

Document Conception Plateforme - Analyse Saut Vertical

Nous allons vous présenter notre projet: . Analyse Performance Saut

Quel est le mouvement le plus efficace pour atteindre une hauteur maximale à l'aide de grandeurs physiques mesurées ?

Pour cela, on cherche à comparer 3 techniques de saut vertical différentes. La hauteur de saut est mesurée de deux façons indépendantes : par intégration de la force (grâce à une "plaque de force") et par suivi vidéo du centre de masse. La comparaison des deux valeurs permet de valider la chaîne de mesure complète. Un écart inférieur à 5% valide l'étalonnage et le modèle utilisé. Elles permettent de réduire le risque d'erreurs involontaires d'étalonnage et donc le risque d'erreur sur la conclusion finale de l'expérience.

Plan du Document:

- I. Théorie
- II. Protocole Global
- III. Besoins et Coûts
- IV. Planning
- V. Annexe

I. Théorie

Afin de déterminer quel mouvement est le plus adapté, nous allons expérimenter trois sauts différents:

A. Squat (saut "statique") (*saut A*)

Le sujet part de la position accroupie (à environ 90°, cuisses le plus parallèles possible au sol) mains sur les hanches, et saute sans aucun mouvement préparatoire vers le bas.

Protocole :

1. Position de départ : pieds écartés largeur d'épaules, genoux fléchis à 90°(environ) buste droit, mains sur les hanches.
2. Le sujet maintient cette position immobile pendant 2 secondes (pour éviter tout élan)
3. Sur un signal, il saute verticalement en poussant uniquement avec les jambes.
4. Il garde les mains sur les hanches pendant tout le saut (pas de balancement des bras)
5. Il atterrit à côté de la plateforme, environ 30 à 50 cm devant. Un repère visuel (scotch au sol) indique la zone d'atterrissage pour que tous les essais soient réalisés dans les mêmes conditions.

L'atterrissage s'effectue volontairement hors de la plaque afin de préserver l'intégrité du système de mesure et d'éviter tout risque de blessure. Une légère translation vers l'avant pendant la phase aérienne n'affecte pas les grandeurs mesurées (force pendant l'impulsion, hauteur maximale) car le mouvement reste vertical pendant la poussée. Dans le cas où la poussée horizontale serait non négligeable, le tronc du sujet va se pencher de manière conséquente, et l'analyse de la vidéo du saut effectuée par la suite permettra d'invalidier le saut.

Dans ce type de saut, la force est produite uniquement par la contraction concentrique des muscles extenseurs des jambes (raccourcissement sous tension). Il n'y a pas d'étirement préalable des muscles, donc pas de stockage ni de restitution d'énergie élastique. Ce saut constitue la référence 'force pure' permettant d'évaluer la capacité contractile sans contribution élastique.

Dans les gestes sportifs réels (basketball, volleyball, saut en longueur), le saut n'est jamais purement vertical. Notre protocole, bien que standardisé, reste représentatif des conditions réelles car il autorise une légère translation vers l'avant, comme lorsqu'un athlète doit combiner hauteur et déplacement

Source : Selon Van Hooren et Zolotarjova (2017), le Squat Jump constitue la référence pour évaluer la force concentrique pure, la différence avec le Countermovement Jump permettant de quantifier la contribution de l'énergie élastique et du réflexe d'étirement

[Hooren 2017 Difference Between Countermovement.pdf](#)

B. Saut avec élan vertical (saut B)

Le sujet part debout, descend rapidement jusqu'à une position fléchie, puis enchaîne immédiatement le saut, mains sur les hanches.

Protocole :

1. Position de départ : debout, jambes tendues, mains sur les hanches
2. Le sujet fléchit rapidement les jambes (jusqu'à un angle de genou confortable (environ vers 90° souvent))
3. Sans temps d'arrêt (pas de pause en position basse), il remonte et saute immédiatement
4. Il garde les mains sur les hanches pendant tout le saut
5. Atterrissage identique au *saut A*

Lors de la descente rapide, les muscles extenseurs sont étirés tout en développant une tension (contraction excentrique). Cette mise en tension préalable permet le stockage d'énergie élastique dans les tendons et les structures conjonctives des muscles. Cette énergie est restituée immédiatement pendant la phase de montée (contraction concentrique), s'ajoutant à la force produite par les muscles eux-mêmes. Ce saut est donc normalement plus puissant et plus haut que le *saut A* à masse corporelle égale.

Source : [PII: S0021-9290\(00\)00064-6](#) (Komi (2000))

C. Saut complet (élan + utilisation des bras) (*saut C*)

Même saut que le précédent, mais les bras sont libres et participent au mouvement.

Protocole :

1. Position de départ : debout, bras le long du corps (ou légèrement en arrière)
2. Descente rapide (comme saut B) les bras descendent naturellement
3. Remontée immédiate, les bras montent violemment vers le haut pour aider l'impulsion
4. Atterrissage identique aux autres sauts

Ce saut cumule plusieurs effets : l'énergie élastique stockée dans les membres inférieurs (comme dans le *saut B*) s'ajoute à la contribution dynamique des bras. En montant rapidement, les bras exercent une force vers le haut qui se transmet au reste du corps. De plus, le centre de masse s'élève déjà pendant la phase d'ascension des bras, avant même le décollage, ce qui augmente la hauteur finale. La puissance totale est la somme des puissances développées par les jambes et les bras.

Source : Harman et al. (1990) ont montré que l'utilisation des bras augmente significativement la hauteur de saut, avec un effet supérieur à celui du seul contre-mouvement. Cette amélioration s'explique par une force de réaction au sol plus élevée et une puissance crête accrue.

[\(PDF\) A Biomechanical Comparison of Different Vertical Jump Techniques with and Without Arm Swing](#)

II. Protocole Global

A. Mesure de la force de poussée

Nous cherchons donc à mesurer la force nécessaire pour une bonne poussée c'est-à-dire atteindre une hauteur maximale.

Pour ce faire nous allons réaliser une "plateforme de force", il s'agit d'un appareil de mesure permettant de retrouver la force exercée par le sujet lors de sa poussée.

1. Fabrication de la Plaque

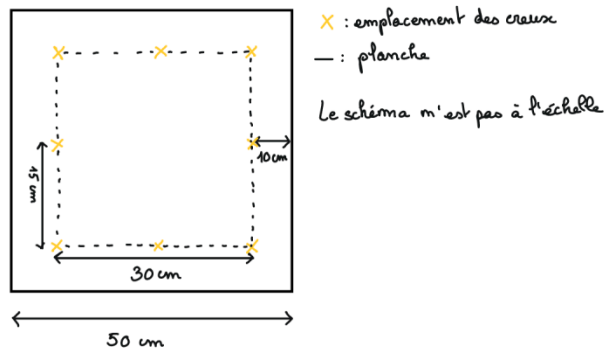
Les matériaux des plaques sont à préciser. Le montage pourra être réalisé à la I-Factory à côté de l'arrêt de tram LaDoua.

1) Creux

Percer 8 creux de 12mm de diamètre sur les plaques inférieures et supérieures. Plaque inférieure : 5 mm de profondeur. Plaque supérieure : 2 ou 3 mm de profondeur.

Pour fixer les ressort au bon endroit. L'idéal est de les fixer en carré, à 10 cm du bord. Assez

éloigné du centre pour ne pas gêner la mise en place du potentiomètre, et pas collé au bord pour éviter à la plaque de se plier et donc de mesurer une force de flexion au lieu du déplacement.



2) inserts filetés

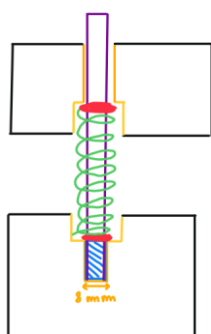
8 Insert filetés M6 : (ils font 8 cm de diamètre extérieur), un par ressort, à fixer sur la plaque inférieure. Pour le fixer, on perce un trou de 8 mm d'épaisseur, la longueur dépendra de l'épaisseur de nos plaques. Dans le cas où nos plaques font 24mm d'épaisseur, l'idéal serait un trou de 12mm de profondeur. La longueur de l'insert est la même que la profondeur du trou à percer. Il doit rester du bois (au moins 4 mm (un peu juste) mais l'idéal est à 9 mm) entre l'insert et la fin de la plaque pour éviter de casser la plateforme. Si notre plaque ne fait pas 24 mm d'épaisseur, on peut trouver des inserts plus courts. Les trous sont percés dans les creux déjà existants.

Pour une plaque de 24 mm d'épaisseur, creux de 5 mm, et insert de 12 mm, il reste $24 - 5 - 12 = 7$ mm, c'est validé.

3) Tiges

8 tiges filetées M6 acier zingué de longueur 80 mm. (possibilité d'acheter une barre d'1 mètre et de les couper nous même à 80 mm). Sur la plaque supérieure, dans les creux, percer un trou lisse de 11 mm de diamètre sur toute l'épaisseur de la plaque. Mettre la tige dans l'insert. Avant de placer le ressort, placer une rondelle M6 avec un diamètre inférieur à 12 mm (12 mm ça passera pas, il faut absolument 11,5 ou 11,8 grand maximum). Cette rondelle sert à protéger l'insert du frottement du ressort et permet au ressort d'appuyer sur une surface plane afin de répartir les charges au mieux.

Placer le ressort. Entre le ressort et la plaque supérieure, placer une rondelle du même type que celle utilisée précédemment. Cette rondelle servira à protéger la plaque (éviter de l'abîmer en mettant le ressort et la plaque directement en contact), et à mieux guider le mouvement. La rondelle sera maintenue entre le ressort et la plaque, elle ne bougera pas.



: Ressort
 : Rondelle (diamètre entre 11 et 12 mm)
 : tige fileté M6
 : creux
 : trou
 : inserts filetés
 : plaques
 Le schéma n'est pas à l'échelle

4) Equerres

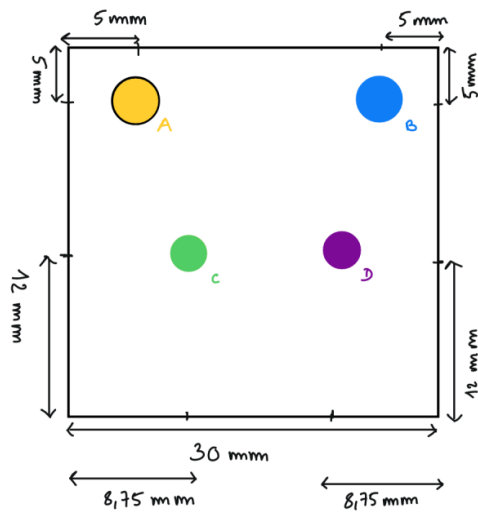
On a besoin d'une **équerre profilé alu 30x30 mm**, 2 mm d'épaisseur environ, non pré percée (pour pouvoir ajuster les trous nous même). L'équerre sera assez grande pour pouvoir fixer le potentiomètre sans le gêner.

On va percer 4 trous au total, pour 2 fixations différentes :

Type de fixation	Nombre de trous	Diamètre	Position de l'équerre
Fixation au bois (plaque inférieur)	2	3mm	En haut de l'équerre, espacés de 20mm
Fixation au potentiomètre	2	2,1 mm	Au centre de l'équerre, espacés de 12,5 mm (entraxe standard)

Coordonnées exactes de trous (en mm depuis le bord)

Trou	Depuis bord gauche (jusqu'au centre du trou)	Depuis bord haut (jusqu'au centre du trou)	Diamètre
A (fixation bois)	5 mm	5 mm	3 mm
B (fixation bois)	25 mm	5 mm	3 mm
C (potentiomètre)	8,75 mm	18 mm	2,1 mm
D (potentiomètre)	21,25 mm	18 mm	2,1 mm



Le schéma n'est pas à l'échelle

Les 4 trous se situent sur la même partie de l'équerre, celle collée à la plaque inférieure. La partie perpendiculaire à celle-ci n'a pas d'utilité ici, elle peut être coupée en cas de gêne.

Fixation de l'équerre sur la plaque inférieure :

- Positionner l'équerre au centre exacte de la plaque inférieure
- Marquer au crayon l'emplacement des 2 trous de fixation au bois (trous A et B)
- Pré-percer le bois avec un foret de 2,5 mm sur environ 15 mm de profondeur
- Fixer l'équerre avec 2 vis à bois inox Ø4×25 mm. (diamètre assez gros pour tenir dans le bois, assez fin pour ne pas fendre la plaque, et traversera presque toute la plaque en long, tiendra correctement)
- Vérifier que l'équerre est bien droite et solidaire de la plaque

Fixation du potentiomètre sur l'équerre :

- Poser le potentiomètre sur l'équerre, curseur vers le haut (vers la plaque supérieur)
- Aligner ses trous de fixation avec les trous C et D de l'équerre
- Fixer avec 2 vis M2 x 10 mm + écrous M2 derrière la plaque

(Dans le cas où les trous de fixations ne seraient pas présents sur le potentiomètre, on peut toujours le fixer avec un collier de câble (colson) ou même de la colle chaude si cela est nécessaire.)

Vis nylon (tampon de transmission):

Le rôle de cette vis est de transmettre le mouvement de la plaque supérieur au curseur, elle permet un réglage fin du point de contact. En cas de choc, le nylon cassera avant le métal, ce qui permet de protéger le potentiomètre.

Sur la plaque supérieur :

- Percer un trou de 4,5 mm de diamètre au centre exacte de la plaque supérieur
- Visser une vis nylon M4 dans ce trou
- Régler la hauteur pour que la vis effleure juste le curseur du potentiomètre quand la plaque est au repos
- Bloquer éventuellement avec un contre-écrou nylon si nécessaire

5) Electronique

Le potentiomètre linéaire Bourns 3046L-2-103 est un modèle à sortie résistive 10 kΩ, livré avec 3 fils souples déjà soudés (alimentation +, sortie signal, masse). Le branchement sur Arduino est très simple : on relie le fil d'alimentation au 5V, la masse au GND, et le fil de signal à une entrée analogique (par exemple A0). Le curseur du potentiomètre se comporte comme un pont diviseur de tension : la tension lue varie linéairement avec sa position. Un court programme Arduino lit cette valeur et l'envoie sur le moniteur série. Les fils sont fins et flexibles, ils ne gênent pas le mouvement de la plaque et peuvent sortir par un petit trou latéral. L'étalonnage se fait simplement en mesurant les valeurs au repos et à la butée mécanique (5 mm de course).

2. Fonctionnement de la Plaque et Principe de mesure

Lorsque que le sujet prend appui sur la plaque, les ressorts se compriment, la plaque descend d'un Δz (mm). On utilise un potentiomètre qui sera alimenté par une tension positive en entrée A et à la masse en B. Quand à la sortie elle sera relié à la carte analogique arduino et branché à un voltmètre pour lire la position de la tige, elle se déplace alors de ce Δz (mm), le curseur (noté C) à l'intérieur glisse le long de la piste résistive (varie de A à B) et fait varier la valeur de la résistance. La résistance qui sera utilisé pour trouver la tension est $R = R_{totale} * \Delta z$.

Cette valeur de résistance est alors convertie en valeur de tension U , grâce à l'application de la loi d'Ohm dans l'électronique du potentiomètre.

(Il sera judicieux de noter la valeur de tension lors que le sujet est debout sur la plaque afin d'avoir une valeur de tension dite U_0 qui fera office d'offset pour l'analyse des mesures).

De ce fait lorsque la valeur de la résistance change, la valeur de la tension change également et suit une relation linéaire du type $U = R * I = a * z(t) + b$. Avec b qui correspond à l'offset U_0 et a le taux de variation de la tension par unité de déplacement c'est

à dire $a = \frac{V_{cc}}{z_{total}}$, d'après le fournisseur si on alimente le potentiomètre avec $V_{cc} = 5V$,

avec le modèle choisi ($z_{total} = 8.89 \text{ mm}$), on a le facteur $a = 0.56 \text{ V.m}^{-1}$.

Alors on retrouve notre tension $U = 0.56 * z(t) + U_0$. [1] Le déplacement est donc transformé en signal continu.

Cependant, l'ordinateur ne peut pas directement lire cette tension, pour cela on utilise une carte arduino qui récupère la tension et la transforme en nombre entier ADC(t) via un petit programme (0v donne 0, 5V donne 1023). Le mouvement étant à présent une suite de nombre, on peut l'envoyer à l'ordinateur. Depuis l'ordinateur on réalise un programme python qui permet de récupérer la suite de nombre et de la retranscrire en tension, il suffit ensuite d'utiliser la relation de tension [1] pour retrouver les valeurs de déplacement.

On mesure alors un déplacement pour retrouver la hauteur du saut.

3. Mesure et Analyse résultats

1. Etalonnage

Pour connaître la relation entre le nombre brut obtenu et la force, on pose des masses connues sur la plaque et on relève la valeur affichée. On peut faire un tableau avec la masse (kg), la force (masse x g, le résultat en N) et la valeur obtenue grâce au potentiomètre.

On trace : Force = f(valeur_potentiomètre)

On utilise la relation [1] pour retrouver la force.

On peut maintenant utiliser cette relation pour convertir n'importe quelle valeur en Newtons.

2. Mesures

Sauter en suivant les protocoles décrits selon le type de saut choisi.

Récupérer les différentes valeurs de tensions en sortie du potentiomètre et les retranscrire en déplacement via l'équation [1], à la suite de cela analyser les résultats pour retrouver la force.

3. Calculs et analyse résultats

A présent, nous avons le déplacement maximum effectué durant la poussée du sujet nous pouvons calculer la force exercée grâce à la loi de Hooke: $F_{ressort} = k_{eq} * \Delta z$, on peut obtenir la force totale exercée en supprimant le poids de la plaque

$$F_{personne} = F_{totale} - (m_{plaque} * g)$$

En ayant la force exercée par le sujet, on peut trouver l'impulsion

$$J = \int F_{personne} * dt = m * \Delta v \quad \Delta v = v_{décollage} - v_0$$

$$\text{Soit } v_0 = 0 \text{ alors } \Delta v = v_{décollage}$$

$$\text{De ce fait, } v_{décollage} = \frac{J}{m} = \frac{\int F_{personne} * dt}{m}.$$

$$\text{L'expression de la chute libre nous permet d'obtenir la hauteur : } h = \frac{v^2}{2g}.$$

Toute cette partie calculée pour retrouver la hauteur se fera via le programme python.

Grâce aux différentes hauteurs trouver on peut déterminer quel saut est le plus intéressant et lequel nous permet d'atteindre la hauteur maximale.

B. Mesure avec un logiciel de pointage

La hauteur du saut est définie par l'élévation maximale du centre de masse, car c'est lui qui suit les lois de la mécanique (chute libre, conservation de l'énergie). Ici, nous voulons filmer le saut de profil en plaçant des marqueurs à des endroits stratégiques sur le sujet, afin de calculer et de suivre son centre de masse et ainsi mesurer la hauteur réelle des sauts. Cette mesure sert principalement à valider les résultats obtenus grâce à la "plaque de force". A noter que les 2 mesures doivent être effectuées sur le même saut. Si la hauteur calculée lors de la mesure avec la "plaque de force" et celle mesurée grâce à la vidéo sont proches, les mesures sont cohérentes.

Consignes :

- Distance caméra - sujet : 2,5 à 3 mètres, pour éviter les distorsions de perspectives.
- Hauteur de la caméra : 1 mètre. Sur la caméra, on est censée avoir toute la scène dans le champ (allant du sol à l'espace aérien)
- Axe de visée : perpendiculaire au plan du saut pour éviter les déformations
- Fond : de préférence uni clair ou sombre pour faciliter le tracking automatique grâce au contraste avec les marqueurs
- Eclairage : bon, sans ombre portée pour éviter les reflets sur les marqueurs
- Fixation : utiliser un trépied ou scotcher le téléphone à une chaise par exemple, de manière à ce qu'il ne bouge pas. La caméra doit être fixe pendant toute la session

Réglages vidéo :

- Résolution : 1080p minimum, pour voir les détails
- Frame rate : La caméra que nous avons à disposition filme à 60 images par seconde, ce qui permet d'obtenir environ 18 points de mesure pendant la phase d'impulsion (0,3 s). Cette résolution temporelle est suffisante pour estimer la hauteur de saut avec une incertitude à 5%
- Mise au point : Manuelle (il faut désactiver l'autofocus) pour éviter que le téléphone cherche quelque chose sur lequel se focaliser en particulier pendant le saut
- Exposition : verrouillée pour éviter les variations de luminosités
- Avant chaque série, il faut filmer une règle verticale ou un objet de hauteur connue à côté de la plaque. Cela servira à calibrer l'échelle dans le logiciel de tracking utilisé par la suite

Logiciel :

Exemple de logiciel utilisable : "tracker". Logiciel gratuit qui permet de pointer manuellement ou de suivre automatiquement un point. Exportation au format CSV.

Explication sur le centre de masse :

Pour le *saut A* et le *saut B* : le centre de masse est à une distance constante de la hanche. Sur la première image (sujet debout), repérer la hanche (grâce au marqueur associé). On peut calculer la position du centre de masse (CM) en utilisant les *tables de De Leva (1996)* :

- Homme : CM à 50,3 % de la hauteur du tronc (de la hanche à l'épaule)
- Femme : CM à 49,6% de la hauteur du tronc

Le tronc est rigide, le décalage est constant, on peut donc appliquer ce décalage à chaque image :

$$CM_y(t) = hanche_y(t) + offset$$

Pour le *saut C* : Lors de ce saut, l'hypothèse du centre de masse fixe par rapport à la hanche n'est plus valide car les bras se déplacent par rapport au tronc. Il devient nécessaire

d'utiliser un modèle segmentaire complet, où le centre de masse total est recalculé à chaque image comme la moyenne pondérée des centres de masse de chaque segment.

Segment	Masse (% masse totale)	Distance entre le début du segment et le CM
Pied	1,29 % x 2	On prend le marqueur cheville comme repère et on considère que le CM du pied est à 40,14% de la distance entre la cheville et la pointe. On peut aussi ignorer le pied de par sa faible masse.
Jambe (du genou à la cheville)	4,81% x 2	43,52% à partir du genou
Cuisse (de la hanche au genou)	14,74% x 2	36,12 % à partir de la hanche
Tronc + tête (de la hanche aux épaules)	42,57%	49,64% à partir de la hanche
Bras (de l'épaule au coude)	2,55% x 2	57,54% à partir de l'épaule
Avant bras + main (du coude au poignet)	1,38% x 2	45,59% à partir du coude

Les valeurs de ce tableau correspondent aux valeurs basées sur les tables de De Leva pour un sujet féminin.

L'utilisation des tables de De Leva (1996) introduit une incertitude d'environ 5% sur la position du centre de masse, ce qui est acceptable pour une étude comparative comme la nôtre.

Source :

https://wiki.has-motion.com/doku.php?id=visual3d:documentation:definitions:adjusted_zatsiorsky-seluyanov_s_segment_inertia_parameters&rev=1721230922

$$CM_{total} = (m_1 \times y_1 + m_2 \times y_2 + \dots + m_n \times y_n) / M$$

avec M la masse totale du sujet

Marqueurs :

Il nous faut des points visibles à suivre image par image. On peut par exemple prendre des gommettes rondes ou du scotch électrique de couleur découpé.

Pour le *saut A* et le *saut B*, on traque : cheville, genou, hanche, épaule (4 marqueurs). Bien que seul le marqueur de la hanche soit utilisé pour le calcul du centre de masse dans les sauts sans bras, le suivi des autres articulations permet de vérifier la validité de l'hypothèse de corps rigides (angle du tronc constant) et de détecter d'éventuels mouvements parasites.

L'angle du tronc par rapport à la verticale est mesuré sur chaque saut. Une inclinaison excessive modifierait la répartition des forces entre les articulations et fausserait la comparaison entre les différentes techniques. Un saut est invalidé si l'inclinaison du tronc dépasse 10° par rapport à la verticale. En effet, une étude (Vanrenterghem, 2008) a montré qu'une inclinaison de 30° réduit la puissance des hanches de 37%. On ne peut donc pas comparer un saut droit et un saut penché.

La consigne du tronc droit s'applique uniquement pendant la phase d'impulsion (contact avec la plaque). Après le décollage, le sujet peut librement basculer vers l'avant pour atterrir hors de la plaque sans que cela n'affecte les mesures.

Pour les marqueurs du *saut C*, on ajoute le coude et le poignet (6 marqueurs au total)
Chaque marqueur doit avoir une couleur différente

Marqueurs	Emplacement	Objectif
Cheville	Malléole latérale (os qui dépasse à l'extérieur)	Repère le bas de la jambe
Genou	Epicondyle fémorale(côté extérieur du genou)	Repère l'articulation
Hanche	Crête iliaque (haut du bassin sur le côté)	Repère le tronc
Epaule	Acromion (pointe de l'épaule)	Repère le haut du corps
Coude	Epicondyle latéral (côté extérieur du coude)	Repère l'avant bras
Poignet	Tête du cubitus (côté extérieur du poignet)	Repère la main

Exploitation de la vidéo : (ce qu'on peut en extraire)

Grandeur	Comment on l'obtient	Unité
Hauteur maximale du CM	Max de $y_{CM}(t)$	m
Vitesse de décollage	A partir de $h_{\text{vidéo}}$: $v_0 = \sqrt{2g h_{\text{vidéo}}}$	m/s
Angle du tronc	Arctan entre hanche et épaule (sert à contrôler la validité du saut)	degrés

III. Besoins et Coûts

<u>Matériel</u>	<u>Utilité</u>	<u>Liens</u>	<u>Coût</u>
Potentiomètre	Mesure du déplacement	3046L-2-103 BOURNS, SLIDE POTENTIOMETER, LINEAR, 10K Farnell® France	16.61 euros
1 paquet de 10 ressorts*	Amortissement, déplacement	https://fr.rs-online.com/web/p/ressorts-de-compression/0121309	9.36 euros
Carte Arduino	Traduction tension en nombre	Fac	0 euros
Ordinateur	Analyser les données	Fac	0
Voltmètre	Lire la tension potentiomètre	Fac	0
Planche en Bois	Plateforme maintient sujet	Récup	0 euros
Equerre	Plateforme	https://www.legallais.com/search?q=corniere-30x30	prix à voir sur le site
Vis Nylon*	Plateforme	https://www.legallais.com/produit/vis-tete-hexagonale-entiere-ment-filetees-nylon/9337/572771	prix à voir sur le site
Vis à bois inox*	Plateforme	https://www.legallais.com/produit/vis-a-bois-agglomerer-tete-fraisee-pozidriv-inox-a2-filetage-total-valuec-/9292/600460	prix sur le site
Rondelle*	Plateforme	https://www.legallais.com/produit/rondelles-plates-llu-acier-zinc-blanc/9330/414575	prix sur le site
8 insert fileté	Plateforme		

Ecrou M2*	Plateforme	https://fr.rs-online.com/web/p/ecrous-hexagonaux/2484551	7.86 euros (le paquet de 100 unités)
Vis M2*	Plateforme	https://fr.rs-online.com/web/p/vis-a-metall/9087646?cm_mmc=FR-PLA-DS3A_-google_-CSS_FR_FR_PMAX_RS+Pro_-_-9087646&matchtype=&qclsrc=aw.ds&gad_source=1&gclid_campaignid=20705694603&qclid=CjwKCAiA2PrMBhA4EiwAwpHyC-BAQE0lf8XgGM-slJjP0cly_u-jpM-MDhFRfpLZL0RXm54OXWXJxoCyasQAvD_BwE	4.95 euros (1 paquet de 100 unités)
Tiges en acier*	Plateforme	https://fr.rs-online.com/web/p/tiges-filetee/1757016	2*8.17 euros (1 paquet contient 5 unités, il nous faut donc 2 paquets)

Au total, le prix de revient est de 55.12 euros (sans compter les composants issus du site LeGallais car nous ne pouvons pas lire les prix).

* Peut être que ce sont des éléments que le département possède déjà nous les avons mis au cas où.

**Explication de ce choix de ressorts en Annexe.

IV. Plan prévisionnel

Semaine 0 (23/02): Go-No Go + Code Python pour que ce soit prêt à l'emploi

Semaine 1(02/03): Etude et calculs théorique de la hauteur des sauts + si possible : réception des pièces et construction plateforme

Semaine 2 (09/03): Fin construction + étalonnage et premiers tests

Semaine 3 (16/03): Premières acquisitions vidéos et premiers sauts

Semaine 4 (23/03): Dernières prises au besoin + Soutenances

Semaine 5 (30/03): Analyse

Semaine (06/04) : Comparaison théorie + video + sauts

Semaine (20/04): Finalisation Projet + créneau supp problème

Semaine (27/04): Présentation finale.

ANNEXE

A. Calculs Force exercée lors de l'impulsion:

En partant du principe que la vitesse verticale du centre de masse du sportif étant nulle à la position initiale et au sommet du saut. On se base sur la variation d'énergie pendant la phase de poussée.

Etape 1: En bas une certaine énergie que l'on appellera E_1 , on est à 90° (angle intérieur des genoux)

Etape 2: au décollage, on appelle E_2 l'énergie cinétique (vitesse de décollage v) et un peu d'énergie potentielle car le centre de gravité h_{po} est remonté.

La variation d'énergie entre ces deux moment est:

$$\Delta E = E_2 - E_1 = (E_{c2} + E_{p2}) - (E_{c1} + E_{p1}) = \left(\frac{1}{2}mv^2 + mgh_{po}\right) + (0 + 0) = \left(\frac{1}{2}mv^2 + mgh_{po}\right)$$

Cette variation d'énergie est apportée par le travail des muscles ($W = F * h_{po}$)

De ce fait; d'après le théorème de l'énergie mécanique on sait que la variation de l'énergie mécanique d'un système est égale à la somme des travaux des forces (qui ne dérivent pas

d'un potentiel) qui s'appliquent sur ce système. Alors $\Delta E_m = \sum W_{forces}$

$F * h_{po} = \frac{1}{2}mv^2 + mgh_{po}$ or on sait que pour atteindre une hauteur h , la vitesse de décollage doit être $v = \sqrt{2gh}$ (formule chute libre). Donc $\frac{1}{2}mv^2 = mgh$.

En remplaçant:

$$F * h_{po} = mgh + mgh_{po}$$

$$F * h_{po} = mg(h + h_{po})$$

$$F = mg\left(\frac{h+h_{po}}{h_{po}}\right) = mg\left(\frac{h}{h_{po}} + 1\right)$$

Grâce à cela on peut déterminer la force exercée par une personne pour "décoller" de la plaque.

-> On cherche maintenant à savoir quels ressorts choisir pour notre plaque de force.

Pour ce faire, nous savons que doivent être pris en compte le poids de la personne qui est directement comprise dans notre force calculée précédemment mais également le poids de

la plaque en bois qui nous servira de support pour les ressorts. (On négligera les frottements)

Le potentiomètre qu'on a choisis peut avoir un déplacement maximum de $x_m = 8.89 \text{ mm}$.

Schéma avec forces + axe z vers le haut

Pour ce faire on utilise le Principe Fondamental de la Dynamique (appliqué à la plaque) :

Bilan des forces suivant l'axe z:

- $F_{ressort}$;
- $P_{plaque} = m_{plaque} * g$;
- $F_{humain} = mg (\frac{h}{h_{po}} + 1)$;

PFD :

$$ma_{z,plaque} = \sum F = F_{ressort} - (P_{plaque} + F_{humain}) \quad \text{or rien ne bouge donc } a_{z,plaque} = 0$$

$$F_{ressort} = P_{plaque} + F_{humain}$$

Pour une plaque de masse $m_p = 5 \text{ kg}$ et une personne de masse $m_h = 52 \text{ kg}$, l'erreur systématique due à l'inertie de la plaque reste inférieure à 8% dans toutes les conditions de saut réalistes. Cette incertitude est acceptable pour valider le principe physique du projet. On a pris une masse pour la plaque qui serait le maximum possible.

$$\text{Donc } F_{ressort} = k_{eq} * z_{max} \text{ (loi de Hooke)}$$

$$\text{Alors } k_{eq} = \frac{P_{plaque} + F_{humain}}{z_{max}} = \frac{1}{z_{max}} (m_{plaque} * g + mg (\frac{h}{h_{po}} + 1)) \text{ ici on a } k_{eq} = 8 * k$$

Données:

$$m = 52 \text{ kg}$$

$$m_{plaque} = 5 \text{ kg}$$

$$h = 30 \text{ cm}$$

$$h_{po} = 15 \text{ cm}$$

$$z_m = 8.89 \text{ mm}.$$

$$\text{AN. } k_{eq} = 177.66 \text{ N.mm}^{-1}$$

$$\text{AN 2. } k = 22.2 \text{ N.mm}^{-1}$$

On a donc besoin de ressort ayant une raideur d'un minimum de 22.2 [N.mm](#)-1.

B. Limite du montage

Limite de la plaque de force, pour un rapport $h/h_{po} = 2$, une personne ayant une masse supérieure à 52kg ne peut passer sauter

En revanche pour un rapport 1.3, une personne de 68 kg pourrait sauter.

Conclusion : pour un potentiomètre de 8.89 mm il nous faut des ressorts ayant une raideur de 22.50 [N.mm](#)⁻¹.