Table des matières

1. Quels robots sont concernés ? 1
2. Pourquoi limiter l'énergie cinétique des armes des robots ?....1
3. Quelles sont les conditions spécifiques aux robots concernés pour concourir à Makerfight ? 2
4. Définitions :....3
   a) L'énergie cinétique de translation 3
   b) L'énergie cinétique de rotation....3
5. Ordres de grandeur....4
6. En pratique 6
   a) Quelle est la formule à utiliser pour calculer l'énergie cinétique ? 6
   b) Comment déterminer le moment d'inertie I 6
   c) Comment déterminer la vitesse w 8
   d) Calculer l'énergie cinétique Ec....10
   e) Que faire si l'énergie cinétique de l'arme dépasse la limite autorisée ?....10
   f) Besoin d'aide ?....11

1. Quels robots sont concernés ?

Tous les robots dont une partie non strictement cylindrique est en rotation à l'extérieur du robot (exemples : spinners verticaux, spinner horizontaux, drum spinner, shell spinner, full boddy spinner, bar spinner).

Sont également concernés les robots de forme non strictement cylindrique et dont le principe d'attaque principal est de tourner sur eux même (exemple : metly brain).

2. Pourquoi limiter l'énergie cinétique des armes des robots ?

L'énergie cinétique contenue dans l'arme a inertie d'un robot de combat peut se dissiper de plusieurs manières :

Soit on ralentit, voire on arrête le moteur et cette énergie est dissipée par frottement (et/ou échauffement du contrôleur moteur, et/ou retransmise à la batterie via le contrôleur moteur).

Soit l'arme entre en collision avec un objet (soit un robot adverse, soit l'arène).

Dans ce dernier cas, tout ou partie de l'énergie contenue dans l'arme a inertie va être transmise, pour moitié au robot porteur de l'arme, pour moitié à l'autre objet (soit le robot adverse, soit l'arène).

⇨ ***L'arène doit être en mesure d'absorber par déformation l'énergie transmise par une collision directe avec une arme a inertie, qu'elle que soit la quantité d'énergie contenue dans l'arme.***

Concernant les 2 robots, s'ils contiennent encore de l'énergie (après déformation éventuelle du ou des robots), ils vont avoir tendance à se déplacer sous l'effet de cette énergie.

Si le sens de déplacement comporte une composante verticale (par exemple, un robot part vers le haut), la quantité d'énergie qu'il contient va diminuer à cause de la gravité.

Si le sens de déplacement comporte une composante horizontale, la quantité d'énergie va potentiellement diminuer à cause des frottements entre le robot et le sol.

Dans tous les cas, l'arène peut être et sera souvent l'obstacle qui va devoir arrêter le mouvement du ou des robots.

⇨ ***L'arène doit être en mesure d'absorber par déformation l'énergie transmise par une collision avec un robot en mouvement, quelle que soit la direction du mouvement, la position du point d'impact et la quantité d'énergie contenue dans le robot.***

Pour rendre impossible une rupture de l'arène, qui mettrait en danger le public, les participants et les organisateurs, et vu que l'arène a ses propres limites mécaniques, la seule solution pour garantir la sécurité des personnes est de limiter la quantité d'énergie cinétique qu'une arme a inertie peut contenir à une valeur que l'arène peut supporter sans rompre.

3. Quelles sont les conditions spécifiques aux robots concernés pour concourir à Makerfight ?

- Si votre robot est concerné par la limitation, vous devrez fournir à Makerfight un document expliquant comment vous avez fait les calculs plusieurs jours avant le tournoi (nombre de jours à déterminer). Il devra comporter la mise en application des formules utilisées, les données d'entrée et les données de sorties. Il est conseillé de joindre des captures d'écran, des photos, des extraits de fiches techniques. Le document doit fournir suffisamment d'élément pour permettre aux organisateurs de valider les calculs. Si vous ne le faites pas, vous risquez de ne pas pouvoir concourir.

- La vitesse des armes sera mesurée lors du tech-check pour valider que votre robot respecte la limite d'énergie cinétique. Si votre robot dépasse cette limite, il vous sera demandé de faire le nécessaire. Si vous n'êtes pas en mesure de conformer votre robot à cette règle, vous ne pourrez pas concourir.

- Des mesures de vitesse pourront être effectuées tout au long du weekend, soit de manière aléatoire, soit de manière systématique, soit en cas de doute. Si votre robot dépasse la limite lors d'un contrôle, vous serez immédiatement exclus de l'évènement.

4. Définitions :

L'énergie cinétique est une notion fondamentale en physique, en particulier en dynamique.

Comme toute énergie, l'énergie cinétique s'exprime en joules (J).

L'énergie cinétique d'un système est la somme des énergies cinétiques des corps qui le composent. On distingue deux formes d'énergie cinétique :

a) L'énergie cinétique de translation

Dans le cas d'un corps en translation, de masse m et de vitesse v, l'énergie cinétique E_c est proportionnelle à la masse du corps et au carré de sa vitesse, soit la relation :

$$E_c = \frac{1}{2} m v^2$$

avec :

- E_c : l'énergie cinétique en Joules $[J]$
- m : la masse en kilogramme $[kg]$
- v: la vitesse en mètre par seconde : $[m \cdot s{-}1]$

b) L'énergie cinétique de rotation

Dans le cas d'un corps en rotation, l'énergie cinétique est proportionnelle au carré de la vitesse angulaire ω, selon la relation :

$$E_c = \frac{1}{2} I \omega^2$$

- Ec : l'énergie cinétique de rotation en Joules $[J]$
- I : le moment d'inertie en $kg \cdot m2$ pris par rapport à l'axe de rotation
- ω: la vitesse de rotation en rad/s

Sources :

Larousse :
https://www.larousse.fr/encyclopedie/divers/%C3%A9nergie_cin%C3%A9tique/187136

Lycée Jean Monet de ANNEMASSE : http://sa.ge.sts.free.fr/Wiki/pmwiki.php?n=SA.SolideEc

5. Ordres de grandeur

Ci-dessous un comparatif entre l'énergie cinétique contenue dans des balles de certaines armes à feu, et celles contenue dans les armes à énergie cinétiques de certains robots, pour la plupart featherweight, donc susceptibles de concourir à Makerfight :

Balle revolver .22LR : 200J (0.2KJ)

Balle revolver .357 Magnum : 796J (0.796KJ)

Balle M43 AK47 Kalashnikov : 2400J (2.4KJ)

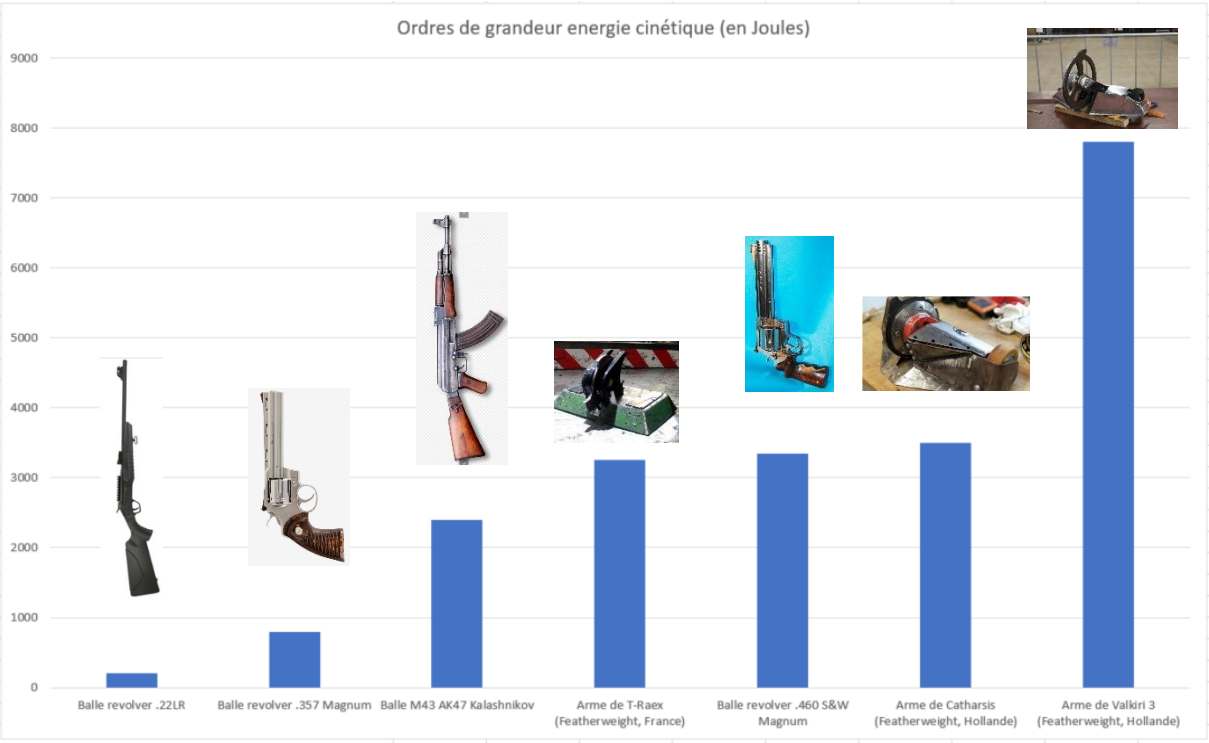
Arme de T-Raex (Featherweight, France) : 3250J (3.25KJ)

Balle revolver .460 S&W Magnum : 3340J (3.34KJ)

Arme de Catharsis (Featherweight, Hollande) : 3800J (3.8KJ)

Arme de Valkiri 3 (Featherweight, Hollande) : 7800J (7.8KJ)

Arme de Tombstone (Heavyweight, USA) : 103000J (103KJ) – non représentée sur le graphique ci-dessous.



Sources :

Wikipedia :

https://fr.wikipedia.org/wiki/9_mm_IMI

https://fr.wikipedia.org/wiki/7,62_%C3%97_39_mm_M43

Ray Billings (Constructeur de Tombstone) Youtube :

https://www.youtube.com/watch?v=BVvdNLw0aw0&t=45s

Les valeurs pour les armes de Catharsis, T-Raex et Valkiri 3 ont été trouvée sur le European combat robot builder Discord (https://discord.gg/m4zhncj9dh), ou par échanges écrits.

6. En pratique

a) Quelle est la formule à utiliser pour calculer l'énergie cinétique ?

On considère ici le cas de la rotation, la formule est donc :

$$E_c = \frac{1}{2} I \omega^2$$

- Ec : l'énergie cinétique de rotation en Joules $[J]$
- I : le moment d'inertie en $kg \cdot m2$ pris par rapport à l'axe de rotation
- ω: la vitesse de rotation en rad/s

b) Comment déterminer le moment d'inertie I

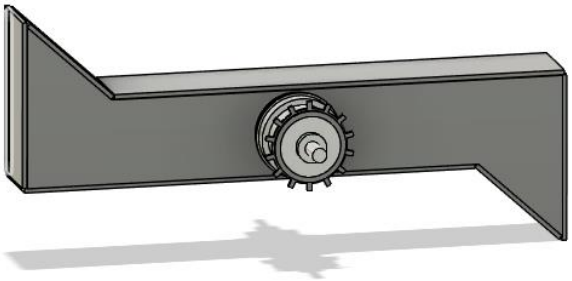
Il faut d'abord isoler l'arme et déterminer toutes les pièces en rotation liées a cette arme.

Pour les robots dont le principe d'attaque principal est de tourner sur eux même, c'est l'ensemble du robot qu'il faudra considérer.

Il faut avoir un modèle CAD de l'ensemble, et connaitre soit le poids de chaque pièce, soit le matériel dont elle est composée.

Assurez-vous que le poids des pièces modélisées corresponde aux poids des pièces réelles.

Exemple pratique :



Note :

L'énergie cinétique du moteur et de la transmission sont volontairement négligé, d'une part car ils influent en général peu sur le résultat final, d'autre part pour simplifier les calculs.

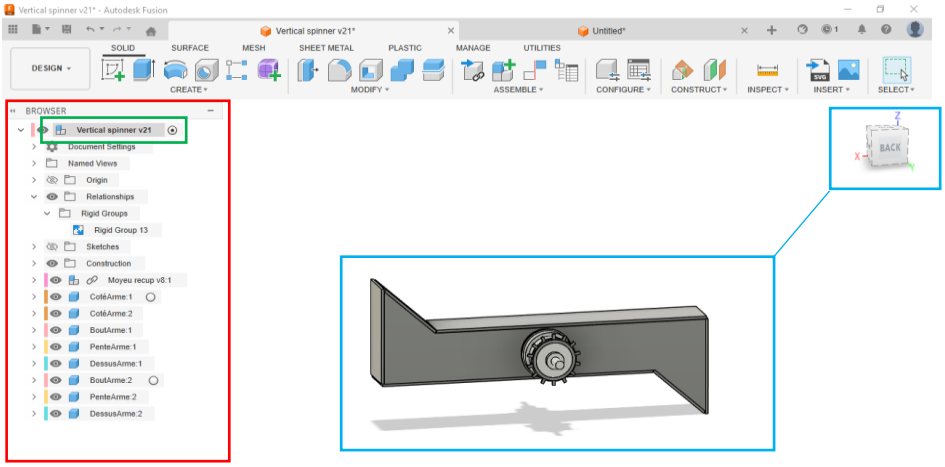
Moment d'inertie de l'arme :

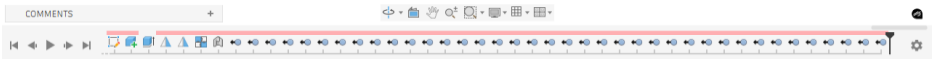
Exemple avec le logiciel Fusion 360 :

Notez que :

Il faut que le fichier ne comporte que les pièces à considérer (on peut faire une copie d'un fichier puis utiliser la commande clic droit puis Retirer sur les autres pièces par exemple)

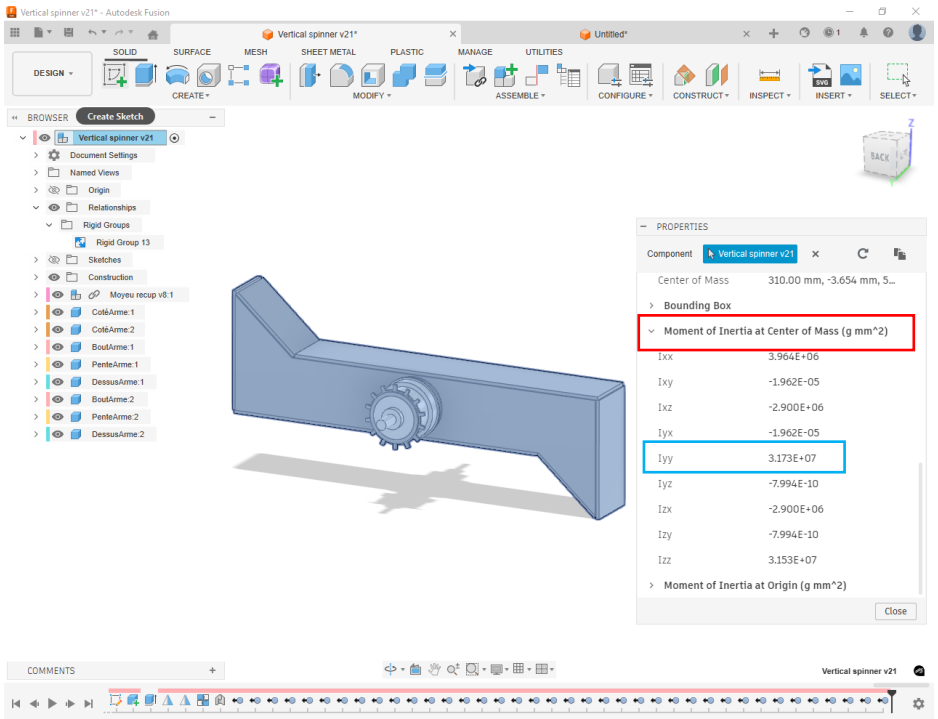
Dans notre cas la pièce tourne autour de l'axe Y





On fait un clic droit sur le document (ici sur Vertical spinner v21), puis sur Propriétés.

Dans les propriétés on sélectionne Moment d'inertie au centre de masse (g mm ²)



On relève la valeur Iyy (parce que la pièce tourne autour de l'axe Y).

Sauf que la valeur donnée n'est pas forcement tout de suite parlante : $3{,}173^{E}+07$

On peut utiliser la calculatrice Windows :

Touche 7

Touche 10^{x}

- ⇨ La calculatrice affiche 10 000 000

Touche *

Taper 3,173

Touche =

Résultat : 31 730 000

Il ne reste plus qu'à convertir ces g mm² en Kg m².

Pour ce faire il faut diviser la valeur par 1 000 000 000.

Moment d'inertie I = valeur en g mm² / 1 000 000 000

= 31 730 000 / 1 000 000 000

= 0,03173 Kg m²

c) Comment déterminer la vitesse w

Il faut commencer par déterminer la vitesse du moteur. Deux méthodes sont envisageables : mesure ou calcul théorique.

Détermination de la vitesse du moteur par mesure

Cette méthode nécessite un outil de mesure du moteur qui s'appelle un tachymètre.

Ces appareils permettent de faire des mesures de différentes manières, il faudra se référer au mode d'emploi.

Dans tous les cas il va falloir effectuer la mesure sur le moteur qui sera utilisé dans le robot, avec la batterie qui sera utilisée dans le robot, chargée.

Dans le cas d'un moteur à courant continu (en général 2 fils), il est envisageable de le connecter directement à la batterie, ou de passer par l'ESC (Electronic Speed Controller) qui le pilotera dans le robot.

Dans a cas d'un moteur servo (ou brushless), à 3 fils, pas le choix, il faudra passer par l'ESC.

En cas d'usage d'un ESC il faudra avoir préalablement :

- Câblé l'ESC au récepteur radio
- Appairé (binder) le récepteur radio et la télécommande
- Avoir correctement configuré l'ensemble

Dans tous les cas il faut mesurer une vitesse en tours par min (tr/min ou rpm).

Détermination de la vitesse du moteur par calcul théorique

Il faut d'abord soit mesurer la tension de la batterie une fois chargée, soit la déterminer.

Exemple pour une batterie LiPo : Chaque cellule vaut 4,2V. Pour une batterie a 6 cellules (6S), la tension = 6 * 4,2 = 25,2V

Ensuite il faut trouver le ratio tension / vitesse du moteur.

Pour un moteur à courant continu : en cherchant dans les spécifications techniques du moteur, on trouve :

Vitesse nominale : 3200 tr/min

Tension nominale : 24VDC

Ratio = Vitesse nominale / Tension nominale

= 3200 / 24

= 133, 3 tr/V

On peut donc calculer la vitesse du moteur si alimenté par la batterie chargée :

Vitesse = Tension * ratio

= 25,2 * 133, 3

= 3359,16 tr/min

Pour un moteur servo (ou brushless), a 3 fils, en général le ratio est directement indiqué sous le nom KV.

Exemple KV = 140

On peut donc calculer la vitesse du moteur si piloté par la batterie chargée :

Vitesse = Tension * ratio

= 25,2 * 140

= 3528 tr/min

Calcul de la vitesse de rotation de l'arme

Dans le cas d'une courroie crantée ou d'une chaine, il faut connaitre le nombre de dent du pignon moteur (exemple : 16) et celui du pignon récepteur (exemple : 32)

Vitesse arme = vitesse moteur * (nbre dents pignon moteur / nbre de dents pignon récepteur)

= 3528 * (16/32)

= 3528 * 0.5

= 1764 tr/min

Dans le cas d'une courroie non crantée, il faut connaitre le diamètre primitif de la poulie motrice (exemple : 50mm) et celui de la poulie réceptrice (exemple : 75mm)

Vitesse arme = vitesse moteur * (diamètre primitif de la poulie motrice / diamètre primitif de la poulie réceptrice)

= 3528 * (50/75)

= 3528 * 0.666

= 2349,648 tr/min

Il faut ensuite convertir la vitesse en tours par min en rad/sec.

Exemple :

Vitesse rad/s = vitesse en tr/min * 2 * π / 60

= 1764 * 2 x π / 60

= 184,7 rad/s

d) Calculer l'énergie cinétique Ec

$$E_c = \frac{1}{2} I \omega^2$$

Prenons un exemple ou I = 0,03173 Kg m² et ω = 184,7 rad/s

Energie cinétique Ec = ½ * 0,03173 * 184,7²

= 0,5 * 0,03173 * 184,7 * 184,7

= 541,22003785 J

= 0.54122 KJ

e) Que faire si l'énergie cinétique de l'arme dépasse la limite autorisée ?

En règle générale, ce problème peut être facilement résolu en limitant la vitesse du moteur. Cette fonction peut souvent être réalisée via la télécommande, qui comporte des possibilités de limiter la valeur d'un canal de sortie, en l'occurrence celui de l'arme.

Prenons un exemple :

I = 0.7 Kg/m²

ω = 132 rad/s

Energie cinétique Ec = ½ * 0.7 * 132²

= 0,5 * 0.7 * 132 * 132

= 6098,4 J

Limite = 2 000 J

Cette valeur de Ec est considérée si le moteur peut atteindre 100% de sa vitesse.

A quel pourcentage de vitesse doit on brider le moteur pour respecter la limite ?

Ratio = (RACINE(Limite / (1/2 * I)) / w

= (RACINE(2000 / (0.5 * 0.7)) / 132

= 0.5726

Pourcentage = Ratio * 100

= 0.5726 * 100

= 57,26%

Si on refait le calcul inverse, avec w = 132 * 0.5726 = 75,5832 rad/s

Energie cinétique Ec = ½ * 0.7 * $75,5832^2$

= 0,5 * 0.7 * 75,5832 * 75,5832

= 1999,487042784 J

⇨ On peut donc brider la vitesse du moteur a 57,26% de son maximum pour être à la limite autorisée

Si par contre le moteur n'est pas géré par un ESC mais par exemple par un relais (moteur à courant continu uniquement), les options suivantes sont à considérer :

En jouant sur la vitesse (le plus simple a priori) :

- Changer le rapport de transmission entre le moteur et l'arme
- Changer de tension (donc de batterie)
- Remplacer le relais par un ESC

En jouant sur le moment d'inertie :

- Modifier la géométrie de l'arme

f) Besoin d'aide ?

Tout cela vous parait trop compliqué, ou vous n'avez pas de logiciel de CAD, pas de moyen de mesurer la vitesse du moteur ? Pas de panique !

Vous pouvez, dans l'ordre :

1) Cherchez autour de vous quelqu'un qui peut vous aider a le faire
2) Demandez de l'aide sur le Discord « European combat robot builder » (https://discord.gg/m4zhncj9dh)
3) Venez a Technistub avec vos pièces (réservé aux membres a jour de cotisation)
4) Contactez eric@makerfight.fr