



Institut de Formation Supérieure en Ostéopathie de Rennes

***Essai d'évaluation du geste Ostéopathique
sur un mannequin d'entraînement***

ARCHAUX

Renan

PROMOTION 10

ANNEE 2018-2019



Bretagne Ostéopathie SARL.
Parc Monier - Bât Artémis - 167A, Rue de Lorient • 35000 RENNES • Tél. : 02 99 36 81 93 • Fax : 02 99 38 47 65
www.bretagne-osteopathie.com • contact@bretagne-osteopathie.com

CODE APE 8559A - N° Siret 504 423 302 00026

Déclaration d'activité enregistrée sous le n°53350846435 auprès du préfet de la région Bretagne. (Ce n° ne vaut pas agrément de l'état).

Remerciements :

A Bruno DIOLOT pour sa bienveillance, son écoute et son attrait dès l'évocation de ce projet ;

A Jean-François TERRAMORSI et toute l'équipe pédagogique de l'IFSO-Rennes pour cette volonté de « Transmission du Savoir » ;

Aux étudiants et au professeurs qui ont accepté de participer à cette étude ;

Merci.

A Emilie qui par sa patience et son soutien autant moral que logistique m'a permis de suivre ces cinq années de formation dans les meilleures conditions ;

A Auguste, Léon et Joseph qui ont su m'attendre et m'ont nourri de leurs sourires et câlins...

Je vous aime.

SOMMAIRE

I.	Introduction	5
A.	Pourquoi cette recherche ?	5
B.	Pourquoi ce thème ?	5
C.	Problématiques:	6
II.	Matériel et Méthode	7
A.	Matériels	7
1.	Ossature	7
2.	Capteur de Force	7
3.	Capteur de Pression	8
4.	Ballonnet	9
5.	Pompe à air	9
6.	Electrovanne à air	10
7.	Tubulures et raccords	10
8.	Accéléromètre	10
9.	Cartes électroniques	11
a)	Arduino Mini-Pro 3.3V	12
b)	Arduino Mega 2560	13
10.	Cartes annexes	13
a)	Shield Moteur	14
b)	Shield carte SD	14
11.	Enveloppe	14
a)	Empreinte de jambe	15
b)	Enrobage de l'outil	15
12.	Programme et Code	16
a)	Cartes Arduino	16
b)	Logiciel JAVA	16
13.	Logiciels de traitement	17
B.	Méthode	17
1.	Recueil de données	17
2.	Préparation des données	19
3.	Analyses	25
III.	Résultats	26
A.	Observation graphique	26
1.	Différences remarquables intragroupe des Experts	26

2.	Similitudes remarquables intergroupe	27
B.	Analyses statistiques	29
1.	Analyse descriptive	29
2.	Analyse des données.....	30
3.	Modélisation des données.....	31
4.	Mise à l'épreuve des modélisations.....	34
IV.	Discussion	37
V.	Conclusion.....	39
VI.	Bibliographie	40
VII.	Annexes	42
A.	Annexe N°1 : DataSheet S15-450N ET DAQ Electronique.....	43
B.	Annexe N°2 : DataSheet MPX 5500 DP	44
C.	Annexe N°3 : DataSheet ADXL362	45
D.	Annexe N°4 : Récapitulatif Abréviations.....	46
E.	Annexe N°5 : Résultats tests	47
1.	O1 :.....	47
2.	O2 :.....	50
3.	O3 :.....	53
4.	O4 :.....	56
5.	O5 :.....	59
6.	O6 :.....	62
7.	Groupe Test :	65
8.	Résultat :.....	66
F.	Photos Souvenirs :.....	67

1. INTRODUCTION

Ce mémoire s'inscrit dans le cadre de l'obtention du diplôme d'ostéopathie au sein de l'Institut de Formation Supérieure d'Ostéopathie de Rennes (IFSOR).

A. POURQUOI CETTE RECHERCHE ?

Pour suivre la formation enseignée par l'IFSO Rennes, le prérequis était d'être diplômé d'une profession médicale ou paramédicale. J'ai été diplômé du master de kinésithérapie par l'université de Liège (ULG, Belgique) en 2009. Avant ce dévouement au soin de l'autre, j'ai été attiré par le monde de l'enseignement et l'art de transmettre en obtenant mon diplôme de maîtrise (master 1) d'Exercice, Sport, Santé, Handicap (ESSH) par l'UFR STAPS d'Orléans (45, France) en 2005. Cette dévotion à vouloir transmettre un savoir ne m'a jamais quitté, mais le chemin de la vie m'a orienté vers une profession pour transmettre un soin, tout du moins tenter de le transmettre.

La présentation d'un Travail d'Etude et de Recherche (TER) étant une formalité certificative et conscient que celui-ci représente un temps d'implication non négligeable, j'ai souhaité orienter ce travail sur un sujet me passionnant et par conséquent qui allie la transmission du savoir à la transmission du soin.

B. POURQUOI CE THEME ?

La finalité des objectifs pédagogiques de l'IFSO Rennes est de former des ostéopathes compétents dans la prise en charge thérapeutique tant sur la réflexion de la pathologie rencontrée (anamnèse, examen clinique) que sur les techniques manipulatives pour tenter de la traiter avec comme maître mot « la sécurité » pour le patient ainsi que pour le thérapeute.

La précision par la mesure de notre geste technique ne peut s'obtenir que par la répétition et l'acquisition d'une gestuelle spécifique qui est enseignée durant les cinq années d'études à l'IFSO Rennes au travers du Modèle Fondamental d'Ostéopathie Structurale (MFOS) (1).

Lors des examens pratiques cette gestuelle est évaluée par la cohorte d'examineurs.

Le hiatus entre la perception du geste réussi vue de l'extérieur par les observateurs et ressenti (ou entendu : « CRAC ») par l'élève évalué peut parfois engendrer des incompréhensions du résultat de l'évaluation. Pour pallier à cet éventuel désaccord, un évaluateur pourrait prendre place en tant que « patient cobaye » pour émettre un avis objectif sur la précision du geste évalué. Cependant, par soucis d'équité et d'objectivité, il faudrait que l'« évaluateur cobaye » soit la même personne durant la session d'évaluation pour être à « la Merci » de l'intégralité des élèves évalués. Non seulement manipuler une articulation de manière répétée par des élèves plus ou moins précis pourrait être néfaste pour la zone concernée, mais aussi il est compréhensible que dès la première manipulation effectuée, l'état de la structure sous-jacente soit déjà modifié et ne soit donc plus identique pour tous les évalués.

Pour évaluer la réussite du geste lors de l'apprentissage de la réanimation cardiaque, les élèves ont à leur portée un mannequin ...au grand soulagement des évaluateurs...

C. PROBLEMATIQUES:

Je me suis donc posé la question de savoir si à ce-jour il existait pour notre profession des mannequins d'entraînement pour permettre un « feed-back » du geste effectué.

Après de nombreuses recherches, les seuls mannequins que j'ai pu constater sont dédiés à la réanimation cardiaque, aux gestes infirmiers ou bien encore pour l'aide à l'accouchement et le nourrisson (2). Seules quelques études (3) (4) (5) (6) (7) (8) (9) principalement effectuées par des chiropracticiens ressortent de mes recherches. Celles-ci s'intéressent essentiellement au temps écoulé entre le déclenchement du geste (Toggle recoil) et le pic de force maximal atteint. Les capteurs de force utilisés étaient soit placé comme interface entre la main du manipulateur et le mannequin (colonne vertébrale anatomique englobée dans un silicone) ou bien placés dans la table (comparable à un pèse-personne géant) (10). Cependant, pour nos techniques manipulatives telles qu'enseignées à l'IFSO Rennes il ne m'était pas envisageable de les limiter à la simple force appliquée.

Si un tel outil n'existe pas encore pour notre profession, serait-il possible d'en concevoir un qui permette l'analyse de divers paramètres physiques de notre geste ostéopathique ?

Celui-ci pourrait-il être utilisé comme « feed-back » à des fins d'enseignement et d'évaluation ?

Pour tenter de répondre à ces hypothèses, et anticipant la relative complexité du travail, j'ai décidé de ne m'intéresser qu'à une seule technique : la sous-astragaliennne, aux pisiformes, pied sur la table.

Le choix cette articulation s'explique par le fait qu'elle représente une des techniques pédagogiques enseignée et revue durant chaque année d'étude au sein de l'IFSO Rennes.

II. MATERIEL ET METHODE

A. MATERIELS

1. OSSATURE

Le « mannequin » ne représente pas un homme ou une femme dans son intégralité mais simplement la zone concernée (l'articulation sous-astragalienne) ainsi que son voisinage à savoir une jambe depuis les orteils jusqu'à mi-cuisse.

La première étape de la conception était de se procurer une jambe anatomique avec articulation pour s'en servir comme ossature. Pour cela je me suis procuré un « squelette de jambe avec moitié de bassin et pied flexible » de chez Erler ZIMMER vendu par GirodMedical (11) le 04 Avril 2018.

L'intérêt de cette jambe est le respect des plans articulaires ainsi que la fonctionnalité de chaque articulation excepté la rotule malheureusement fixé sur le fémur.



2. CAPTEUR DE FORCE

Un des paramètres évalués est la force appliquée sur l'astragale lors de la manipulation. Pour pouvoir la mesurer, j'ai fixé en arrière du dôme astragalien, sur la zone de contact de notre pisiforme, un capteur de force capacitif de la marque « Single Tact » S15-450N acheté le 24 Septembre 2018 sur le site internet de Robotshop (12).

Celui-ci me semblait parfait pour l'utilité que j'en avais car il a les caractéristiques suivantes :

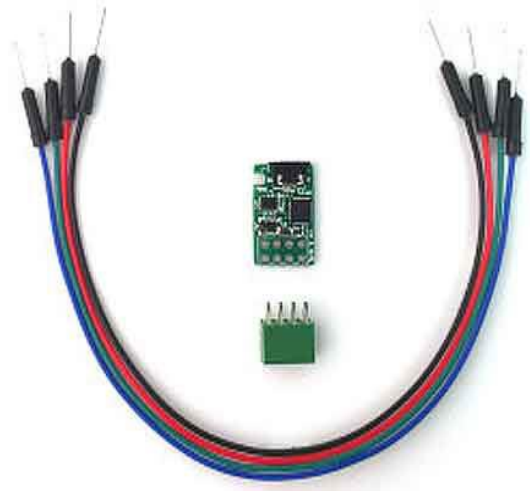


- Grande souplesse. Lui confère la capacité de se modeler au support.
- Faible surface de contact de seulement 15mm de diamètre. Idéal pour ne mesurer que le contact du pisiforme.
- Faible épaisseur de 0.35mm. Le relief est imperceptible et ne perturbe pas le geste.
- Mesure de force jusqu'à 450 Newtons (environ 45Kg) hautement sensible avec marge d'erreurs inférieures à 1%.
- Ce capteur fonctionne en 5V.

Afin de faciliter l'acquisition des données ainsi que de rendre plus aisé le branchement, je me suis procuré le 05 Septembre 2018 un DAQ électronique (13) qui est une carte interface adaptée au capteur de force « Single Tact ».

Ces caractéristiques sont les suivantes :

- ✓ Rôle mis à jour : >300 Hz
- ✓ Sortie analogique : 0,5-1,5 V
- ✓ Entrelacement numérique : I2C (100 kHz)
- ✓ Tension : 3,3 V
- ✓ Tension d'alimentation : 3,7-12 V
- ✓ Courant d'entrée : 2,5 mA à 3 MHz
- ✓ Poids : capteur 0,23 g/Électronique 1,6 g
- ✓ Température de fonctionnement : -40 à 85°C



3. CAPTEUR DE PRESSION

Pour évaluer la pression générée au sein de l'articulation sous-astragaliennne (entre l'astragale et le calcanéum), deux possibilités s'offraient à moi :



- Utilisation d'un capteur de pression mécanique :

Ce type de capteur a l'avantage en plus de son faible coût d'être très simple à installer, mais présente un désagrément notoire qui est son épaisseur ainsi que sa rigidité. En effet, placé au cœur de l'articulation, il aurait créé un obstacle au bon glissement des surfaces articulaires. Par ailleurs, de par sa rigidité, il n'aurait pas épousé de manière efficace l'ensemble de la surface articulaire avec, par conséquent, perte d'efficacité de mesure.



- Utilisation d'un capteur pression de gaz :

L'inconvénient majeur de ce type de capteur est sa plus grande complexité d'installation car nécessite des composants annexes, mais il a la particularité d'être déporté de l'articulation. Cela lui confère donc un atout majeur car les surfaces articulaires lors de la manipulation restent libres dans leur glissement.

Je me suis donc orienté sur l'intégration d'un capteur de pression à gaz, notamment le MPX 5500 DP (photo ci-dessus) de Freescale obtenu le 28 Avril 2018 sur le site de Gotronic (14). La tension d'utilisation de 5V, sa grande fiabilité, sa linéarité ainsi que sa plage de mesure jusqu'à 500kPa (5 Bar) sont les caractéristiques qui m'ont orienté vers le choix de celui-ci.

Cependant, comme vu plus haut, l'utilisation de ce capteur nécessite d'autres éléments. En effet ce dernier est situé à l'extérieur de l'outil, il faut donc lui connecter une arrivée d'air pour qu'il en analyse la pression.

4. BALLONNET

L'interface de transmission des variations de pression d'air choisi devait correspondre à un ballon dont les parois seraient les plus fines possibles mais très résistantes pour supporter la pression générée au sein de l'articulation lors de la manipulation.

J'ai opté pour l'utilisation d'une sonde urinaire à ballonnet de contenance de 50 ml.

En effet ce type de ballon est constitué entièrement en silicone ce qui lui confère une grande résistance à la rupture ainsi qu'une grande élasticité. Le calcanéum a été préalablement foré créant un sillon afin de déporter la conduite d'air du ballonnet jusqu'à l'extérieur, au travers d'une gaine rigide. Le placement de cette gaine permet de changer de sonde lorsque celle-ci est défectueuse.



5. POMPE A AIR

Pour permettre de gonfler le ballonnet à notre guise, l'utilisation d'une pompe à air était intéressante.

Dans les premiers tests lors de la conception de l'outil, j'ai utilisé une pompe récupérée dans un tensiomètre électronique. Celle-ci semblait satisfaisante pour gonfler le ballonnet placé préalablement au sein de l'articulation. Cependant, ces tests ne prenaient pas en compte la résistance générée par l'habillage final de l'outil. Je me suis donc procuré le 04 Octobre 2018 la « Vacuum Pump 12VDC 0-16" HG » (cf photo ci-dessous) de chez Sparkfun Electronics acheté sur le site de Digikey. (15)



Les caractéristiques de cette pompe à air sont les suivantes :

- ❖ 12 à 15 l/min.
- ❖ Pression 32 PSI (2.2 bars)
- ❖ Tension 12V.

6. ELECTROVANNE A AIR

Le principe d'une électrovanne à air est comparable à un robinet classique excepté le fait qu'il est actionnable électriquement. Cette caractéristique est très utile car elle permet de s'assurer que le ballonnet ne risque pas la surcharge de pression lors du gonflage en ouvrant la vanne afin de le dégonfler et ainsi atteindre la pression définie préalablement.

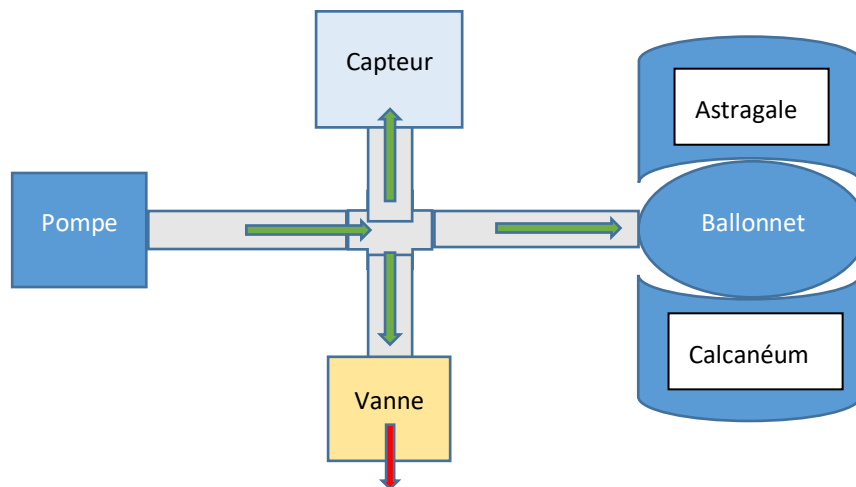
L'électrovanne utilisée dans cette conception est récupérée d'un tensiomètre électronique. Celle-ci fonctionne en 6V.



7. TUBULURES ET RACCORDS

Pour relier le ballonnet, la pompe, le capteur de pression ainsi que l'électrovanne, des raccords et tubulures en silicone sont principalement utilisés. Pour une plus grande maniabilité et étanchéité, des tuyau silicone souples de diamètre 4/6 (intérieur/extérieurs) ont été choisis. Par ailleurs, des raccords en « T » permettent de raccorder l'ensemble dans un seul et même circuit. Le schéma ci-dessous représente le fonctionnement :

Schéma n°1 : Circuit de pression :



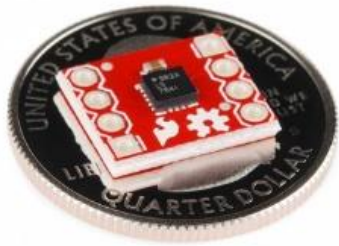
8. ACCELEROMETRE

Selon Wikipédia, « un accéléromètre est un capteur qui, fixé à un mobile ou tout autre objet, permet de mesurer l'accélération linéaire de ce dernier. On parle d'accéléromètre même lorsqu'il s'agit en fait de 3 accéléromètres qui calculent les accélérations linéaires selon 3 axes orthogonaux.

Par contre, lorsqu'on cherche à détecter une rotation ou vitesse angulaire, on parle de gyromètre. Plus généralement on parle de centrale à inertie lorsqu'on cherche à mesurer l'ensemble des 6 accélérations.

Bien que l'accélération linéaire soit définie en m/s^2 (SI), la majorité des documentations sur ces capteurs exprime en « g » (environ $9,81 m/s^2$) l'accélération (comme celle causée par la gravitation terrestre). »

Il existe de nombreux accéléromètres sur le marché. Pour l'étude, je me suis procuré un accéléromètre linéaire ADXL362 3 axes de chez Sparkfun Electronics acheté sur le site de Gotronic (16) le 28 Avril 2018.



Les caractéristiques de l'ADXL362 sont les suivantes :

- Alimentation: 2,0 Vcc (1,5 à 3,5 Vcc).
- Plage de mesure: 8g.
- Résolution: 1 mg/LSB.
- Dimensions: 13 x 10 mm.
- Interface SPI.

L'avantage de ce capteur est sa très petite taille (1cm*1.3cm) ainsi que sa résolution de 8g. Par ailleurs, son taux de rafraîchissement (nombre de prises de mesures) peut aller jusqu'à 400hz (400/secondes) soit environ une mesure toutes les 3 millisecondes.

Celui-ci a été placé au « cœur » du corps de l'Astragale au plus près de son centre d'inertie. L'os a donc été foré au préalable pour y insérer l'accéléromètre. Un canal partant de la face postérieure de cet os jusqu'à la cavité contenant l'ADXL362 a été foré afin de laisser le passage des connectiques.

9. CARTES ELECTRONIQUES

L'ensemble des capteurs cités ci-dessus ont un fonctionnement assez simple. Grossièrement, nous pouvons les comparer à des résistances avec potentiomètre. Sans stimulation, le capteur bloque la continuité du courant. A l'inverse, lorsque celui-ci est sollicité, il laisse circuler du courant de manière proportionnelle à la stimulation. Par exemple, le capteur de force utilisé fonctionne avec un courant nominal de 5 Volts. Lorsqu'aucune force ne lui est appliquée, le capteur résiste au courant. Si nous mesurons à ce moment précis à l'aide d'un voltmètre le courant à sa sortie, nous aurons la valeur 0V. Si au contraire nous appliquons 45 kg de charge (sa limite maximale soit 450 Newtons), nous aurons en valeur de retour 5 Volts.

L'utilisation optimale de ces capteurs nécessite une alimentation adaptée pour les faire fonctionner, ainsi qu'un récepteur qui puisse traduire les réponses reçues. C'est le rôle dévolu à certains microcontrôleurs tel que l'ARDUINO.

Un microcontrôleur est « *un circuit intégré qui rassemble les éléments essentiels d'un ordinateur : processeur, mémoires (mémoire morte et mémoire vive), unités périphériques et interfaces d'entrées-sorties. Les microcontrôleurs se caractérisent par un plus haut degré d'intégration, une plus faible consommation électrique, une vitesse de fonctionnement plus faible (de quelques mégahertz jusqu'à plus d'un gigahertz) et un coût réduit par rapport aux microprocesseurs polyvalents utilisés dans les ordinateurs personnels.*

Par rapport à des systèmes électroniques à base de microprocesseurs et autres composants séparés, les microcontrôleurs permettent de diminuer la taille, la consommation électrique et

le coût des produits. Ils ont ainsi permis de démocratiser l'utilisation de l'informatique dans un grand nombre de produits et de procédés.

Les microcontrôleurs sont fréquemment utilisés dans les systèmes embarqués, comme les contrôleurs des moteurs automobiles, les télécommandes, les appareils de bureau, l'électroménager, les jouets, la téléphonie mobile, etc. » (Wikipédia) (17).

L'Arduino est un microcontrôleur. Sa facilité de programmation et de branchement en fait un outil de plus en plus utilisé dans le système éducatif notamment dans l'enseignement de la technologie.

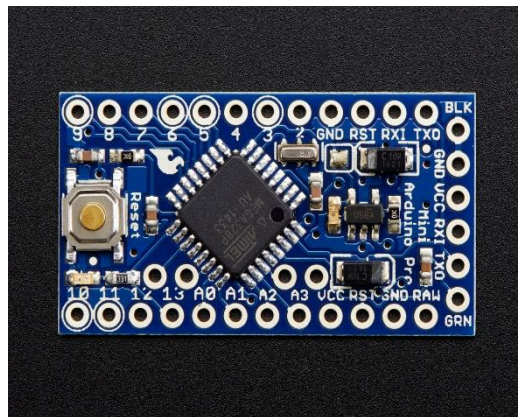
Il existe de nombreuses versions de l'Arduino à choisir en fonction de l'utilité. Pour mon travail, j'ai été amené à utiliser deux Arduino différents.

A) ARDUINO MINI-PRO 3.3V

L'accéléromètre utilisé doit être alimenté en 3 Volts. Par ailleurs pour obtenir un taux de rafraîchissement (nombre de mesures / secondes) maximal celui-ci doit être connecté par liaison SPI (« Serial Peripheral Interface »).

Les caractéristiques de l'Arduino Mini-pro 3.3V qui nous intéressent dans le projet sont les suivantes :

- Microcontrôleur : ATmega 328.
- Alimentation : 3.35 à 12V.
- Tension de sortie : 3.3V.
- Intensité de sortie : 40 mA.
- SPI :1.
- Taille : 33mm * 18mm



A l'instar de sa rapidité de communication, l'Arduino et le capteur ne peuvent pas être éloignés d'une trop grande distance. Après de nombreux tests, la distance maximale atteinte est d'environ 8 cm.

Les contraintes d'alimentation (3Volts) et de distance (8cm) m'ont amené à utiliser un Arduino exclusivement pour la gestion de l'accéléromètre. Cet Arduino est un Arduino Mini Pro 328 3.3V 8Mhz acheté le 04 Octobre 2018 sur le site de Digikey (18).

Pour être au plus proche de l'accéléromètre sans gêner la liberté de l'astragale lors de la manipulation, j'ai fixé le microcontrôleur sur la partie distale et postérieure du tibia entre le tibia et le péroné.

Le transfert des données reçues par cet Arduino ainsi que son alimentation se fait par de simples câbles électriques qui ressortent de la jambe pour rejoindre la carte mère principale qui n'est autre qu'un second Arduino.

B) ARDUINO MEGA 2560

Contrairement à l'accéléromètre, les capteurs et l'électrovanne nécessitent un courant de 5V pour leur alimentation. L'Arduino mini Pro 3.3V que nous avons vu précédemment peut être alimenté en 5V (plage de 3.35 à 12V ; cf ci-dessus).

Pour permettre l'alimentation et la « discussion » avec les différents éléments, il était nécessaire d'ajouter un microcontrôleur comparable à une carte mère d'ordinateur. Celui-ci devait être capable d'échanger des informations avec les éléments installés, mais aussi de traiter les données reçues pour enfin les rendre lisibles et compréhensibles par l'utilisateur.

De nouveau, par la facilité d'utilisation et l'étendue de ses capacités, je me suis orienté vers un Arduino pour remplir cette tâche.

Les caractéristiques de l'Arduino Méga 2560 intéressant notre projet sont les suivantes :



- Alimentation : 7 à 12Volts.
- 54 broches d'E/S dont 14 PWM.
- 16 entrées analogiques 10 bits.
- Intensité par E/S: 40 mA.
- 3 ports série.
- Bus I2C et SPI.

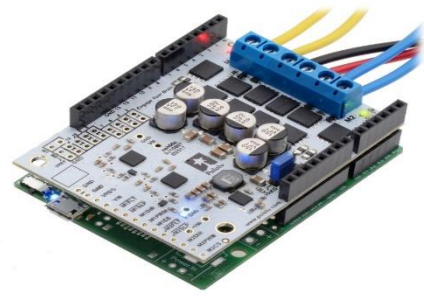
Son nombre important d'entrées analogiques permettant d'y raccorder les capteurs, les 3 ports séries permettant d'échanger avec une autre carte électronique (Arduino mini pro vu plus haut), sa connexion USB pour le relier à un ordinateur ainsi que son port SPI font de l'Arduino Mega 2560 une carte de choix pour notre projet. Je me suis donc procuré ce microcontrôleur le 16 Aout 2018 sur le site de Gotronic (19).

10. CARTES ANNEXES

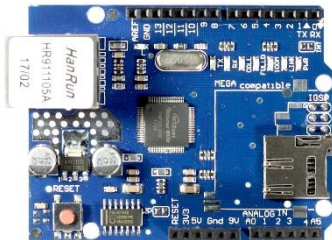
L'Arduino Mega 2560 vu ci-dessus est capable à lui seul d'alimenter et de recevoir les informations des différents capteurs décrits précédemment. Pour augmenter les capacités de gestion de cette carte, il existe des cartes annexes nommées « Shield » qui peuvent s'enficher sur la carte principale afin de fournir des extensions.

A) SHIELD MOTEUR

La pompe utilisée pour gonfler le ballonnet doit être alimentée en 12V, or les sorties de la carte ne peuvent fournir que 5V. Pour pallier à cette difficulté je me suis procuré sur le site de Gotronic (20) le 28 Avril 2018 le Shield Moteur « Pololu Dual G2 High-Power Motor Driver Shield » permettant de commander et d'alimenter jusqu'à 18V deux moteurs différents. Ainsi, la pompe peut être actionnée de manière progressive via une commande envoyée par l'Arduino Mega 2560 au Shield moteur, lui-même directement alimenté par un transformateur 12V.



B) SHIELD CARTE SD



Afin d'optimiser le temps de latence nécessaire à l'affichage des données reçues et traitées par les cartes d'acquisition, il m'a été nécessaire de me procurer un module (Shield) supplémentaire dédié à cette tâche. Je me suis procuré un « Shield Ethernet SD W5100 » de chez Paradisetronic et acheté sur le site d'Amazon (21) le 15 Septembre 2018.

Ce module complémentaire permet d'y logger une carte de type micro SD pour permettre l'enregistrement des données. L'utilisation de ce type de carte a l'avantage de pouvoir être mobile et donc de facilement transmettre les données sur un ordinateur en vue de leur traitement en post-acquisition.

11. ENVELOPPE

Le capteur de force situé au-dessus du dôme Astragalien, sa carte d'interface fixée sur la face postérieure de l'Astragale, l'accéléromètre placé au cœur de l'Astragale et son Arduino mini Pro qui lui est dédié (qui fait office de carte d'interface) fixé sur la face postérieure de la partie distale du tibia ainsi que le ballonnet (interface de mesure de pression) placé dans l'articulation sous-astragalienne ne permettent pas de finaliser l'outil. En effet, à cette étape tous les composants depuis l'ossature jusqu'aux capteurs sont « mis à nu » et sont par conséquent vulnérables. Il était donc nécessaire d'unifier et de protéger l'outil dans une enveloppe externe, tout comme la peau protège les tissus sous-jacent.

L'enveloppe protectrice a été réalisée en deux étapes successives.

A) EMPREINTE DE JAMBE

Afin d'obtenir un aspect esthétique le plus proche de la réalité, il m'a semblé intéressant de réaliser dans un premier temps une empreinte de vraie jambe. Pour réaliser ce masque, j'ai utilisé un silicone polyaddition : le RTV EC22 de chez Esprit Composite obtenu chez Rougier & Plé (22) le 09 Février 2019.



Ses caractéristiques techniques sont les suivantes :

- ❖ Dureté : 22 Shore A.
- ❖ Dosage : 1/1.
- ❖ Temps de prise : 5 à 20min.
- ❖ Démoulant : Talc.

La facilité de préparation (une dose de produit A pour une dose de produit B) et d'application (au pinceau), sa rapidité de prise (5 à 20 minutes) et sa dureté souple mais résistante (22 Shore A) ainsi que sa composition hypoallergique (application directe sur la peau) confèrent à ce silicone de nombreux avantages qui ont justifié mon choix. L'utilisation de ce type de silicone a par ailleurs l'avantage de reproduire de manière très fidèle les aspects de la peau.

Une fois l'empreinte effectuée, celle-ci pouvait servir de moule pour « enrober » l'ensemble de l'outil préalablement construit.

B) ENROBAGE DE L'OUTIL



La deuxième étape d'élaboration de l'enveloppe a consisté à positionner l'ossature avec ses capteurs dans le moule nouvellement créé. Afin de dédier un espace suffisant pour le gonflement du ballonnet, celui-ci a été pré-gonflé avant l'enfouissement.

L'ensemble de l'ossature a alors été coulée dans la masse grâce au silicone « Skin FX 10 » (23) de chez Esprit Composite obtenu chez Rougier & Plé le 09 Février 2019.

Ce silicone est un bi-composant polyaddition et est utilisé pour la fabrication de prothèse ainsi que pour les effets spéciaux.

Ces caractéristiques d'applications sont les suivantes :

- Temps de mélange : 1 minute à 23°C.
- Temps de travail : 6 à 8 minutes à 23°C.
- Dosage : 1/1.
- Temps de démoulage : 1 heure.

La grande fluidité de ce silicone une fois mélangé lui permet de se déverser très facilement pour remplir le moule et se répartir uniformément. Par ailleurs sa dureté (13 Shore A) lui

confère une résistance au déchirement tout en obtenant une grande souplesse de déformation. Il est utilisé régulièrement pour l'élaboration d'effets spéciaux.

12. PROGRAMME ET CODE

Comme nous l'avons vu précédemment, pour acquérir et traiter les données reçues des capteurs, nous avons utilisé des Arduino comme carte d'acquisition. Cependant, il ne suffit pas simplement de brancher les capteurs, il faut donner l'ordre à la carte d'effectuer des actions c'est-à-dire qu'il faut programmer le microcontrôleur.

Par ailleurs, bien que j'ai équipé la carte d'un module (Shield) contenant une carte micro-SD pour sauvegarder les données en vue de leur analyse manuelle ultérieure, il m'a semblé intéressant de créer un logiciel servant d'interface « Homme / Machine ».

A) CARTES ARDUINO

Pour pouvoir mener à bien mon projet, il m'a fallu m'intéresser à la programmation des microcontrôleurs à base d'Arduino (24) (25).

Pour que toute communication soit possible, il est nécessaire de discuter le même langage. Il en est de même en électronique.

Les cartes Arduino possèdent leur propre langage « Arduino » qui est très proche du langage informatique « C » et « C++ ». Pour le découvrir et arriver à mes fins, je me suis orienté vers le site internet d'« openclassroom » (26), consulté la première fois le 09 Décembre 2017. Des tutoriels « pas à pas » y sont très bien expliqués et accessibles quelques soient nos connaissances préalables.

Les paramétrages des capteurs quant à eux nécessitent non seulement la connaissance du langage « Arduino » mais aussi l'étude approfondie de leurs documentations.

Celles-ci sont appelées DataSheet et sont consultable directement sur internet sur le site des fabricants. (27) (28) (29).

La programmation des Arduino a été effectuée grâce au logiciel dédié « ARDUINO 1.8.9 » téléchargeable gratuitement directement sur le site de l'éditeur Arduino (30).

B) LOGICIEL JAVA

Afin de visualiser instantanément les valeurs reçues et traitées par les cartes d'acquisition, je me suis intéressé au langage informatique appelé « JAVA ». Celui-ci n'est plus à ce jour le langage de prédilection pour la création de logiciels, mais sa facilité d'apprentissage et d'utilisation m'ont orienté vers ce choix. Une de ses plus grandes forces est son excellente portabilité c'est-à-dire qu'une fois le programme créé, il fonctionne automatiquement sous Windows, Mac, Linux, etc.

Pour permettre de construire un logiciel, il faut au préalable se munir d'un « environnement de développement intégré » appelé « IDE » (Integrated Development Environment) grâce auquel la programmation est possible. Il existe de nombreux IDE sur le marché.

Le distributeur « Eclipse » fournit en téléchargement gratuit un IDE très efficace et intuitif nommé « Orion » (31).

Par l'intermédiaire de manuels d'apprentissages (32) ainsi que de forums d'entraide à la programmation sous Java (33) j'ai pu réaliser un logiciel servant d'interface pour afficher et enregistrer sur un ordinateur les données envoyées par l'outil créé.

13. LOGICIELS DE TRAITEMENT

Les données enregistrées sur la carte microSD sont transmises vers un ordinateur. Elles sont alors intégrées à un tableur pour les « mettre en forme » en vue d'un traitement statistique ultérieur.

Le tableur utilisé dans cette étude est Microsoft Excel provenant de la suite logicielle Microsoft Office Professionnel Plus 2016. L'utilisation de ce logiciel m'a paru intéressante car couramment utilisé et donc relativement simple pour profiter de ces fonctionnalités. Par ailleurs, il lui est possible d'y intégrer certains logiciels tiers. C'est le cas du logiciel « XLSTAT » développé par Addinsoft téléchargeable en version d'essai sur le site de l'éditeur (34) et qui apporte à « Excel » des fonctionnalités professionnelles d'analyse statistique. Un autre point fort de cette suite logicielle est la présence de guides permettant le choix des tests statistiques (35) (36) (37) à utiliser ainsi que leur condition préalable à remplir pour les valider.

Pour l'étude, j'ai utilisé la version « XLSTAT 2016 ».

B. METHODE

L'objectif de l'étude étant de savoir si un outil d'analyse à des fins d'apprentissage et d'évaluation du geste manipulatif en ostéopathie structurelle pouvait être conçu, il a été nécessaire de procéder en plusieurs étapes. Successivement, l'étude devra effectuer un recueil de données, une analyse statistique de celles-ci puis une vérification des résultats par une prise de nouvel échantillon de test.

1. RECUEIL DE DONNEES

Dans un premier temps, un recueil de données a été effectué. Pour cela, il a été demandé la participation d'étudiants des différents cycles d'études (de la première à la cinquième année) ainsi que celle d'enseignants de l'école d'ostéopathie de Rennes (IFSO-R).

Le recrutement s'est effectué sur la base du volontariat. Les données sont pour l'étude anonymes mais peuvent être transmises aux intéressés par simple demande.

Il a été explicité à chaque participant les mêmes consignes afin d'éviter un biais de compréhension du travail demandé.

Le discours était le suivant : « *Je vous demande d'effectuer à deux reprises une manipulation sur le pied. La manipulation demandée est une sous-astragaliennne aux pisis, le pied sur la table. Chaque manipulation devra comprendre un ou des SLACKS suivi d'un seul THRUST.* »

Le pied que vous voyez étant artificiel, il n'y a pas de lésion. N'en cherchez pas !. L'objectif est de déterminer une zone lors du SLACK que vous souhaitez Thruster en essayant de respecter notre précepte qui est de ne pas dépasser la porte. L'enregistrement des données débutera avant votre présentation sur le pied lorsque je vous dirai 'OK' et sera arrêtée après votre Thrust lorsque vous enlèverez vos mains du pied. Lorsque je vous dirai une deuxième fois 'OK', vous pourrez de nouveau vous approcher de l'outil et effectuer une deuxième manipulation. Si vous le souhaitez, vous pouvez tester avant l'enregistrement pour vous familiariser avec l'outil ».

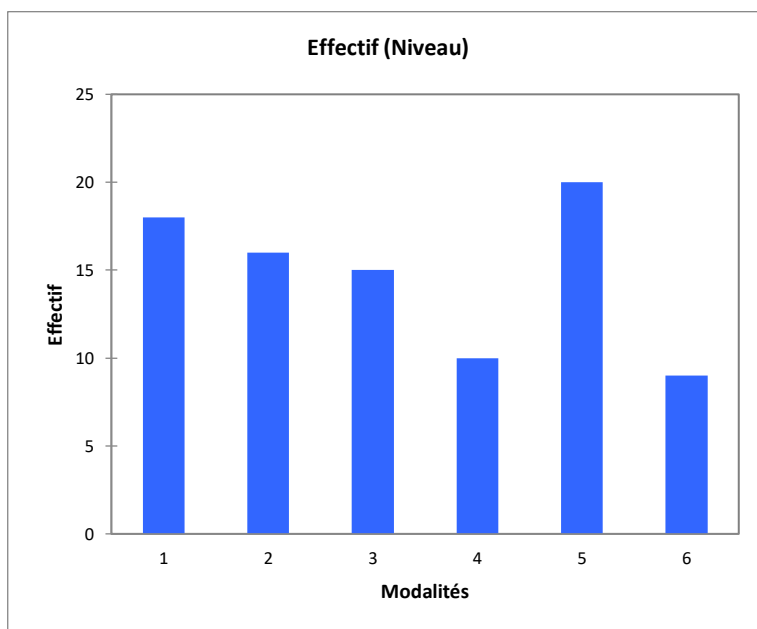
Les données recueillies ont été regroupées par niveaux ; Le niveau 1 correspondant à la première année et le niveau 5 à la 5^{ème} année d'étude. Le niveau 6 quant à lui représente les enseignants.

Le tableau ci-dessous présente les effectifs pour chaque groupe testé :

Tableau n°1 : Effectifs de la base de donnée :

Variable	Modalités	Effectifs	%
Niveau	1	18	20,455
	2	16	18,182
	3	15	17,045
	4	10	11,364
	5	20	22,727
	6	9	10,227

Histogramme n°1 : Répartition de l'effectif de la base de donnée :



Afin d'éviter des risques de pertes de données, après huit enregistrements (4 participants * 2 manipulations) l'expérimentation était arrêtée le temps de transférer les données de la carte microSD vers l'ordinateur, puis réinitialisée avant sa réintroduction dans l'outil.

2. PREPARATION DES DONNEES

Les données recueillies directement depuis l'enregistrement de l'Arduino se présentent sous la forme brute de valeurs telles que :

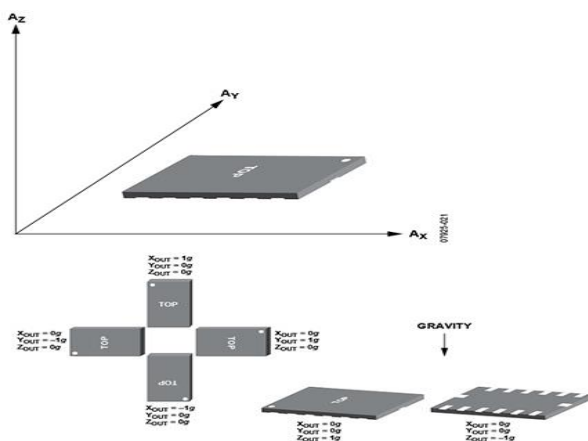
Debut du Test: 1

```
8;11.95;X:-177;Y:-25;Z:176;218
1;11.95;X:-177;Y:-29;Z:176;222
1;11.95;X:-X:-178;Y:-29;Z:175;226
1;11.95;X:-177;Y:-25;Z:168;230
2;11.95;X:-177;Y:-23;Z:172;234
1;11.95;X:-177;Y:-25;Z:174;238
1;11.95;X:-177;Y:-26;Z:176;242
```

Chaque ligne que nous observons correspond à une prise de mesure des différents capteurs. Chaque mesure pour être visible est séparée d'un « ; ». Ainsi, la lecture de ces lignes se fait de la manière suivante :

Force ; Pression ; Accélération Axe X ; Accélération Axe Y ; Accélération Axe Z ; Temps

Importées dans Excel et après quelques manipulations des lignes de données, celles-ci sont classées par colonne représentant respectivement la force exprimée en Newton, la pression en kilo Pascal, les accélérations sur les axes x, y et z en « milli-g » ainsi que le temps écoulé en millisecondes.



L'accéléromètre différencie les accélérations sur 3 axes (cf figure ci-contre).

Pour obtenir une seule valeur intégrant l'ensemble des accélérations des différents axes, j'ai effectué une équation quadratique des 3 valeurs obtenant ainsi :

$$\text{Accélération(Acc) Totale} = \sqrt{(\text{AccX}^2 + \text{AccY}^2 + \text{AccZ}^2)}$$

L'avantage de présenter l'accélération sous cette forme est qu'elle intègre les accélérations subies sur les 3 axes. L'inconvénient majeur réside dans le fait qu'il n'est alors plus possible

de comparer les accélérations sur les différents axes. Cependant pour cette étude, l'analyse des variations sur les 3 axes n'est pas retenue et ne porte pas d'intérêt.

Les valeurs sont donc retranscrites sous la forme de colonnes séparant le temps écoulé, la Force, la Pression et l'Accélération globale comme ci-dessous :

Image n°1 : Exemple de données :

T	F	P	A
0	0	0	0
5	-2	-1,08	13
10	-2	-1,08	54
17	0	0	150
20	-12	-0,54	345
25	0	-1,08	617
30	0	-1,08	978
36	0	-0,54	1363
41	0	-0,54	1700
46	0	-1,08	2093
52	0	-0,54	1881
56	0	0	1305
62	1	0	847
67	3	-0,54	522

T = temps écoulé (millisecondes) ; F = Force (N) ; P = Pression (kPa) ; A = Accelération (milliG)

Depuis ce tableau, nous pouvons observer la variation de la force, de la pression et de l'accélération en fonction du temps. Cependant, il m'est apparu intéressant de me concentrer sur la variation d'accélération au cours du temps. En effet nous pouvons dans cet exemple observer que l'accélération maximale (2093 milli-G) est atteinte après 46 milli-secondes puis décroît pour atteindre sa valeur minimale (522 milli-G) en 21 millisecondes (67-46=21). Mais ces phases d'accélération et de décélération sont-elles linéaires ou bien existe-t-il des pics ponctuels plus important ? Pour cela, quelques rappels de notions de physique dynamique s'imposent.

Rappel succincts de notions de physique :

- La vitesse est la dérivée du vecteur position par le temps ($m. sec^{-1}$; mètres/secondes).

$$Vitesse(v) = \frac{Distance\ parcourue}{Temps} = \frac{d(x)}{d(t)}$$

- L'accélération est la dérivée seconde du vecteur position, soit la dérivée du vecteur vitesse par le temps ($m. sec^{-2}$; mètres/secondes/secondes).

$$Accélération(a) = \frac{variation\ de\ vitesse}{temps} = \frac{d(v)}{d(t)}$$

L'étude de l'accélération permet d'expliquer les variations de vitesse.

Après quelques recherches, j'ai appris qu'il existait une grandeur permettant d'apprécier les variations de l'accélération.

Cette grandeur se nomme le Jerk (ou Jolt pour les Anglo-saxons) et est la dérivée troisième du vecteur position par le temps ($m. sec^{-3}$; mètres/secondes/secondes/secondes). Ainsi nous obtenons :

$$Jerk(j) = \frac{variation\ d'accélération}{temps} = \frac{d(a)}{d(t)}$$

Il me semble intéressant d'intégrer cette valeur à l'étude car elle représente l'impulsion, la secousse, l'A coup.

Le tableau de retranscription des valeurs de chaque sujet se présente donc sous la forme suivante :

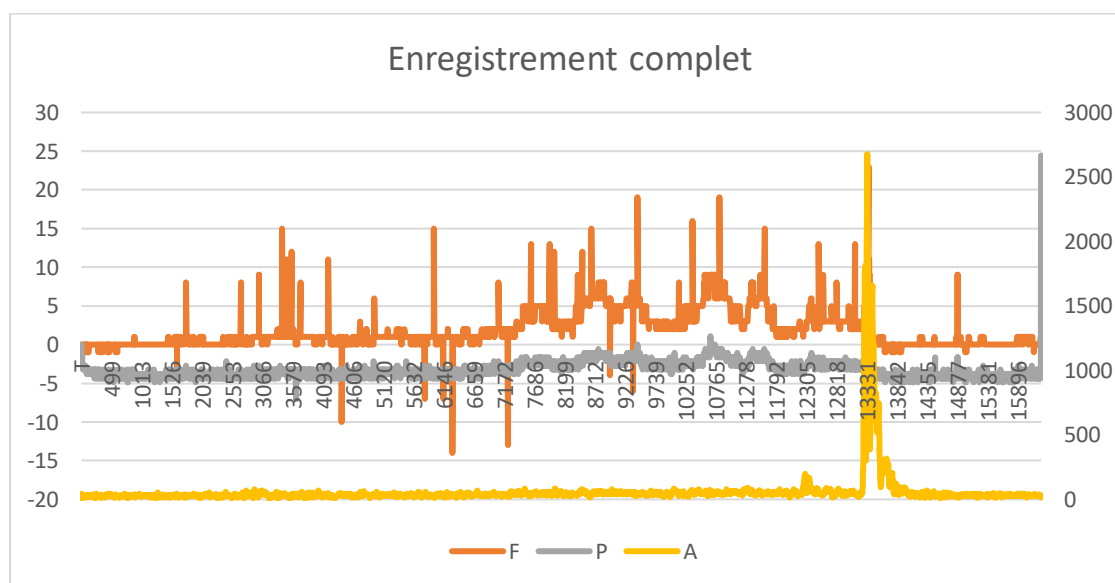
Image n°2 : Exemple de préparation de données :

T	F	P	A	Jerk
0	0	0	0	0
5	-2	-1,08	13	24
10	-2	-1,08	54	81
17	0	0	150	135
20	-12	-0,54	345	637
25	0	-1,08	617	534
30	0	-1,08	978	707
36	0	-0,54	1363	630
41	0	-0,54	1700	661
46	0	-1,08	2093	771
52	0	-0,54	1881	-347
56	0	0	1305	-1413
62	1	0	847	-749
67	3	-0,54	522	-637

T = temps écoulé (millisecondes) ; F = Force (N) ; P = Pression (kPa) ; A = Accélération (milliG) ; Jerk = $m \cdot sec^{-3}$

Depuis ce type de tableau, il m'est alors possible d'observer de manière globale la manipulation effectuée depuis la première pose des mains sur l'outil jusqu'à l'enlèvement complet de celles-ci.

Graphique n°1 :

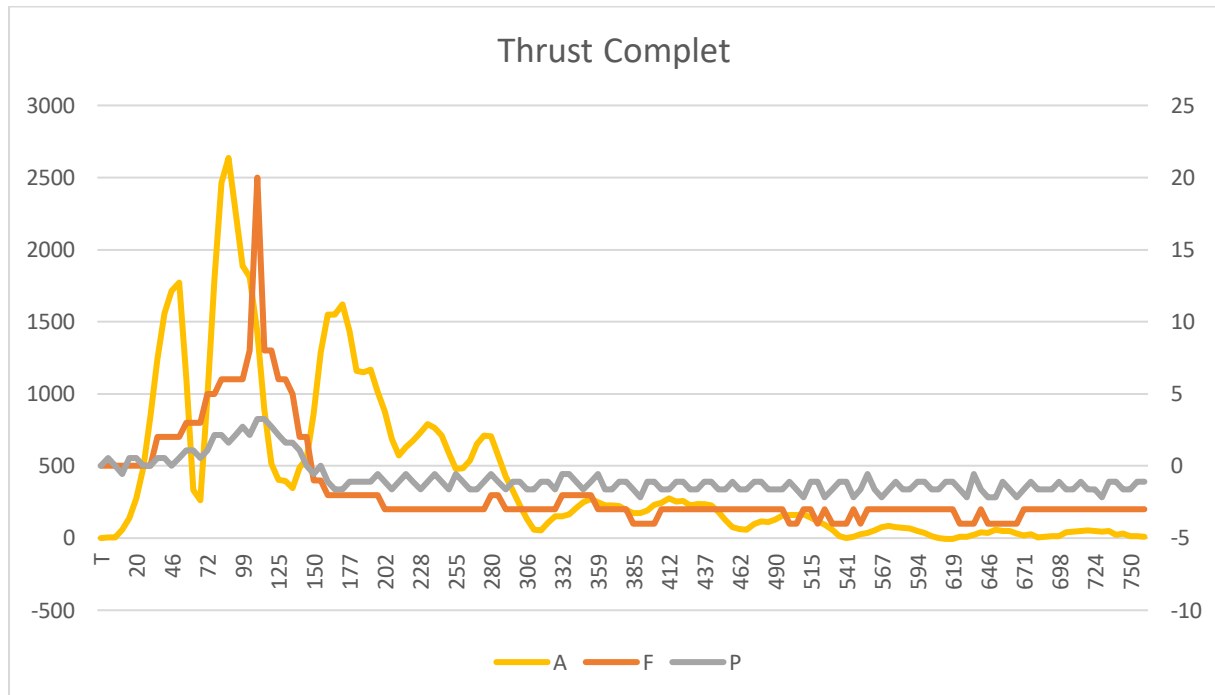


*A=Accélération (milli-G) ; F=Force(N) ; P=Pression (kPa) ; Abscisse = Temps (millisecondes) ; Ordonnées < 100 = Force et Pression ; Ordonnées >100 = Accélération.

Pour permettre une meilleure lecture, une sélection manuelle des données a été effectuée pour ne s'intéresser qu'à l'instant du Thrust.

Ainsi partant d'environ 4000 lignes de valeurs par manipulation effectuée, seulement quelques centaines subsistent.

Graphique n°2 :



*A=Accélération (milli-G); F=Force(N) ; P=Pression (kPa) ; Abscisse = Temps (millisecondes) ; Ordonnées < 100 = Force et Pression ; Ordonnées >100 = Accélération.

Pour une meilleure analyse de ce graphique, j'ai décidé de le scinder en 3 phases comprenant elles-mêmes des sous-phases :

- ❖ Phase 1 :
 - Première accélération.
 - Première décélération.
- ❖ Phase 2 :
 - Deuxième accélération.
 - Deuxième décélération.
- ❖ Résonance.

Au sein de chacune des phases, je distingue différentes valeurs :

Image n°3 : Annotations des variables

jerkA1(m.s-3)	Jerk(jerk) maximal d'Accélération(A) en Phase 1 (1)
tjerkA1(ms)	Temps(t) relatif à jerkA1
accA1(mg)	Accélération maximale(accA) en Phase 1 (1)
taccA1(ms)	Temps(t) relatif à accA1
jerkGLOBA1(m.s-3)	Jerk(jerk) moyen(GLOB) de l'accélération(A) de la phase 1 (1)
Jinst-GlobA1(%)	Rapport d'explication de jerkGLOBA1 par jerkA1
jerkD1(m.s-3)	Jerk(jerk) maximal de Décélération(D) en Phase 1 (1)
tjerkD1(ms)	Temps(t) relatif à jerkD1
accD1(mg)	Décélération maximale(accD) en Phase 1 (1)
taccD1(ms)	Temps(t) relatif à accD1
jerkGLOBD1	Jerk(jerk) moyen(GLOB) de la décélération(D) de la phase 1 (1)
Jinst-GlobD1(%)	Rapport d'explication de jerkGLOBD1 par jerkD1
TPhase1(ms)	Durée de la phase 1
IDEM Phase2	Identique pour la phase 2
TPhase1+2(ms)	Durée du Thrust (phase1+phase2)
TVibrationPostThrust(ms)	Durée de la phase de résonnance
tTot(ms)	Durée totale (Tphase1+TPhase2+ TVibrationPostThrust)

Toutes les valeurs recueillies ont été groupées par niveau. Ainsi, nous obtenons des tableaux des groupes n°1 à n°5 qui correspondent respectivement de la première à la cinquième année de formation. Le groupe des enseignants qui sert de référence au geste de l'expert est quant à lui classé en groupe n°6.

L'intégralité des tableaux obtenus (pour chaque manipulation effectuée) a alors été fusionné pour obtenir in-fine qu'un seul tableau récapitulatif. Celui-ci est placé en annexe.

Pour répondre à la problématique posée qui est de savoir si ce mannequin peut servir d'outil d'entraînement et d'évaluation, il a fallu dans un premier temps trouver des paramètres communs au geste manipulatif effectué par chaque participant de l'ensemble des groupes.

J'ai alors tenté d'analyser la variation de ces paramètres entre un groupe « n », un groupe « n-1 » et un groupe « n+1 » dans l'objectif de mettre en évidence une règle de calcul de prédiction du niveau du sujet.

Enfin, pour tester la capacité de prédiction de l'outil, j'ai constitué un nouveau groupe de testeurs dont le niveau venait d'être évalué lors des examens pratiques de fin d'année scolaire. Ainsi, pour chaque promotion, j'ai sélectionné un étudiant représentant le « Major »(haut de tableau), un autre pour le « Medio »(milieu de tableau) et un « Minor »(bas de tableau).

J'ai ensuite appliqué les formules de prédiction préalablement obtenues sur chacun des testeurs.

3. ANALYSES

Pour mener à bien cette étude, j'ai procédé dans un premier temps à une simple observation graphique. Celle-ci permet rapidement de nous orienter sur la cohérence des résultats et des possibilités de leur analyse.

Les graphiques ont été effectués par l'intermédiaire d'un outil dédié contenu dans le logiciel Excel.

Les paramètres qui ont été retenus par cette observation sont alors, dans une deuxième phase analysés d'un point de vue statistique.

Pour sa facilité d'utilisation et son implémentation possible directement dans Excel, le logiciel « XL STAT 2016 » a permis cette étape.

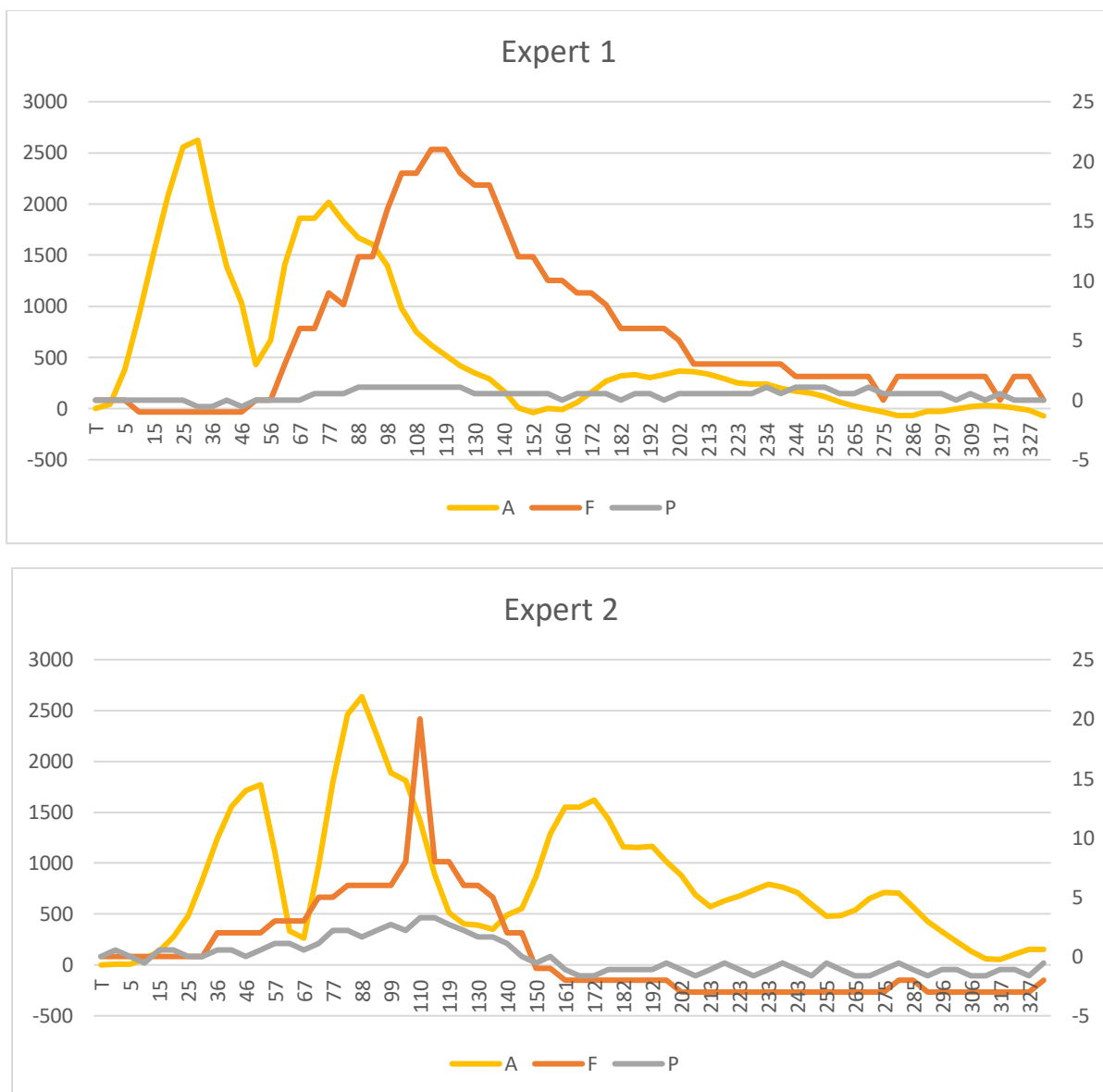
III. RESULTATS

A. OBSERVATION GRAPHIQUE

Par une simple observation générale des courbes représentant l'ensemble des manipulations effectuées, on remarque des similitudes et des différences intra et intergroupes.

1. DIFFERENCES REMARQUABLES INTRAGROUPE DES EXPERTS

Graphique n°3 :



*A=Accélération (milli-G); F=Force(N); P=Pression (kPa); Abscisse = Temps (millisecondes); Ordonnées < 100 = Force et Pression; Ordonnées >100 = Accélération.

Au travers de ces deux graphiques, nous pouvons constater que d'un expert à l'autre, le mode d'application de la force n'est pas comparable. En effet pour l'un, la force est appliquée progressivement et disparaît après 275 millisecondes, pour l'autre l'application est relativement ponctuelle et s'éteint après 150 millisecondes.

Par ailleurs, les crêtes d'accélération précédant l'application de la force maximale ne semblent pas similaires. L'expert n°1 obtiendra manifestement une accélération maximale dès la première crête alors que l'expert n°2 ne l'obtiendra que lors de la deuxième.

Concernant la pression exercée, il semblerait que celle-ci soit le reflet de l'accélération. Par ailleurs il existe de trop grandes incertitudes de fiabilité pour que celle-ci soit analysée.

Discriminer la qualité du geste par une analyse exclusive du pic de force, de pression ou bien encore d'accélération ne me paraît donc pas judicieuse. Pour la suite de l'étude, j'exclue donc ces possibilités.

2. SIMILITUDES REMARQUABLES INTERGROUPE

Nous avons pu remarquer précédemment des différences de certains paramètres au sein du groupe des experts. Si nous retrouvons des similitudes intragroupes donc communes aux différents groupes, il y a de grands espoirs pour que celles-ci puissent statistiquement être corrélées au niveau d'acquisition gestuelle.

Après analyse graphique des paramètres du Thrust de chacun des experts, nous pouvons observer deux paramètres communs à tous :

- L'accélération maximale est atteinte avant même que l'application de la force n'atteigne son apogée.
- Avant que l'application de la force n'atteigne son apogée, on remarque toujours deux phases successives d'accélération.

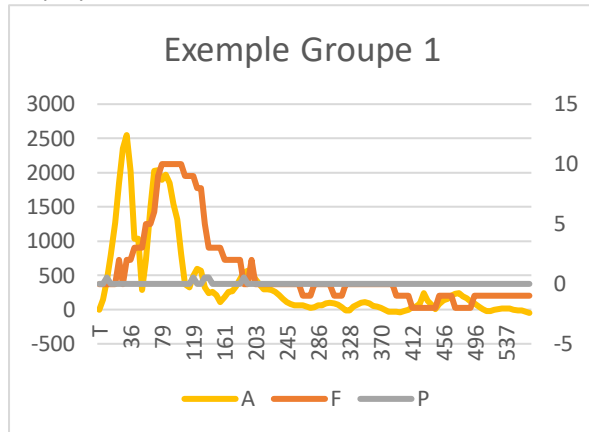
En nous intéressant à l'analyse graphique du Thrust de toutes les manipulations recueillies, il apparaît clairement que ces similitudes observées au sein du groupe des Experts (groupe 6) se retrouvent également dans tous les groupes depuis le niveau 1 au niveau 5. (cf :graphiques 4,5,6,7,8 et 9).

En effet, lorsqu'une force commence à être appliquée sur l'outil, on constate instantanément une augmentation de l'accélération, ce qui est tout à fait compréhensible.

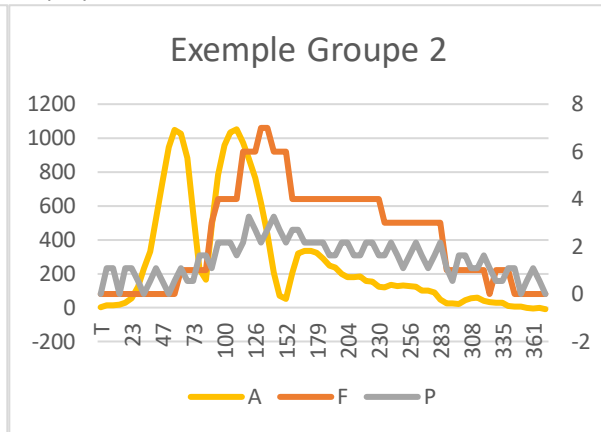
Au moment où la force d'application est maximale, on constate pour toutes les manipulations effectuées, et ce quel que soit le groupe, qu'entre le début d'application de la force et son apogée, l'accélération connaît deux phases distinctes successives.

Par ailleurs, l'accélération maximale est atteinte avant même le point culminant de l'application de la force.

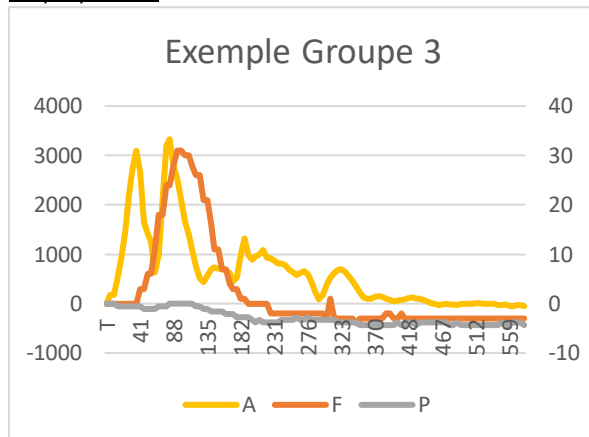
Graphique n°4 :



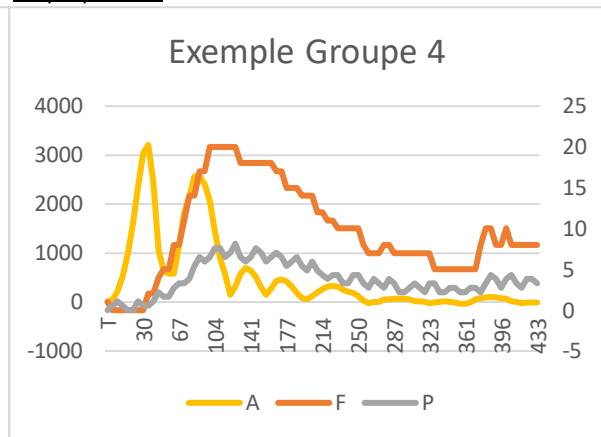
Graphique n°5 :



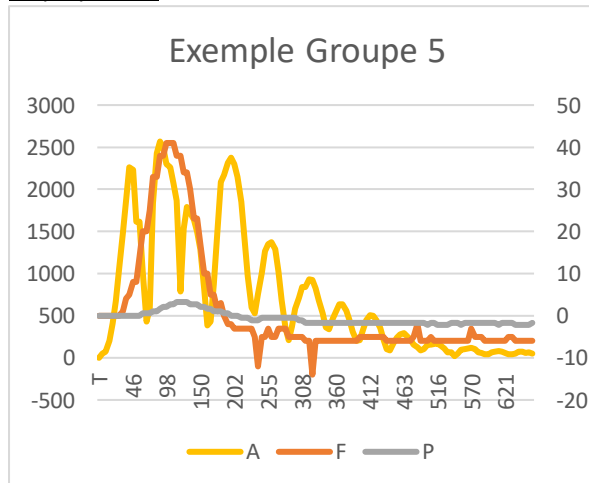
Graphique n°6 :



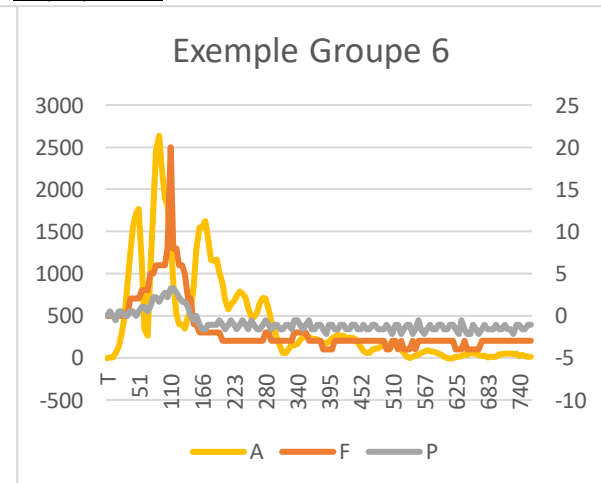
Graphique n°7 :



Graphique n°8 :



Graphique n°9 :



*A=Accélération (milli-G); F=Force(N) ; P=Pression (kPa) ; Abscisse = Temps (millisecondes) ; Ordonnées < 100 = F et Pression ; Ordonnées >100 = Accélération.

Il semble donc que les paramètres de l'accélération puissent être des marqueurs de notre gestuelle technique.

Ces caractéristiques peuvent-elles être le reflet du niveau d'apprentissage des élèves ?

Pour répondre à cette question, des analyses statistiques s'imposent.

B. ANALYSES STATISTIQUES

1. ANALYSE DESCRIPTIVE

La première étape de l'analyse a été de tenter de mettre en évidence des paramètres qui seraient corrélés au niveau observé. Ainsi, j'ai effectué une analyse descriptive de mes données générales (seul et même tableau regroupant la totalité des échantillons) grâce à une méthode de « Caractérisation de variables ». Le tableau ci-dessous en présente les résultats :

Tableau n°2 : Caractérisation de la variable nominale Niveau par les variables continues sélectionnées (Test t de Student / Test F de Fisher) :

Libellés des variables	Rapport de corrélation au carré	Valeur test	p-values
accA2(mg)	0,346	0,003	< 0,0001
jerkA2(m.s-3)	0,334	0,004	< 0,0001
jerkGLOBD1(m.s-3)	0,330	0,004	< 0,0001
jerkGLOBA1(m.s-3)	0,318	0,005	< 0,0001
accA1(mg)	0,312	0,006	< 0,0001
jerkGLOBD2(m.s-3)	0,294	0,009	< 0,0001
jerkA1(m.s-3)	0,276	0,013	< 0,0001
jerkD1(m.s-3)	0,265	0,016	0,000
jerkGLOBA2(m.s-3)	0,247	0,023	0,000
jerkD2(m.s-3)	0,238	0,028	0,000
TPhase1(ms)	0,236	0,029	0,000
taccA1(ms)	0,197	0,062	0,003
tjerkD1(ms)	0,165	0,111	0,010
taccD1(ms)	0,157	0,127	0,014
TPhase1+2(ms)	0,150	0,144	0,019
tjerkA1(ms)	0,142	0,166	0,025
accD1(mg)	0,121	0,240	0,056
tTot(ms)	0,107	0,306	0,092
TVibrationPostThrust(ms)	0,107	0,310	0,094
Jinst-GlobA2(%)	0,104	0,326	0,104
accD2(mg)	0,069	0,613	0,310
Jinst-GlobA1(%)	0,061	0,708	0,381
TPhase2(ms)	0,059	0,738	0,403
taccD2(ms)	0,054	0,827	0,466
taccA2(ms)	0,052	0,859	0,488
Jinst-GlobD1(%)	0,049	0,916	0,525
tjerkA2(ms)	0,036	1,223	0,694
tjerkD2(ms)	0,035	1,254	0,708
Jinst-GlobD2(%)	0,030	1,414	0,772

Ainsi, sur l'ensemble des mes données, il semble que sept variables soient fortement corrélées au niveau du sujet testé.

Ces variables sont les suivantes par ordre de prépondérance :

1. accA2(mg) : Accélération maximale en milli-G obtenue lors de la deuxième phase d'accélération.
2. jerkA2(m.s-3) : Jerk maximal en mètres/secondes/secondes/secondes obtenu lors de la deuxième phase d'accélération.
3. jerkGLOBD1(m.s-3) : Jerk global obtenu lors de la première phase de décélération.
4. jerkGLOBA1(m.s-3) : Jerk global obtenu lors de la première phase d'accélération.
5. accA1(mg) : Accélération maximale obtenue lors de la première phase d'accélération.
6. jerkGLOBD2(m.s-3) : Jerk global obtenu lors de la deuxième phase de décélération.
7. jerkA1(m.s-3) : Jerk maximal obtenu lors de la première phase d'accélération.

L'étape suivante de l'analyse a consisté à comparer l'impact de ces variables, mises en exergue ci-dessus, sur la distribution des niveaux des sujets.

2. ANALYSE DES DONNEES

J'ai choisi comme analyse de donnée une « Analyse Factorielle Discriminante » dont le résultat se trouve ci-dessous.

Tableau n°3 : Matrice de confusion pour l'échantillon d'estimation
Niveau1/Niveau2/Niveau3/Niveau4/Niveau5/Niveau6 :

de \ Vers	1	2	3	4	5	6	Total	% correct
1	14	2	1	1	0	0	18	77,78%
2	7	8	0	1	0	0	16	50,00%
3	4	1	6	1	2	1	15	40,00%
4	0	1	2	5	2	0	10	50,00%
5	2	1	1	2	12	2	20	60,00%
6	0	0	1	1	3	4	9	44,44%
Total	27	13	11	11	19	7	88	55,68%

Au regard de ce tableau, on observe que seulement 56% des individus semblent être bien classés dans leurs niveaux respectifs. Cependant, nous pouvons noter que la majorité des reclassements par prédiction se situe proche du niveau « n » à « n-1 » ou « n+1 ». Par exemple si nous nous intéressons au groupe de niveau n°2 il apparaît que 7 sujets sur 8 mal positionnés se situent dans le groupe n-1 (n°1). Cette même constatation peut se faire pour le groupe n°4 dont 50% des sujets mal positionnés se répartissent dans les groupes n-1 et n+1.

Ces écarts peuvent être compréhensibles car au sein d'un même groupe, certains sujets peuvent être légèrement en avance ou en retard par rapport à d'autres.

Cependant il ne me paraît pas judicieux d'en arriver à reclasser un sujet dans un groupe « n-4 » ou « n+3 ».

C'est pourquoi, afin de réduire les écarts de prédiction de niveau j'ai décidé d'effectuer des analyses par groupes de niveau. Ainsi, un groupe « n » sera comparé aux groupes « n-1 » et « n+1 ». Concernant le groupe de niveau 1, celui-ci ne pourra être comparé qu'au groupe « n+1 ».

3. MODELISATION DES DONNEES

Pour cette antépénultième étape d'analyse, j'ai constitué cinq tableaux recensant respectivement :

- Les sujets des groupes de niveau 1 et 2.
- Les sujets des groupes de niveau 1, 2 et 3.
- Les sujets des groupes de niveau 2, 3 et 4.
- Les sujets des groupes de niveau 3, 4 et 5.
- Les sujets des groupes de niveau 4, 5 et 6.

Pour chacun des tableaux, une modélisation des données par « Régression PLS-DA » a été effectuée. Cette régression offre l'avantage de prédire les résultats de variables qualitatives (ici, le niveau) par des variables quantitatives et/ou qualitatives (ici, quantitatives).

A la fin de l'analyse, une qualité de prédiction du modèle est fournie ainsi qu'une équation de modélisation permettant de prédire le niveau des sujets.

Voici les résultats obtenus :

Tableau n°4 : Matrice de confusion pour l'échantillon d'estimation
Niveau1/Niveau2 :

de \ Vers	Niveau-1	Niveau-2	Total	% correct
Niveau-1	16	2	18	88,89%
Niveau-2	5	11	16	68,75%
Total	21	13	34	79,41%

- $F(\text{Niveau-1}) = 0,813671474080678-1,44650009207053E-04*\text{jerkA1}-2,73771784946482E-04*\text{accA1}+3,63664350323093E-03*\text{jerkGLOBA1}+1,16272347980034E-03*\text{jerkGLOBD1}+7,47437277797323E-05*\text{jerkA2}+1,89997700571588E-04*\text{accA2}+2,03712736389766E-03*\text{jerkGLOBD2}$
- $F(\text{Niveau-2}) = 0,186328525919322+1,44650009207053E-04*\text{jerkA1}+2,73771784946482E-04*\text{accA1}-3,63664350323093E-03*\text{jerkGLOBA1}-1,16272347980034E-03*\text{jerkGLOBD1}-7,47437277797322E-05*\text{jerkA2}-1,89997700571588E-04*\text{accA2}-2,03712736389766E-03*\text{jerkGLOBD2}$

**Tableau n°5 : Matrice de confusion pour l'échantillon d'estimation
Niveau1/Niveau2/Niveau3 :**

de \ Vers	Niveau-1	Niveau-2	Niveau-3	Total	% correct
Niveau-1	13	3	2	18	72,22%
Niveau-2	5	10	1	16	62,50%
Niveau-3	3	3	9	15	60,00%
Total	21	16	12	49	65,31%

- $F(\text{Niveau-1}) = 0,743780290990608 + 2,41804691027234E-05 * \text{jerkA1} - 1,66762517212247E-05 * \text{accA1} + 3,48610794276662E-04 * \text{jerkGLOBA1} + 8,3258785297517E-05 * \text{jerkGLOBD1} - 1,46487132628833E-05 * \text{jerkA2} - 3,75456088928682E-05 * \text{accA2} + 1,18563998414834E-03 * \text{jerkGLOBD2}$
- $F(\text{Niveau-2}) = 0,248824313549705 - 1,09923478705624E-04 * \text{jerkA1} - 2,23693538561913E-05 * \text{accA1} - 7,53820157650472E-04 * \text{jerkGLOBA1} - 9,99011249417167E-06 * \text{jerkGLOBD1} - 5,75173360787502E-05 * \text{jerkA2} - 4,73799234601845E-06 * \text{accA2} - 1,55657853795988E-03 * \text{jerkGLOBD2}$
- $F(\text{Niveau-3}) = 7,3953954596872E-03 + 8,57430096029009E-05 * \text{jerkA1} + 3,90456055774161E-05 * \text{accA1} + 4,0520936337381E-04 * \text{jerkGLOBA1} - 7,32686728033454E-05 * \text{jerkGLOBD1} + 7,21660493416335E-05 * \text{jerkA2} + 4,22836012388866E-05 * \text{accA2} + 3,70938553811532E-04 * \text{jerkGLOBD2}$

**Tableau n°6 : Matrice de confusion pour l'échantillon d'estimation
Niveau2/Niveau3/Niveau4 :**

de \ Vers	Niveau-2	Niveau-3	Niveau-4	Total	% correct
Niveau-2	15	1	0	16	93,75%
Niveau-3	6	9	0	15	60,00%
Niveau-4	3	7	0	10	0,00%
Total	24	17	0	41	58,54%

- $F(\text{Niveau-2}) = 0,86112281494572 - 5,07252891077888E-05 * \text{jerkA1} - 3,44940073039847E-05 * \text{accA1} - 1,7273415910801E-04 * \text{jerkGLOBA1} + 8,51763971627482E-05 * \text{jerkGLOBD1} - 5,80114572025159E-05 * \text{jerkA2} - 4,45131425523132E-05 * \text{accA2} + 1,74092692216267E-04 * \text{jerkGLOBD2}$
- $F(\text{Niveau-3}) = 0,144139530557687 + 2,388408769707E-05 * \text{jerkA1} + 1,62415613584988E-05 * \text{accA1} + 8,13321693573526E-05 * \text{jerkGLOBA1} - 4,01054498720082E-05 * \text{jerkGLOBD1} + 2,73147921999121E-05 * \text{jerkA2} + 2,09590880425043E-05 * \text{accA2} - 8,19718369564481E-05 * \text{jerkGLOBD2}$
- $F(\text{Niveau-4}) = -5,26234550340685E-03 + 2,68412014107187E-05 * \text{jerkA1} + 1,82524459454858E-05 * \text{accA1} + 9,14019897506569E-05 * \text{jerkGLOBA1} - 4,507094729074E-05 * \text{jerkGLOBD1} + 3,06966650026038E-05 * \text{jerkA2} + 2,35540545098089E-05 * \text{accA2} - 9,21208552598192E-05 * \text{jerkGLOBD2}$

Tableau n°7 : Matrice de confusion pour l'échantillon d'estimation Niveau3/Niveau4/Niveau5:

de \ Vers	Niveau-3	Niveau-4	Niveau-5	Total	% correct
Niveau-3	5	1	9	15	33,33%
Niveau-4	3	3	4	10	30,00%
Niveau-5	2	1	17	20	85,00%
Total	10	5	30	45	55,56%

- $F(\text{Niveau-3}) = 0,451780971969357 + 1,56337286052257E-04 * \text{jerkA1} + 7,54292931675988E-05 * \text{accA1} + 9,56757152637677E-05 * \text{jerkGLOBA1} + 2,57295543309738E-04 * \text{jerkGLOBD1} + 4,58602624749338E-05 * \text{jerkA2} + 6,54983981078725E-05 * \text{accA2} + 1,10954506412666E-03 * \text{jerkGLOBD2}$
- $F(\text{Niveau-4}) = 0,129900881615916 - 1,77012717600855E-05 * \text{jerkA1} + 2,05199699805688E-05 * \text{accA1} + 4,14588533251824E-04 * \text{jerkGLOBA1} - 3,52679087366539E-04 * \text{jerkGLOBD1} - 1,44704256594301E-04 * \text{jerkA2} - 1,82758432508138E-04 * \text{accA2} - 4,41382395898644E-04 * \text{jerkGLOBD2}$
- $F(\text{Niveau-5}) = 0,418318146414727 - 1,38636014292172E-04 * \text{jerkA1} - 9,59492631481675E-05 * \text{accA1} - 5,10264248515592E-04 * \text{jerkGLOBA1} + 9,53835440568017E-05 * \text{jerkGLOBD1} + 9,88439941193669E-05 * \text{jerkA2} + 1,17260034400265E-04 * \text{accA2} - 6,68162668228013E-04 * \text{jerkGLOBD2}$

Tableau n°8 : Matrice de confusion pour l'échantillon d'estimation Niveau4/Niveau5/Niveau6 :

de \ Vers	Niveau-4	Niveau-5	Niveau-6	Total	% correct
Niveau-4	6	4	0	10	60,00%
Niveau-5	2	18	0	20	90,00%
Niveau-6	2	7	0	9	0,00%
Total	10	29	0	39	61,54%

- $F(\text{Niveau-4}) = 0,198179174413948 + 1,97341993927156E-04 * \text{jerkA1} + 1,1244875696276E-04 * \text{accA1} + 3,17578887392636E-04 * \text{jerkGLOBA1} - 2,09906786380787E-04 * \text{jerkGLOBD1} - 1,08227217503371E-04 * \text{jerkA2} - 1,99478700193278E-04 * \text{accA2} + 1,56124674478059E-04 * \text{jerkGLOBD2}$
- $F(\text{Niveau-5}) = 0,875828286722066 - 1,44755672092572E-04 * \text{jerkA1} - 8,66548541861362E-05 * \text{accA1} - 2,56872462014295E-04 * \text{jerkGLOBA1} + 1,62577541889912E-04 * \text{jerkGLOBD1} + 3,29237503498554E-05 * \text{jerkA2} + 6,77024062113315E-05 * \text{accA2} - 6,10143496062987E-06 * \text{jerkGLOBD2}$
- $F(\text{Niveau-6}) = -7,40074611360139E-02 - 5,2586321834584E-05 * \text{jerkA1} - 2,57939027766242E-05 * \text{accA1} - 6,07064253783417E-05 * \text{jerkGLOBA1} + 4,73292444908749E-05 * \text{jerkGLOBD1} + 7,5303467153516E-05 * \text{jerkA2} + 1,31776293981947E-04 * \text{accA2} - 1,50023239517429E-04 * \text{jerkGLOBD2}$

Les équations permettant de prédire l'appartenance à un groupe de niveau étant modélisées, la dernière étape de l'analyse peut être effectuée.

4. MISE A L'ÉPREUVE DES MODELISATIONS

Pour tester la qualité de prédiction de cette modélisation, j'ai appliqué les équations définies précédemment sur le groupe « test ».

Pour rappel, ce groupe a été constitué après l'examen pratique de fin d'année. Ce groupe lui-même constitué de cinq sous-groupes représentant respectivement les premières années (O1), les deuxièmes années (O2), les troisièmes années (O3), les quatrièmes années (O4) et les cinquièmes années (O5). Chaque sous-groupe est constitué de trois étudiants représentant au sein de leur promotion respective le « Major », le « Medio », et le « Minor ». Le recueil des données pour cette étape s'est effectué selon les mêmes conditions que le groupe témoin.

Les résultats de ces équations expriment un pourcentage de probabilité d'appartenance à un groupe. Ces valeurs sont alors comparées aux classement effectué par la cohorte d'examineur lors des examens pratiques de fins d'année d'étude.

Tableau n°9 : Résultats des prédictions.

			Classement Examen Final			
Niveau			Major	Medio	Minor	Justesse
Résultats Prédiction	O1	O1(%)	86	27	53	67%
		O2(%)	14	73	47	
	O2	O1(%)	30	62	27	67%
		O2(%)	38	-3	53	
		O3(%)	32	41	20	
	O3	O2(%)	-32	68	X	100%
		O3(%)	70	23	X	
		O4(%)	62	9	X	
	O4	O3(%)	46	50	21	67%
		O4(%)	21	15	18	
		O5(%)	32	35	61	
	O5	O4(%)	37	18	16	67%
		O5(%)	32	61	79	
		O6(%)	31	21	4	
Erreur Prédiction/Classement (%)						26%
Validation Globale(%)						74%

Pour une meilleure lecture de ce tableau, les cases surlignées en bleu-ciel correspondent à l'année de référence de l'élève concerné.

Les résultats cohérents entre la prédiction et le classement effectué lors de l'examen final sont écrits en **Vert**. Les résultats incohérents sont quant à eux écrits en **Rouge**.

Un résultat cohérent n'implique pas que le « Major » d'une promotion « n » soit classé à un niveau « n+1 » ou bien qu'un « minor » de cette même promotion le soit en « n-1 ».

Pour valider la prédiction, il faut que celle-ci indique que le résultat du classement du :

- ❖ « Major » est supérieur à « Medio ».
- ❖ « Medio » est supérieur à « Minor ».

En première année (O1) :

Le « Minor » est à 53% en O1 et le « Medio » à 73% en O2 ce qui semblerait être cohérent. Cependant le « Major » est à 86% en O1. Il a donc une plus grande probabilité d'être en O1 que le « Medio ».

La justesse de prédiction de classement des premières années semblerait être de 67%.

En deuxième année (O2) :

Le « Minor » est à 53% en O2. La part du « Major » n'est que de 38% en O2 et sa part en O3 (32%) est supérieure à sa part en O1(30%). Le classement du « Major » semble donc être supérieur à celui du « Minor ».

Le « Medio » quant à lui se situe à 68% en O1 ce qui le classe inférieur au « Minor ».

La justesse de prédiction de classement des deuxièmes années semblerait être de 67%.

En troisième année (O3) :

Le « Medio » est placé à 68% en O2 et le « Major » à 70% en O3. Le « Minor » n'ayant pas pu pratiquer l'expérience, aucun résultat ne peut être exploité.

La justesse de prédiction de classement des troisièmes années semblerait être de 100% dans l'hypothèse de bon classement du « Minor » ou de 67% dans le cas contraire.

En quatrième année (O4) :

Le « Major » est à 46% en O3 alors que le « Medio » y est à 50%. Le « Major » semble donc supérieur au « Medio ».

Cependant le « Minor » serait à 61% en O5 et donc supérieur aux « Major » et « Medio » ce qui ne paraît pas cohérent.

La justesse de prédiction de classement des quatrièmes années semblerait être de 67%.

En cinquième année (O5) :

Le « Minor » est à 79% en O5 et le « Medio » à 61%. Sa part en O6(21%) étant supérieure à sa part en O4(18%), le « Medio » semble donc supérieur au « Minor ».

Le « Major » quant à lui est partagé entre les trois prédictions possibles, mais prépondérant en O4 à 61% ce qui le place inférieur au « Medio » et au « Minor ».

La justesse de prédiction de classement des cinquièmes années semblerait être de 67%.

Vue d'ensemble :

Dans l'ensemble, la justesse de prédiction du classement des élèves par l'intermédiaire de cet outil semble être de 74% dans l'hypothèse que le classement manquant (« Minor » de troisième année) soit juste. Dans le cas contraire la justesse de prédiction générale passerait à 67%.

IV. DISCUSSION

L'objectif de cette étude était double.

Serait-il possible de concevoir un outil qui permette l'analyse de divers paramètres physiques de notre geste ostéopathique ?

Nous avons pu constater que cet outil permet de mesurer différentes grandeurs physiques qui caractérisent notre Thrust telles que la force, la pression ou bien encore l'accélération.

La pression n'a pas pu être validée suite à une fuite du circuit d'air rendant les mesures possibles, mais peu fiables.

La force quant à elle semblait être bien mesurée mais les variabilités intra et intergroupes étaient telles que l'étude de celle-ci ne me paraissait pas judicieuse pour la suite de l'étude.

Par ailleurs, lors du recueil des données les consignes laissaient relativement libre les sujets dans la préparation et l'exécution de leurs gestes. Cette liberté explique très probablement l'amplitude de variation de pression et de force observée.

Les accélérations sont quant à elles bien reflétées par cet outil et ont constituées les principales variables étudiées dans ce travail.

Par ailleurs, la notion de Jerk introduite dans cette étude semble bien caractériser notre geste. En effet, le « High Velocity Low Amplitude » (HVLA) est par définition un geste de grande vitesse mais avec un minimum de déplacement, et par conséquent peut être défini comme une impulsion intense mais brève.

Le Jerk apparaît donc être un bon marqueur de notre geste ostéopathique.

Cet outil permet l'analyse de divers paramètres physiques de notre geste ostéopathique.

Celui-ci pourrait-il être utilisé comme « feed-back » à des fins d'enseignement et d'évaluation ?

Cette phase de l'étude me semble la plus délicate à traiter.

En effet, obtenir un « feed-back » grâce à cet outil est possible (vu précédemment) mais obtenir des prédictions fiables dans l'objectif d'un classement (apprentissage, évaluation) est moins aisé.

Le résultat des tests indique un taux de justesse de prédiction de classement de 74% (ou 67% dans l'hypothèse d'erreur de classement de l'étudiant qui n'a pas pu être évalué) soit une probabilité d'erreur de 26% (ou de 33%).

La première explication possible de cet écart de justesse peut s'expliquer par la période où la base de donnée de référence a été constituée.

En effet, pour affiner le réglage de l'outil, il m'a fallu le confectionner à trois reprises. Ce temps passé à cette élaboration m'a contraint d'effectuer la prise de données en Janvier 2019. Or, à cette période, les élèves ne sont plus au début de leurs cycles respectifs. Ainsi les valeurs recueillies reflètent celles d'étudiants en cours d'année d'étude.

De plus, concernant le recueil d'échantillons pour tester la validité de l'outil, il n'a pas été possible d'effectuer les prises de données lors des évaluations pratiques. Ainsi, les étudiants testés ne se trouvaient pas dans les mêmes conditions que celles des examens, et cette variable est à prendre en compte dans l'explication de ces résultats.

Par ailleurs il est important de souligner que la texture de l'outil et le ressenti nouveau que celui-ci provoque chez les différents sujets impacte d'une façon ou d'une autre la manipulation effectuée.

Aujourd'hui, cet outil permet un « feed-back » du geste effectué mais nécessite des améliorations ou adaptations pour optimiser la fiabilité de ses capacités prédictives.

V. CONCLUSION

Il n'existe pas de manipulation parfaite en soi, mais une manipulation parfaitement adaptée à la situation, au moment, dans le but d'informer le plus efficacement possible un tissu conjonctif.

Ce mannequin est par définition artificiel, le tissu qui le compose est donc inerte.

Par conséquent, celui-ci n'a en aucun cas la vocation d'estimer un geste « parfait ».

Cependant, si on admet que cet outil est bien calibré, alors nous pouvons en déduire que celui-ci peut conforter les résultats de l'évaluation pratique de l'acquisition gestuelle de fin de cycle d'étude avec une confiance de 74%(ou de 67%). Ainsi cet outil pourrait être proposé à des fins d'entraînement, de préparation à une évaluation ou bien encore pour conforter l'évaluation elle-même.

Bien que l'objectif final de l'IFSO-R soit de former à terme des Ostéopathes compétents, les examens pratiques sont principalement basés sur l'évaluation de l'acquisition gestuelle. Or l'outil présenté dans cette étude ne mesure pas la qualité du geste, mais quantifie les paramètres physiques de la manipulation. Cet écart de justesse de prédiction trouverait donc un sens ici.

Une des explications les plus probables de cette marge d'erreur est que le geste ostéopathique, le Thrust, ne peut être simplement caractérisé par des variations d'accélération.

En effet le thérapeute est amené à devoir doser le bon rapport entre la vitesse (via l'accélération) et la masse impliquée lors de la manipulation. Or ce dernier paramètre ne peut pas être évalué par l'intermédiaire de cet outil.

Il serait intéressant lors d'études ultérieures d'intégrer à ce mannequin la notion de transfert de masse lors de la manipulation.

Par ailleurs, améliorer ou augmenter la base de données avec une prise de valeurs dès la première session de l'année d'apprentissage serait intéressante afin de limiter les biais de cette étude.

VI. BIBLIOGRAPHIE

1. Terramorsi, Jean-François. *Ostéopathie Structurale. Lésion structurée Concepts Structurants*. s.l. : Gépro/Eoliennes, 2013.
2. <https://www.laerdal.com/fr/>. [En ligne]
3. Downie, A. S., Vemulpad, S., & Bull, P. W. (2010). Quantifying the High-Velocity, Low-Amplitude Spinal Manipulative Thrust: A Systematic Review. *Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics*, 33(7), 542–553.
4. Descarreaux M, Dugas C, Raymond J, Normand MC. Kinetic analysis of expertise in spinal manipulative therapy using an instrumented manikin. *J Chiropr Med* 2005 et 4:53-60.
5. Forand D, Drover J, Suleman Z, Symons B, Herzog W. The forces applied by female and male chiropractors during thoracic spinal manipulation. *J Manipulative Physiol Ther* 2004 et 27:49-56.
6. Herzog W, Kats M, Symons B. The effective force transmitted by high-speed, low-amplitude thoracic manipulation. *Spine* 2001 et 10-1, 26:2105-10 discussion.
7. Kawchuk GN, Prasad NG, McLeod RC, Liddle T, Li T, Zhu Q. Variability of force magnitude and force duration in manual and instrument-based manipulation techniques. *J Manipulative Physiol Ther* 2006 et 29:611-8.
8. Kirstukas SJ, Backman JA. Physician-applied contact pressure and table force response during unilateral thoracic manipulation. *J Manipulative Physiol Ther* 1999 et 22:269-79.
9. van Zoest GGJM, van den Berg HTCM, Holtkamp FC. Three-dimensionality of contact forces during clinical manual examination and treatment: a new measuring system. *Clin Biomech* 2002 et 17:719-22.
10. Descarreaux M, Dugas C, Lalanne K, Vincelette M, Normand MC. Learning spinal manipulation: the importance of augmented feedback relating to various kinetic parameters. *Spine J* 2006 et 6:138-45.
11. <https://www.girodmedical.com/squelette-de-jambe-avec-la-moitie-de-bassin-et-pied-flexible-erler-zimmer.html>. [En ligne]
12. <https://www.robotshop.com/eu/fr/capteur-force-capacitif-15-mm-450-n-100-lbs.html>. [En ligne]
13. <https://www.robotshop.com/eu/fr/daq-electronique-capteur-force-capacitif-sorties-analogique-i2c.html>. [En ligne]
14. <https://www.gotronic.fr/art-capteur-de-pression-mpx5500dp-3797.htm>. [En ligne]
15. <https://www.digikey.fr/product-detail/fr/sparkfun-electronics/ROB-10398/1568-1344-ND/5684377>. [En ligne]
16. <https://www.gotronic.fr/art-accelerometre-3-axes-adxl362-20244.htm>. [En ligne]
17. <https://fr.wikipedia.org>. [En ligne]
18. <https://www.digikey.fr/product-detail/fr/sparkfun-electronics/DEV-11114/1568-1054-ND/5140819>. [En ligne]

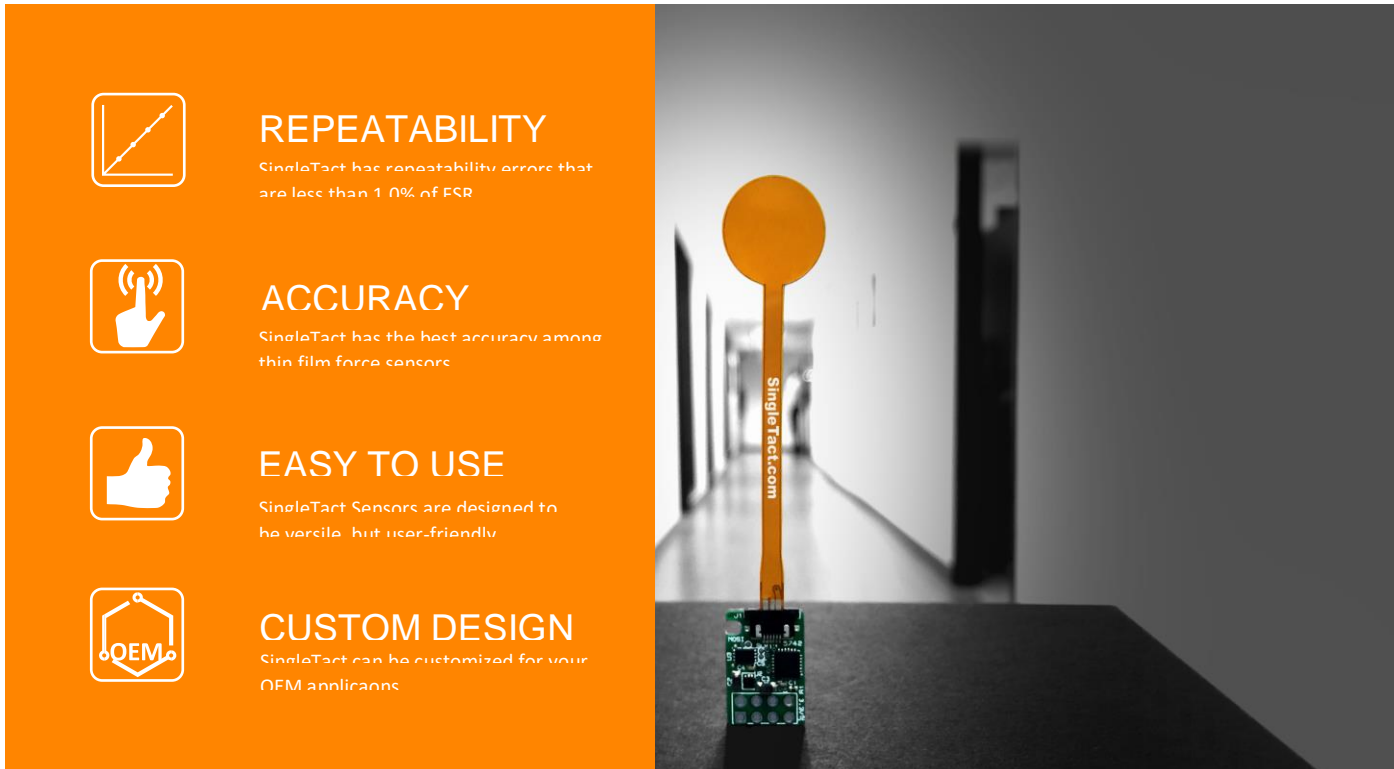
19. <https://www.gotronic.fr/art-carte-arduino-mega-2560-12421.htm>. [En ligne]
20. <https://www.gotronic.fr/art-shield-moteur-2-x-18-a-2515-27382.htm>. [En ligne]
21. https://www.amazon.fr/SunFounder-Ethernet-Arduino-R3-Mega-2560-1280-A057/dp/B00HG82V1A/ref=sr_1_fkmr0_2?__mk_fr_FR=%C3%85M%C3%85%C5%BD%C3%95%C3%91&keywords=shield+ethernet+w5100+paradise&qid=1557674081&s=gateway&sr=8-2-fkmr0. [En ligne]
22. <https://www.rougier-ple.fr/silicone-pour-la-peau-rtv-ev22-1-kg.r.html>. [En ligne]
23. <https://www.rougier-ple.fr/silicone-pour-prothese-skin-fx-10-1-kg.r.html>. [En ligne]
24. John Nussey, *Arduino pour les Nuls*, 2e édition Poche – 4 mai 2017.
25. Christian Tavernier, *Arduino - Maîtrisez sa programmation et ses cartes d'interface (shields)*, Édition Dunod (16 avril 2014).
26. <https://openclassrooms.com/fr/courses/2778161-programmez-vos-premiers-montages-avec-arduino>. [En ligne]
27. <https://www.nxp.com/docs/en/data-sheet/MPX5500.pdf>. [En ligne]
28. <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/adxl362.pdf>. [En ligne]
29. https://www.singletact.com/SingleTact_Datasheet.pdf. [En ligne]
30. <https://www.arduino.cc/en/Main/Software>. [En ligne]
31. <https://www.eclipse.org/ide/>. [En ligne]
32. Barry BURD, *Java pour les Nuls grand format*, 3e édition Broché – 26 janvier 2017.
33. <https://openclassrooms.com/fr/courses/26832-apprenez-a-programmer-en-java>. [En ligne]
34. <https://www.xlstat.com/fr/societe/a-propos>. [En ligne]
35. https://help.xlstat.com/customer/fr/portal/articles/2062457-which-statistical-test-should-you-use-_ga=2.260809037.1183294725.1557651898-1619889007.1547755790. [En ligne]
36. https://help.xlstat.com/customer/fr/portal/articles/2062461-what-statistical-model-should-i-choose-_b_id=9283. [En ligne]
37. https://help.xlstat.com/customer/fr/portal/articles/2800352-quel-outil-de-statistiques-descriptives-choisir-_b_id=9283. [En ligne]
38. <https://www.sparkfun.com/products/11446>. [En ligne]

VII. ANNEXES

A. ANNEXE N°1 : DATASHEET S15-450N ET DAQ ELECTRONIQUE

Consultable à cette adresse : https://www.singletact.com/SingleTact_Datasheet.pdf

SingleTact is the most refined miniature force sensor that is performance oriented. Ultra-thin, single-element capacitive sensor with industry-leading sensitivity and repeatability that accurately and reliably quantifies forces.



The infographic is divided into two main sections. The left section has an orange background and lists four features, each with an icon and a brief description. The right section shows a photograph of a SingleTact sensor, which is a small green circuit board with a long, thin orange probe attached to it. The probe has a circular orange tip and the text 'SingleTact.com' printed on it. The sensor is resting on a dark surface, and the background is a blurred hallway.

- REPEATABILITY**
 SingleTact has repeatability errors that are less than 1.0% of FSR.
- ACCURACY**
 SingleTact has the best accuracy among thin film force sensors.
- EASY TO USE**
 SingleTact Sensors are designed to be versatile, but user-friendly.
- CUSTOM DESIGN**
 SingleTact can be customized for your OEM applications.

SingleTact FEATURES

Ultra-thin force sensors come in sizes of 8mm and 15mm diameter that is only 0.35mm thick.

Highly sensitive and repeatable sensors provide high dynamic range and errors less than 1.0%.

Simple Analog 3-wire interface for immediate DAQ integration.

I2C interface for digital integration.

Arduino and DAQ Software to begin collecting data right out of the box.

Freescal Semiconductor

MPX5500
Rev 7, 09/2009

Integrated Silicon Pressure Sensor On-Chip Signal Conditioned, Temperature Compensated and Calibrated

MPX5500 Series

0 to 500 kPa (0 to 72.5 psi)
0.2 to 4.7 V Output

The MPX5500 series piezoresistive transducer is a state-of-the-art monolithic silicon pressure sensor designed for a wide range of applications, but particularly those employing a microcontroller or microprocessor with A/D inputs. This patented, single element transducer combines advanced micromachining techniques, thin-film metallization, and bipolar processing to provide an accurate, high level analog output signal that is proportional to the applied pressure.

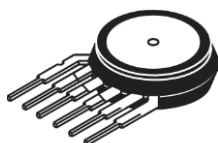
Features

- 2.5% Maximum Error over 0° to 85°C
- Ideally suited for Microprocessor or Microcontroller-Based Systems
- Patented Silicon Shear Stress Strain Gauge
- Durable Epoxy Unibody Element
- Available in Differential and Gauge Configurations

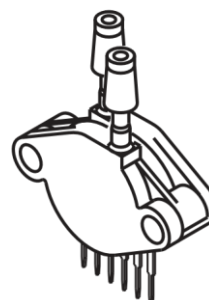
ORDERING INFORMATION

Unibody Package (MPX5500 Series)								
Device Name	Case No.	# of Ports			Pressure Type			Device Marking
		None	Single	Dual	Gauge	Differential	Absolute	
MPX5500D	867	•				•		MPX5500D
MPX5500DP	867C			•		•		MPX5500DP

UNIBODY PACKAGES



MPX5500D
CASE 867-08



MPX5500DP
CASE 867C-05

Consultable à cette adresse : <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ADXL362.pdf>

ANALOG DEVICES **Micropower, 3-Axis, $\pm 2 g/\pm 4 g/\pm 8 g$ Digital Output MEMS Accelerometer**

Data Sheet

ADXL362

FEATURES

Ultralow power

- Power can be derived from coin cell battery

- 1.8 μA at 100 Hz ODR, 2.0 V supply

- 3.0 μA at 400 Hz ODR, 2.0 V supply

- 270 nA motion activated wake-up mode

- 10 nA standby current

High resolution: 1 mg/LSB

Built-in features for system-level power savings:

- Adjustable threshold sleep/wake modes for motion activation

- Autonomous interrupt processing, without need for microcontroller intervention, to allow the rest of the system to be turned off completely

- Deep embedded FIFO minimizes host processor load

- Awake state output enables implementation of standalone, motion activated switch

Low noise down to 175 $\mu g/\sqrt{Hz}$

- Wide supply and I/O voltage ranges: 1.6 V to 3.5 V Operates off 1.8 V to 3.3 V rails

- Acceleration sample synchronization via external trigger

- On-chip temperature sensor

- SPI digital interface

- Measurement ranges selectable via SPI command

- Small and thin 3 mm \times 3.25 mm \times 1.06 mm package

APPLICATIONS

- Hearing aids

- Home healthcare devices

- Motion enabled power save switches

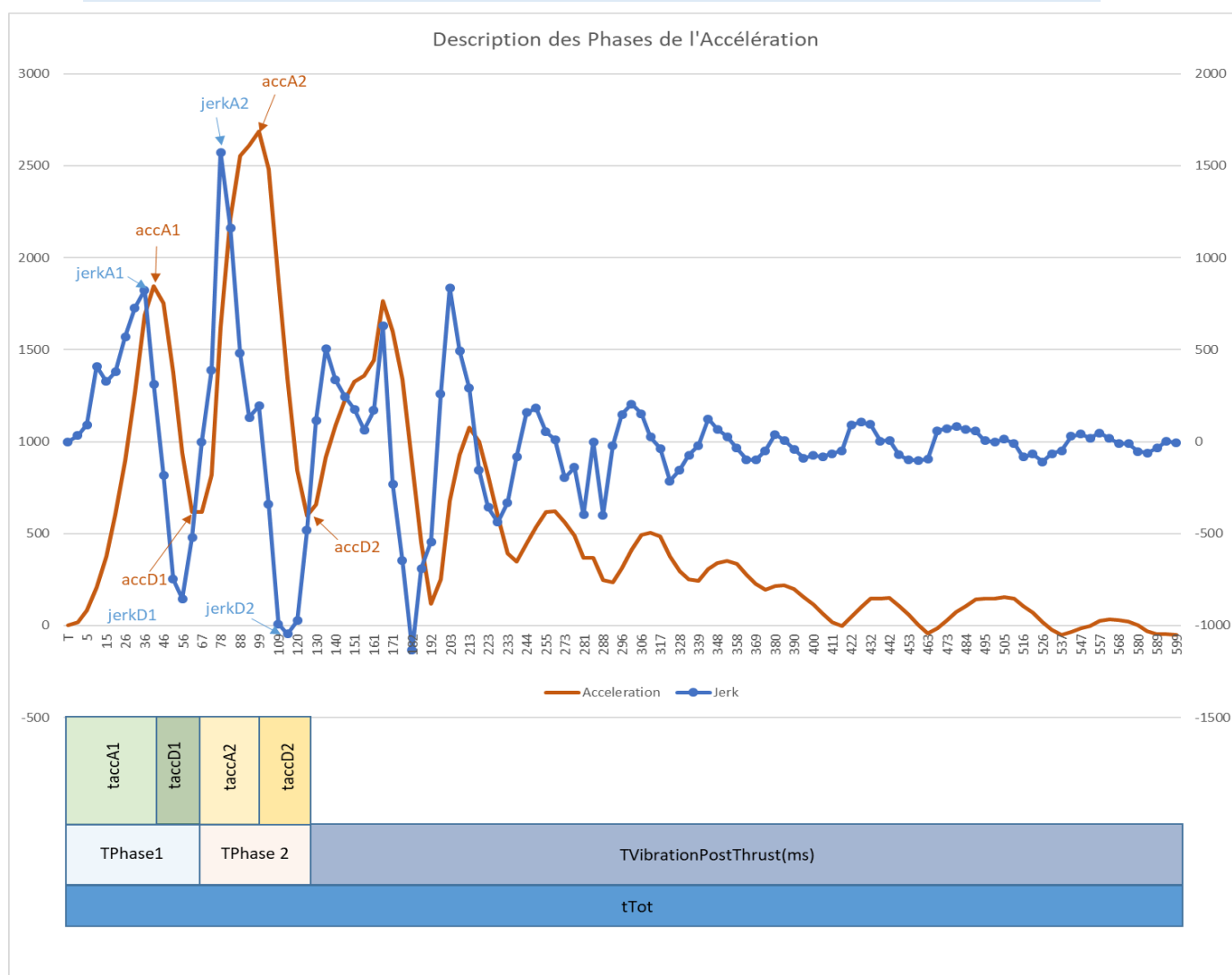
- Wireless sensors

- Motion enabled metering devices

GENERAL DESCRIPTION

The [ADXL362](#) is an ultralow power, 3-axis MEMS accelerometer that consumes less than 2 μA at a 100 Hz output data rate and 270 nA when in motion triggered wake-up mode. Unlike accelerometers that use power duty cycling to achieve low power consumption, the [ADXL362](#) does not alias input signals by undersampling; it samples the full bandwidth of the sensor at all data rates.

D. ANNEXE N°4 : RECAPITULATIF ABREVIATIONS



jerkA1(m.s-3)	Jerk(jerk) maximal d'Accélération(A) en Phase 1 (1)
tjerkA1(ms)	Temps(t) relatif à jerkA1
accA1(mg)	Accélération maximale(accA) en Phase 1 (1)
taccA1(ms)	Temps(t) relatif à accA1
jerkGLOBA1(m.s-3)	Jerk(jerk) moyen(GLOB) de l'accélération(A) de la phase 1 (1)
Jinst-GlobA1(%)	Rapport d'explication de jerkGLOBA1 par jerkA1
jerkD1(m.s-3)	Jerk(jerk) maximal de Décélération(D) en Phase 1 (1)
tjerkD1(ms)	Temps(t) relatif à jerkD1
accD1(mg)	Décélération maximale(accD) en Phase 1 (1)
taccD1(ms)	Temps(t) relatif à accD1
jerkGLOBD1	Jerk(jerk) moyen(GLOB) de la décélération(D) de la phase 1 (1)
Jinst-GlobD1(%)	Rapport d'explication de jerkGLOBD1 par jerkD1
TPhase1(ms)	Durée de la phase 1
IDEM Phase2	Identique pour la phase 2
TPhase1+2(ms)	Durée du Thrust (phase1+phase2)
TVibrationPostThrust(ms)	Durée de la phase de résonance
tTot(ms)	Durée totale (Tphase1+TPhase2+ TVibrationPostThrust)

E. ANNEXE N°5 : RESULTATS DES TESTS

1. O1

Valeur échantillon témoin O1 :

Seve	H	H	H	H	H	F	F	F	H	H	F	F	F	F	F	F	F	H	H
jeK1(g-s-3)	638	422	373	255	275	196	69	1128	922	245	235	186	147	883	333	530	245	255	
jeK1A1	42	37	10	15	52	56	42	25	31	36	57	41	35	36	15	11	51	63	
accA1	1453	1375	893	768	687	579	276	2549	2411	799	835	604	434	1434	1175	1009	725	755	
taccA1	52	47	37	41	72	72	67	36	36	56	80	51	57	47	51	42	62	68	
jeK1GLOB1	274	287	237	184	94	79	40	695	657	140	102	116	75	299	226	245	115	109	
linst-GlobA1	233	147	157	139	293	249	170	162	140	175	230	160	197	295	156	216	214	234	
jeK1D1	-628	-687	-510	-647	-304	-383	-216	-1942	-1942	-373	-334	-275	-255	-481	-833	-716	-304	-235	
jeK1D1	26	20	16	21	10	15	11	11	21	26	23	15	25	10	15	10	14	15	
accD1	520	377	119	24	398	106	12	282	563	113	177	146	74	515	134	218	352	422	
taccD1	31	26	20	21	36	20	21	21	27	33	33	22	31	21	20	15	20	20	
jeK1GLOB1	-295	-377	-380	-348	-79	-232	-123	-1059	-671	-204	-196	-204	-114	-429	-511	-543	-183	-163	
linst-GlobD1	213	182	134	186	386	165	175	183	289	183	171	134	224	112	167	132	166	144	
TPHase1	83	73	57	62	108	92	88	57	63	89	113	73	88	68	71	57	82	88	
jeK1A2	755	1118	569	657	196	265	284	1491	1619	432	432	294	235	697	608	677	314	324	
jeK1A2	22	21	15	15	27	16	5	10	5	14	12	9	5	16	12	11	11	16	
accA2	1550	1854	1102	1036	657	589	397	2031	2461	786	975	576	452	2085	1170	907	991	1429	
taccA2	33	26	20	20	32	32	27	22	15	35	32	20	26	43	22	22	36	59	
jeK1GLOB1A2	306	557	482	496	79	148	140	780	1241	189	245	211	143	358	462	307	174	167	
linst-Glob1A2	247	201	118	132	247	179	203	191	130	229	176	140	165	194	132	220	180	193	
jeK1D2	-736	-1226	-432	-432	-226	-157	-196	-1001	-1530	-157	-245	-108	0	-412	-500	-353	-245	-461	
jeK1D2	9	31	22	16	5	10	15	30	42	16	22	26	21	31	21	20	22	10	
accD2	36	30	53	162	412	226	30	322	199	488	235	292	132	585	333	188	484	651	
taccD2	46	37	42	47	25	31	42	40	47	69	69	58	58	57	47	41	59	25	
jeK1GLOB1D2	-323	-484	-245	-182	-96	-115	-86	-419	-472	-42	-105	-48	-54	-258	-175	-177	-84	-305	
linst-Glob1D2	228	254	176	237	235	137	229	239	324	370	233	225	0	160	286	200	291	151	
TPHase2	79	63	62	67	57	63	69	62	62	104	101	78	84	100	69	63	95	84	
TPHase1+2	162	136	119	129	165	155	157	119	125	193	214	151	172	168	140	120	177	172	
UtilizationRc	266	213	181	268	168	235	302	278	355	317	151	208	297	522	257	272	280	398	
tot	428	349	300	397	333	390	459	397	480	510	365	359	469	690	397	392	457	570	

Statistiques descriptives des O1 :							
Variable	Observations	données ma	données ma	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type
jerkA1(g.s-3)	18	0	18	68,670	1128,150	408,750	297,533
tjerkA1	18	0	18	10,000	63,000	36,389	16,227
accA1	18	0	18	276,000	2549,000	1044,500	616,775
taccA1	18	0	18	36,000	80,000	54,111	13,582
jerkGLOBA1	18	0	18	40,411	694,603	220,741	184,049
Jinst-GlobA1	18	0	18	138,802	294,979	198,262	49,703
jerkD1	18	0	18	-1942,380	-215,820	-615,850	517,934
tjerkD1	18	0	18	10,000	26,000	16,889	5,676
accD1	18	0	18	12,000	563,000	252,889	179,210
taccD1	18	0	18	15,000	36,000	24,333	6,020
jerkGLOBD1	18	0	18	-1059,013	-78,753	-339,495	242,769
Jinst-GlobD1	18	0	18	111,970	386,159	185,966	64,147
TPhase1	18	0	18	57,000	113,000	78,444	16,773
jerkA2	18	0	18	196,200	1618,650	609,310	417,180
tjerkA2	18	0	18	5,000	27,000	13,444	5,943
accA2	18	0	18	397,000	2461,000	1169,333	608,781
taccA2	18	0	18	15,000	59,000	29,000	10,381
jerkGLOBA2	18	0	18	79,400	1241,292	360,350	286,705
Jinst-GlobA2	18	0	18	118,006	247,104	182,150	39,958
jerkD2	18	0	18	-1530,360	0,000	-467,610	409,664
tjerkD2	18	0	18	5,000	42,000	20,500	9,313
accD2	18	0	18	30,000	651,000	268,778	192,714
taccD2	18	0	18	25,000	69,000	46,667	13,088
jerkGLOBD2	18	0	18	-483,606	-42,368	-203,940	145,115
Jinst-GlobD2	18	0	18	0,000	370,470	220,733	80,915
TPhase2	18	0	18	57,000	104,000	75,667	15,568
TPhase1+2	18	0	18	119,000	214,000	154,111	26,887
TVibrationPc	18	0	18	151,000	522,000	276,000	87,980
tTot	18	0	18	300,000	690,000	430,111	93,192

Test Normalité des O1				
Variable\Test	Shapiro-Wilk	Anderson-Darling	Lilliefors	Jarque-Bera
jerkA1(g.s-3)	0,005	0,002	0,013	0,107
tjerkA1	0,381	0,437	0,551	0,672
accA1	0,007	0,007	0,038	0,051
taccA1	0,370	0,515	0,737	0,590
jerkGLOBA1	0,001	0,000	0,018	0,004
Jinst-GlobA1	0,076	0,111	0,135	0,479
jerkD1	< 0,0001	< 0,0001	0,003	0,000
tjerkD1	0,052	0,082	0,103	0,479
accD1	0,132	0,135	0,190	0,467
taccD1	0,015	0,002	0,002	0,430
jerkGLOBD1	0,008	0,024	0,177	0,004
Jinst-GlobD1	0,001	0,001	0,001	< 0,0001
TPhase1	0,217	0,327	0,617	0,656
jerkA2	0,004	0,004	0,065	0,065
tjerkA2	0,380	0,440	0,204	0,714
accA2	0,163	0,177	0,209	0,441
taccA2	0,028	0,066	0,474	0,018
jerkGLOBA2	0,001	0,004	0,108	0,000
Jinst-GlobA2	0,378	0,464	0,525	0,695
jerkD2	0,006	0,004	0,005	0,045
tjerkD2	0,687	0,564	0,273	0,780
accD2	0,259	0,433	0,643	0,557
taccD2	0,470	0,502	0,289	0,823
jerkGLOBD2	0,038	0,059	0,155	0,378
Jinst-GlobD2	0,195	0,141	0,102	0,162
TPhase2	0,016	0,012	0,020	0,362
TPhase1+2	0,382	0,539	0,885	0,734
TVibrationPc	0,099	0,166	0,245	0,058
tTot	0,063	0,098	0,071	0,043

Valeurs échantillon témoin O2 :

Seie	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H
jerkA1(g-s-3)	628	412	677	186	716	471	284	167	204	481	1364	491	481	196	275	422		
tjerkA1	105	46	42	58	51	45	47	42	51	78	47	36	35	55	42	52		
accA1	1544	1083	1537	413	2061	1177	726	722	934	1425	3108	1327	1375	802	857	1048		
taccA1	115	56	47	78	61	55	78	78	67	83	52	52	53	70	66	62		
jerkGLOBA1	132	190	321	52	331	210	91	91	137	168	590	250	255	112	127	166		
Jinst-GlobA1	477	217	211	359	216	224	312	184	208	285	231	196	189	175	216	254		
jerkD1	-1226	-667	-853	-235	-971	-834	-392	-235	-638	-834	-2472	-863	-1109	-402	-314	-657		
tjerkD1	15	16	15	32	11	16	20	21	20	15	10	15	13	27	27	21		
accD1	447	284	531	48	905	290	84	437	268	231	217	372	330	152	244	166		
taccD1	20	21	15	32	22	23	26	26	20	21	21	21	18	32	32	26		
jerkGLOBD1	-538	-373	-658	-112	-515	-378	-242	-108	-327	-558	-1360	-446	-570	-199	-188	-333		
Jinst-GlobD1	228	179	130	210	188	220	162	219	195	149	182	194	195	202	167	198		
TPhase1	135	77	62	110	83	78	104	104	87	104	73	73	71	102	98	88		
jerkK2	863	510	559	324	1236	638	343	363	628	1099	2217	765	736	638	491	510		
tjerkK2	17	11	10	26	10	14	20	16	11	11	10	10	5	10	5	6		
accK2	1784	1101	1358	519	1922	1230	857	1156	1182	1497	2635	1632	1724	1196	1183	1052		
taccK2	27	21	32	42	25	19	30	28	27	21	21	25	32	21	21	27		
jerkGLOBK2	486	382	254	110	399	485	253	252	332	591	1130	494	427	488	439	322		
Jinst-GlobK2	178	134	221	294	310	131	136	144	189	186	196	155	172	131	112	158		
jerkD2	-657	-402	-402	-294	-716	-343	-324	-392	-441	-795	-1364	-873	-893	-530	-520	-441		
tjerkD2	11	16	25	15	17	21	22	9	15	21	21	22	27	36	26	31		
accD2	108	20	62	38	451	131	22	264	171	149	219	70	67	103	67	50		
taccD2	42	89	73	26	32	58	37	30	31	37	42	27	32	47	42	42		
jerkGLOBD2	-391	-119	-174	-181	-451	-186	-221	-292	-320	-357	-564	-568	-508	-228	-261	-234		
Jinst-GlobD2	168	338	231	162	159	185	146	135	138	222	242	154	176	232	199	189		
TPhase2	69	110	105	68	57	77	67	58	58	58	63	52	64	68	63	69		
TPhase1+2	204	187	167	178	140	155	171	162	145	162	136	125	135	170	161	157		
VibrationPc	261	172	188	184	370	188	293	188	292	549	272	266	214	340	340	220		
Ttot	465	359	355	362	510	343	464	350	437	711	408	391	349	510	501	377		

Statistiques descriptives des O2							
Variable	Observations	données ma	données ma	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type
jerkA1(g.s-3)	16	0	16	166,770	1363,590	470,880	292,967
tjerkA1	16	0	16	35,000	105,000	52,000	17,344
accA1	16	0	16	413,000	3128,000	1259,938	642,234
taccA1	16	0	16	47,000	115,000	67,063	16,941
jerkGLOBA1	16	0	16	51,943	590,109	201,463	131,446
Jinst-GlobA1	16	0	16	174,564	476,684	247,074	78,580
jerkD1	16	0	16	-2472,120	-235,440	-793,997	539,954
tjerkD1	16	0	16	10,000	32,000	18,375	6,131
accD1	16	0	16	48,000	905,000	312,875	204,838
taccD1	16	0	16	15,000	32,000	23,500	5,099
jerkGLOBD1	16	0	16	-1359,853	-107,533	-431,539	299,985
Jinst-GlobD1	16	0	16	129,722	227,894	188,596	26,612
TPhase1	16	0	16	62,000	135,000	90,563	18,822
jerkA2	16	0	16	323,730	2217,060	744,947	467,536
tjerkA2	16	0	16	5,000	26,000	12,000	5,550
accA2	16	0	16	519,000	2635,000	1376,750	490,759
taccA2	16	0	16	19,000	42,000	26,188	5,924
jerkGLOBA2	16	0	16	110,012	1129,551	427,695	223,651
Jinst-GlobA2	16	0	16	111,821	309,735	177,895	56,471
jerkD2	16	0	16	-1363,590	-294,300	-586,761	284,461
tjerkD2	16	0	16	9,000	36,000	20,938	7,122
accD2	16	0	16	20,000	451,000	124,500	111,499
taccD2	16	0	16	26,000	89,000	42,938	17,191
jerkGLOBD2	16	0	16	-567,527	-119,153	-316,010	143,376
Jinst-GlobD2	16	0	16	134,529	337,558	192,166	51,919
TPhase2	16	0	16	52,000	110,000	69,125	16,206
TPhase1+2	16	0	16	125,000	204,000	159,688	20,577
TVibrationPc	16	0	16	172,000	549,000	271,063	97,141
tTot	16	0	16	343,000	711,000	430,750	96,560

Test Normalité des O2				
Variable\Test	Shapiro-Wilk	Anderson-Darling	Lilliefors	Jarque-Bera
jerkA1(g.s-3)	0,004	0,019	0,032	0,000
tjerkA1	0,001	0,001	0,009	< 0,0001
accA1	0,019	0,048	0,073	0,004
taccA1	0,026	0,085	0,616	0,023
jerkGLOBA1	0,009	0,026	0,318	0,002
Jinst-GlobA1	0,001	0,001	0,003	0,001
jerkD1	0,003	0,014	0,090	< 0,0001
tjerkD1	0,156	0,106	0,050	0,457
accD1	0,034	0,091	0,253	0,008
taccD1	0,086	0,051	0,136	0,626
jerkGLOBD1	0,004	0,024	0,095	< 0,0001
Jinst-GlobD1	0,694	0,678	0,599	0,627
TPhase1	0,391	0,363	0,749	0,623
jerkA2	0,001	0,002	0,021	< 0,0001
tjerkA2	0,051	0,036	0,005	0,216
accA2	0,285	0,195	0,179	0,284
taccA2	0,041	0,079	0,155	0,129
jerkGLOBA2	0,003	0,008	0,006	< 0,0001
Jinst-GlobA2	0,015	0,020	0,152	0,111
jerkD2	0,015	0,029	0,073	0,049
tjerkD2	0,927	0,822	0,684	0,859
accD2	0,004	0,009	0,139	0,002
taccD2	0,004	0,004	0,003	0,020
jerkGLOBD2	0,157	0,183	0,397	0,492
Jinst-GlobD2	0,029	0,094	0,413	0,030
TPhase2	0,001	0,000	0,000	0,009
TPhase1+2	0,939	0,866	0,917	0,879
TVibrationPc	0,011	0,045	0,328	0,013
tTot	0,004	0,015	0,169	0,007

3. O3

Valeurs échantillon témoin O3 :

Sexe	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	F	F	H
jeK1A1(g.s-3)	1275	1138	1030	1020	1305	1256	491	324	422	216	3080	2502	226	294	3512	
jeK1A1	20	19	34	31	30	25	62	58	42	62	47	42	42	36	89	
accA1	2563	2400	2427	2353	3089	2407	1794	1315	1144	715	4412	3995	629	808	6017	
taccA1	31	30	44	42	41	30	72	73	47	77	52	49	68	51	89	
jeK1GLOB1A1	811	785	541	550	739	787	244	177	239	91	832	800	91	155	663	
jinst-GlobbA1	157	145	190	186	177	160	201	183	177	237	370	313	249	189	530	
jeK1D1	-1678	-1226	-1628	-1678	-2011	-1226	-1236	-687	-481	-422	-2580	-2639	-304	-314	-4630	
jeK1D1	10	11	5	10	10	11	11	10	15	31	16	3	26	21	10	
accD1	424	262	839	464	637	824	246	367	111	49	696	343	154	326	2041	
taccD1	26	26	15	20	25	32	18	27	26	31	27	20	26	27	20	
jeK1GLOB1D1	-807	-807	-1039	-927	-962	-485	-844	-344	-390	-211	-1350	-1791	-179	-175	-1950	
jinst-GlobbD1	208	152	157	181	209	253	147	199	123	200	191	147	170	179	237	
TPHase1	57	56	59	62	66	62	90	100	73	108	79	69	94	78	109	
jeK1A2	1393	1177	1177	2364	2678	2296	1462	863	814	481	2904	2433	461	196	1805	
jeK1A2	5	10	32	15	11	10	8	10	5	10	5	10	16	19	10	
accA2	1998	2107	2517	2759	3330	3117	1904	1435	1153	784	4139	3224	937	804	3729	
taccA2	31	20	42	21	22	16	19	20	26	32	15	20	31	41	10	
jeK1GLOB1A2	498	905	392	1072	1201	1406	856	524	393	225	2252	1413	248	114	1656	
jinst-GlobbA2	280	130	300	221	223	163	171	165	207	213	129	172	186	172	109	
jeK1D2	-687	-834	-1207	-981	-1020	-961	-667	-540	-383	-226	-1383	-932	-392	-275	-1825	
jeK1D2	11	22	37	36	5	20	26	32	5	20	27	27	11	25	27	
accD2	614	313	190	248	437	202	166	120	223	99	1069	1633	89	77	275	
taccD2	58	54	42	42	47	67	42	42	36	64	53	27	32	42	54	
jeK1GLOB1D2	-234	-326	-544	-586	-604	-427	-406	-307	-253	-105	-568	-578	-260	-170	-627	
jinst-GlobbD2	293	256	222	167	169	225	164	176	151	215	243	161	151	162	291	
TPHase2	89	74	84	63	69	83	61	62	62	96	68	47	63	83	64	
TPHase1+2	146	130	143	125	135	145	151	162	135	204	147	116	157	161	173	
VibrationPc	298	244	375	371	345	312	375	218	214	129	439	495	182	188	302	
tTot	444	374	518	496	480	457	526	380	349	333	586	611	339	349	475	

Statistiques descriptives des O3 :							
Variable	Observations	données ma	données ma	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type
jerkA1(g.s-3)	15	0	15	215,820	3511,980	1205,976	1044,520
tjerkA1	15	0	15	19,000	89,000	42,600	18,807
accA1	15	0	15	629,000	6017,000	2404,533	1507,385
taccA1	15	0	15	30,000	89,000	53,067	18,522
jerkGLOBA1	15	0	15	90,743	832,341	500,355	297,620
Jinst-GlobA1	15	0	15	145,000	529,533	230,809	102,821
jerkD1	15	0	15	-4630,320	-304,110	-1515,972	1150,114
tjerkD1	15	0	15	3,000	31,000	13,333	7,509
accD1	15	0	15	49,000	2041,000	518,867	487,098
taccD1	15	0	15	15,000	32,000	24,400	4,778
jerkGLOBD1	15	0	15	-1950,228	-175,127	-817,397	554,396
Jinst-GlobD1	15	0	15	123,330	252,685	183,569	35,599
TPhase1	15	0	15	56,000	109,000	77,467	18,497
jerkA2	15	0	15	196,200	2903,760	1500,276	870,831
tjerkA2	15	0	15	5,000	32,000	11,733	6,871
accA2	15	0	15	784,000	4139,000	2262,467	1101,490
taccA2	15	0	15	10,000	42,000	24,400	9,272
jerkGLOBA2	15	0	15	114,370	2251,722	877,009	618,049
Jinst-GlobA2	15	0	15	109,005	300,358	189,377	53,012
jerkD2	15	0	15	-1824,660	-225,630	-820,770	440,728
tjerkD2	15	0	15	5,000	37,000	22,067	10,173
accD2	15	0	15	77,000	1633,000	383,667	430,676
taccD2	15	0	15	27,000	67,000	46,800	11,384
jerkGLOBD2	15	0	15	-627,477	-104,998	-399,715	175,700
Jinst-GlobD2	15	0	15	150,943	293,353	203,111	49,884
TPhase2	15	0	15	47,000	96,000	71,200	13,208
TPhase1+2	15	0	15	116,000	204,000	148,667	21,486
TVibrationPc	15	0	15	129,000	495,000	299,133	103,084
tTot	15	0	15	333,000	611,000	447,800	90,852

Test Normalité des O3 :				
Variable\Test	Shapiro-Wilk	derson-Darli	Lilliefors	Jarque-Bera
jerkA1(g.s-3)	0,010	0,009	0,007	0,226
tjerkA1	0,204	0,300	0,217	0,316
accA1	0,142	0,196	0,146	0,356
taccA1	0,222	0,221	0,156	0,591
jerkGLOBA1	0,011	0,010	0,090	0,390
Jinst-GlobA1	0,001	0,000	0,002	0,001
jerkD1	0,034	0,102	0,230	0,060
tjerkD1	0,024	0,007	0,002	0,225
accD1	0,001	0,003	0,070	< 0,0001
taccD1	0,195	0,064	0,030	0,736
jerkGLOBD1	0,140	0,218	0,539	0,529
Jinst-GlobD1	0,929	0,883	0,914	0,825
TPhase1	0,101	0,157	0,561	0,486
jerkA2	0,445	0,489	0,454	0,592
tjerkA2	0,002	0,003	0,003	0,001
accA2	0,449	0,607	0,862	0,617
taccA2	0,258	0,167	0,102	0,605
jerkGLOBA2	0,282	0,348	0,195	0,547
Jinst-GlobA2	0,436	0,369	0,373	0,638
jerkD2	0,572	0,702	0,759	0,633
tjerkD2	0,274	0,273	0,453	0,670
accD2	0,000	< 0,0001	0,001	0,000
taccD2	0,691	0,447	0,123	0,818
jerkGLOBD2	0,155	0,155	0,137	0,532
Jinst-GlobD2	0,028	0,030	0,018	0,453
TPhase2	0,337	0,136	0,257	0,799
TPhase1+2	0,348	0,432	0,663	0,216
TVibrationPc	0,907	0,829	0,833	0,790
tTot	0,252	0,326	0,270	0,637

Sexe	H	H	H	H	F	H	H	H	H	H	H	H
jerKA1(g.s-3)	1158	1521	1521	1795	912	540	922	1472	2374	510		
tjeKA1	52	26	31	40	42	25	46	30	30	29		
acca1	2240	3314	3043	3204	2147	1465	2004	3206	4132	1349		
tacca1	68	37	37	46	42	56	51	41	40	45		
jerKGI0BA1	323	879	807	683	501	257	385	767	1013	294		
Jinst-GlobbA1	358	173	188	263	182	210	239	192	234	173		
jerKD1	-1903	-2443	-1579	-1942	-1658	-1030	-1354	-2708	-3129	-657		
tjeKD1	15	10	10	10	10	15	11	11	11	10		
accD1	350	1071	315	213	69	324	226	573	724	424		
taccD1	15	20	26	26	20	15	21	21	16	20		
jerKGI0BD1	-1236	-1100	-1029	-1129	-1019	-746	-831	-1230	-2090	-454		
Jinst-GlobbD1	154	222	153	172	163	138	163	220	150	145		
TPphase1	83	57	63	72	62	71	72	62	56	65		
jerKA2	2580	1746	1099	1579	1844	961	1403	1148	1462	1010		
tjeKA2	15	11	10	15	11	11	5	10	16	16		
acca2	2998	2967	2075	2094	1439	1454	1631	2564	3133	1530		
tacca2	32	21	27	37	16	29	26	32	26	27		
jerKGI0BA2	812	886	639	499	840	382	530	610	909	402		
Jinst-GlobbA2	318	197	172	317	220	252	265	188	161	251		
jerKD2	-853	-824	-942	-893	-638	-765	-1354	-1236	-1413	-510		
tjeKD2	5	16	20	10	26	18	10	15	22	26		
accD2	75	2336	0	288	26	273	340	151	233	79		
taccD2	47	16	36	58	47	30	32	32	37	37		
jerKGI0BD2	-610	-387	-565	-305	-295	-386	-396	-740	-769	-385		
Jinst-GlobbD2	140	213	167	292	216	198	342	167	184	133		
TPphase2	79	37	63	95	63	59	58	64	63	64		
TPphase1+2	162	94	126	167	125	130	130	126	119	129		
TVibrationPc	406	547	230	261	246	171	209	181	203	307		
tTot	568	641	356	428	371	301	339	307	322	436		

Valeurs échantillon témoin O4 :

4. O4

Statistiques descriptives des O4 :							
Variable	Observations	données ma	données ma	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type
jerkA1(g.s-3)	10	0	10	510,120	2374,020	1272,357	580,553
tjerkA1	10	0	10	25,000	52,000	35,100	9,231
accA1	10	0	10	1349,000	4132,000	2610,400	902,299
taccA1	10	0	10	37,000	68,000	46,300	9,707
jerkGLOBA1	10	0	10	256,637	1013,373	591,004	272,682
Jinst-GlobA1	10	0	10	173,054	358,214	221,341	56,947
jerkD1	10	0	10	-3129,390	-657,270	-1840,356	759,037
tjerkD1	10	0	10	10,000	15,000	11,300	2,003
accD1	10	0	10	69,000	1071,000	428,900	292,057
taccD1	10	0	10	15,000	26,000	20,000	3,944
jerkGLOBD1	10	0	10	-2089,530	-453,713	-1086,336	426,938
Jinst-GlobD1	10	0	10	138,037	222,024	168,000	29,591
TPhase1	10	0	10	56,000	83,000	66,300	8,220
jerkA2	10	0	10	961,380	2580,030	1483,272	491,584
tjerkA2	10	0	10	5,000	16,000	12,000	3,496
accA2	10	0	10	1439,000	3133,000	2188,500	680,026
taccA2	10	0	10	16,000	37,000	27,300	5,889
jerkGLOBA2	10	0	10	382,252	908,934	650,916	199,184
Jinst-GlobA2	10	0	10	160,814	317,825	233,949	56,090
jerkD2	10	0	10	-1412,640	-510,120	-942,741	300,394
tjerkD2	10	0	10	5,000	26,000	16,800	7,021
accD2	10	0	10	0,000	2336,000	380,100	697,204
taccD2	10	0	10	16,000	58,000	37,200	11,458
jerkGLOBD2	10	0	10	-768,892	-294,926	-483,810	174,280
Jinst-GlobD2	10	0	10	132,598	342,060	205,151	66,234
TPhase2	10	0	10	37,000	95,000	64,500	14,819
TPhase1+2	10	0	10	94,000	167,000	130,800	20,714
TVibrationPc	10	0	10	171,000	547,000	276,100	117,573
tTot	10	0	10	301,000	641,000	406,900	114,959

Test Normalité des O4 :				
Variable\Test	Shapiro-Wilk	derson-Darli	Lilliefors	Jarque-Bera
jerkA1(g.s-3)	0,686	0,686	0,875	0,837
tjerkA1	0,169	0,132	0,035	0,589
accA1	0,554	0,452	0,437	0,783
taccA1	0,094	0,135	0,227	0,305
jerkGLOBA1	0,350	0,380	0,525	0,633
Jinst-GlobA1	0,022	0,048	0,322	0,118
jerkD1	0,980	0,957	0,786	0,850
tjerkD1	0,000	0,000	0,001	0,236
accD1	0,226	0,192	0,262	0,381
taccD1	0,145	0,147	0,309	0,806
jerkGLOBD1	0,130	0,100	0,049	0,255
Jinst-GlobD1	0,013	0,012	0,041	0,347
TPhase1	0,427	0,404	0,636	0,697
jerkA2	0,205	0,319	0,733	0,398
tjerkA2	0,136	0,112	0,226	0,786
accA2	0,101	0,145	0,356	0,578
taccA2	0,801	0,543	0,225	0,910
jerkGLOBA2	0,286	0,375	0,384	0,629
Jinst-GlobA2	0,429	0,542	0,805	0,708
jerkD2	0,475	0,396	0,299	0,723
tjerkD2	0,723	0,839	0,881	0,780
accD2	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
taccD2	0,705	0,413	0,260	0,997
jerkGLOBD2	0,081	0,069	0,015	0,569
Jinst-GlobD2	0,157	0,159	0,126	0,445
TPhase2	0,090	0,022	0,006	0,783
TPhase1+2	0,082	0,023	0,006	0,907
TVibrationPc	0,024	0,032	0,074	0,174
tTot	0,050	0,060	0,172	0,389

5. O5

Valeurs échantillon témoin O5 :

Seve	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	F	F	H	H	H	H	H	H
jerkAlgs-3)	860	457	345	986	1215	1447	625	1034	1161	1479	487	624	373	490	408	566	680	619	589	815		
tyerkA1	35	36	9	52	51	53	36	31	41	31	46	62	52	37	42	31	21	32	27	16		
accA1	2263	1281	1400	2129	2548	2446	1632	2386	2735	2776	1317	1517	1111	1284	1091	1404	1963	1642	1343	1153		
taccA1	46	46	50	52	62	57	46	42	51	36	56	67	69	47	64	41	46	47	42	23		
jerkGLOBA1	483	273	275	402	403	421	348	557	526	756	231	222	158	268	167	336	419	343	314	492		
jinst-GlobA1	178	167	126	245	301	344	180	186	221	196	211	281	236	183	244	168	162	181	188	166		
jerkD1	-1206	-709	-699	-1023	-1631	-1468	-827	-1334	-2509	-2286	-1693	-1102	-702	-485	-1187	-1026	-1721	-892	-1160	-1012		
tyerkD1	10	21	16	20	25	27	15	10	10	15	10	16	19	26	12	17	16	15	10	12		
accD1	429	311	281	190	490	618	100	179	164	305	409	542	139	213	262	336	379	234	203	102		
taccD1	25	26	21	25	25	27	26	26	15	21	16	16	19	26	12	17	16	22	17	17		
jerkGLOBD1	-720	-366	-523	-761	-808	-664	-578	-833	-1681	-1154	-557	-598	-502	-404	-678	-616	-971	-628	-658	-606		
jinst-GlobD1	168	194	134	134	202	221	143	160	149	198	304	184	140	120	175	166	177	142	176	167		
Phase1	71	72	71	77	87	84	72	68	66	57	72	83	88	73	76	58	62	69	59	40		
jerkA2	1931	1348	922	1506	1882	2637	1007	2104	2391	1612	754	979	805	1086	1986	1291	1200	1013	919	941		
tyerkA2	16	6	10	5	11	10	11	5	12	11	16	10	16	10	7	10	16	5	14	11		
accA2	2568	2079	1190	1463	3285	3148	1936	2671	2671	2656	1973	2327	1410	1656	2027	2442	2160	1673	1607	1751		
taccA2	22	20	20	22	22	20	26	20	27	26	26	26	21	26	22	26	32	30	30	29		
jerkGLOBA2	954	867	446	568	1246	1241	681	1222	911	887	590	673	594	544	787	795	546	471	459	558		
jinst-GlobA2	202	155	207	265	151	212	148	172	262	182	128	145	136	199	252	162	220	215	200	169		
jerkD2	-1766	-874	-539	-621	-985	-1368	-632	-955	-1130	-1163	-785	-942	-549	-585	-856	-991	-882	-713	-729	-895		
tyerkD2	31	42	12	10	36	32	22	22	22	27	22	11	21	21	27	31	16	12	21	3		
accD2	784	522	240	346	129	340	179	65	200	330	396	484	210	216	233	381	282	320	103	230		
taccD2	31	54	42	31	77	42	52	47	37	42	27	28	68	63	37	36	89	43	37	24		
jerkGLOBD2	-565	-283	-222	-353	-402	-656	-326	-544	-655	-543	-573	-646	-173	-224	-476	-562	-207	-309	-399	-622		
jinst-GlobD2	313	309	243	176	245	209	194	176	172	214	137	146	317	261	180	176	426	231	183	144		
Phase2	53	74	62	53	99	62	78	67	64	68	53	54	89	89	59	62	121	73	67	53		
Phase1+2	124	146	133	130	186	146	150	135	130	125	125	137	177	162	135	120	183	142	126	93		
VibrationPc	497	479	235	411	230	346	199	251	240	240	287	316	214	151	276	365	381	272	241	251		
Tot	621	625	368	541	416	492	349	386	370	365	412	453	391	313	411	485	564	414	367	344		

Statistiques descriptives des O5 :							
Variable	Observations	données ma	données ma	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type
jerkA1(g.s-3)	20	0	20	345,000	1479,000	763,000	348,740
tjerkA1	20	0	20	9,000	62,000	37,050	13,316
accA1	20	0	20	1091,000	2776,000	1771,050	575,979
taccA1	20	0	20	23,000	69,000	49,500	10,981
jerkGLOBA1	20	0	20	157,955	756,460	369,645	146,024
Jinst-GlobA1	20	0	20	125,601	343,730	208,149	53,382
jerkD1	20	0	20	-2509,000	-485,000	-1233,600	525,857
tjerkD1	20	0	20	10,000	27,000	16,100	5,467
accD1	20	0	20	100,000	618,000	294,300	145,971
taccD1	20	0	20	12,000	27,000	20,750	4,745
jerkGLOBD1	20	0	20	-1681,434	-365,988	-715,266	291,271
Jinst-GlobD1	20	0	20	120,021	304,104	172,772	40,507
TPhase1	20	0	20	40,000	88,000	70,250	11,479
jerkA2	20	0	20	754,000	2637,000	1415,700	561,638
tjerkA2	20	0	20	5,000	16,000	10,600	3,705
accA2	20	0	20	1190,000	3285,000	2133,150	577,959
taccA2	20	0	20	20,000	32,000	24,650	3,801
jerkGLOBA2	20	0	20	445,865	1246,316	752,018	259,908
Jinst-GlobA2	20	0	20	127,773	265,308	189,227	41,286
jerkD2	20	0	20	-1766,000	-539,000	-898,000	298,600
tjerkD2	20	0	20	3,000	42,000	22,050	9,660
accD2	20	0	20	65,000	784,000	299,500	164,568
taccD2	20	0	20	24,000	89,000	45,350	17,312
jerkGLOBD2	20	0	20	-655,869	-173,118	-436,918	166,071
Jinst-GlobD2	20	0	20	137,004	426,083	222,561	73,029
TPhase2	20	0	20	53,000	121,000	70,000	17,824
TPhase1+2	20	0	20	93,000	186,000	140,250	22,725
TVibrationPc	20	0	20	151,000	497,000	294,100	92,215
tTot	20	0	20	313,000	625,000	434,350	91,675

Test Normalité des O5 :				
Variable\Test	Shapiro-Wilk	derson-Darli	Lilliefors	Jarque-Bera
jerkA1(g.s-3)	0,042	0,048	0,029	0,325
tjerkA1	0,875	0,697	0,571	0,900
accA1	0,023	0,020	0,060	0,347
taccA1	0,464	0,298	0,383	0,929
jerkGLOBA1	0,381	0,610	0,727	0,311
Jinst-GlobA1	0,046	0,025	0,037	0,169
jerkD1	0,105	0,130	0,131	0,221
tjerkD1	0,037	0,074	0,218	0,443
accD1	0,337	0,465	0,744	0,468
taccD1	0,030	0,018	0,016	0,426
jerkGLOBD1	0,001	0,002	0,033	< 0,0001
Jinst-GlobD1	0,006	0,041	0,225	< 0,0001
TPhase1	0,308	0,361	0,555	0,400
jerkA2	0,042	0,038	0,128	0,346
tjerkA2	0,041	0,052	0,069	0,708
accA2	0,707	0,736	0,901	0,663
taccA2	0,045	0,034	0,024	0,535
jerkGLOBA2	0,023	0,038	0,094	0,345
Jinst-GlobA2	0,318	0,432	0,752	0,593
jerkD2	0,032	0,111	0,098	0,021
tjerkD2	0,831	0,496	0,222	0,931
accD2	0,060	0,138	0,371	0,018
taccD2	0,034	0,035	0,029	0,137
jerkGLOBD2	0,072	0,104	0,059	0,413
Jinst-GlobD2	0,021	0,035	0,221	0,061
TPhase2	0,005	0,011	0,045	0,017
TPhase1+2	0,106	0,045	0,221	0,675
TVibrationPc	0,073	0,039	0,086	0,317
tTot	0,025	0,019	0,007	0,261

Sexe	H	H	H	H	H	H	F	F	H	H	H
jerKA1(g.s-3)	1197	800	873	775	1766	677	638	824	726		
tjerKA1	20	26	36	46	32	51	41	41	41		
acca1	2624	1999	1771	2093	3573	1634	1690	1847	1730		
tacca1	36	41	57	46	37	68	51	46	57		
jerGLOBA1	715	478	305	446	947	236	325	394	298		
jinst-Globa1	167	167	286	174	186	287	196	209	244		
jerKD1	-1285	-1010	-1609	-1413	-2688	-1491	-1246	-853	-893		
tjerKD1	5	21	4	10	15	10	15	15	11		
accD1	431	500	262	522	332	271	264	619	799		
taccD1	20	21	15	21	20	15	21	21	17		
jerGLOBD1	-1076	-700	-987	-734	-1590	-891	-666	-574	-537		
jinst-GlobD1	119	144	163	192	169	167	187	149	166		
TPPhase1	56	62	72	67	57	83	72	67	74		
jerKA2	1207	1324	1403	1991	2433	971	1167	1570	1481		
tjerKA2	11	11	5	11	17	10	11	16	9		
acca2	2019	1947	2636	3064	3820	1996	1890	2689	2897		
tacca2	27	21	21	21	17	42	36	36	25		
jerGLOBA2	577	676	1109	1187	2013	403	443	564	823		
jinst-Globa2	209	196	126	168	121	241	263	278	180		
jerKD2	-824	-883	-1050	-1207	-1697	-618	-441	-1050	-1069		
tjerKD2	25	21	26	26	30	15	17	17	16		
accD2	-40	144	349	617	102	146	20	599	615		
taccD2	72	69	47	52	57	37	54	27	36		
jerGLOBD2	-281	-256	-477	-462	-640	-491	-340	-759	-622		
jinst-GlobD2	294	344	220	261	265	126	130	138	172		
TPPhase2	99	90	68	73	74	79	90	63	61		
TPPhase1+2	155	152	140	140	131	162	162	130	135		
TVibrationPc	167	150	443	538	511	428	405	443	435		
tTot	322	302	583	678	642	590	567	573	570		

O6

6.

Valeurs échantillon témoin O6 :

Statistiques descriptives des O6 :							
Variable	Observations	données ma	données ma	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type
jerkA1(g.s-3)	9	0	9	637,650	1765,800	919,469	356,252
tjerkA1	9	0	9	20,000	51,000	37,111	9,752
accA1	9	0	9	1634,000	3573,000	2106,778	627,350
taccA1	9	0	9	36,000	68,000	48,778	10,533
jerkGLOBA1	9	0	9	235,729	947,328	460,473	230,852
Jinst-GlobA1	9	0	9	167,260	287,148	213,048	48,182
jerkD1	9	0	9	-2687,940	-853,470	-1387,570	553,877
tjerkD1	9	0	9	4,000	21,000	11,778	5,357
accD1	9	0	9	262,000	799,000	444,444	185,079
taccD1	9	0	9	15,000	21,000	19,000	2,598
jerkGLOBD1	9	0	9	-1589,711	-537,242	-861,648	328,106
Jinst-GlobD1	9	0	9	119,471	192,489	161,957	22,218
TPhase1	9	0	9	56,000	83,000	67,778	8,628
jerkA2	9	0	9	971,190	2432,880	1505,290	451,849
tjerkA2	9	0	9	5,000	17,000	11,222	3,563
accA2	9	0	9	1890,000	3820,000	2550,889	653,098
taccA2	9	0	9	17,000	42,000	27,333	8,646
jerkGLOBA2	9	0	9	402,911	2012,781	866,168	510,325
Jinst-GlobA2	9	0	9	120,872	278,261	198,092	55,918
jerkD2	9	0	9	-1697,130	-441,450	-982,090	360,224
tjerkD2	9	0	9	15,000	30,000	21,444	5,457
accD2	9	0	9	-40,000	617,000	283,556	267,006
taccD2	9	0	9	27,000	72,000	50,111	15,070
jerkGLOBD2	9	0	9	-759,367	-256,340	-480,798	170,904
Jinst-GlobD2	9	0	9	126,000	344,426	216,755	79,468
TPhase2	9	0	9	61,000	99,000	77,444	13,144
TPhase1+2	9	0	9	130,000	162,000	145,222	12,736
TVibrationPc	9	0	9	150,000	538,000	391,111	138,372
tTot	9	0	9	302,000	678,000	536,333	132,553

Test Normalité des O6 :				
Variable\Test	Shapiro-Wilk	derson-Darli	Lilliefors	Jarque-Bera
jerkA1(g.s-3)	0,004	0,005	0,006	0,070
tjerkA1	0,773	0,613	0,298	0,791
accA1	0,006	0,009	0,032	0,100
taccA1	0,641	0,688	0,732	0,768
jerkGLOBA1	0,065	0,068	0,117	0,348
Jinst-GlobA1	0,065	0,101	0,388	0,570
jerkD1	0,040	0,071	0,168	0,129
tjerkD1	0,619	0,490	0,632	0,903
accD1	0,259	0,356	0,613	0,669
taccD1	0,005	0,007	0,010	0,496
jerkGLOBD1	0,114	0,165	0,323	0,298
Jinst-GlobD1	0,696	0,564	0,495	0,826
TPhase1	0,758	0,729	0,922	0,886
jerkA2	0,271	0,234	0,231	0,480
tjerkA2	0,223	0,083	0,017	0,974
accA2	0,190	0,214	0,155	0,680
taccA2	0,220	0,160	0,285	0,635
jerkGLOBA2	0,053	0,083	0,369	0,240
Jinst-GlobA2	0,720	0,870	0,962	0,766
jerkD2	0,720	0,539	0,527	0,844
tjerkD2	0,235	0,200	0,154	0,652
accD2	0,081	0,093	0,101	0,594
taccD2	0,825	0,855	0,871	0,812
jerkGLOBD2	0,697	0,713	0,853	0,784
Jinst-GlobD2	0,376	0,435	0,622	0,700
TPhase2	0,587	0,594	0,696	0,718
TPhase1+2	0,202	0,276	0,271	0,631
TVibrationPc	0,018	0,011	0,009	0,454
tTot	0,012	0,006	0,001	0,428

7. GROUPE TEST

Valeurs données Test :

Niveau	1	1	1	2	2	2	3	3	4	4	4	5	5	5
Résultat	Major	Medio	Minor	Major	Medio	Minor	Major	Medio	Major	Medio	Minor	Major	Medio	Minor
Sexe	F	H	F	H	H	H	F	H	H	F	H	H	H	H
jerkA1(g.s-3)	624	345	215	676	842	375	3528	221	924	675	588	1647	778	194
tyerkA1	16	51	52	52	25	57	48	73	40	32	68	31	42	17
acca1	1087	1278	738	1913	1824	1203	5011	863	1621	1713	1400	2867	1807	640
taca1	37	67	78	57	35	62	52	88	40	42	73	36	53	53
jerkGLOBa1	288	187	93	329	511	190	945	96	398	400	188	781	334	118
jinst-Globa1	217	184	232	205	165	197	373	230	232	169	302	211	233	164
jerkD1	-558	-852	-369	-1115	-833	-834	-3597	-591	-762	-1343	-973	-1791	-898	-288
tyerkD1	21	15	15	15	21	16	11	21	21	16	20	21	32	15
accD1	335	193	160	465	600	173	897	144	515	432	99	381	363	134
tacD1	21	20	20	21	26	16	16	21	31	16	20	26	32	22
jerkGLOBD1	-351	-532	-284	-676	-462	-632	-2522	-336	-350	-785	-638	-938	-443	-226
jinst-GlobD1	159	160	130	165	180	132	143	176	218	171	152	191	203	128
TPhase1	58	87	98	78	61	78	68	109	71	58	93	62	85	75
jerkA2	542	905	363	912	436	952	3209	631	707	1530	1011	2222	1171	451
tyerkA2	10	17	10	11	16	10	11	10	21	10	11	5	5	9
acca2	1073	1488	668	1395	1146	1239	3995	830	1358	1667	1655	3060	1801	797
taca2	20	22	26	21	22	21	16	20	27	15	21	26	20	25
jerkGLOBa2	362	577	192	434	243	498	1899	336	306	808	727	1011	705	260
jinst-Globa2	150	157	189	210	179	191	169	188	231	189	139	220	166	173
jerkD2	-427	-716	-205	-777	-293	-651	-2219	-289	-558	-546	-815	-1239	-1146	-303
tyerkD2	22	25	26	27	20	15	27	17	10	27	20	16	16	20
accD2	246	173	217	249	708	122	602	279	253	266	143	749	269	120
tacD2	37	47	42	32	25	31	64	42	37	74	37	53	27	42
jerkGLOBD2	-219	-274	-105	-351	-172	-353	-520	-129	-293	-186	-401	-428	-557	-158
jinst-GlobD2	195	261	195	221	170	184	427	225	190	294	203	290	206	192
TPhase2	57	69	68	53	47	52	80	62	64	89	58	79	47	67
TPhase1+2	115	156	166	131	108	130	148	171	135	147	151	141	132	142
TVibrationFc	163	234	173	612	388	286	218	464	265	239	197	317	281	260
Ttot	278	390	339	743	496	416	366	635	400	386	348	458	413	402

8. RESULTAT

Variables Testées	Niveau	1+	1	1-	2+	2	2-	3+	3	4+	4	4-	5+	5	5-
	Sexe	F	H	F	H	H	H	H	F	H	H	F	H	H	H
Variables Testées	jerKA1(m.s-3)	624	345	215	676	842	375	3528	221	924	675	568	1647	778	194
	tjerKA1(ms)	16	51	52	52	25	57	48	73	40	32	68	31	42	17
	acca1(mg)	1087	1278	738	1913	1824	1203	5011	863	1621	1713	1400	2867	1807	640
	tacca1(ms)	37	67	78	57	35	62	52	88	40	42	73	36	53	53
	jerKGOBA1(m.s-3)	288	187	93	329	511	190	945	96	398	400	188	781	334	118
	Jinst-GlobA1(%)	217	184	232	205	165	197	373	230	232	169	302	211	233	164
	jerKD1(m.s-3)	-558	-852	-369	-1115	-833	-834	-3597	-591	-762	-1343	-973	-1791	-898	-288
	tjerKD1(ms)	21	15	15	15	21	16	11	21	21	16	20	21	32	15
	accD1(mg)	335	193	160	465	600	173	897	144	515	432	99	381	363	134
	taccD1(ms)	21	20	20	21	26	16	16	21	31	16	20	26	32	22
	jerKGOBD1	-351	-532	-284	-676	-462	-632	-2522	-336	-350	-785	-638	-938	-443	-226
	Jinst-GlobBD1(%)	159	160	130	165	180	132	143	176	218	171	152	191	203	128
	TPPhase1(ms)	58	87	98	78	61	78	68	109	71	58	93	62	85	75
	jerKA2(m.s-3)	542	905	363	912	436	952	3209	631	707	1530	1011	2222	1171	451
	tjerKA2(ms)	10	17	10	11	16	10	11	10	21	10	11	5	5	9
	acca2(mg)	1073	1488	668	1395	1146	1239	3995	830	1338	1667	1655	3060	1801	797
	tacca2(ms)	20	22	26	21	22	21	16	20	27	15	21	26	20	25
	jerKGOBA2(m.s-3)	362	577	192	434	243	498	1899	336	306	808	727	1011	705	260
	Jinst-GlobA2(%)	150	157	189	210	179	191	169	188	231	189	139	220	166	173
	jerKD2(m.s-3)	-427	-716	-205	-777	-293	-651	-2219	-289	-558	-546	-815	-1239	-1146	-303
	tjerKD2(ms)	22	25	26	27	20	15	27	17	10	27	20	16	16	20
	accD2(mg)	246	173	217	249	708	122	602	279	253	266	143	749	269	120
	taccD2(ms)	37	47	42	32	25	31	64	42	37	74	37	53	27	42
	jerKGOBD2(m.s-3)	-219	-274	-105	-351	-172	-353	-520	-129	-293	-186	-401	-428	-557	-158
	Jinst-GlobBD2(%)	195	261	195	221	170	184	427	225	190	294	203	290	206	192
	TPPhase2(ms)	57	69	68	53	47	52	80	62	64	89	58	79	47	67
	TPPhase1+2(ms)	115	156	166	131	108	130	148	171	135	147	151	141	132	142
	TvibrationPostThrust(ms)	163	234	173	612	388	286	218	464	265	239	197	317	281	260
	tTot(ms)	278	390	339	743	496	416	366	635	400	386	348	458	413	402
Résultats	O1	01(%)	0,86	0,27	0,53										
		O2(%)	0,14	0,73	0,47										
	O2	O1(%)				0,30	0,62	0,27							
		O2(%)				0,38	-0,03	0,53							
		O3(%)				0,32	0,41	0,20							
	O3	O2(%)						-0,32	0,68						
Résultats		O3(%)						0,70	0,23						
		O4(%)						0,62	0,09						
	O4	O3(%)								0,46	0,50	0,21			
		O4(%)								0,21	0,15	0,18			
		O5(%)								0,32	0,35	0,61			
	O5	O4(%)											0,37	0,18	0,16
Résultats		O5(%)											0,32	0,61	0,79
		O6(%)											0,31	0,21	0,04
	Comparison notes	Non	Oui	Oui	Oui	Non	Oui	Oui	Non	Non	Non	Non	Non	Oui	Oui
	Valide/Niveau(%)		67			67		50			0			67	
	Erreur/Niveau(%)		33			33		50			100			33	
	Valide Globale(%)							50							

F. PHOTOS SOUVENIRS

