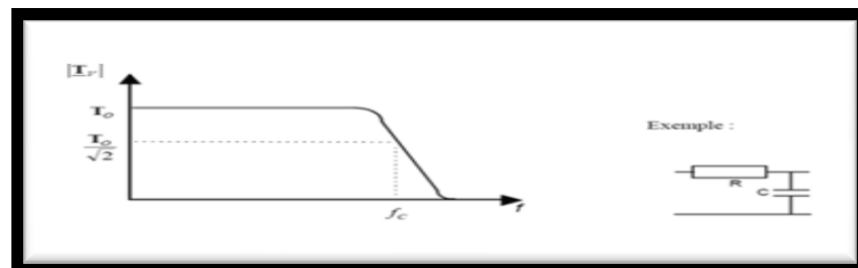


Figure II.19: Filtre passe bas

### II.3.12 Le filtre passe-haut (High-passe-filtre) :

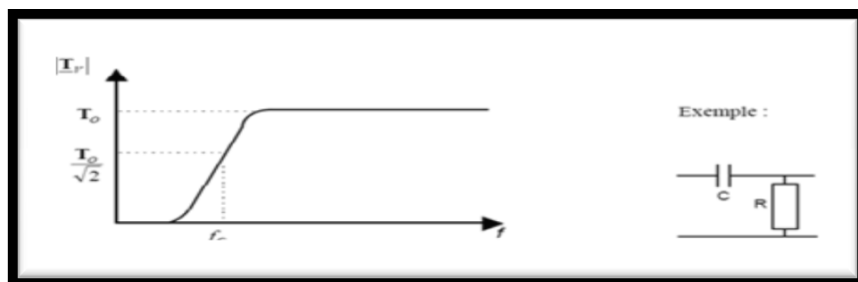


Figure II.20: Filtre passe haut

Dont la bande passante s'étend d'une fréquence donnée FC à l'infini.

### II.3.13 Le filtre passe bande (band-passe-filtre) :

Dont la bande passante est limitée inférieurement et supérieurement par deux fréquences  $f_L$  et  $f_H$ .

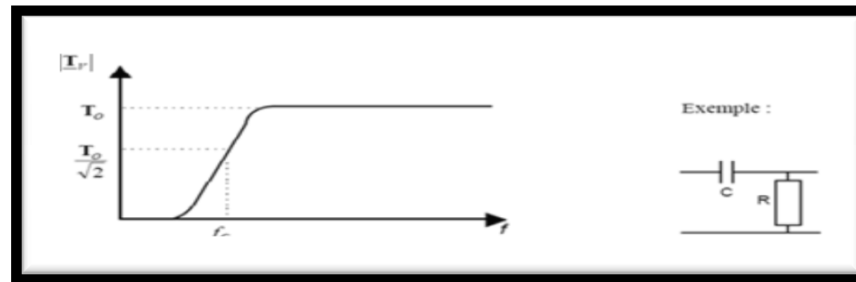


Figure II.21: Filtre passe bande

### II.3.14 Le filtre coupe-bande ou filtre réjeteur de bande :

Qui permet de supprimer les fréquences du spectre d'un signal situées dans une bande limitée inférieurement et supérieurement par deux fréquences  $f_L$  et  $f_H$ . Lorsque la différence  $f_H - f_L$  tend vers zéro, le filtre est appelé un éjecteur de fréquence (notch filter). (voir Figure II.22).

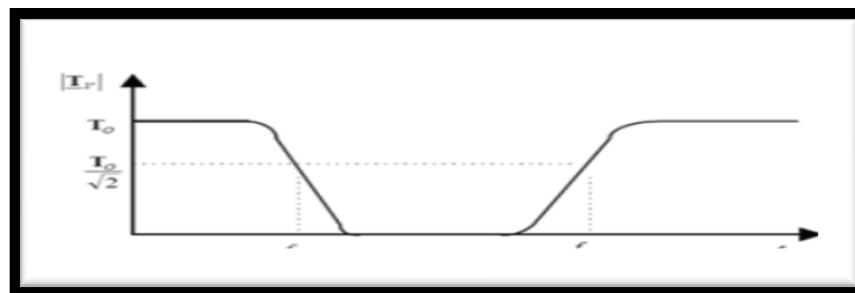


Figure II.22 : Filtre passe coupe bande

### II.3.15 La reconnaissance des formes

Pour pouvoir classifier les signaux filtrés, les méthodes de la reconnaissance des formes sont utilisées. La reconnaissance des formes consiste à faire correspondre à un motif d'entrée (tel qu'un extrait de voix digitalisé ou un symbole écrit à la main) représenté par un vecteur de caractéristiques, une des classes qui ont été préalablement spécifiées. Elle est effectuée par des systèmes appelés classifieurs.

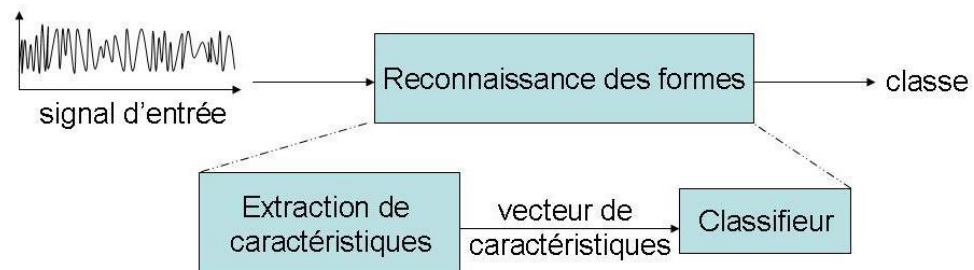
La reconnaissance des formes est divisée en deux étapes :

*l'extraction de caractéristiques puis la classification* (voir Figure II.23 ).

- **L'extraction de caractéristiques** : En faisant une analogie, si on essaie de distinguer une pomme d'une orange, on cherchera les caractéristiques les plus discriminantes telles que la couleur et la texture de la peau. Une caractéristique telle que la température, qui est importante dans certains problèmes de reconnaissance des formes,

ne serait ici d'aucune aide pour reconnaître la différence entre les deux fruits.

A l'issue de cette étape de classification, on dispose de vecteurs de caractéristiques.



**Figure II.23 :** La reconnaissance des formes comporte deux phases.

**-La classification :** La seconde étape consiste à apprendre quelles sont les caractéristiques qui correspondent à une classe donnée. Par exemple, si on reprend l'analogie précédente, si la caractéristique pour la couleur était «rouge», cela correspondrait à la classe des pommes. Si la caractéristique pour la texture était «bosselée», l'objet à classifier appartiendrait à la classe des oranges. Cette étape une classe.

Pour s'adapter à un problème donné, les méthodes de classifications nécessitent souvent un apprentissage qui peut être supervisé ou non supervisé. L'apprentissage supervisé, appelé aussi apprentissage avec maître, est effectué à partir de données qui sont étiquetées par le maître. L'apprentissage non supervisé est effectué sur des données sur lesquelles on ne possède aucune connaissance a priori.

#### ❖ L'algorithme KNN:

La méthode des k plus proches voisins est une méthode d'apprentissage supervisé. En abrégé **k-NN** ou **KNN**, de l'anglais **K-Nearest Neighbor**. Dans ce cadre, on dispose d'une base de données d'apprentissage constituée de N couples « entrée-sortie ». Pour estimer la sortie associée à une nouvelle entrée x, la méthode des k plus proches voisins consiste à prendre en compte (de façon identique) les k échantillons d'apprentissage dont l'entrée est la plus proche de la nouvelle entrée x, selon une distance à définir. Par exemple, dans un problème de classification, on retiendra la classe la plus représentée parmi les k sorties associées aux k entrées les plus proches de la nouvelle entrée x [28]. (voir Figure II.24 ).

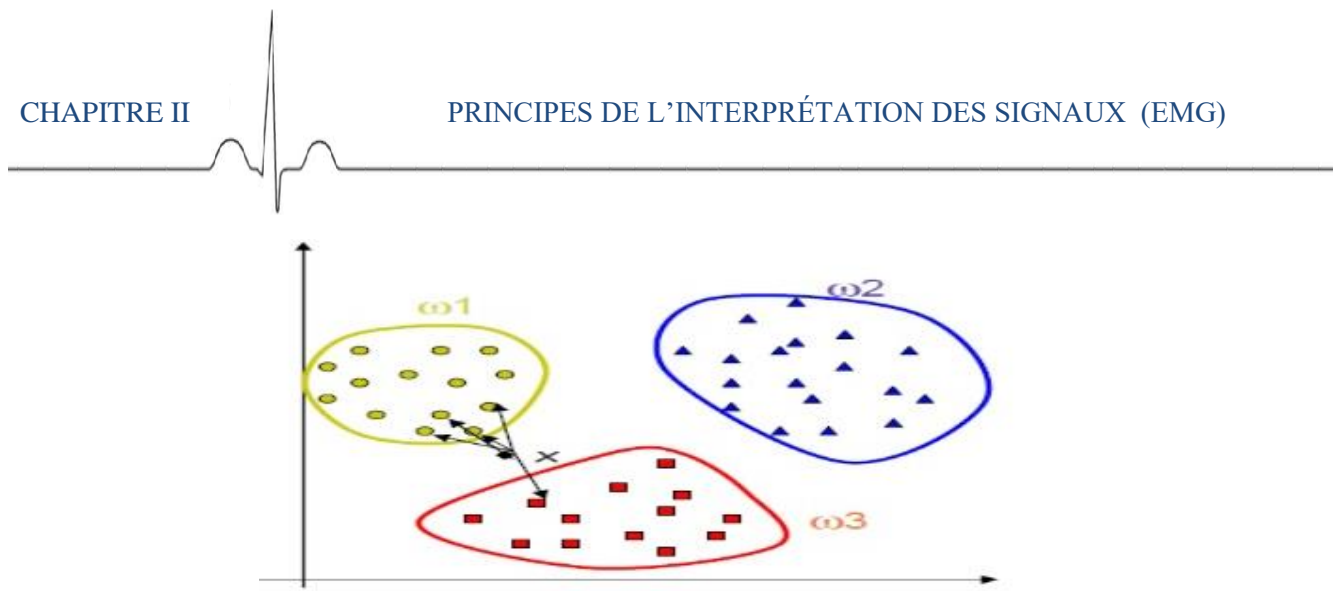


Figure II.24 : La méthode des k plus proches voisins KNN [28].

### II.3.16 Avantages du signal EMGs

Les avantages du signal EMGs sont nombreux, les plus importants sont:

- ✓ Permet d'explorer directement le muscle concerné.
- ✓ permet la mesure de la performance musculaire.
- ✓ Aide à la prise des décisions avant et après les chirurgies.
- ✓ Aide les patients à améliorer et former leurs muscles.
- ✓ Permet d'améliorer l'analyse des activités sportives.
- ✓ Détecte la réponse musculaire dans les études ergonomiques.

## II.4 Électrocardiogramme (ECG)

L'électrocardiographie (ECG) est une représentation graphique de l'activité électrique du cœur. Cette activité électrique est liée aux variations de potentiel électrique des cellules spécialisées dans la contraction (myocytes) et des cellules spécialisées dans l'automatisme et la conduction des influx. Elle est recueillie par des électrodes à la surface de la peau [29]. (voir Figure II.25 ).

Le système de reconnaissance d'électrocardiogramme (ECG) est une nouvelle technique en biométrie pour identifier un individu.

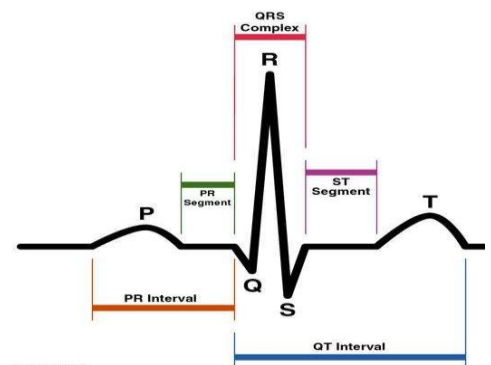


Figure II.25 : représentation un électrocardiogramme normal, et chaque onde P, Q, R, S et T est signalée [30]

## II.5 Domaines d'application de l'EMG

### II.5.1 Application en kinésiologie

Au sein du domaine de l'EMG, en particulier dans les sciences du sport et de l'ergonomie, une spécialité, nommée kinésiologie, s'est développée dont le but est d'utiliser l'EMG pour l'étude de la fonction et la coordination musculaire dans différents mouvements et postures [3].

### II.5.2 L'EMG dans le domaine de l'ergonomie

L'EMG est un outil important pour l'évaluation de la charge de travail en ergonomie. Plus particulièrement, il contribue à la prévention des troubles musculo-squelettiques, qui constitue une problématique fondamentale en ergonomie [3].

En effet, l'estimation des contraintes physiques et de leurs conséquences physiologiques est essentielle dans le milieu professionnel. C'est dans cette optique que l'EMGs représente un moyen efficace et adapté pour obtenir directement ce genre d'informations. Les études portent en particulier sur les régions du cou, des épaules et du dos. Une évaluation EMG peut être entreprise par exemple sur un muscle suspecté de subir des contraintes excessives du fait d'une mauvaise conception du poste de travail. Les objectifs en ergonomie sont d'analyser les contraintes et l'influence du matériel sur l'activité musculaire, de prévenir les risques de pathologies, d'aménager des postes de travail et de concevoir du matériel ergonomique au travers de l'étude des mouvements professionnels et de l'interaction Homme-machine. L'EMG peut aussi contribuer à la certification de certains produits professionnels.

### II.5.3 Place de l'EMG dans les sciences du sport

Le fait que l'EMGs puisse permettre l'analyse des tâches dynamiques rend cet outil particulièrement intéressant pour la recherche en sciences du sport. Les fonctions et coordinations musculaires lors de mouvements et postures prédéterminés sont largement étudiées par le biais de l'EMG sous l'angle de différentes disciplines scientifiques du sport.

En effet, l'EMG fournit de multiples informations liées à la neurophysiologie et à l'anatomie musculaire. L'amélioration du rendement d'un geste sportif implique l'utilisation optimale des muscles mis en jeu, afin d'agir sur l'économie d'énergie, l'efficacité et la prévention des blessures. L'analyse EMG d'un mouvement sportif

fournit des indications sur les paramètres de l'activité musculaire, qui peuvent aider à l'optimisation de la performance des athlètes. Les phénomènes musculaires de coordination et de coactivation, à l'origine du mouvement sont Cadre théorique également étudiés au travers des sciences du sport afin de contribuer à l'amélioration des connaissances des gestes sportifs et donc de la performance associée. De manière plus pratique, l'EMGs est un outil d'évaluation aussi utilisé pour mesurer l'effet de la fatigue, du matériel, du niveau d'expertise ou des méthodes d'entraînement sur l'activité musculaire dans une discipline sportive. (voir Figure II.26 ).



**Figure II.26 :** Exemple l'EMG dans les sciences du sport

#### **II.5.4 Application clinique**

Le domaine médical a bénéficié de l'apparition de l'EMG en tant qu'outil de diagnostic. L'EMG est une aide importante dans la pratique de la neurochirurgie, l'orthopédie et la neurologie. En effet, elle a contribué aux études sur les phénomènes de faiblesse, fatigue, et paralysie musculaires, ainsi que les vitesses de conduction nerveuse, les lésions des unités motrices (UM) ou neurogénétique et des problèmes myogénétiques [1]. Plus particulièrement, l'analyse de la locomotion est très présente au sein de la littérature EMG médical. (voir Figure II.27 ).



**Figure II.27 :** Exemple l'EMG Le domaine médical

## II.6 Conclusion:

A travers ce chapitre l'anatomie et la physiologie du muscle a été présentée. Cette présentation nous a permis de comprendre la source de signal électromyogramme EMG, et comment il est généré par les unités motrices des fibres musculaires. Elle a nous aussi permis de connaître comment ce signal peut être détecté à travers des électrodes de surface ou des électrodes aiguilles. Enfin, cette présentation a mis en exergue la notion de fatigue musculaire et l'importance du signal EMG dans l'évaluation de cette fatigue à travers les variations dans ses caractéristiques d'amplitude et fréquentielle.



## CHAPITRE III

### RESULTATS EXPERIMENTAUX

#### III.1 Introduction

Le principe des examens électromyogramme (EMG) repose respectivement sur l'acquisition des signaux électrique qui proviennent : d'activités musculaires, comme nous l'avons vue au chapitre2 ces signaux subissent des opérations de conditionnement et de mise en forme a l'aide d'un circuit électronique. Un enregistrement des signaux sur un pc est envisagé pour numérisé le signal et d'effectuer des opérations de traitement numérique. Grâce aux nouveaux procédés de manipulation et avec le développement des microordinateurs et calculateurs il devient en effet possible de visualiser et enregistrer ces activités.

Ce chapitre alors propose d'aborder la question comment enregistrer le signal EMG ? On étudiera alors les procédures de passage de l'analogique vers le numérique et l'enregistrement de ces activité qui repose essentiellement sur l'acquisition temps réel à l'aide d'une carte Arduino, que nous l'aborderons dans cette partie.


#### III.2 Présentation d'Arduino

##### III.2.1 Histoire d'Arduino :

Le projet Arduino est né suite à une problématique soulevée par cette équipe de Designers. En effet, à cette époque, les outils nécessaires à la création de projets d'interactivité étaient complexes et onéreux (entre 80 et 100 euros). Ces coûts souvent trop élevés rendaient difficiles le développement par les étudiants de nombreux projets



Figure III.1 logo Arduino [31].



et ceci ralentissait la mise en œuvre concrète de leur apprentissage. Jusqu'alors, les outils de prototypage étaient principalement dédiés à l'ingénierie, la robotique et aux domaines techniques. Ils sont puissants mais leurs processus de développement sont longs et ils sont difficiles à apprendre et à utiliser pour les artistes, les designers d'interactions et, plus généralement, pour les débutants.

Afin de palier à ce problème, l'équipe développa le projet Arduino en s'inspirant de l'environnement de Processing (langage de programmation développé dès 2001) et du projet Wiring, prédécesseur d'Arduino développé par Hernando Barragan en 2003. L'objectif était d'arriver à un dispositif simple à utiliser, dont les coûts seraient peu élevés, les codes et les plans « libres » (c'est-à-dire dont les sources sont ouvertes et peuvent être modifiées, améliorées, distribuées par les utilisateurs eux-mêmes) et, enfin, « multi-plates-formes » (indépendant du système d'exploitation utilisé).

Le nom Arduino trouve son origine dans le nom du bar dans lequel l'équipe avait l'habitude de se retrouver. Arduino est aussi le nom d'un roi italien, personnage historique de la ville « Arduin d'Ivrée », ou encore un prénom italien masculin qui signifie « l'ami fort » [31].

### III.2.2 Définition

Arduino est une plate-forme de prototypage d'objets interactifs à usage créatif constituée d'une carte électronique et d'un environnement de programmation.

Sans tout connaître ni tout comprendre de l'électronique, cet environnement matériel et logiciel permet à l'utilisateur de formuler ses projets par l'expérimentation directe avec l'aide de nombreuses ressources disponibles en ligne [31].

Pont tendu entre le monde réel et le monde numérique, Arduino permet d'étendre les capacités de relations humain/machine ou environnement/machine.

Arduino est un projet dont les sources sont ouvertes : c'est à dire que les plans, les schémas, etc. sont accessibles et libres de droits. De plus, la très importante communauté d'utilisateurs et de concepteurs permet à chacun de trouver les réponses à ses questions et apporte un boulot énorme de documentation du projet [32].

### III.2.3 Le but et l'utilité

Le système Arduino, nous donne la possibilité d'allier les performances de la programmation à celles de l'électronique. Plus précisément, nous allons programmer des systèmes électroniques. Le gros avantage de l'électronique programmée c'est qu'elle simplifie grandement les schémas électroniques et par conséquent, le coût de la réalisation, mais aussi la charge de travail à la conception d'une carte électronique.

L'utilité est sans doute quelque chose que l'on perçoit mal lorsque l'on débute, mais une fois que vous serez rentré dans le monde de l'Arduino , vous serez fasciné par l'incroyable puissance dont il est question et des applications possibles [33].

### III.2.4 Les applications

Le système Arduino nous permet de réaliser un grand nombre de choses, qui ont une application dans tous les domaines . Je vous l'ai dit, l'étendue de l'utilisation de l'Arduino est gigantesque. Pour vous donner quelques exemples, vous pouvez :

- ✓ Contrôler les appareils domestiques
- ✓ Fabriquer votre propre robot
- ✓ Faire un jeu de lumières
- ✓ Communiquer avec l'ordinateur
- ✓ Télécommander un appareil mobile (modélisme)
- ✓ etc...

## III.3 Les avantages de la technologie Arduino

- Multi plate-forme : même ide pour linux, mac os ou Windows
- Programmation claire et intuitive
- Entièrement open-source : hardware et software
- Possibilité d'utiliser l'Arduino comme programmeur d'AVR
- Communauté très importante : forum officiel, sites tiers, ...
- Bibliothèques officielles ou non
- Le plus important : on branche, et ça marche [34].
- ...ect.

### III.4 L'environnement de la programmation

Le logiciel de programmation de la carte Arduino sert d'éditeur de code (langage proche du C). Une fois, le programme tapé ou modifié au clavier, il sera transféré et mémorisé dans la carte à travers de la liaison USB. Le câble USB alimente à la fois en énergie la carte et transporte aussi l'information ce programme appelé IDE Arduino.

### III.5 Interface du logiciel Arduino

Comme n'importe quel langage de programmation, une interface souple et simple est exécutable sur n'importe quel système d'exploitation Arduino basé sur la programmation en C et C++.

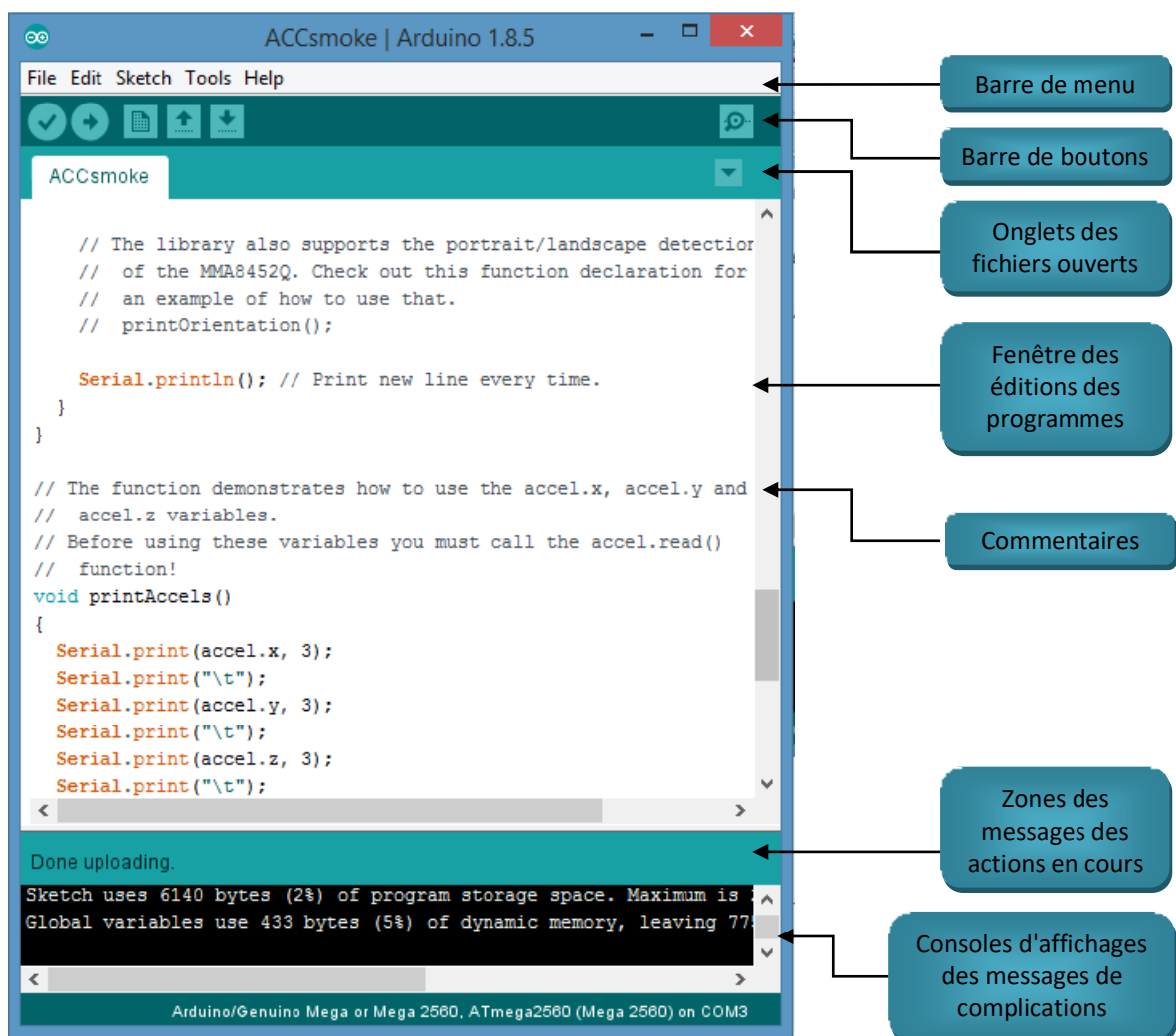
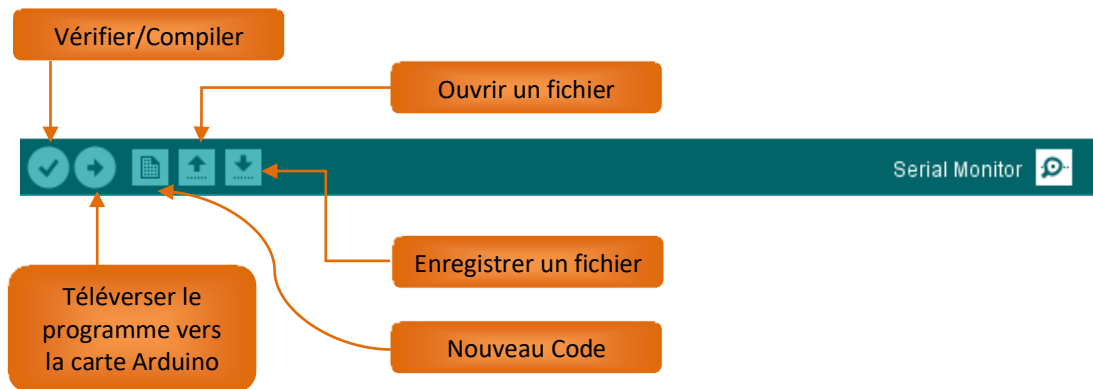
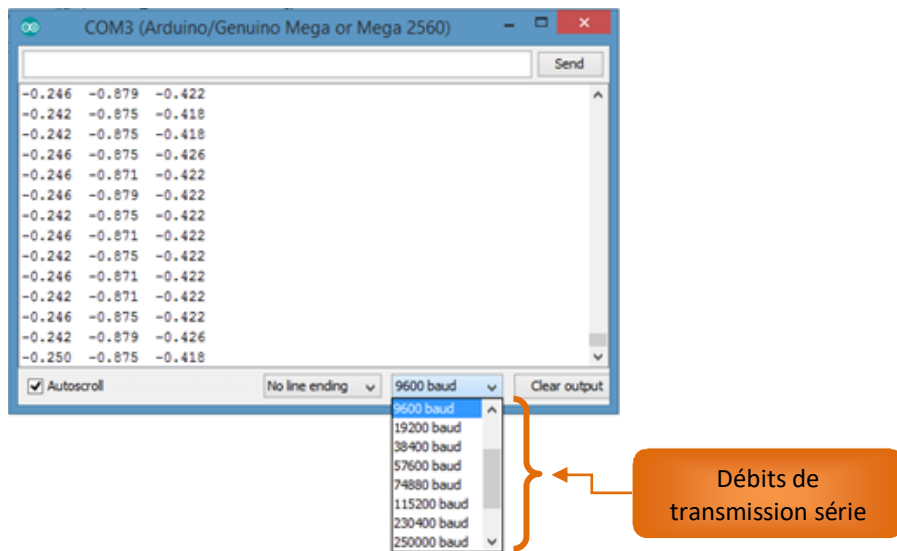


Figure III.2 Interface du logiciel Arduino [35].



**Figure III.3** Barre de boutons Arduino

Le logiciel comprend aussi un moniteur série (Equivalent à HyperTerminal) qui permet de d'afficher des messages textes émis par la carte Arduino et d'envoyer des caractères vers la carte Arduino (en phase de fonctionnement) :



**Figure III.4** HyperTerminal de l'Arduino (Moniteur Série)

### III.6 Etude de la partie matérielle et logiciel du projet

#### III.6.1 la liste des outils utilisés durant ce travail (Partie Matérielle):

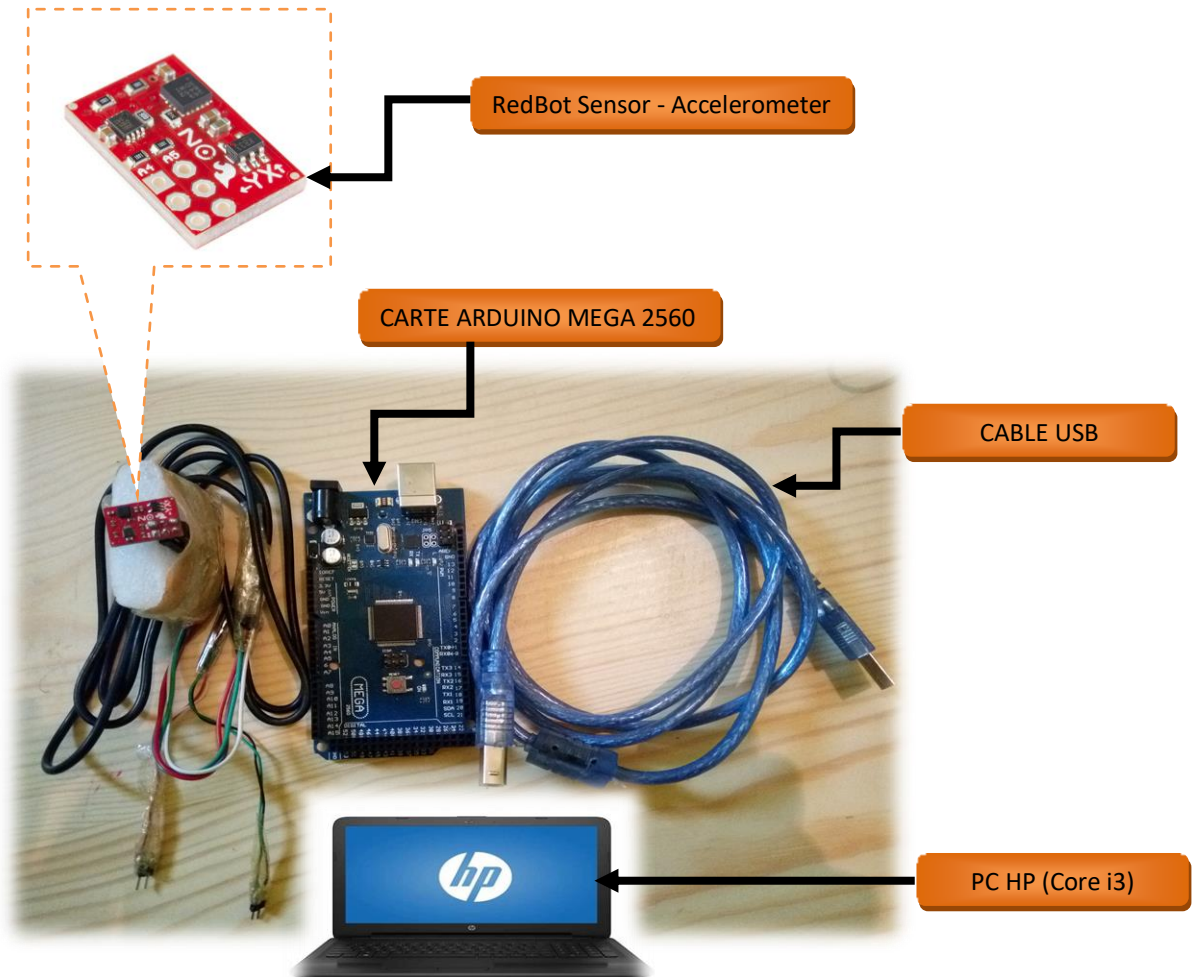


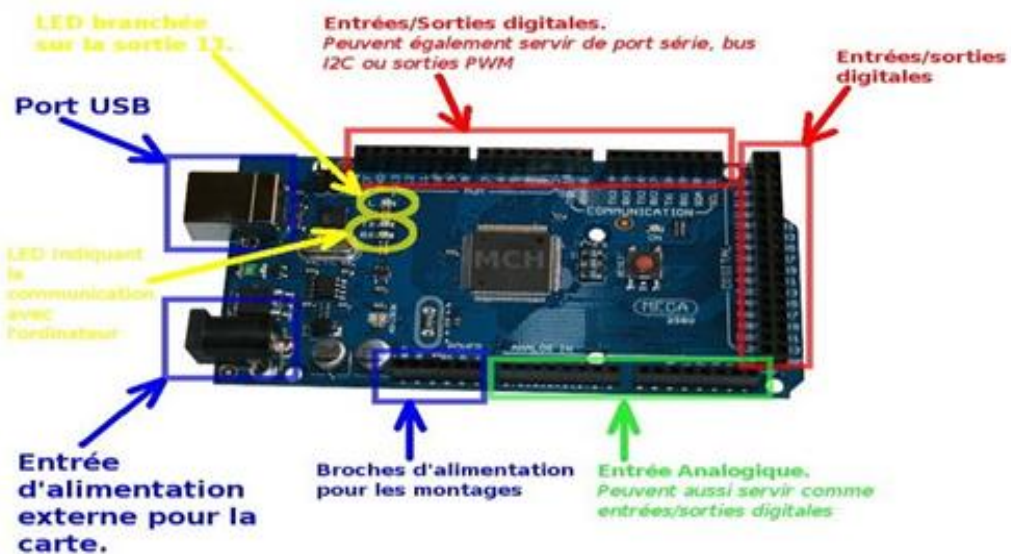
Figure III.5 la liste des outils utilisés.

#### 1. La carte Arduino MEGA 2560 :

La carte Arduino Mega 2560 est une carte à microcontrôleur basée sur un ATmega2560 [36] . (voir Figure III.6)

Cette carte dispose :

- de 54 broches numériques d'entrées/sorties (dont 14 peuvent être utilisées en sorties PWM (largeur d'impulsion modulée)),
- de 16 entrées analogiques (qui peuvent également être utilisées en broches entrées/sorties numériques),
- de 4 UART (port série matériel),
- d'un quartz 16Mhz,
- d'une connexion USB,
- d'un connecteur d'alimentation jack,
- d'un connecteur ICSP (programmation "in-circuit"),
- et d'un bouton de réinitialisation (reset).



**Figure III.6** Caractéristiques La carte Arduino MEGA 2560 [36].

Elle contient tout ce qui est nécessaire pour le fonctionnement du microcontrôleur; Pour pouvoir l'utiliser et se lancer, il suffit simplement de la connecter à un ordinateur à l'aide d'un câble USB (ou de l'alimenter avec un adaptateur secteur ou une pile, mais ceci n'est pas indispensable, l'alimentation étant fournie par le port USB). La carte Arduino Mega 2560 est compatible avec les circuits imprimés prévus pour les cartes Arduino Uno, Duemilanove ou Diecimila [37].

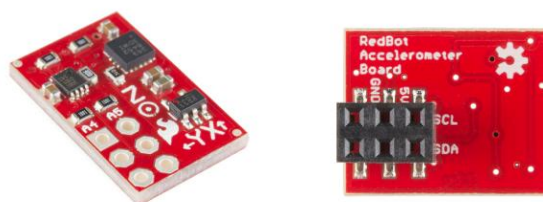
➤ Synthèse des caractéristiques de la carte Arduino MEGA 2560

Microcontrôleur	ATmega2560
Tension de fonctionnement	5V
Tension d'alimentation (recommandée)	7-12V
Tension d'alimentation (limites)	6-20V
Broches E/S numériques	54 (dont 14 disposent d'une sortie PWM)
Broches d'entrées analogiques	16 (utilisables en broches E/S numériques)
Intensité maxi disponible par broche E/S (5V)	40 mA
Intensité maxi disponible pour la sortie 3.3V	50 mA
Intensité maxi disponible pour la sortie 5V	500 mA max si port USB utilisé seul
Mémoire Programme Flash	256 KB dont 8 KB sont utilisés par le bootloader
Mémoire SRAM (mémoire volatile)	8 KB
Mémoire EEPROM (mémoire non volatile)	4 KB
Vitesse d'horloge	16 MHz

**Table III.1** Caractéristiques de la carte Arduino MEGA 2560. [37]

## 2. RedBot Sensor - Accelerometer :

Le capteur d'accéléromètre est un ajout pour votre RedBot qui fournit une détection de bosse et de mouvement. Le capteur fonctionne en mesurant les forces d'accélération sur les axes x, y et z. En mesurant la quantité d'accélération (ou l'absence de celle-ci) .[38] (voir Figure III.7).



**Figure III.7** RedBot Sensor - Accelerometer. [38]

➤ Caractéristiques RedBot Sensor - Accelerometer :

Tension de fonctionnement	5V
Axe	Triple Axis
Résolution	12 bits de résolution
Orientation	Orientation (Portrait / Paysage) Détection

**Table III.2** Caractéristiques de RedBot Sensor - Accelerometer [39]

3. Caractéristiques d'ordinateur portable HP 250 :

Processeur	Intel Core i3 4005U CPU 1.7 GHZ
Mémoire	DDR3 L de 8 Go
Poids	4 Kg.
Écran	HD de 15.6"
Stockage HDD	500Go
Graphique	Intel HD Graphics
Windows	8.1 Pro (64 bits)

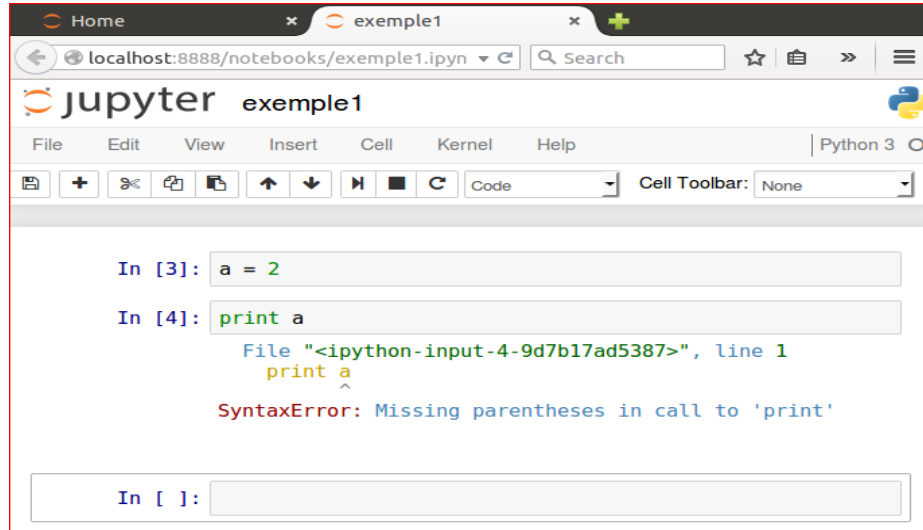
**Table III.3** Caractéristiques d'ordinateur Portable HP 250

### III.6.2 Langage de programmation (Partie logiciel du projet):

#### 1. Editeur de code **Jupyter Notebook** :

Jupyter Notebook est une application web utilisée pour programmer dans plus de 40 langages de programmation, dont Julia, Python, R, Ruby ou encore Scala1. Jupyter est une évolution du projet IPython. Jupyter permet de réaliser des notebooks, c'est-à-dire des programmes contenant à la fois du texte en markdown et du code en Julia, Python, R....Ces notebooks sont utilisés en science des données pour explorer et analyser des données [40].

## 2. Interface du Jupyter Notebook



**Figure III.8** Interface du Jupyter Notebook [40].

## 3. Présentation du langage Python :

Python est un langage portable, dynamique, extensible, gratuit, qui permet (sans l'imposer) une approche modulaire et orientée objet de la programmation. Python est développé depuis 1989 par Guido van Rossum et de nombreux contributeurs bénévoles [41].



**Figure III.9** Logo Python.[42]



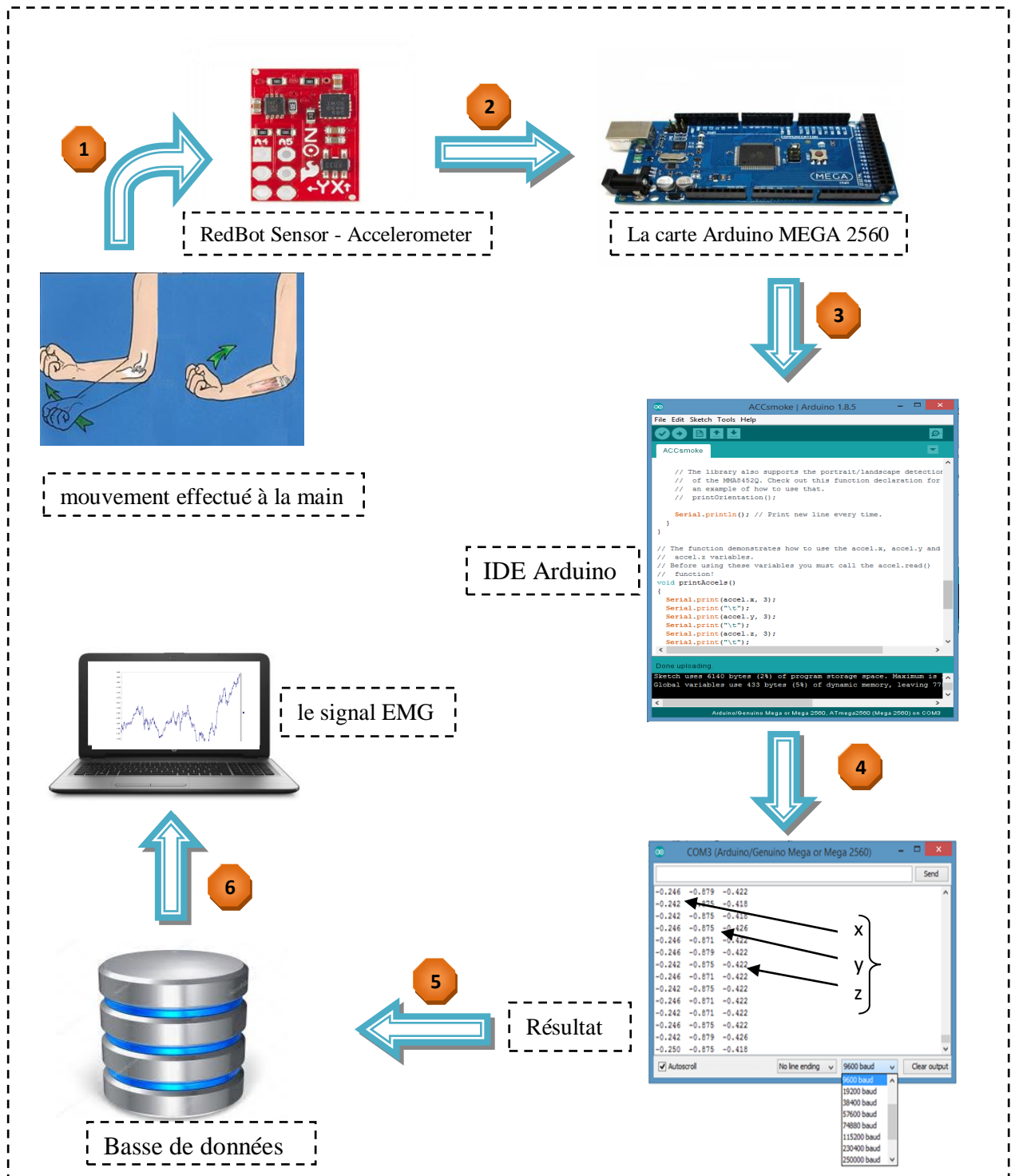
**Figure III.10** Guido van Rossum.[42]

#### 4. Caractéristiques du langage **Python** :

Détaillons un peu les principales caractéristiques de Python, plus précisément, du langage et de ses deux implantations actuelles [41] :

- Python est portable, non seulement sur les différentes variantes d'Unix, mais aussi sur les OS propriétaires : Mac OS, BeOS, NeXTStep, MS-DOS et les différentes variantes de Windows. Un nouveau compilateur, baptisé JPython, est écrit en Java et génère du bytecode Java.
- Python est gratuit, mais on peut l'utiliser sans restriction dans des projets commerciaux.
- Python convient aussi bien à des scripts d'une dizaine de lignes qu'à des projets complexes de plusieurs dizaines de milliers de lignes.
- La syntaxe de Python est très simple et, combinée à des types de données évolués (listes, dictionnaires...), conduit à des programmes à la fois très compacts et très lisibles. À fonctionnalités égales, un programme Python (abondamment commenté et présenté selon les canons standards) est souvent de 3 à 5 fois plus court qu'un programme C ou C++ (ou même Java) équivalent, ce qui représente en général un temps de développement de 5 à 10 fois plus court et une facilité de maintenance largement accrue.
- Python gère ses ressources (mémoire, descripteurs de fichiers...) sans intervention du programmeur, par un mécanisme de comptage de références (proche, mais différent, d'un garbage collector).
- Il n'y a pas de pointeurs explicites en Python.
- Python est (optionnellement) multi-threadé.
- Python est orienté-objet. Il supporte l'héritage multiple et la surcharge des opérateurs. Dans son modèle objets, et en reprenant la terminologie de C++, toutes les méthodes sont virtuelles.
- Python intègre, comme Java ou les versions récentes de C++, un système d'exceptions, qui permettent de simplifier considérablement la gestion des erreurs.
- ...ect.

**III.7 Un diagramme montrant un résumé des étapes utilisées pour obtenir le signal EMG en fonction du mouvement effectué à la main:**



**Figure III.11** Un diagramme montrant un résumé des étapes utilisées pour obtenir le signal EMG

### III.8 L'architecture du système proposé:

On a défini notre système et son rôle en mode identification, ce qui détermine l'identité d'un individu inconnu à partir d'une base de données d'identités, on parle de test :

1 : N. Dans ce cas, le système peut alors soit attribuer à l'individu inconnu l'identité correspondant au profil le plus proche retrouvé dans la base, soit rejeter l'individu. Les étapes de ce système sont représentées dans la figure III.12 comme suite [43] :

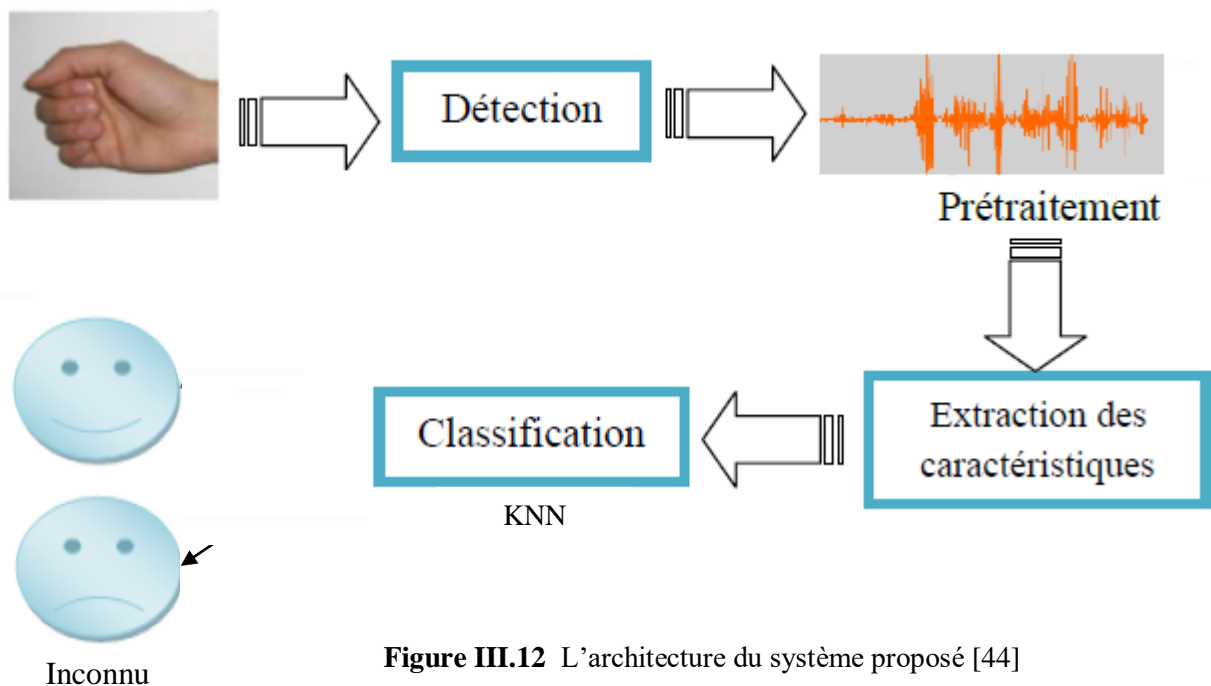


Figure III.12 L'architecture du système proposé [44]

### III.9 Features et Classification du signal EMG

La détection des mouvements de la main se font grâce à électrodes positionnées sur l'avant-bras qui vont capter l'activité musculaire et transmettre ainsi un signal d'électromyographie superficiel (signal EMGs) qui est ensuite traité par ordinateur. , peuvent être calculés les paramètres (features) :

Le Mean Absolute Value (**MAV**) et la Variance (**VAR**) sont, comme leurs noms l'indique, la moyenne et la variance du signal, le Simple Square Integral (**SSI**) est son intégrale et donc l'aire sous la courbe, tandis que le Waveform Length (**WL**) est l'aire sous la courbe positive uniquement, et le Root Mean Square (**RMS**) [45] :

$$MAV = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N |x_n| \quad (3)$$

$$VAR = \frac{1}{N-1} \sum_{n=1}^N x_n^2 \quad (4)$$

$$SSI = \sum_{n=1}^N |x_n|^2 \quad (5)$$

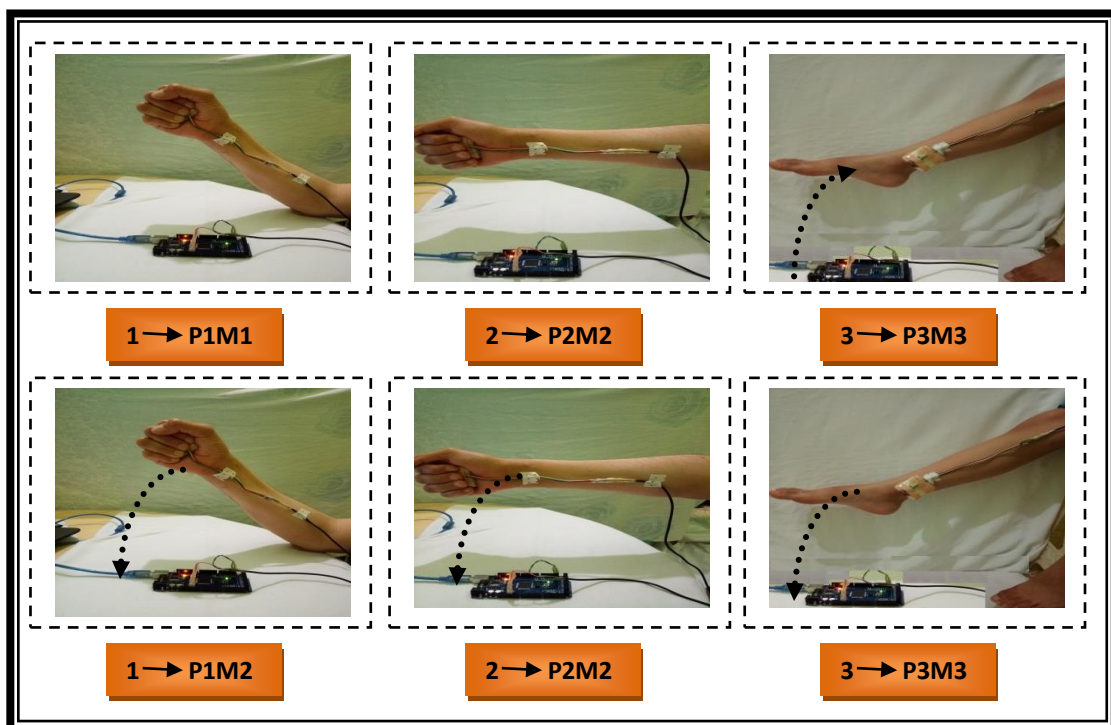
$$WL = \sum_{n=1}^{N-1} |x_{n+1} - x_n| \quad (6)$$

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N x_n^2} \quad (7)$$

### III.10 Résultats et Discussions

#### ➤ L'acquisition des données

Les données ont été collectées en fonction des mouvements effectués par trois personnes différentes les unes des autres (voir Figure III.13).

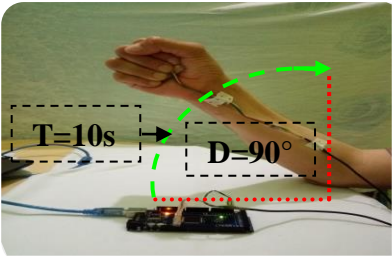
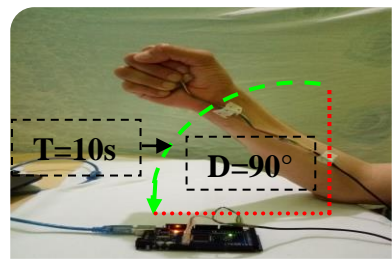


**Figure III.13** Les mouvements effectués (**P**: Personne - **M**: Mouvement)

La base de données a été enregistrée en sélectionnant 3 personnes chaque personne avec deux mouvements, chaque mouvement prend un temps de 10 secondes, ce qui signifie que nous avons six mouvements différents. Les données sont enregistrées selon les tableaux suivants:

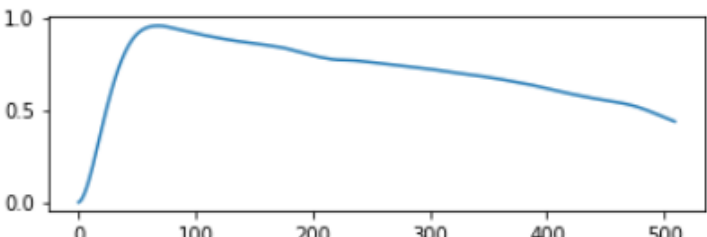
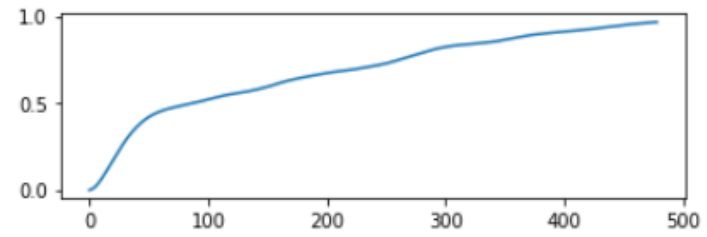


➤ 1er Personne :

Etape: 1	Mouvements utilisés	Base de données obtenues																								
<div style="background-color: #e67e22; color: white; padding: 5px; text-align: center; font-weight: bold;">1er Personne</div>	 <p style="text-align: center; border: 1px dashed black; padding: 2px;">1-Mouvement de bas en haut</p>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr><td>0.922</td><td>0.266</td><td>0.027</td></tr> <tr><td>0.922</td><td>0.262</td><td>0.023</td></tr> <tr><td>0.922</td><td>0.262</td><td>0.027</td></tr> <tr><td>0.922</td><td>0.266</td><td>0.027</td></tr> <tr><td>0.926</td><td>0.250</td><td>0.039</td></tr> <tr><td>0.922</td><td>0.254</td><td>0.051</td></tr> <tr><td>0.938</td><td>0.258</td><td>0.063</td></tr> <tr><td>0.945</td><td>0.273</td><td>0.082</td></tr> </table>	0.922	0.266	0.027	0.922	0.262	0.023	0.922	0.262	0.027	0.922	0.266	0.027	0.926	0.250	0.039	0.922	0.254	0.051	0.938	0.258	0.063	0.945	0.273	0.082
	0.922	0.266	0.027																							
0.922	0.262	0.023																								
0.922	0.262	0.027																								
0.922	0.266	0.027																								
0.926	0.250	0.039																								
0.922	0.254	0.051																								
0.938	0.258	0.063																								
0.945	0.273	0.082																								
 <p style="text-align: center; border: 1px dashed black; padding: 2px;">2-Mouvement de haut en bas</p>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr><td>0.387</td><td>-0.078</td><td>0.922</td></tr> <tr><td>0.391</td><td>-0.082</td><td>0.918</td></tr> <tr><td>0.391</td><td>-0.082</td><td>0.918</td></tr> <tr><td>0.395</td><td>-0.078</td><td>0.918</td></tr> <tr><td>0.391</td><td>-0.074</td><td>0.918</td></tr> <tr><td>0.406</td><td>-0.086</td><td>0.926</td></tr> <tr><td>0.406</td><td>-0.098</td><td>0.922</td></tr> <tr><td>0.398</td><td>-0.094</td><td>0.926</td></tr> </table>	0.387	-0.078	0.922	0.391	-0.082	0.918	0.391	-0.082	0.918	0.395	-0.078	0.918	0.391	-0.074	0.918	0.406	-0.086	0.926	0.406	-0.098	0.922	0.398	-0.094	0.926	
0.387	-0.078	0.922																								
0.391	-0.082	0.918																								
0.391	-0.082	0.918																								
0.395	-0.078	0.918																								
0.391	-0.074	0.918																								
0.406	-0.086	0.926																								
0.406	-0.098	0.922																								
0.398	-0.094	0.926																								

**Table III.4** Données obtenues par personne1

➤ Le signal EMG obtenu

Etape: 1	Le signal EMG
<div style="background-color: #e67e22; color: white; padding: 5px; text-align: center; font-weight: bold;">1er Personne</div>	 <p style="text-align: center;">Le signal EMG Mouvement-1</p>
	 <p style="text-align: center;">Le signal EMG Mouvement-2</p>

**Table III.5** Le signal EMG par personne1



➤ 2<sup>ème</sup> Personne :

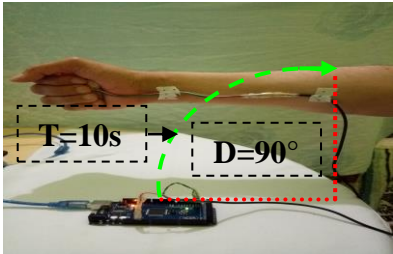
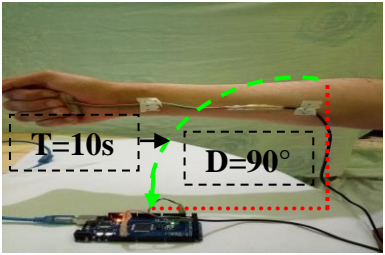
Etape: 1	Mouvements utilisés	Base de données obtenues																								
2 <sup>ème</sup> Personne	 <p>1-Mouvement de bas en haut</p>	<table border="1"> <tr><td>0.566</td><td>0.195</td><td>0.828</td></tr> <tr><td>0.563</td><td>0.195</td><td>0.820</td></tr> <tr><td>0.563</td><td>0.191</td><td>0.820</td></tr> <tr><td>0.563</td><td>0.187</td><td>0.820</td></tr> <tr><td>0.559</td><td>0.176</td><td>0.813</td></tr> <tr><td>0.559</td><td>0.148</td><td>0.793</td></tr> <tr><td>0.555</td><td>0.152</td><td>0.789</td></tr> <tr><td>0.559</td><td>0.172</td><td>0.793</td></tr> </table>	0.566	0.195	0.828	0.563	0.195	0.820	0.563	0.191	0.820	0.563	0.187	0.820	0.559	0.176	0.813	0.559	0.148	0.793	0.555	0.152	0.789	0.559	0.172	0.793
	0.566	0.195	0.828																							
0.563	0.195	0.820																								
0.563	0.191	0.820																								
0.563	0.187	0.820																								
0.559	0.176	0.813																								
0.559	0.148	0.793																								
0.555	0.152	0.789																								
0.559	0.172	0.793																								
 <p>2-Mouvement de haut en bas</p>	<table border="1"> <tr><td>0.969</td><td>0.176</td><td>-0.070</td></tr> <tr><td>0.965</td><td>0.180</td><td>-0.070</td></tr> <tr><td>0.965</td><td>0.180</td><td>-0.074</td></tr> <tr><td>0.965</td><td>0.180</td><td>-0.070</td></tr> <tr><td>0.961</td><td>0.180</td><td>-0.070</td></tr> <tr><td>0.969</td><td>0.184</td><td>-0.063</td></tr> <tr><td>0.965</td><td>0.187</td><td>-0.063</td></tr> <tr><td>0.957</td><td>0.207</td><td>-0.063</td></tr> </table>	0.969	0.176	-0.070	0.965	0.180	-0.070	0.965	0.180	-0.074	0.965	0.180	-0.070	0.961	0.180	-0.070	0.969	0.184	-0.063	0.965	0.187	-0.063	0.957	0.207	-0.063	
0.969	0.176	-0.070																								
0.965	0.180	-0.070																								
0.965	0.180	-0.074																								
0.965	0.180	-0.070																								
0.961	0.180	-0.070																								
0.969	0.184	-0.063																								
0.965	0.187	-0.063																								
0.957	0.207	-0.063																								

Table III.6 Données obtenues par personne2

➤ Le signal EMG obtenu

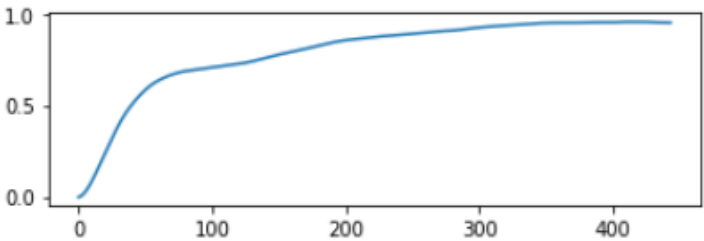
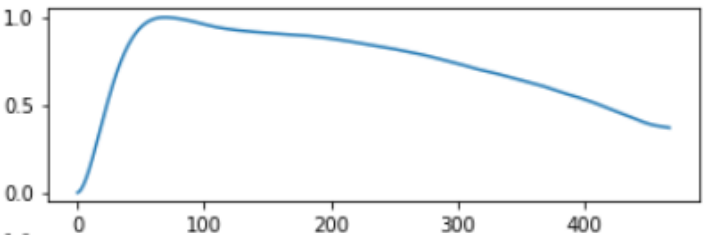
Etape: 1	Le signal EMG
2 <sup>ème</sup> Personne	 <p>Le signal EMG Mouvement-1</p>
	 <p>Le signal EMG Mouvement-2</p>

Table III.7 Le signal EMG par personne2



➤ 3<sup>ème</sup> Personne :

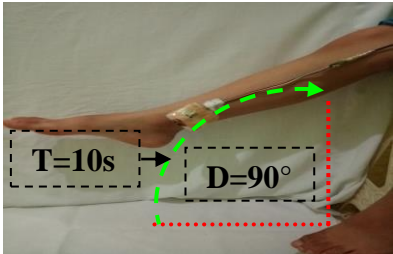
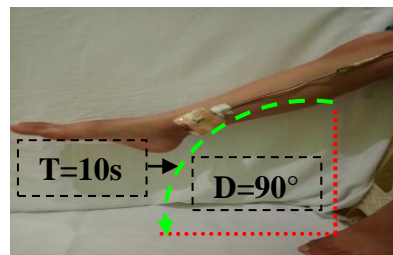
Etape: 1	Mouvements utilisés	Base de données obtenues																								
	 <p>1-Mouvement de bas en haut</p>	<table border="1"> <tr><td>0.477</td><td>-0.867</td><td>0.164</td></tr> <tr><td>0.477</td><td>-0.863</td><td>0.160</td></tr> <tr><td>0.477</td><td>-0.867</td><td>0.160</td></tr> <tr><td>0.480</td><td>-0.863</td><td>0.164</td></tr> <tr><td>0.473</td><td>-0.863</td><td>0.164</td></tr> <tr><td>0.473</td><td>-0.863</td><td>0.168</td></tr> <tr><td>0.473</td><td>-0.867</td><td>0.176</td></tr> <tr><td>0.473</td><td>-0.871</td><td>0.176</td></tr> </table>	0.477	-0.867	0.164	0.477	-0.863	0.160	0.477	-0.867	0.160	0.480	-0.863	0.164	0.473	-0.863	0.164	0.473	-0.863	0.168	0.473	-0.867	0.176	0.473	-0.871	0.176
0.477	-0.867	0.164																								
0.477	-0.863	0.160																								
0.477	-0.867	0.160																								
0.480	-0.863	0.164																								
0.473	-0.863	0.164																								
0.473	-0.863	0.168																								
0.473	-0.867	0.176																								
0.473	-0.871	0.176																								
<p>3<sup>ème</sup> Personne</p>	 <p>2-Mouvement de haut en bas</p>	<table border="1"> <tr><td>-0.078</td><td>0.141</td><td>0.996</td></tr> <tr><td>-0.070</td><td>0.145</td><td>0.992</td></tr> <tr><td>-0.078</td><td>0.148</td><td>0.992</td></tr> <tr><td>-0.078</td><td>0.148</td><td>0.992</td></tr> <tr><td>-0.074</td><td>0.148</td><td>0.996</td></tr> <tr><td>-0.082</td><td>0.148</td><td>0.992</td></tr> <tr><td>-0.078</td><td>0.148</td><td>0.988</td></tr> <tr><td>-0.078</td><td>0.148</td><td>0.992</td></tr> </table>	-0.078	0.141	0.996	-0.070	0.145	0.992	-0.078	0.148	0.992	-0.078	0.148	0.992	-0.074	0.148	0.996	-0.082	0.148	0.992	-0.078	0.148	0.988	-0.078	0.148	0.992
-0.078	0.141	0.996																								
-0.070	0.145	0.992																								
-0.078	0.148	0.992																								
-0.078	0.148	0.992																								
-0.074	0.148	0.996																								
-0.082	0.148	0.992																								
-0.078	0.148	0.988																								
-0.078	0.148	0.992																								

Table III.8 Données obtenues par personne3

➤ Le signal EMG obtenu

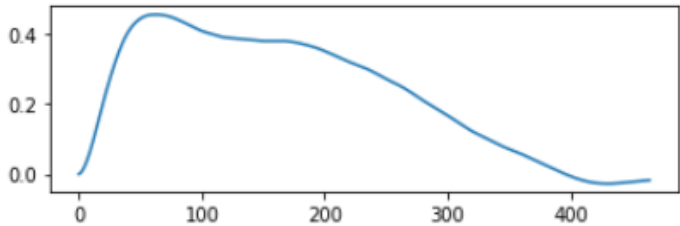
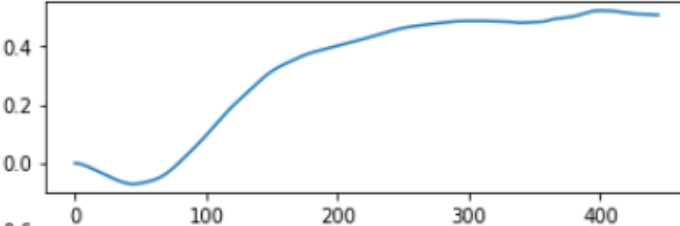
Etape: 1	Le signal EMG
	 <p>Le signal EMG Mouvement-1</p>
<p>3<sup>ème</sup> Personne</p>	 <p>Le signal EMG Mouvement-2</p>

Table III.9 Le signal EMG par personne3

### III.11 Paramètres (Features) des signaux EMGs

Le Signal	Les Mouvements	MAV	VAR	SSI	WL	RMS
<b>EMG1</b>	P1M1	1.0036	0.9896	493.843	501.809	0.9876
<b>EMG2</b>	P1M2	0.9429	0.9301	464.121	471.451	0.9282

**Table III.10:** Paramètre le signal EMG / Personne1

Le Signal	Les Mouvements	MAV	VAR	SSI	WL	RMS
<b>EMG1</b>	P2M1	0.8735	0.8614	429.842	436.792	0.8596
<b>EMG2</b>	P2M2	0.9223	0.9111	454.639	461.190	0.9092

**Table III.11:**Paramètre le signal EMG / Personne2

Le Signal	Les Mouvements	MAV	VAR	SSI	WL	RMS
<b>EMG1</b>	P3M1	0.9314	0.9349	466.528	465.703	0.9330
<b>EMG2</b>	P3M2	0.8892	0.8907	444.461	444.635	0.8889

**Table III.12:** Paramètre le signal EMG / Personne3

### III.12 Classification du signal EMG:

Puisque nous faisons des expériences sur un nombre spécifique de personnes en effectuant des mouvements spécifiques, cela signifie que notre base de données est petite, l'algorithme KNN ne peut pas être appliqué.

Alors Nous avons calculé toutes les Paramètres (Features) manuellement.

### III.13 Conclusion

L'objectif principal de ce chapitre est d'extraire toutes les caractéristiques du signal EMG à travers lesquelles les individus peuvent être identifiés en fonction de leurs caractéristiques biologiques Les études actuelles se concentrent sur le remplacement des méthodes traditionnelles de vérification des individus, par exemple mots de passe, symboles de sécurité, etc. Le signal EMG obtenu de chaque individu.



## Conclusion Générale

En général, la biométrie vise à identifier les individus, en particulier leurs caractéristiques biologiques. Cette pratique tend à remplacer les méthodes traditionnelles de vérification de l'identité, la forme des mains, l'iris, les empreintes digitales, les détails du visage, la marche, ...etc.

Dans la vie quotidienne, la biométrie contient de nombreuses applications et recherche de nouvelles méthodes biométriques en temps opportun. Le but de notre mémoire est de développer et d'évaluer de nouvelles méthodes biométriques basées sur des propriétés non personnalisables qui ne peuvent pas être modifiées intentionnellement. Dans ce contexte, les signaux physiologiques sont pris en compte. Ainsi, nous avons suggéré que la méthode d'identification biométrique est basée sur l'utilisation de signaux de vitesse d'accélération d'un mouvement (EMG), et les interactions motrices utilisées après la stimulation électrique.

Cette méthode consiste principalement à obtenir des signaux physiologiques chez des personnes en bonne santé. Puis extraire les propriétés pertinentes. La phase d'identification automatique est réalisée via la machine Learning. Selon les résultats obtenus à partir des expériences menées par les accélération du mouvements EMG, la performance est obtenue par des variations des caractéristiques pour chaque mouvement d'un individu .


Ce travail nous ouvre plusieurs perspectives, notamment pour les études à venir, que l'on récapitule comme suit :


1. Les méthodes incorporés dans ce travail peuvent être améliorées en prenant en considération d'autres conditions d'acquisition et en procédant à des évaluations sur de grandes bases de données (e.g. une centaine d'individus).
2. Afin bien étudier la robustesse de notre approche, Nous introduirons un nouveau scénario qui contient des nouveaux facteurs liés au la vie quotidienne des individus (Age, Santé,...etc.).
3. De nouvelles méthodes de classification basées sur le deep learning doit être testée et comparée.
4. Nous développerons des techniques hybrides, fondées sur la fusion des paramètres EMG-ECG, gait, EEG.



# Bibliographie

- [1] F.Perronnin, J. Dugelay, An Introduction to Biometrics Audio and Video-Based Person Authentication . Volume 19 – n4,2002.
  - [2] [www.univ-tebessa.dz/fichiers/master/master\\_2168.pdf](http://www.univ-tebessa.dz/fichiers/master/master_2168.pdf), Consulté le :10/03/2018.
  - [3] Chiheb Amira, Bouhalit nasereddine, Reconnaissance de visages par LDA ,(Licence) U.Guelma, 2013.
  - [4] Jin Su Kim, Sung Bum Pan, A Study on EMG-based Biometrics Chosun University, Dong-gu, Gwangju, 61452, Korea in 2016.
  - [5] Anis Chaari, basée sur une classification non supervisée. Modélisation et simulation, Université d'Evry-Val d'Essonne, 2009.Français.
  - [6] Benchennane Ibtissam, Etude et mise au point d'un procédé biométrique multimodale pour la reconnaissance des individus, (Doctorat) USTO, 2016.
  - [7] [www.edu.upmc.fr/sdi/signal-images/biometrie/Technologies%20biométriques.doc](http://www.edu.upmc.fr/sdi/signal-images/biometrie/Technologies%20biométriques.doc), Consulté le 12/03/2018.
  - [8] <https://www.biometrie-online.net/biometrie/f-a-q>,Consulté le :14/03/2018.
  - [9] Samuel Rota, App Ort de l'électromyographie de surface en Tennis,(Doctorat), LYON1 , 2006.
  - [10] Mokdad Aicha ,Medjahed Fatiha,Réalisation d'un dispositif pour l'évaluation de l'effort musculaire à travers le signal Electromyogramme EMG,(Master),Tlemcen, 2017.
  - [11] <https://www.vicodellaforma.com/fr/fibres-musculaires-sport-developper-fitness>, Consulté le 12/04/2018.
  - [12] Mekki Hanane,Merhoum Chahraze, d'étude et réalisation d'un système d'acquisition de l'activité musculaire, (Master), Tlemcen, 2016
  - [13] muscle squelettique,AFM, Association Française contre les Moypathies, Juin 2003, Français.
  - [14] [tpe-les-muscles.e-monsite.com/pages/les-differents-types...muscles/les-muscles.html](http://tpe-les-muscles.e-monsite.com/pages/les-differents-types...muscles/les-muscles.html), Consulté le 12/04/2018.
  - [15] <http://renaudpradere.wixsite.com/tpe-pacemaker-tanro/blank-u111m>, Consulté le 12/04/2018.
-

- 
- 
- [16] Med Zahak Jamal , Signal acquisition using surface EMG and circuit design considerations for robotic prosthesis, Ganesh R. Naik, ISBN 978-953-51-0805-4, 2011
- [17] <http://anatomyandphysiology.com/muscle-mechanics-fascicle-arrangement/>, Consulté le 14/04/2018.
- [18] Tamatha R.Barbeau .ph.D Muscle Physiology Supplements Francis Mario university
- [19] <https://www.reseau-canope.fr/corpus/video/le-muscle-moteur-du-mouvement-119.html>, Consulté le 14/04/2018.
- [20] J-M Mienville ,physiologie musculaire, uns.
- [21] <http://amar-constantine.e-monsite.com/pages/anatomie-physiologie/physiologie-de-laplaque-motrice.html>, consulté le 14/04/2018.
- [22] Fédération française sport pour tous, le mecanisme de la contraction.pdf, 2009.français.
- [23] <https://douleurs-musculaires.ooreka.fr/comprendre/emg>, consulté le 15/04/2018.
- [24] Hua CAO.Modélisation et évaluation expérimentale de la relation entre le signal EMG de surface et la force musculaire,Université de Technologie de Compiègne ,2010
- [25] Mebarkia kamel. Paramétrisation des potentiels d'action d'une unité motrice détectés non-invasivement . universite ferhat abbas –setif 1- UFAS (Algérie)2014
- [26] kamali t, boostani r, parsaei h a hybrid classifier for characterizing motor unit action potentials in diagnosing neuromuscular disorders j biomed phys eng 2013.
- [27] Carlo J. De Luca, Alexander Adam, Robert Wotiz, L. Donald Gilmore, and S. Hamid Nawab Decomposition of Surface EMG Signals Boston University, Boston, Massachusetts2006.
- [28] Mathieu-Dupas,Algorithme des k plus proches voisins pondérés et application en diagnostic.pdf, 42èmes Journées de Statistique, 2010, Marseille, France, France. 2010.
- [29] <https://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89lectrocardiographie>, consulté le 05/05/2018.
- [30] FOURASTIE Michaël, Les troubles du rythme cardiaque et de la conduction, Université Bordeaux, 2016.Français.
- [31] <http://cours.education/dufacilitateur/2016/06/01/arduino-qui-es-tu/>,Consulté le 23/04/2018.
- [32] <https://fr.flossmanuals.net/arduino/vous-avez-dit-arduino/>, Consulté le 23/04/2018.
- [33] <http://www.electronique-mixte.fr/kits-de-developpement-processeurs-et-microcontrolleurs/kit-arduino/>,Consulté le 23/04/2018.
-

- 
- 
- [34] <https://sites.uclouvain.be/club-elec/file.php?download=634>, Arduino\_2.pdf, Consulté le 23/04/2018.
- [35] BENGUELLA Wassila ,Mme BENHABIB Nesrine, Etude et réalisation d'un circuit de détection pour le contrôle d'une maison communicante, (Master) Tlemcen, 2017.
- [36] [jltimin.free.fr/1sti2d\\_2012\\_2013/projet2/Arduino\\_Mega.pdf](http://jltimin.free.fr/1sti2d_2012_2013/projet2/Arduino_Mega.pdf), Consulté le 26/04/2018.
- [37] [http://www.mon-club-elec.fr/pmwiki\\_reference\\_arduino/pmwiki.php?n](http://www.mon-club-elec.fr/pmwiki_reference_arduino/pmwiki.php?n) , Consulté le 23/04/2018.
- [38] <https://wearableelectronicsforfashion.com/fr/produit/sparkfun-redbot-sensor-accelerometer-2/>, Consulté le 28/04/2018.
- [39] <https://www.kr4.us/redbot-sensor-accelerometer.html>, Consulté le 28/04/2018.
- [40] wikipedia ,<https://fr.wikipedia.org/wiki/Jupyter>, Consulté le 30/04/2018.
- [41] <http://www.linux-center.org/articles/9812/python.html>, Consulté le 02/05/2018.
- [42] python ,[www.python.org](http://www.python.org) , Consulté le 02/05/2018.
- [43] TALEB Abdel-hamidMahir , Développement d'une prothèse de bras et sa commande basée sur le signal EMG " (Magistère) Oran, 2013/2014.
- [44] Angkoon Phinyomark, Chusak Limsakul et Pornchain Phukpattaranont, A Novel Feature Extraction for Robust EMG Pattern Recognition, Journal of Computing, Volume 1, Issue 1, December 2009, pp 71-80.
- [45] Eloïse Vannier , Etude De Méthodes De La Reconnaissance De Mouvement Basées Les Signaux Emg D'un Avant Bras Inerte Avec Un Apprentissage Miroir, Université du Québec, Décembre 2017.
-

## Résumé

La technologie biométrique est devenue un moyen très efficace d'identifier et de vérifier les individus dans divers secteurs. Malgré le fait que cette technologie est nouvelle, la prise de conscience croissante de l'importance de la sécurité des données augmente sa fiabilité de manière cohérente.

Le but de ce projet était de mettre en œuvre le système EMG, qui est une nouvelle technique dans ce domaine et de prouver son efficacité dans l'identification de l'individu.

Dans cet humble travail, nous avons étudié le signal EMG en extrayant toutes ses caractéristiques, en nous appuyant sur la classification en appliquant l'algorithme KNN.

Grâce aux résultats obtenus à partir d'une base de données spécifique, ce système s'est avéré très précis dans la détermination de l'identité de l'individu.

**Mots-clés:** Biométrie, KNN, EMG.

## Abstract

Biometric technology has become a very effective way of identifying and verifying individuals in various sectors. Despite the fact that this technology is new, the growing awareness of the importance of data security increases its reliability in a consistent manner.

The purpose of this project was to implement the EMG system, which is a new technique in this area and prove its effectiveness in identifying the individual.

In this humble work, we studied the EMG signal by extracting all its characteristics, relying on the classification by applying the KNN algorithm.

Thanks to the results obtained from a specific database, this system proved very accurate in determining the identity of the individual.

**Keywords:** Biometry, KNN, EMG

## الملخص

أصبحت تكنولوجيا القياسات الحيوية وسيلة فعالة جدًا لتحديد هوية الأفراد والتأكد منها في مختلف القطاعات وعلى الرغم من حداثة هذه التكنولوجيا، إلا أن تزايد الوعي بأهمية تأمين البيانات، يزيد من اعتمادها بصورة ثابتة. فكان الهدف من هذا المشروع تطبيق نظام جمع وتحليل الإشارة الكهربائية المتولدة في العضلات EMG، فهي تقنية جديدة في هذا المجال، وإثبات مدى فعاليتها في تحديد هوية الفرد.

فقمنا في هذا العمل المتواضع بدراسة إشارة الكهربائية للعضلات EMG، من خلال استخراج جميع مميزاتنا، معتمدين في التصنيف بتطبيق خوارزمية KNN. ومن خلال النتائج المتحصل عليها من قاعدة بيانات محددة، أثبت هذا النظام فعاليته بدقة عالية في تحديد هوية الفرد.

الكلمات المفتاحية: القياسات الحيوية، KNN، EMG