PROJET G’RECUP

Étudiants PISTE

Table des matières

[PARTIE CYCLISTE 2](#_Toc93423521)

[1 - Contexte 2](#_Toc93423522)

[2 - Bilan des Forces Résistantes 2](#_Toc93423523)

[A – Force de Pesanteur (FPoids) 3](#_Toc93423524)

[B – Force de frottement (FFrottement) 3](#_Toc93423525)

[C – Force liée à la résistance à l’air (FRésistance Air) 3](#_Toc93423526)

[3 – Détermination de la puissance moyenne 3](#_Toc93423527)

[A – Équation Fondamentale 3](#_Toc93423528)

[Annexes 5](#_Toc93423529)

[ANNEXE 1 : Coefficient de Frottement 5](#_Toc93423530)

[ANNEXE 2 : Coefficient de Résistance à l’air 7](#_Toc93423531)

[PARTIE MOTEUR 9](#_Toc93423532)

[1 – Contexte 9](#_Toc93423533)

[2 – Choix du moteur 9](#_Toc93423534)

[A - Hypothèses 9](#_Toc93423535)

[B – Détermination de la puissance maximale instantanée ( en W) 9](#_Toc93423536)

[C – Détermination du couple de démarrage (Cdem en Nm) 10](#_Toc93423537)

[D – Détermination couple max en régime stationnaire et puissance nominale 11](#_Toc93423538)

[3 – Conclusion 12](#_Toc93423539)

[3 – Autres paramètres du moteur 13](#_Toc93423540)

[A- La voltage 13](#_Toc93423541)

[B- L’ampérage 13](#_Toc93423542)

[PARTIE BATTERIE / PILES 14](#_Toc93423543)

[1 – Récupération des piles d’une batterie 14](#_Toc93423544)

[2 – Batterie 14](#_Toc93423545)

[A - Taille Série 14](#_Toc93423546)

[B – Voltage Batterie 14](#_Toc93423547)

[C – Autonomie Batterie 14](#_Toc93423548)

[D – Nombre de séries 15](#_Toc93423549)

[E – Volume de la batterie (cellules uniquement) 15](#_Toc93423550)

[F – Courant Nominal 15](#_Toc93423551)

# PARTIE CYCLISTE

## 1 - Contexte

Dans un but de partage d’informations avec le grand public, nous avons décidé de créer ce formulaire afin que la personne qui décide de dimensionner un moteur adapté à son vélo/triporteur puisse savoir quel moteur utilisé.

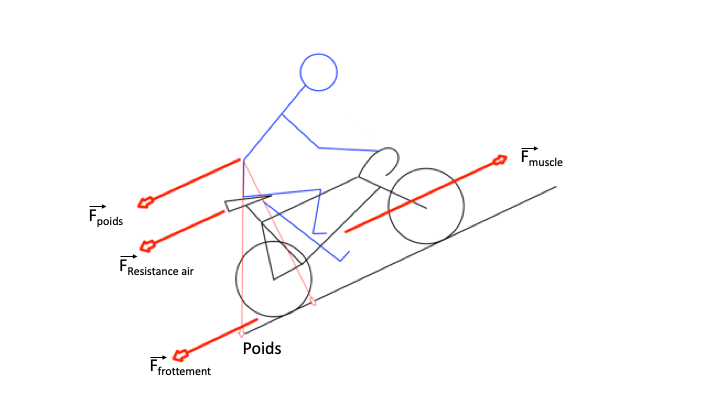


Figure 1 : Schémas de la répartition des forces d'un cycliste

## 2 - Bilan des Forces Résistantes

Le cycliste s’il veut pouvoir avancer va devoir fournir une puissance qui soit supérieure au forces résistantes multipliées par sa vitesse.

Puissance (Watt) = Forces Résistantes (N) \* Vitesse (m/s)

Pour cela nous avons besoin de connaître les Forces Résistantes, on écrit donc la somme des forces présentes sur le schémas qui doit être égale à la puissance que doivent produire les muscles :

Forces Résistantes (FR ) = Force de Pesanteur (FPoids ) + Force de Frottement (FFrottement) + Résistance Air (FRésistance Air)

Pour se faire on va détailler chaque Force :

### A – Force de Pesanteur (FPoids)

La force de pesanteur dépend du poids et de la pente. Sans pente, la force de pesanteur sera nulle. A contrario, avec une forte pente, la Force de pesanteur sera élevée.

Force de Pesanteur (Newton) = Poids (Newton) \* Pente (%)

### B – Force de frottement (FFrottement)

La force de frottement dépend du poids mais également d’un coefficient de frottement. Celui-ci varie en fonction que la route soit mouillée ou non, mais aussi avec la largeur des pneus, le nombre de pneus….

Force de Frottement (Newton) = Poids (Newton) \* Coefficient de frottement (%)

Attention ce coefficient de frottement est assez difficile à déterminer, pour se faire voir **l’annexe 1 : Coefficient de Frottement**

### C – Force liée à la résistance à l’air (FRésistance Air)

La Force liée à la résistance à l’air dépend de la vitesse à laquelle le cycliste roule ainsi que d’un coefficient de résistance à l’air (Cx).

Force de Résistance à l’air (Newton) = Coefficient \* Vitesse \* Vitesse (m/s)

Attention, ici aussi le coefficient de résistance à l’air est difficile à déterminer, pour se faire voir **l’annexe 2 : Coefficient de Résistance à l’air.**

## 3 – Détermination de la puissance moyenne

### A – Équation Fondamentale

#### 

#### i- En prenant en compte la pente

Pour avancer il faudra réussir à vaincre toutes ces forces par la force de ces muscles.

f = Coefficient de frottement (en %), ici on prendra f=1

Cx = Coefficient de Résistance à l’Air, [0.1-0.5]

Pds = poids (cycliste + vélo) = masse (m en kg) \* Constante gravitationnelle (g=10 m/s2)

p = pente de la route (en %) ; [ p >0 -> route monte ; p<0 -> route descend ]. Dans le cas où la pente est une alternance de montée descente, pour calculer la pente exacte, on peut la calculer sur ce [site](http://www.velomath.fr/calcul_peq.php).

v = vitesse en km/h

Changement d’unités : p et f en % -> 1/100 ; v2de (km/h)2 en (m/s)2 -> 1/(3600/1000)2

Passage à la Puissance :

Changement d’unités : v de km/hen m/s -> 1000/3600

En remplaçant FR:

#### ii - En prenant en compte le vent et la pente

Lorsque le vent se lève, celui-ci peut nous aider comme nous ralentir en fonction de sa direction. Il s’agit du vent réel à différencier du vent apparent. Le vent apparent dépend de la vitesse du vélo, tandis que le vent réel est celui qu’indique la météo. Dans notre cas, nous ne prendrons pas en compte du vent qui nous aide, n’ayant que peu d’utilité pour dimensionner notre moteur. Ainsi on note

- Vmoy, la vitesse moyenne du vélo en km/h

- v la vitesse moyenne du vent en km/h

L’équation fondamentale de la puissance moyenne pour un vent de face s’écrit donc :

Ainsi, en prenant en compte le vent, la pente, la vitesse, dans notre calcul de puissance moyenne, on va pouvoir déterminer la puissance du moteur.

## Annexes

### ANNEXE 1 : Coefficient de Frottement

Pour calculer le coefficient de Frottement, plusieurs procédés sont possibles.

Une méthode expérimentale pour calculer son coefficient de frottement consiste à rouler à une vitesse constante v0 sur une surface plate (*p=0*). Ensuite en s’arrêtant de pédaler brusquement on va mesurer la distance D entre l’arrêt du vélo et l’arrêt du pédalage. En négligeant les frottements mécaniques, on va pouvoir déterminer les frottements des pneus du vélo sur la route. La formule liant la distance D au coefficient de frottement f est la suivante :

Explication de cette formule :

On part de l’équation du mouvement qui donne :

[1]

[2]

On pose :

[3]

[4]

On a donc :

[5]

[6]

[7]

[8]

[9]

[10]

[11]

Équation Différentielle :

[12]

Résolution Équation Différentielle :

[13] )

[14]

A t=0 et x=0 : [15]

[16]

Une fois que l’on a la Distance, on peut isoler les frottements :

On pose : A =  ; B = ;

[17] )

[18]

[19]

[20]

[21]

[22]

[23]

[24]

### ANNEXE 2 : Coefficient de Résistance à l’air

1- Abbaques :

*Figure 2 :*

*Quelques corps et leur coefficient de traînée (en référence à leur surface frontale).*

https://www.wikiwand.com/fr/A%C3%A9rodynamique

Coefficient de traînée

0,04

0,09

0,47

0,42

1,05

Formes

Semi-corps profilé

Corps profilé

Sphère

Demi-Sphère

Cube

Fx = 1/2 . ρ . S . Cx . V²

Avec

- ρ la masse volumique de l’air en kg/m3

- S la surface de référence en m2

- Cx le coefficient de traînée sans unité

- V la vitesse du vélo en m/s

2- Hypothèses :

- Nous avons choisi de définir la surface de référence de la manière suivante :

Soit Sa la surface avant de la caisse du triporteur avec pour un cas général :

Sa  0,5\*0,5 = 0,25 m2

Soit Sb la surface avant d’une personne avec pour un cas général :

Sb  0,4\*0,4 + \* 0 ,052 0,17 m2

Donc Sb + Sa = 0,42 m2

Figure 3 : Schémas simplificatif de la surface de référence avant du triporteur avec la caisse avant et le haut du corps du conducteur

a

b

- Nous considérons ρ la masse volumique dans l’air avec ρ kg/m3

- Nous considérons le Coefficient de traînée comme une alternative entre le cube et la demi-sphère, ainsi on peut faire l’hypothèse que Cxinitial  0,7, voir figure

- Pour simplifier, nous avons choisi d’intégrer S et ρ dans le coefficient de traînée Cx, ce qui permet de caractériser le cycliste par un seul paramètre. Pour un cas général de triporteur on a donc :

Cx ½ \* S \* ρ \* Cxinitial

Cx 0,7 \* 1,3 \* 0,4 kg/m

En ce qui concerne la vitesse V, elle est présente dans l’équation directement.

3- Expérimentation :

Afin d’obtenir un Cx expérimentalement, il est possible de réaliser une expérience connue. Pour se faire, il faut choisir une grande descente de pente connue et régulière dans la longueur. Une fois lancé, il faut s’arrêter de pédaler. Ainsi, arrivé à une certaine valeur, la vitesse va se stabiliser à Vs.

Dans ce cas de figure la puissance est considérée comme nulle puisque l’on ne pédale pas. En récupérant la formule initiale, on a :

Ainsi on obtient, en changeant v par Vs et en isolant  de la relation ci-dessus :

On peut donc calculer le coefficient de traînée.

# PARTIE MOTEUR

## 1 – Contexte

Il n’y a pas un seul moteur possible pour répondre aux besoins de l’utilisateur. En effet en fonction de la masse à transporter, de l’utilisation que veut faire le cycliste de son triporteur, plusieurs moteurs sont adaptés.

Dans cette partie on expliquera tous les calculs réalisés pour que lorsque vous entrez vos données sur l’interface du triporteur de G’Recup, vous ayez la possibilité de comprendre comment les résultats sont obtenus et quelles sont les hypothèses qui ont été utilisées.

## 2 – Choix du moteur

### A - Hypothèses

Pour choisir le moteur, cela va se faire au travers de 2 grandeurs : la puissance et le couple. On choisit de se placer dans les conditions les plus critiques que le cycliste aura à vaincre pour le choisir. Par condition critique, on entend un vent de face fort (à définir) et une pente forte (à définir). Ainsi on s’assurera que les valeurs de puissance et de couple du moteur soient supérieures à la Puissance maximale instantanée et au couple max que doit développer le cycliste dans d’extrêmes conditions (à définir).

Pour se faire, on déterminera la puissance maximale (Phmax en Watt) qu’un humain peut déployer en fonction de sa forme physique et de sa masse. On peut la déterminer à l’aide de ce [site](https://www.velochannel.com/cest-quoi-la-puissance-en-cyclisme-32808). Une fois trouvée, on pourra ainsi soustraire cette puissance à celle de la puissance maximale instantanée décrite juste après.   
 Enfin on se fixe un rendement (rm) arbitraire entre le moteur et la roue de l’ordre de 0,70. Ainsi la formule permettant de déterminer la puissance du moteur est la suivante :

### B – Détermination de la puissance maximale instantanée ( en W)

La puissance maximale instantanée () correspond à la puissance maximale qu’aura à fournir le cycliste de manière à se déplacer dans les conditions les plus critiques d’une vitesse nulle à une vitesse minimale à définir (). Par conditions critiques, il faudra définir le vent () qu’aura à affronter le cycliste au démarrage, ainsi que la pente () qu’aura à gravir le cycliste au démarrage. On a donc les paramètres suivants :

la puissance maximale instantanée Wh

la vitesse minimale en km/h

la vitesse maximale en km/h

la pente maximale en %

la masse du châssis avec les outils en kg

la masse de l’humain en kg

le coefficient de frottement sans unité

le coefficient de traînée sans unité

Grâce à cette puissance, on pourra déterminer la puissance maximale ( en W), que devra fournir le moteur pour assister le cycliste dans les conditions les plus critiques. En effet, pour se faire, il faut soustraire la puissance maximale (en W) que peut fournir le cycliste à la puissance maximale (en W) ci-dessus en divisant par notre rendement arbitraire :

### C – Détermination du couple de démarrage (Cdem en Nm)

Le couple de démarrage est la deuxième grandeur à connaître pour choisir le moteur adapté à sa future utilisation. Ici aussi, on se place dans les conditions les plus critiques de manière à ce que le moteur soir dimensionner dans le pire cas. Pour déterminer ce couple on va devoir dans un premier temps se fixer les valeurs suivantes :

- tdem: le temps minimal (en seconde) que le cycliste met pour passer d’une vitesse nulle à une vitesse minimale dans des conditions critiques.

- Vmin: la vitesse minimale (en km/h) que le cycliste souhaite atteindre dans des conditions critiques.

- Mc: la masse du triporteur complet (en kg) en comptant son poids propre mais également la masse du chargement.

- Mh: la masse de l’humain (en kg), du cycliste qui conduira le triporteur.

- rroue : le rayon de la roue (en m) sur lequel sera placé le moteur.

- f : le coefficient de frottement

- Cx: le coefficient de traînée

- vmax: la vitesse du vent maximale (en km/h)

- pmax: la pente maximale (en %)

Afin de déterminer le couple de démarrage on a la relation suivante générale :

Appliqué à notre cas, cela donne :

Il nous faut définir l’accélération (Adem: en km/h2) du démarrage pour passer d’une vitesse nulle à la vitesse minimale (Vmin) en un temps minimal (tdem) correspondant au temps de démarrage.

Il nous faut également définir F0 (en N), la force maximale à déployer lorsque l’on se place dans des conditions critiques.

Ainsi en remplaçant l’expression de F0 et dans , on obtient une grande expression qui permet d’obtenir le couple du moteur. Ce couple correspond à celui que va devoir être capable de délivrer le moteur si l’on se place dans le pire des cas, dans les conditions critiques.

On peut également déterminer le couple maximum en régime stationnaire (Wh) qui doit se trouver inférieur à celui du couple de démarrage.

### D – Détermination couple max en régime stationnaire et puissance nominale

#### i - Couple max en régime stationnaire (Cmax en N.m)

Le couple maximal (en N.m) en régime stationnaire traduit la force maximale du mouvement de rotation du moteur pour une vitesse de rotation qui ne varies très peu. Ce couple correspond à :

Formule générale :

*et*

Donc :

Appliqué à notre cas :

#### ii – Puissance nominale (Pmoy en W)

La puissance moyenne instantanée (en Watt) correspond à la puissance nominale du moteur. C’est la puissance reçue par un appareil quand il fonctionne dans des conditions normales. De manière générale, la puissance électrique donnée à un moteur correspond à sa puissance nominale. Si elles est supérieure à sa puissance nominale, le moteur risque de s’abimer plus rapidement et inversement, si elle est inférieure, le moteur aura un faible rendement.

Pour la formule mathématique de la puissance moyenne (, on reprend la formule de la page 4 de la puissance moyenne.

## 3 – Conclusion

Nous avons donc réussi à déterminer les puissances et couples caractéristiques que devait fournir le futur cycliste dans différents régimes et conditions. Ainsi il nous reste à identifier la puissance exacte qu’aura le moteur à fournir en fonction de la masse et des capacités physique du cycliste. Pour se faire on peut se référer au site [suivant](https://www.velochannel.com/cest-quoi-la-puissance-en-cyclisme-32808):

**Sur une heure :**

- entre 5,7 et 6,4 W/kg : professionnel de très haut niveau

- entre 4,7 et 5,3 W/kg : amateur de très bon niveau

- entre 3,5 et 4,1 W/kg : amateur moyen

- entre 2,4 et 3,1 W/kg : cycliste occasionnel

**Sur 5 secondes :**

- entre 22 et 24 W/kg : professionnel de très haut niveau

- entre 18,6 et 20,8 W/kg : amateur de très bon niveau

- entre 15 et 17 W/kg : amateur moyen

- entre 12 et 14 W/kg : cycliste occasionnel

Figure 4 : Chiffres issus d'un site donnant les références de puissance de cycliste en fonction de la masse et la forme physique

Ainsi, on peut déterminer la puissance moyenne du cycliste (Phmoy en Watt) qui est une valeur d’entrée (à définir). Cette valeur est donc à soustraire de la puissance moyenne instantanée (Pmoy) aussi appelé puissance nominale. On vient ensuite diviser le tout par le rendement moyen qui est de 0,70.

On a donc la réelle puissance moyenne du moteur (Pmmoy) :

On peut réaliser le même procédé pour avoir la puissance maximale du moteur :

Pour le couple, on reprend les formules décrites précédemment en changeant le en , pour obtenir le couple max en régime stationnaire :

Le couple de démarrage ne change pas quant à lui car ne dépendant pas de la puissance directement.

## 3 – Autres paramètres du moteur

### A- La voltage

Dans la partie MOTEUR de l’interface utilisateur. Il vous est demandé de remplir le Voltage. Ainsi en fonction du moteur que vous aurez choisi à l’aide du document Aide à la Décision, vous pourrez remplir le voltage (Vm en Volt) du moteur indiqué sur la Spécification. Ce voltage varie : 12V, 16V, 24V, 36V, 48V…

### B- L’ampérage

L’ampérage moyen (I en Ampère) en découle grâce aux valeurs : I =

Le pic de courant (Imax en Ampère) que peut être demandé par le moteur est défini par la relation suivante :

# PARTIE BATTERIE / PILES

## 1 – Récupération des piles d’une batterie

Dans l’objectif d’alimenter le moteur en énergie, nous pouvons implémenter des batteries. Ces batteries seront celles que le constructeur du triporteur aura pu récupérer ou acheter. Une batterie est constituée de cellules aussi appelées piles. Celles-ci ont des spécificités. Ainsi une fois la batterie démontée vous aurez la possibilité d’accéder à toutes ces données et de les implémenter dans l’interface utilisateur :

- Tension nominale (Vp) de la pile en Volt

- Le courant nominal (Ip) en Ampère

- L’intensité maximale de la pile (Ipmax) en Volt

- L’autonomie de la pile (A\_pile) en Ampère heure

- Son volume (Volp) en cm3

## 2 – Batterie

Pour fabriquer la batterie à partir des piles qui auront pu être testées (voir document tutoriel Batterie) et qui sont réutilisables, il est possible désormais de fabriquer la batterie. Pour cela il faut s’appuyer sur les relations physiques suivantes :

### A - Taille Série

Tout d’abord pour déterminer le nombre de piles que l’on devra mettre en série pour atteindre la tension du moteur (Vm), on divise donc le voltage du moteur (Vm) par la tension nominale des piles (Vp). Ainsi on obtient la taille de la Série (S) par arrondi, sans unité qui correspond au nombre de piles dans une série :

### B – Voltage Batterie

Ensuite, pour déterminer le voltage total de la batterie (Vb) en Volt, il suffit de multiplier le nombre de pile par série, autrement dit la taille série (S) par la tension nominale (Vp) de chaque pile.

### C – Autonomie Batterie

La détermination de l’autonomie (A) en ampère heure de la batterie se fait en divisant la puissance moyenne du moteur (Pmmoy) par la multiplication du voltage (Vb) en volt, de la batterie et l’autonomie (t) en heure, que devra avoir le triporteur. Cette autonomie vaut la distance (d) en km sur la vitesse moyenne (Vmoy) en km/h.

On a donc :

Avec

### D – Nombre de séries

Dans la batterie, il est important de savoir combien il y aura de cellules en série, mais également combien il y aura de séries en parallèle. Soit P, le nombre de série qui est déterminé par la relation suivante :

Ainsi P est égal au maximum des 2 valeurs que sont l’arrondi de l’autonomie (A en h) de la batterie divisé par l’autonomie (A\_pile en A) de la pile et l’arrondi de l’intensité (Imax en A) maximum du moteur divisé par l’intensité (Ipmax en A) maximum de la pile.

### E – Volume de la batterie (cellules uniquement)

Il est possible de déterminer le volume (Volb en cm3) de batterie en ne prenant en compte que les cellules/piles. Pour cela, on peut multiplier le volume d’une batterie (Volp en volt) par le nombre de cellules (S) et le nombre de séries (P) :

### F – Courant Nominal

Enfin, le courant nominal (Ib en ampère) indique l’intensité qui va traverser la batterie. On le calcule, en multipliant le nombre de séries mises en parallèles (P) par le courant nominal d’une pile (Ip en ampère).

Source :

- *<http://www.velomath.fr/>*

- Coef de frottement : <http://www.velomath.fr/dossier_freinage/freinage.pdf>

- Wiki :<https://pad.pan6ora.net/yWuabvpSQ2mQY6FX-Z0GYw?both#>

- Wiki : <https://piste.pan6ora.net/Projets/G-Recup/>