



IMT Mines Alès
École Mines-Télécom

Ecole Nationale Supérieure des Mines d'Alès
6 Av. de Clavières, 30100 Alès

STAGE M1

Année scolaire 2020/2021

Détection d'un mouvement protecteur pour une personne atteinte de lombalgie

Tuteur : Gérard Dray et Jacky Montmain
Thématique : Informatique et Biomécanique

MAHEU Yann

Domaine professionnel : Ingénieur Mécatronique/Biomécanique

Remerciements

Je souhaite tout d'abord remercier et témoigner toute ma gratitude envers M.Dray et M.Montmain mes tuteurs de stage, pour leur aide précieuse et leur soutien dans la réalisation de ce projet.

Je souhaite aussi remercier Pierre Antoine Jean pour son aide en Machine Learning tout au long de mon stage, ainsi que Simon Pla pour m'avoir aidé à réaliser mon expérience de Motion Capture.

Enfin je voudrais aussi remercier tous mes collègues d'Euromov avec lesquelles j'ai eu le plaisir de discuter et qui ont ainsi pu m'aider dans l'élaboration de ce projet.

Problématique

En France comme dans la plupart des pays industrialisés, la lombalgie est un problème de Santé Publique majeur, à la suite de deux enquêtes nationales menées au début des années 2000 on a découvert que plus de la moitié de la population avait souffert d'une lombalgie au moins un jour dans les 12 derniers mois et qu'elle représentait 20 % des accidents du travail (AT) et 7 % des maladies professionnelles (MP). Ainsi chaque année, près de 11,5 millions de journées de travail sont perdues du fait des AT et MP liés aux lombalgies, ce qui représente une perte économique colossale mais surtout une grande souffrance pour les travailleurs.

Ces dernières années l'Assurance Maladie a lancé une nouvelle campagne de sensibilisation à la rééducation d'une lombalgie, elle pousse les personnes à bouger pour la traiter, alors qu'il y a quelques années les médecins préconisaient le repos.

Bouger certes, mais les rhumatologues ont fait l'expérience de patients qui voulant éviter la douleur effectuaient des mouvements non naturels, ceux-ci peuvent empirer par la suite le mal de dos mais surtout provoquer d'autres douleurs. Il est donc important de pouvoir prévenir le patient lorsqu'il fait des mouvements d'évitement de la douleur que l'on appellera par la suite des mouvements protecteurs afin qu'il soit forcé de faire face à la douleur et qu'il adopte des positions naturelles.

Résumé

Affect Move est un challenge européen proposant à plusieurs centres de recherche de travailler sur une base de données développée par des spécialistes, on y trouve les données MOCAP et EMG de patients atteints de lombalgie, chacun de leur mouvement est noté par 1 ou 0, 1 signifiant que le rhumatologue a considéré que le sujet avait effectué un mouvement protecteur.

Le but des laboratoires de recherche est donc de développer un modèle d'Intelligence Artificielle qui puisse remplacer l'analyse du rhumatologue, c'est-à-dire deviner si une personne effectue un mouvement protecteur ou non.

Dans le laboratoire de recherche Euromov deux différentes méthodes d'IA ont été utilisées : le machine learning et le deep learning. Durant mon stage je me suis particulièrement intéressé au machine learning supervisé et à la fin de mon stage j'ai développé mes recherches sur le machine learning non supervisé, particulièrement sur du clustering.

Une dizaine de chercheurs d'Euromov se sont placés sur ce challenge, ma valeur ajoutée était d'avoir plus de temps que les autres pour pouvoir travailler sur ce projet et donc d'effectuer un pre-processing des données plus exhaustives que les autres, c'était d'autant plus intéressant pour moi que cela me permettait de me plonger dans des notions de biomécanique pour passer de coordonnées de position à des forces, des vitesses, des couples, etc.

Summary

Affect Move is a European challenge proposing to several research laboratories to work on a database developed by rheumatologists, there is MOCAP data of patients with low back pain, each of their movement is rated 1 or 0, 1 meaning that the rheumatologist considered that the subject had made a protective movement.

The goal of the research laboratories is therefore to develop an Artificial Intelligence model that can replace the rheumatologist's analysis, that is, to guess whether a person is making a protective movement or not.

In the Euromov research laboratory two different AI methods were used: machine learning and deep learning. During my internship I was particularly interested in supervised machine learning and at the end of my internship I developed my research on unsupervised machine learning, particularly on clustering.

About ten Euromov researchers took up this challenge, my added value was to have more time than the others to be able to work on this project and therefore to perform a pre-processing of the data more exhaustive than the others, It was all the more interesting for me as it allowed me to immerse myself in notions of biomechanics to go from position coordinates to forces, speeds, torques etc.

Sommaire

| | |
|---|-----------|
| I - Table des figures | 7 |
| II - Introduction | 8 |
| III – Présentation de l’entreprise | 9 |
| IV – Présentation du Challenge | 10 |
| V – Gestion du stage..... | 11 |
| VI - Recherche documentaire | 12 |
| a. Biomécanique..... | 12 |
| b. Machine Learning..... | 13 |
| VII - Programmation | 14 |
| a. CUSTOM | 14 |
| b. Pandas | 15 |
| c. Scikit-Learn..... | 15 |
| VIII – Déroulé du stage | 16 |
| IX – Mon Expérience MOCAP | 19 |
| X – Pistes d’amélioration | 20 |
| XI - Conclusion..... | 20 |
| XI - Bibliographie | 21 |
| XII - Annexes | 22 |

Table des figures

| | |
|---|----|
| Figure 1 : Bâtiment d’Euromov..... | 9 |
| Figure 2 : Equipements technologiques d’Euromov | 9 |
| Figure 3 : Localisation des points MOCAP | 10 |
| Figure 4 : Localisation des EMG | 10 |
| Figure 5 : Photographie par Jules-Marey | 12 |
| Figure 6 : Image Google de la Dynamique Invers/Directe..... | 12 |
| Figure 7 : Image Google d’une mind maps Machine Learning | 13 |
| Figure 8 : logo Custom..... | 14 |
| Figure 9 : Animation CUSTOM..... | 14 |
| Figure 10 : logo pandas..... | 15 |
| Figure 11 : logo Sklearn | 15 |
| Figure 12 : Comparaison des estimateurs..... | 16 |
| Figure 13 : Comparaison des données..... | 17 |
| Figure 14 : Résultat final..... | 17 |
| Figure 15 : Classes 1 et 0 déséquilibrées | 18 |
| Figure 16 : Dendogramme d’un clustering hiérarchique..... | 18 |
| Figure 17 : Capteurs de forces extérieures | 19 |
| Figure 18 : Points MOCAP..... | 19 |

Introduction

Durant leur deuxième année d'école, les étudiants de l'IMT Alès ont l'opportunité de réaliser un stage de 3 à 6 mois. Ils trouvent une entreprise ou un centre de recherche dans le domaine qui les intéresse.

L'objectif de ce stage est de poursuivre un travail de recherche qui permettrait d'aider les rhumatologues à prévenir des mouvements protecteurs de personnes atteintes de lombalgie à travers l'utilisation d'IA et plus précisément de machine learning.

Ce rapport présente le projet, l'ensemble du travail réalisé et le résultat obtenu. Il va d'abord traiter de la gestion de projet. Cette dernière est obligatoire pour travailler efficacement et rendre un travail de qualité dans les temps. En effet, il faut être capable de planifier son travail et l'organiser rigoureusement. À la suite de cela, nous verrons que le projet s'est déroulé en plusieurs étapes. La première correspond à la recherche documentaire. Puis, ce rapport traite du développement technique du programme. Il va d'abord décrire la poursuite du pre-processing, les langages utilisés, leurs fonctionnalités, ce qu'ils apportent au programme. Ensuite, le développement du machine learning sur sklearn est mis en avant, enfin nous discuterons des résultats obtenus ainsi que des pistes d'amélioration.

Présentation de l'entreprise

EuroMov Digital Health in Motion est un centre européen de recherche sur le mouvement humain de l'Université de Montpellier en partenariat avec L'IMT Alès.

Le centre de recherche a été créé en 2013 et se situe à Montpellier. Il réunit près de 100 membres qui peuvent être des chercheurs, des ingénieurs, des entrepreneurs, issus de partenaires publics ou privés.



Figure 1 : Bâtiment d'EuroMov situé à Montpellier

Il dispose d'une plateforme technologique avec des équipements uniques au monde offrant une batterie de systèmes de mesure, de visualisation, d'analyse et de modélisation du mouvement à ses multiples utilisateurs. La région a notamment beaucoup investi dans un robot multisensoriel placé dans une salle adaptée de 150m² de 8m de hauteur.

Le projet EUROMOV consiste à créer un centre européen qui allie recherche fondamentale et appliquée, formation académique et professionnelle, développement technologique et création d'entreprises dans le champ du mouvement humain.

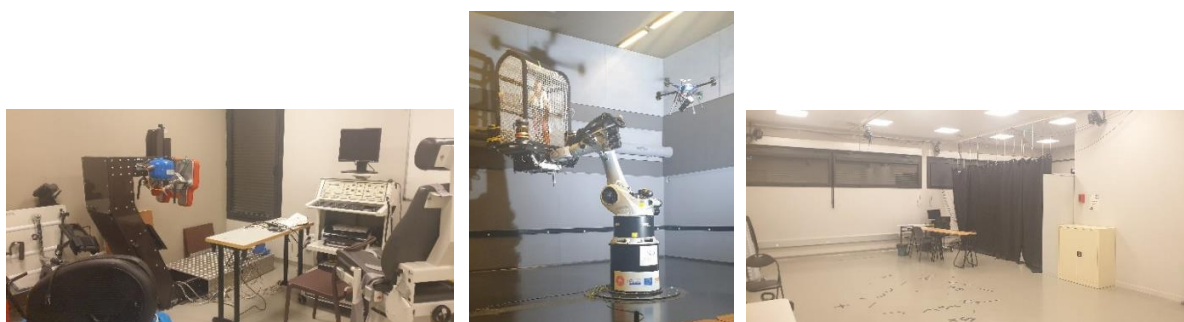


Figure 2 : Equipements technologiques présents à EuroMov

Présentation du Challenge

Affect Move est un challenge à l'échelle européenne qui regroupe de nombreux centres de recherche spécialisés dans l'informatique et la santé.

MOCAP : La Motion Capture est une technique permettant d'enregistrer les positions et rotations d'objets ou de membres d'êtres vivants, pour en contrôler une contrepartie virtuelle sur ordinateur.

EMG : permet d'analyser l'activité électrique des nerfs et des muscles

Données fournies par le challenge :

- 17 points MOCAP (Motion Capture), soit 51 données de position (pour chaque points X,Y,Z)

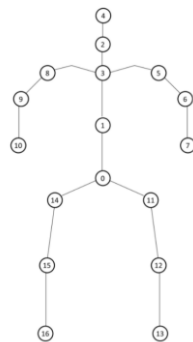


Figure 3 : Localisation des points MOCAP

- 4 données provenant d'électromyogramme (EMG)



Figure 4 : Localisation des EMG

La base de données fournie comprend 8 mouvements différents réalisés plusieurs fois par 12 patients. Ceci représente une base de données de 3GB et plusieurs milliers de mouvements enregistrés (cf Annexe 1).

Gestion du stage

1. Découverte du challenge

L'étude du challenge a commencé dès le choix de ce dernier. Il y a eu une première prise de contact avec l'encadrant. Puis, il y a eu une grande réflexion concernant l'intérêt porté au stage, ce qu'il serait possible de faire. Il a ensuite fallu se renseigner pour déterminer s'il convenait à nos attentes. Au bout de plusieurs jours, nous avons définitivement sélectionné ce stage qui a pour but de créer un modèle de détection de mouvements protecteurs.

2. Approfondissement du stage

Les premières semaines de travail étaient principalement consacrées à la recherche. Les consignes étaient d'amener une approche biomécanique au Challenge AffectMove dans l'objectif d'obtenir des résultats plus probants. Cependant, il fallait établir par quels moyens nous allions passer des coordonnées de MOCAP à des forces musculaires et des efforts articulaires. Cette partie n'a pas été la plus facile. Ayant peu de connaissances concernant la biomécanique, la MOCAP, les EMG et les outils de traitement de données de mouvements, il y a eu nécessité de faire de nombreuses recherches. Ces dernières étaient dispersées, très vastes. Il y a eu beaucoup d'idées. A partir de ces nombreuses idées, il était difficile de se focaliser sur une seule option.

Les premières réunions avec l'encadrant ont permis de nous recentrer sur une démarche. A partir des données de MOCAP l'idée était d'utiliser le logiciel Custom développé par Antoine Muller pour passer à des efforts musculaires et des angles articulaires.

3. Suivi hebdomadaire et compte rendu de réunion

Après avoir défini l'objectif à atteindre, il a fallu planifier le travail sur la durée. Ceci a été fait en réalisant des réunions hebdomadaires avec mes deux encadrants : Jacky Montmain et Gérard Dray ainsi qu'avec Pierre-Antoine Jean. En plus de ses réunions j'organisais des rendez-vous ponctuels avec des thésards travaillant sur Custom ainsi qu'avec Pierre-Antoine Jean. Le but était de toujours avoir des avis extérieurs afin de ne pas s'éloigner du sujet et d'être constamment efficace.

Recherche documentaire

1. Biomécanique

Définition : Etude mécanique des mouvements du corps humain

La Biomécanique s'est développée depuis l'Antiquité notamment par l'intermédiaire d'Aristote jusqu'à nos jours. Au XXème siècle elle a connu une singularité avec l'avènement de la photographie ce qui a grandement aidé à la compréhension du mouvement, le précurseur de cette méthode d'analyse est Etienne Jules-Marey.



Figure 5 : Photographie par Jules-Marey

On retrouve dans la biomécanique 2 grands domaines qui sont ceux de la cinématique et de la dynamique

a) Cinématique

La cinématique s'intéresse aux conséquences du mouvement c'est-à-dire à la vitesse du sujet, à son accélération, à sa rotation etc.

b) Dynamique

La dynamique s'intéresse aux causes du mouvement c'est-à-dire les forces, les couples etc.

A travers des notions classiques de mécanique, il est facile de développer des grandeurs cinématiques à partir de coordonnées ; en revanche il est plus compliqué de passer de coordonnées articulaires à des efforts musculaires ; pour cela il faut utiliser la dynamique inverse, de la même façon qu'on l'utilise en robotique.

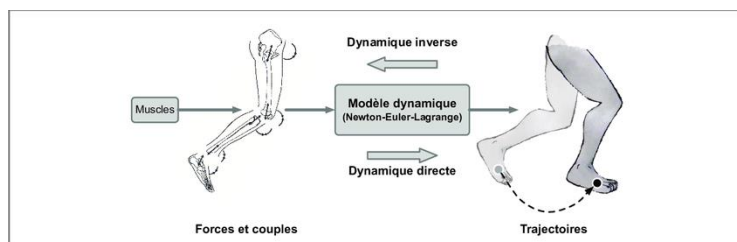


Figure 6 : Image Google de la dynamique Inverse/Directe

2. Machine Learning

Le Machine Learning est une technologie d'intelligence artificielle permettant aux ordinateurs d'apprendre sans avoir été programmés explicitement à cet effet.

On trouve deux grands domaines dans le Machine Learning :

a) Machine Learning supervisé

Le jeu de données d'entraînement contient un système de notation, le modèle peut donc ranger les valeurs en fonction de leur notation. Une fois le jeu de validation fourni, il faut deviner la notation qui devrait lui être attribuée.

b) Machine Learning non supervisé

Le jeu de données d'entraînement ne contient pas de système de notation. Le modèle doit donc ranger les valeurs en de leur similarité, que ce soit par classification, clustering ou régression. Une fois le jeu de validation fourni, il faut deviner la notation qui devrait lui être attribuée de la même façon que précédemment.

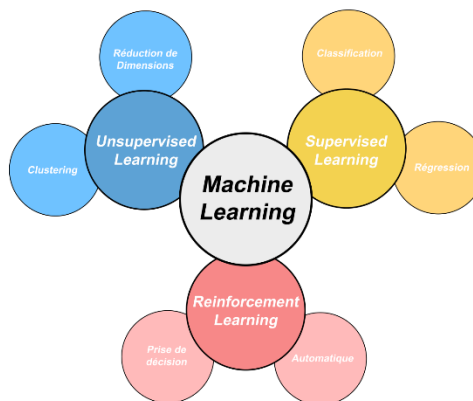


Figure 7 : Image Google d'une mind maps Machine Learning

Dans notre cas, nous ne nous sommes pas intéressés au Reinforcement Learning

Programmation

1. CUSTOM

L'intérêt de la biomécanique pour le challenge était de pouvoir passer de coordonnées de position à des forces articulaires, à travers de nombreuses recherches. J'ai découvert le travail de thèse d'Antoine Muller pour le développement d'un outil particulièrement adapté à notre demande. CusToM (Customizable Toolbox for Musculoskeletal Simulation)



Figure 8 : logo de Custom

Ce logiciel de biomécanique est en cours de développement à l'université M2S de Rennes. Il permet d'insérer facilement des données .c3d (de Motion Capture) et il en ressort les angles articulaires, les couples articulaires, la prédiction des forces extérieures ainsi que les efforts musculaires. Afin de visualiser facilement le résultat, le programme génère une animation.

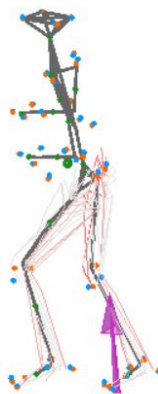


Figure 9 : animation CUSTOM

Il suffit donc d'importer des données MOCAP dans le bon format pour obtenir toutes les nouvelles données qui nous intéressent. Pour passer des données .txt à .c3d, j'ai codé un programme appelant la librairie BTK (Biomechanical Toolkit)(cf Annexe 2)

2. Pandas

Pandas est une bibliothèque libre Python destinée au traitement de données. Elle permet une utilisation intelligente de base de données.



Figure 10 : logo de pandas

On passe, en général , plus de temps à mettre en forme les données qu'à les traiter par des modèles ; pandas permet de visualiser au mieux ces données et de les manier de la façon la plus simple possible.

3. Scikit-Learn (Sklearn)

Sklearn est une bibliothèque libre Python destinée à l'apprentissage automatique. Elle permet d'utiliser des modèles de machine learning sans être spécialiste dans le domaine.



Figure 11 : logo de Sklearn

Ce logiciel de machine learning est en open source, très utilisé dans le domaine de l'IA et particulièrement du machine learning. Il est extrêmement épuré et facile d'utilisation.

Déroulé du stage

CUSTOM est uniquement utilisable sur MATLAB, il m'a donc fallu apprendre ce langage de programmation. En effet la 1^{ère} difficulté rencontrée a été de modifier les types de données, à partir de données .txt ou excel. J'ai dû utiliser la librairie btk pour les modifier en .c3d, cette dernière étant la seule pouvant être traitée par le programme Custom.

A la suite de cela j'ai fait tourner le programme Custom, en effectuant un 1^{er} pré-traitement des données qui consistait à ajouter ou supprimer des colonnes de mes fichiers.

Du fait de la complexité des calculs effectués et de la quantité de data, cela m'a pris énormément de temps.

Ensuite j'ai remis en forme mes données grâce à pandas pour pouvoir ensuite les traiter sur sklearn.

Dans un premier temps, je me suis concentré sur du Machine Learning supervisé. J'ai d'abord effectué une comparaison des estimateurs pour déterminer celui qui était le plus efficace.

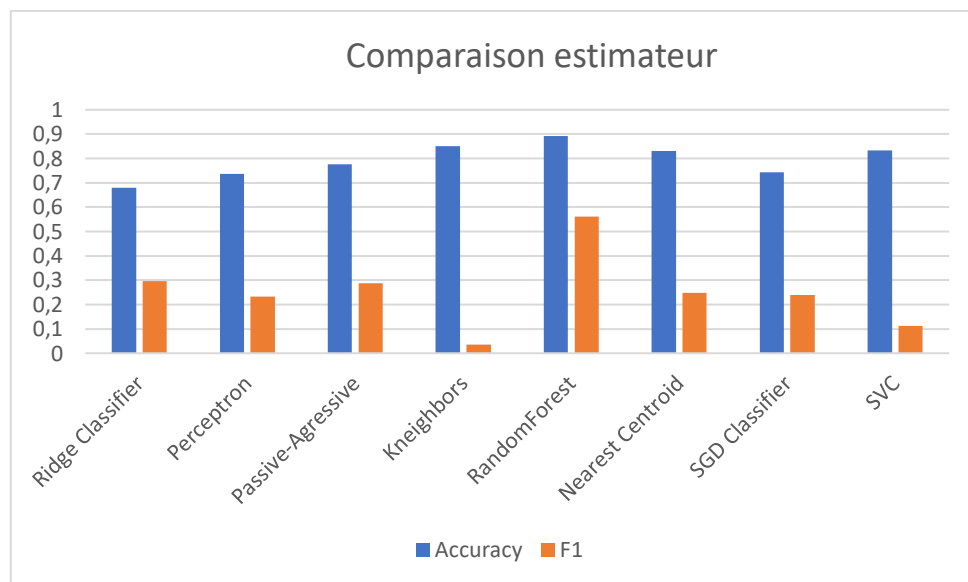


Figure 12 : comparaison des estimateurs

Le Random Forest est apparu comme l'estimateur le plus intéressant.

J'ai ensuite comparé toutes mes différentes données. En effet j'avais des données MOCAP, des vitesses, des angles articulaires, des efforts musculaires etc. à l'aide d'une fonction d'estimation et de notation (cf Annexe 3).

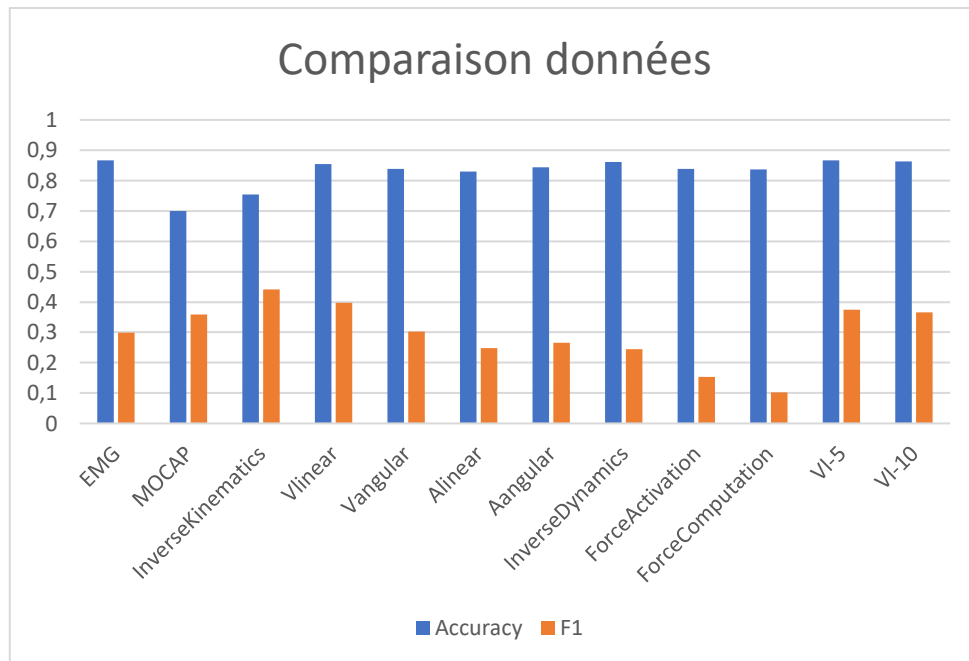


Figure 13 : comparaison des données

J'ai décidé de sélectionner la vitesse linéaire (Vlinear), ainsi que les angles articulaires (InverseKinematics) car cela me permettait de baisser mon temps de calcul ; mais j'ai aussi remarqué qu'avoir trop de données pouvait légèrement baisser mes résultats.

Une fois cela fait, j'ai essayé d'optimiser les hyperparamètres, mais il s'est trouvé que mes méthodes d'optimisation ne donnaient rien d'intéressant. J'ai donc gardé les paramètres par défaut. Pour finir, j'ai développé mes prédictions pour la partie de données dédiées à la validation.

Voici les résultats de ton modèle :
 Task PBD
 F1 Score for Class 0: 0.8761368557817237
 F1 Score for Class 1: 0.3425287356321839
 MCC: 0.23582230930485718
 Accuracy: 0.7915451895043731

A comparer avec les autres modèles :

Methode : Random Forest Pierre-Antoine
 Task PBD
 F1 Score for Class 0: 0.8870558375634517
 F1 Score for Class 1: 0.29736842105263156
 MCC: 0.233162953076262
 Accuracy: 0.8053935860058309

Methode : Nicolas
 Task PBD
 F1 Score for Class 0: 0.8948961937716263
 F1 Score for Class 1: 0.4375
 MCC: 0.35441748003096835
 Accuracy: 0.8228862973760933

Figure 14 : résultat final

Les résultats sont quelques peu décevants, car malgré le fait que j'ai effectué un pre-processing plus développé que les autres chercheurs, mes résultats sont similaires ou moins bons que les leurs. Cela peut s'expliquer par le fait que ma démarche de pré-traitement des données n'a pas été concluante du fait que le programme Custom n'est pas précis lorsque l'on

rentre si peu d'informations. De plus je n'ai pas effectué d'optimisation des hyperparamètres alors que les 2 autres chercheurs l'ont fait.

Si on ne regarde que l'accuracy (la moyenne), on peut penser que mes résultats sont très intéressants, car on peut déterminer à 87% de chance qu'une personne effectue un mouvement protecteur ou non. Toutefois il faut se méfier de ce résultat car les classes 1 et 0 sont fortement déséquilibrées dans le jeu d'entraînement comme on peut le voir ci-dessous.

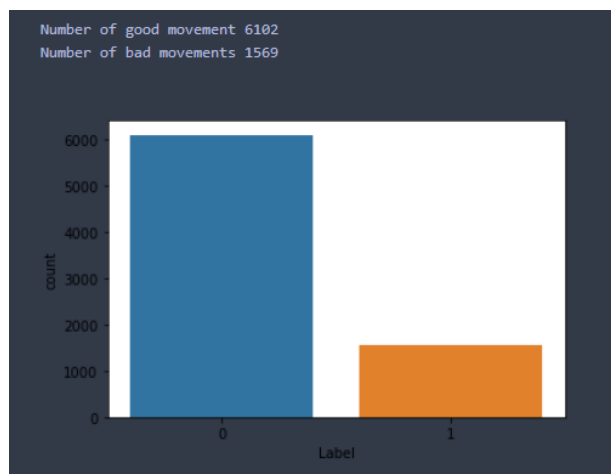


Figure 15 : classes 1 et 0 déséquilibrées

A la suite de cela, j'ai poursuivi par une méthode de machine learning non supervisé dans l'espoir d'obtenir de meilleurs résultats.

L'idée était d'effectuer un pre-processing des données en utilisant cette fois une approche statistique. En effet ,on regroupait les données autour de leur moyenne, leur médiane, leurs quartiles, leur variance, le min, le max, l'étendue etc. puis en effectuant des méthodes de clustering non supervisé d'observer les résultats.

Avec mes tuteurs, nous avons décidé de nous intéresser à un mouvement en particulier : la marche.

L'idée était de restreindre le champ des données pour obtenir un clustering plus représentatif. J'ai donc essayé par la suite, différentes méthodes de clustering non supervisé tel que le clustering hiérarchique ou le KMeans.

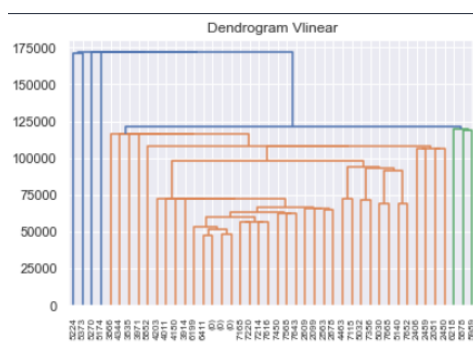


Figure 16 : dendrogramme d'un clustering hiérarchique

Cela n'a pas permis de mettre en valeur des résultats probant, certainement dû au trop grand nombre de dimensions de mes données.

Mon Expérience MOCAP

Durant mon stage, j'ai effectué une expérience MOCAP, afin de tester la précision du programme CUSTOM.

Euromov possède une salle dédiée à cela. Nous avons récupéré les données MOCAP, EMG, et nous avons disposé deux capteurs de forces extérieures.



Figure 17 : capteur de forces extérieures

Les plaques blanches servaient à ce que le sujet reste à la même hauteur avant d'arriver sur les plaques de force.



Figure 18 : points MOCAP

A travers cette expérience où nous avons testé le sujet sur plusieurs positions et mouvement, nous pourrons prochainement comparer les résultats de l'expérience et ceux de CUSTOM réglés avec les mêmes paramètres.

Les pistes d'amélioration

Il faudrait prochainement finaliser la comparaison CUSTOM et l'expérience afin de vérifier la précision du programme utilisé pour déterminer les efforts musculaires à partir des données MOCAP.

Ensuite notre modèle de machine learning non supervisé à partir de données statistiques n'a pas été convaincant, cela est peut-être dû au fait que le nombre de dimensions de nos valeurs est trop grand. Afin de modifier cela, on pourrait redéfinir les normes utilisées dans le clustering hiérarchique.

Conclusion

A la fin de ce stage, l'objectif principal est rempli malgré la déception au niveau des résultats. Il fallait proposer une alternative différente des autres chercheurs pour traiter le sujet. Cela a aussi permis au laboratoire de prendre connaissance de CUSTOM qui est un logiciel français de biomécanique récent et qui est en pleine expansion. Cela a aussi été une porte ouverte au développement d'Euromov dans le domaine de la Biomécanique orienté vers la santé.

J'ai énormément appris durant ce stage que ce soit en Biomécanique ou bien en Informatique. Cela m'a permis d'aborder avec plus d'aisance mon double diplôme de Biomécanique à l'Université de Montpellier, mais il m'a surtout permis d'accéder à des notions extrêmement intéressantes d'Intelligence Artificielle, notamment grâce à l'aide de Pierre Antoine-Jean dans ce domaine.

Bibliographie

Compréhension générale de la biomécanique :

Site d'anatomie

Université STAPS de Calamar

<http://calamar.univ-ag.fr/uag/staps/cours/anat/new/biom.htm>

Approche historique de la biomécanique :

Science du sport

A.Manolova

<https://www.sci-sport.com/theorie/chapitre-1-histoire-et-developpement-de-la-biomecanique.php#:~:text=Nous%20lui%20devons%20notamment%20de,2>

Introduction à l'anatomie :

Site d'anatomie

Université STAPS de Calamar

http://calamar.univ-ag.fr/uag/staps/cours/anat/new/intro.htm#intro_biom

Relation Force-Vitesse:

Médecine Sorbonne Université

<http://www.chups.jussieu.fr/polys/dus/dusmedecinedusport/dubioentrainementsport/evaluationpmaxvandewalle05/evaluationpmaxvandewalle05.pdf>

Analyse, modélisation et simulation de la marche pathologique

Nicolas Fusco

<https://tel.archives-ouvertes.fr/file/index/docid/293723/filename/theseFusco.pdf>

Contributions méthodologiques à l'analyse musculosquelettique de l'humain dans l'objectif d'un compromis précision performance

Antoine Muller

<https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01591365/document>

CUSTOM:

Guithub

Antoine Muller

<https://github.com/anmuller/CusToM>

BTK:

Guithub

<http://biomechanical-toolkit.github.io/>

Sklearn :

<https://scikit-learn.org/stable/>

Annexes

Annexe 1 : Données fournies par Affectmove

| | |
|----|---|
| 1 | 0,1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20,21,22,23,24,25,26,27,28,29,30,31,32,33,34,35,36,37,38,39,40,41,42,43,44,45,46,47,48,49,50,51,52,53,54,55,56,57,58,59 |
| 2 | 900.0,P33,141,,77.35258483886719,66.25101470947266,88.51994323730469,,66.13319396972656,97.52522277832031,81.43828582763672,,66.40325927734375,124.21267700195312,80.13432312011719,,62.02290344238281,113.0465316772461,78.7 |
| 3 | 901.0,P33,141,,77.35258483886719,66.25101470947266,88.51994323730469,,66.13319396972656,97.52522277832031,81.43828582763672,,66.40325927734375,124.21267700195312,80.13432312011719,,62.02290344238281,113.0465316772461,78.7 |
| 4 | 902.0,P33,141,,77.35258483886719,66.25101470947266,88.51994323730469,,66.13319396972656,97.52522277832031,81.43828582763672,,66.40325927734375,124.21267700195312,80.13432312011719,,62.02290344238281,113.0465316772461,78.7 |
| 5 | 903.0,P33,141,,77.35258483886719,66.25101470947266,88.51994323730469,,66.13319396972656,97.52522277832031,81.43828582763672,,66.40325927734375,124.21267700195312,80.13432312011719,,62.02290344238281,113.0465316772461,78.7 |
| 6 | 904.0,P33,141,,77.35258483886719,66.25101470947266,88.51994323730469,,66.13319396972656,97.52522277832031,81.43828582763672,,66.40325927734375,124.21267700195312,80.13432312011719,,62.02290344238281,113.0465316772461,78.7 |
| 7 | 905.0,P33,141,,77.35258483886719,66.25101470947266,88.51994323730469,,66.13319396972656,97.52522277832031,81.43828582763672,,66.40325927734375,124.21267700195312,80.13432312011719,,62.02290344238281,113.0465316772461,78.7 |
| 8 | 906.0,P33,141,,77.35258483886719,66.25101470947266,88.51994323730469,,66.13319396972656,97.52522277832031,81.43828582763672,,66.40325927734375,124.21267700195312,80.13432312011719,,62.02290344238281,113.0465316772461,78.7 |
| 9 | 907.0,P33,141,,77.35258483886719,66.25101470947266,88.51994323730469,,66.13319396972656,97.52522277832031,81.43828582763672,,66.40325927734375,124.21267700195312,80.13432312011719,,62.02290344238281,113.0465316772461,78.7 |
| 10 | 908.0,P33,141,,77.35258483886719,66.25101470947266,88.51994323730469,,66.13319396972656,97.52522277832031,81.43828582763672,,66.40325927734375,124.21267700195312,80.13432312011719,,62.02290344238281,113.0465316772461,78.7 |
| 11 | 909.0,P33,141,,77.35258483886719,66.25101470947266,88.51994323730469,,66.13319396972656,97.52522277832031,81.43828582763672,,66.40325927734375,124.21267700195312,80.13432312011719,,62.02290344238281,113.0465316772461,78.7 |
| 12 | 910.0,P33,141,,77.35258483886719,66.25101470947266,88.51994323730469,,66.13319396972656,97.52522277832031,81.43828582763672,,66.40325927734375,124.21267700195312,80.13432312011719,,62.02290344238281,113.0465316772461,78.7 |
| 13 | 911.0,P33,141,,77.35258483886719,66.25101470947266,88.51994323730469,,66.13319396972656,97.52522277832031,81.43828582763672,,66.40325927734375,124.21267700195312,80.13432312011719,,62.02290344238281,113.0465316772461,78.7 |
| 14 | 912.0,P33,141,,77.35258483886719,66.25101470947266,88.51994323730469,,66.13319396972656,97.52522277832031,81.43828582763672,,66.40325927734375,124.21267700195312,80.13432312011719,,62.02290344238281,113.0465316772461,78.7 |
| 15 | 913.0,P33,141,,77.35258483886719,66.25101470947266,88.51994323730469,,66.13319396972656,97.52522277832031,81.43828582763672,,66.40325927734375,124.21267700195312,80.13432312011719,,62.02290344238281,113.0465316772461,78.7 |
| 16 | 914.0,P33,141,,77.35258483886719,66.25101470947266,88.51994323730469,,66.13319396972656,97.52522277832031,81.43828582763672,,66.40325927734375,124.21267700195312,80.13432312011719,,62.02290344238281,113.0465316772461,78.7 |
| 17 | 915.0,P33,141,,77.35258483886719,66.25101470947266,88.51994323730469,,66.13319396972656,97.52522277832031,81.43828582763672,,66.40325927734375,124.21267700195312,80.13432312011719,,62.02290344238281,113.0465316772461,78.7 |
| 18 | 916.0,P33,141,,77.35258483886719,66.25101470947266,88.51994323730469,,66.13319396972656,97.52522277832031,81.43828582763672,,66.40325927734375,124.21267700195312,80.13432312011719,,62.02290344238281,113.0465316772461,78.7 |

Annexe 2 : Code matlab pour passer d'un .mat à un .c3d

```
%USE BTK TO PASS FROM .mat TO .c3d
acq = btkNewAcquisition(18,w(1)); % 16 points and 359 frames %modifiable
% Acquisition frequency wasw 60 Hz
btkSetFrequency(acq, 60);
% Values setting
labels={'HIP_CENTER','SPINE','SHOULDER_CENTER','HEAD','SHOULDER_RIGHT','ELBOW_RIGHT','HAND_RIGHT','SHOULDER_LEFT','ELBOW_LEFT','HAND_LEFT','HIP_RIGHT','KNEE_RIGHT','FOOT_RIGHT','HI
for i = 1:btkGetPointNumber(acq)
    btkSetPointLabel(acq, i, labels(i));
    btkSetPoint(acq, i, transpose(squeeze(out(i,:,:))))); % values: array of 16 by 3 by 359
end
btkWriteAcquisition(acq, 'P38.c3d');
```

Annexe 3 : Fonction d'estimation et de notation

```
256 def benchmark(clf): #la fonction de référence qui permet d'obtenir les métrique par la suite pour estim
257     print('_' * 80)
258     print('Training: ')
259     print(clf)
260     t0 = time()
261     clf.fit(X_train, y_train) #entraîne le modèle
262     train_time = time() - t0
263     print('* train time: %0.3fs' % train_time)
264
265     t0 = time()
266     pred = clf.predict(X_test) #utilise le modèle pour avoir des résultats
267     test_time = time() - t0
268     print('* test time: %0.3fs' % test_time)
269
270     score = metrics.accuracy_score(y_test, pred)
271     print('* accuracy: %0.3f' % score)
272
273     precision = metrics.precision_score(y_test, pred, pos_label='1') #réduit au maximum le nombre de fau
274     recall = metrics.recall_score(y_test, pred, pos_label='1') #réduit au maximum le nombre de faux négc
275     f1 = metrics.f1_score(y_test, pred, pos_label='1')
276     print(f'* f1 score: {f1:.3f} (precision: {precision:.3f}, recall: {recall:.3f})')
277
278     clf_descr = str(clf).split('(')[0]
279     return clf_descr, score, train_time, test_time
280
```

Résumé

Mots clés : Biomécanique, Machine Learning, MOCAP, centre de recherche

Affect Move est un challenge européen proposant à plusieurs centres de recherche de travailler sur une base de données développée par des spécialistes, on y trouve les données MOCAP et EMG de patients atteints de lombalgie, chacun de leur mouvement est noté par 1 ou 0, 1 signifiant que le rhumatologue a considéré que le sujet avait effectué un mouvement protecteur.

Le but des laboratoires de recherche est donc de développer un modèle d'Intelligence Artificielle qui puisse remplacer l'analyse du rhumatologue, c'est-à-dire deviner si une personne effectue un mouvement protecteur ou non.

Dans le laboratoire de recherche Euromov deux différentes méthodes d'IA ont été utilisées : le machine learning et le deep learning. Durant mon stage je me suis particulièrement intéressé au machine learning supervisé et à la fin de mon stage j'ai développé mes recherches sur le machine learning non supervisé, particulièrement sur du clustering.

Une dizaine de chercheurs d'Euromov se sont placés sur ce challenge, ma valeur ajoutée était d'avoir plus de temps que les autres pour pouvoir travailler sur ce projet et donc d'effectuer un pre-processing des données plus exhaustives que les autres, c'était d'autant plus intéressant pour moi que cela me permettait de me plonger dans des notions de biomécanique pour passer de coordonnées de position à des forces, des vitesses, des couples, etc.