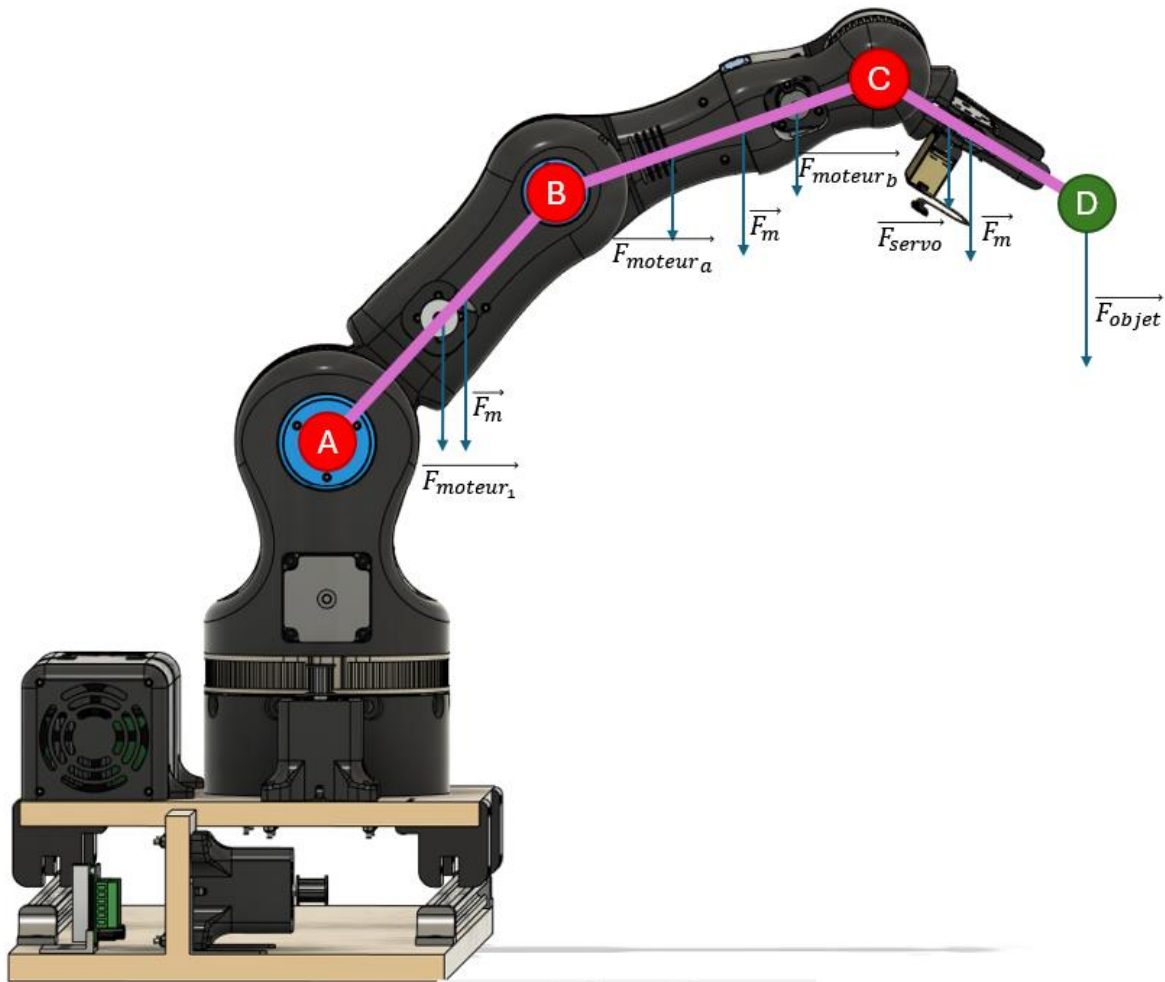


## Calculs couples moteurs



## Introduction

Ce document recense les calculs effectués pour déterminer les couples nécessaires des moteurs pas-à-pas dans le bras de la chaîne d'assemblage. Pour effectuer ces calculs, nous considérons le bras dans sa position la plus contraignante pour les moteurs, c'est-à-dire complètement « détendu » parallèle au sol.

C'est en effet dans cette position que le couple de maintien des moteurs devra être le plus important pour maintenir le bras dans un état statique.

Si les couples des moteurs dépassent les valeurs trouvées, alors en plus de maintenir le bras statique dans cette position, les moteurs seront également capable d'actionner le bras.

Nous considérons que le bras doit pouvoir manipuler un objet d'un poids de 400g au maximum afin d'avoir une (très) confortable marge pour l'assemblage de notre drone, où de changer l'objet de la chaîne d'assemblage plus aisément.

## Section A : Choix des moteurs pas-à-pas

Schémas :

Schémas globaux :

Figure (1) de la sous-section 1-A

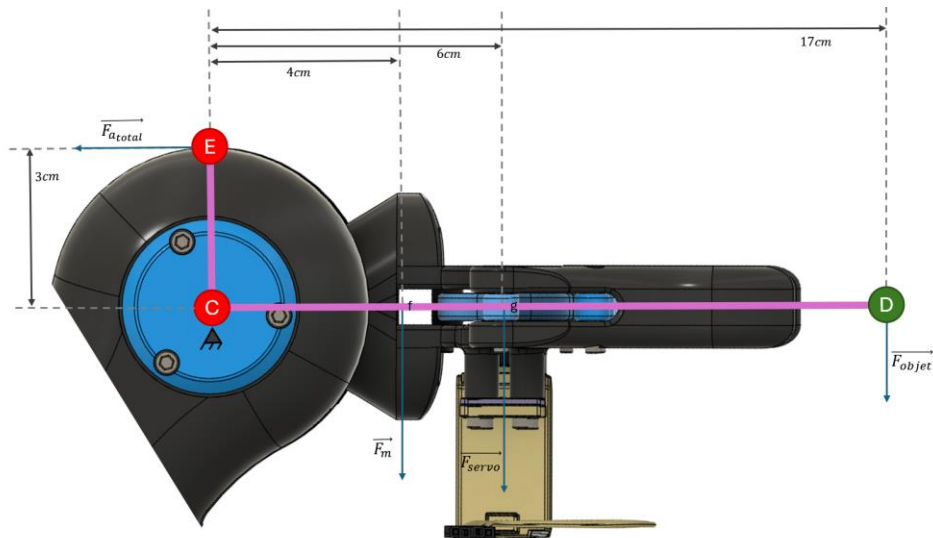


Figure (2) des sous-sections 1-B et 1-C :

Les points P et M sont reliés par une courroie. PM vaut 0.8cm.

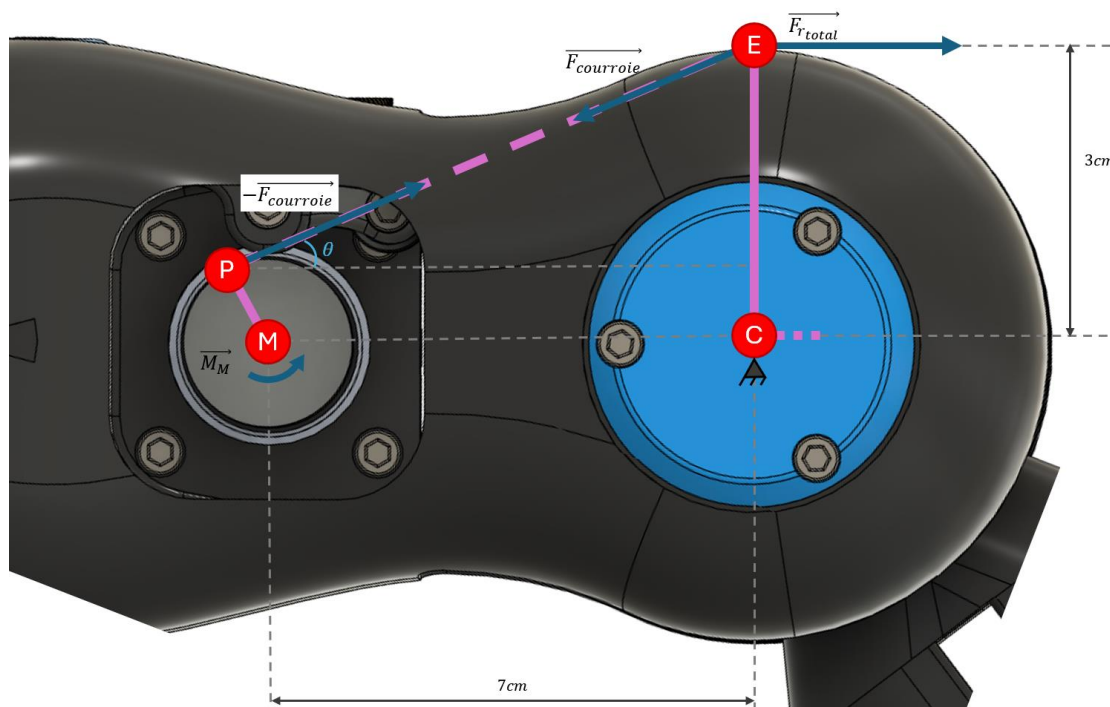


Figure (3) de la sous-section 2-A

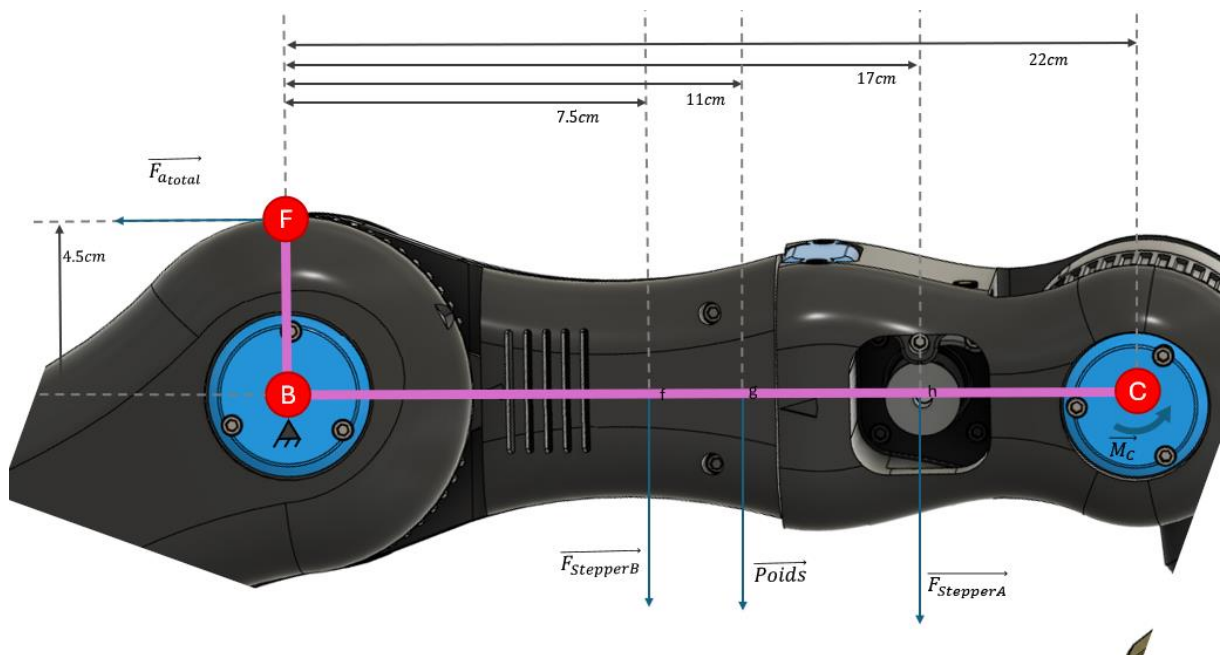


Figure (4) des sous-sections 2-B et 2-C :

Les points P et M sont reliés par une courroie. PM vaut 1.0 cm.

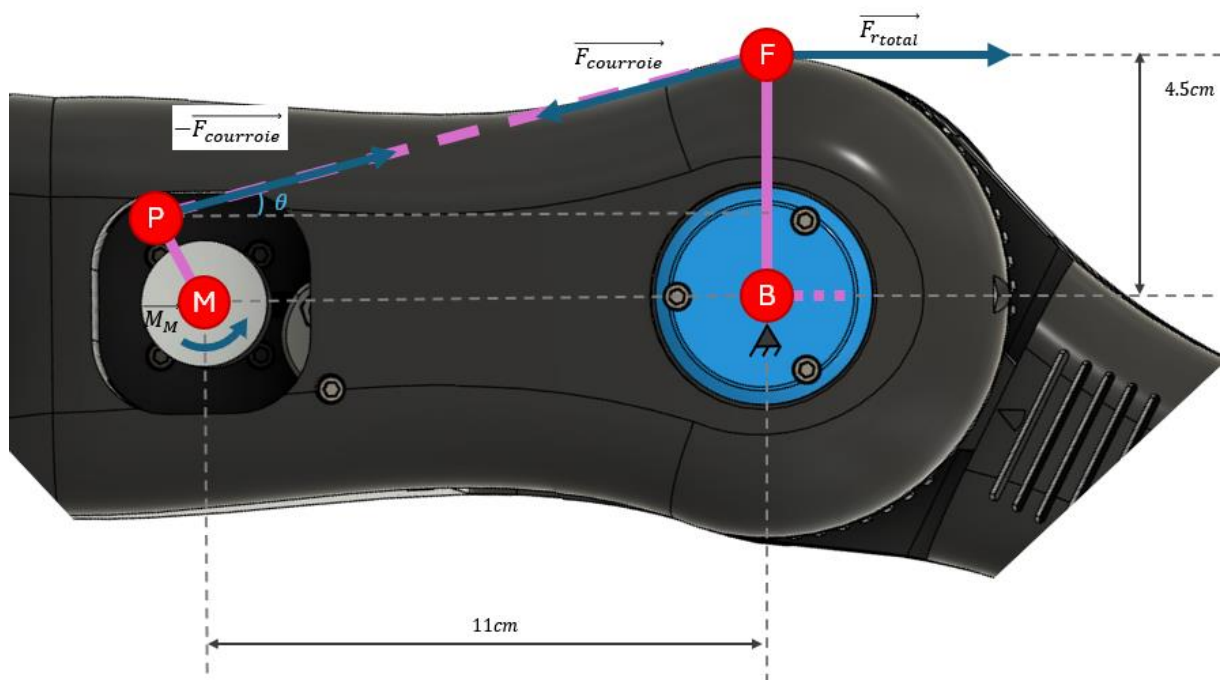


Figure (5) de la sous-section 3-A

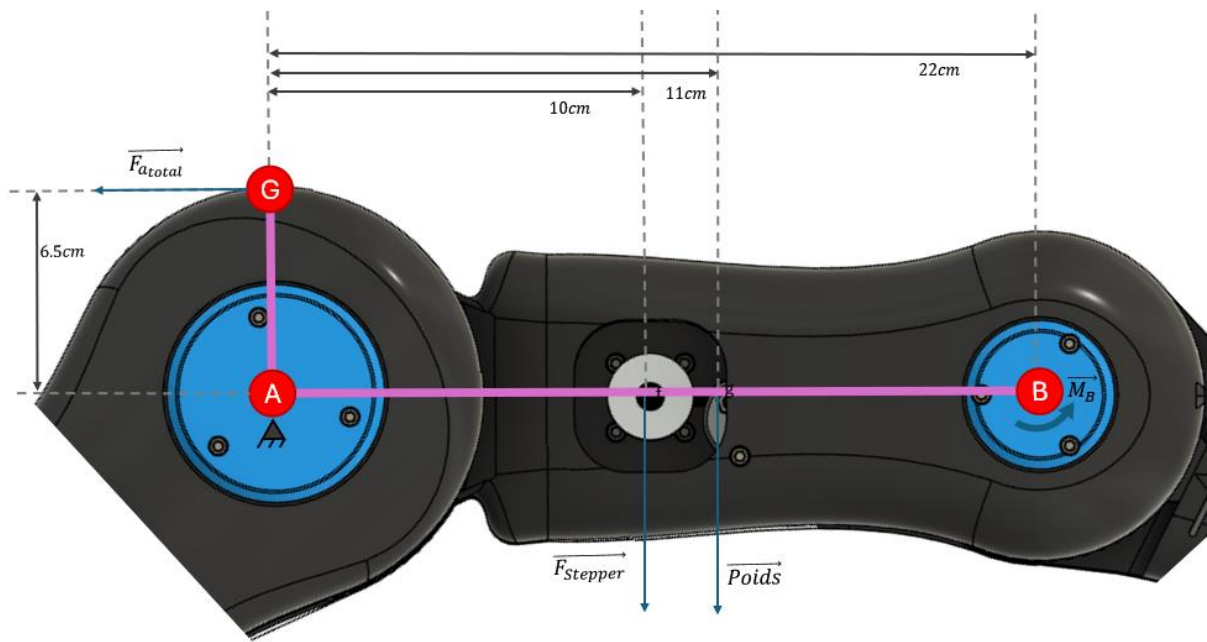
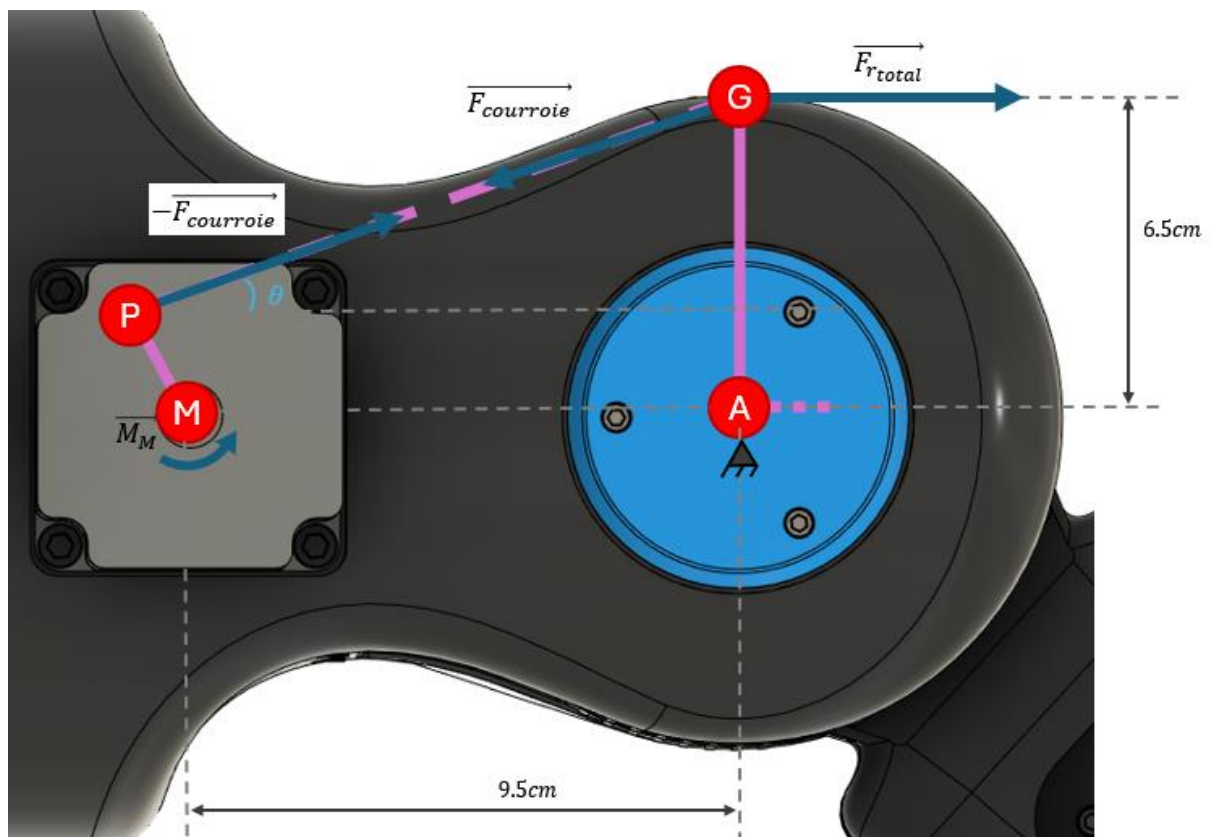


Figure (6) des sous-sections 3-B et 3-C :

Les points P et M sont reliés par une courroie. PM vaut 0.1 cm.



Schémas simplifiés :

Figure (7) – Sous-section 1-A

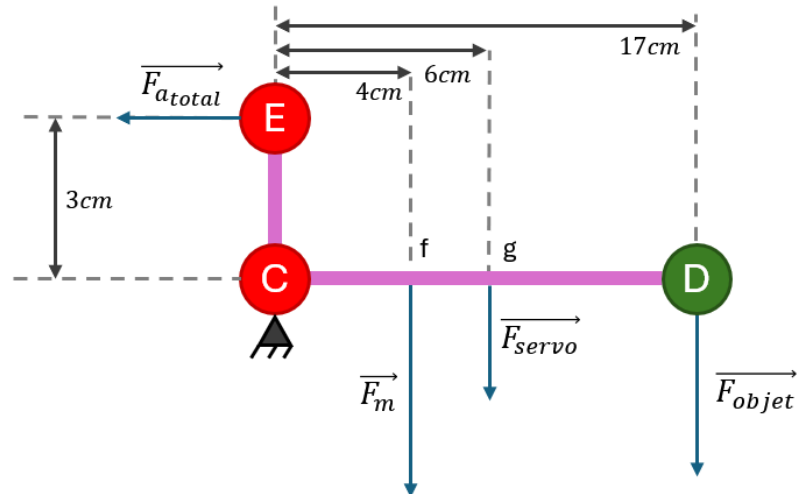


Figure (8) – Sous-section 1-B

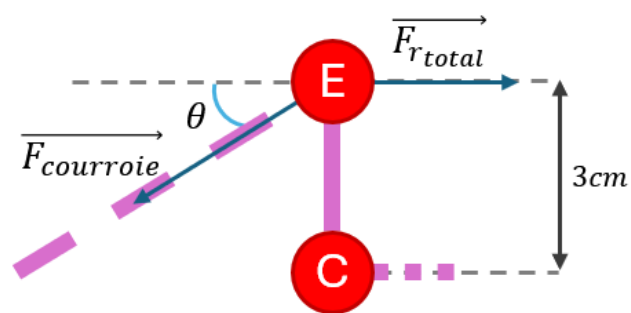


Figure (9) – Sous-section 1-C

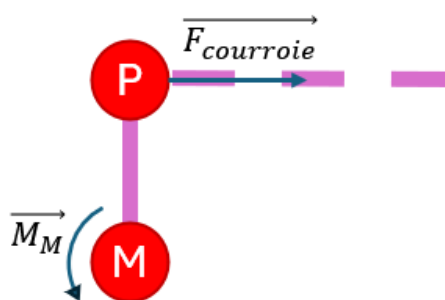


Figure (10) – Sous-section 2-A

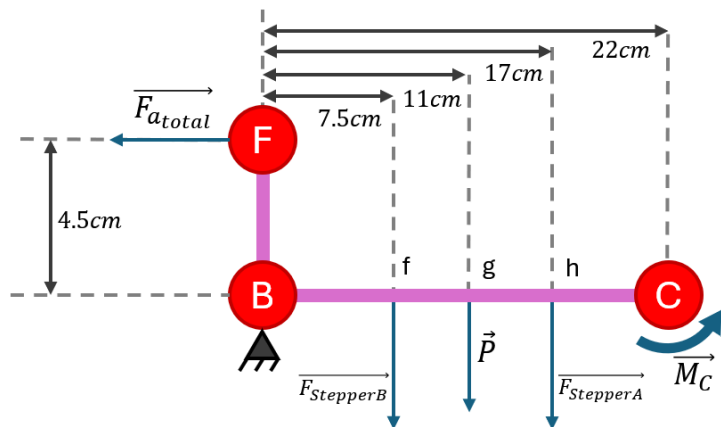


Figure (11) – Sous-section 2-B

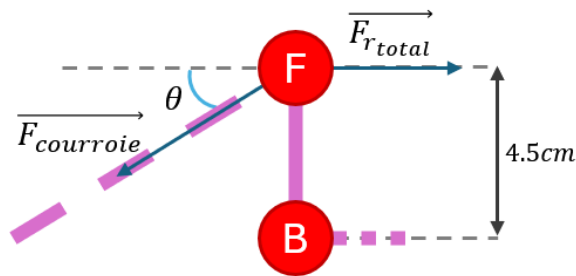


Figure (12) – Sous-section 2-C

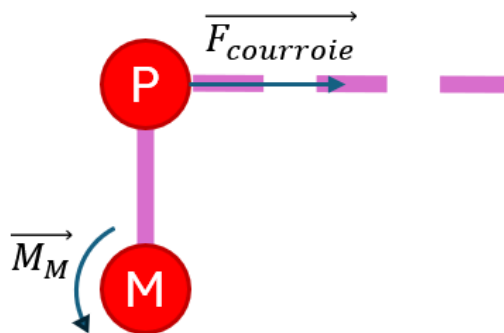


Figure (13) – Sous-section 3-A

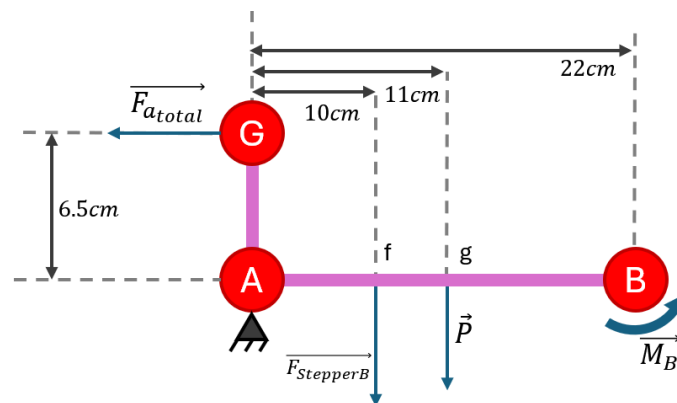


Figure (14) – Sous-section 3-B

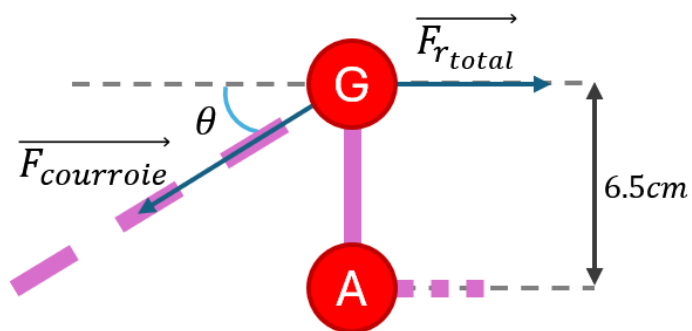
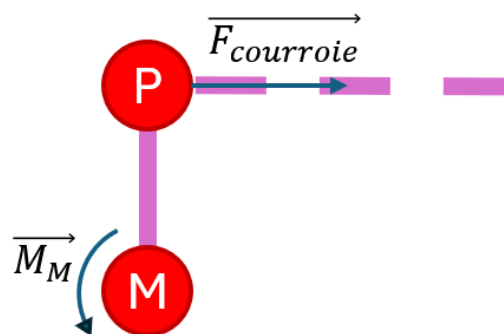


Figure (15) – Sous-section 3-C





## Calculs Section 1 :

### Déterminer $\theta$ :

Par simple déduction trigonométrique, grâce à la figure (2) on obtient :

$$\theta = \arctan\left(\frac{3 - 0,8}{7}\right) = 0,30 \text{ rad}$$

### Déterminer le couple du moteur M de cette section :

En appliquant le théorème des moments statiques :

#### SOUS-SECTION 1-A :

$$\sum \vec{M}(C, \vec{F}_{ext}) = \vec{CE} \wedge \vec{F}_{a_{total}} + \vec{Cf} \wedge \vec{F}_m + \vec{Cg} \wedge \vec{F}_{servo} + \vec{CD} \wedge \vec{F}_{objet}$$

$$\Leftrightarrow \sum \vec{M}(C, \vec{F}_{ext}) = 0,03\vec{y} \wedge (-F_{a_{total}})\vec{x} + 0,04\vec{x} \wedge (-F_m)\vec{y} + 0,06\vec{x} \wedge (-F_{servo})\vec{y} + 0,17\vec{x} \wedge (-F_{objet})\vec{y}$$

$$\Leftrightarrow 0,03F_{a_{total}} = (0,04 \times 0,150 + 0,06 \times 0,060 + 0,17 \times 0,400) \times 9,81$$

$$\Leftrightarrow F_{a_{total}} \cong 25N$$

#### SOUS-SECTION 1-B :

Sachant  $\|\vec{F}_{a_{total}}\| = \|\vec{F}_{r_{total}}\|$  :

$$\sum \vec{M}(C, \vec{F}_{ext}) = \vec{CE} \wedge \vec{F}_{r_{total}} + \vec{CE} \wedge \vec{F}_{couroie}$$

$$\Leftrightarrow \sum \vec{M}(C, \vec{F}_{ext}) = 0,03\vec{y} \wedge \vec{F}_{r_{total}} + 0,03\vec{y} \wedge \vec{F}_{couroie}$$

$$\Leftrightarrow \sum \vec{M}(C, \vec{F}_{ext}) = 0,03\vec{y} \wedge \vec{F}_{r_{total}} + 0,03\vec{y} \wedge \begin{pmatrix} -\cos(\theta) F_{couroie} \\ -\sin(\theta) F_{couroie} \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$\Leftrightarrow \sum \vec{M}(C, \vec{F}_{ext}) = 0,03\vec{y} \wedge \begin{pmatrix} F_{r_{total}} \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} + 0,03\vec{y} \wedge \begin{pmatrix} -\cos(\theta) F_{couroie} \\ -\sin(\theta) F_{couroie} \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$\Leftrightarrow \sum \vec{M}(C, \vec{F}_{ext}) = (-0,03 \times F_{r_{total}} + 0,03 \times \cos(\theta) F_{couroie})\vec{z}$$

$$\text{Or : } \sum \vec{M}(C, \vec{F}_{ext}) = 0 \text{ d'où : } F_{r_{total}} = \cos(\theta) F_{couroie} (= F_{a_{total}}) \Leftrightarrow F_{couroie} = \frac{F_{a_{total}}}{\cos(\theta)}$$

#### SOUS-SECTION 1-C :

$$\sum \vec{M}(M, \vec{F}_{ext}) = \vec{MM} + \vec{MP} \wedge \vec{F}_{couroie} = 0$$

$$\Leftrightarrow |\vec{M}_M| = \left| 0,008\vec{x} \wedge \frac{F_{a_{total}}}{\cos(\theta)}\vec{y} \right| = 0,008 \times \frac{25}{\cos(0,300 \text{ rad})} = 0,21 \text{ Nm}$$

## Choix du moteur Section 1 :

Pour maintenir un objet de 400g il nous faudrait un moteur de couple 21 Ncm. Ainsi, si nous voulons le soulever, on déduit qu'il nous faut un moteur plus puissant que 21Ncm.

Nos contraintes pour ce moteur deviennent les suivantes :

|                      |                                 |
|----------------------|---------------------------------|
| Type :               | Moteur pas-à-pas                |
| Dimensions (L*l*h) : | 35mm * 35mm * ∞   Format NEMA14 |
| Couple :             | Min : $21N \cdot cm$            |

On choisira donc le moteur suivant :

|                       |   |
|-----------------------|---|
| Type :                | Pas-à-pas   NEMA 14   |
| Référence :           | 14HS20-1504S  |
| Couple :              | $40 N \times cm$  |
| Poids :               | 0.35kg  |
| Tension nominale :    | 4.2 V   |
| Intensité par phase : | 1.5 A   |
| Résistance/phase :    | 2.8 ohms  |
| Dimensions :          | 35mm*35mm*52mm  |
| Diamètre de l'arbre : | 5mm   |
| Pas :                 | 1,8°  |
| Connexions :          | A+   Noir<br>A-   Vert<br>B+   Rouge<br>B-   Bleu   |
| Revendeur :           | StepperOnline   |
| Lien :                | <a href="https://www.omc-stepperonline.com/fr/nema-14-bipolaire-1-8deg-40ncm-56-7oz-in-1-5a-4-2v-35x35x52mm-4-fils-14hs20-1504s">https://www.omc-stepperonline.com/fr/nema-14-bipolaire-1-8deg-40ncm-56-7oz-in-1-5a-4-2v-35x35x52mm-4-fils-14hs20-1504s</a> |

Note : Il existe un autre modèle de NEMA14 ayant pour couple 23Ncm. Par sécurité, il vaut mieux prendre de la marge en prenant le modèle du dessus (celui choisi).

## Calculs Section 2 :

### Déterminer $\theta$ :

Par simple déduction trigonométrique, grâce à la figure (4) on obtient :

$$\theta = \arctan\left(\frac{4.5 - 1.0}{11}\right) = 0,308 \text{ rad}$$

### Déterminer le couple du moteur M de cette section :

En appliquant le théorème des moments statiques :

#### SOUS-SECTION 2-A :

$$\sum \vec{M}(B, \vec{F}_{ext}) = \vec{BF} \wedge \vec{F}_{a_{total}} + \vec{Bf} \wedge \vec{F}_{StepperB} + \vec{Bg} \wedge \vec{P} + \vec{Bh} \wedge \vec{F}_{StepperA} + \vec{M}_c$$

$$\Leftrightarrow \sum \vec{M}(B, \vec{F}_{ext}) = 0,045\vec{y} \wedge (-F_{a_{total}})\vec{x} + 0,075\vec{x} \wedge (-0,300 \times 9,81)\vec{y} + 0,11\vec{x} \wedge (-0,200 \times 9,81)\vec{y} + 0,17\vec{x} \wedge (-0,350 \times 9,81)\vec{y} + (0,26 \times 0,150 + 0,28 \times 0,060 + 0,39 \times 0,400) \times 9,81$$

$$\Leftrightarrow 0,045F_{a_{total}} = 0,075 \times 2,943 + 0,11 \times 1,962 + 0,17 \times 3,4335 + 2,08 = 3,1$$

$$\Leftrightarrow F_{a_{total}} \cong 69N$$

#### SOUS-SECTION 2-B :

Sachant  $\|\vec{F}_{a_{total}}\| = \|\vec{F}_{r_{total}}\|$  :

$$\sum \vec{M}(B, \vec{F}_{ext}) = \vec{BF} \wedge \vec{F}_{r_{total}} + \vec{BF} \wedge \vec{F}_{couroie}$$

$$\Leftrightarrow \sum \vec{M}(B, \vec{F}_{ext}) = 0,045\vec{y} \wedge \vec{F}_{r_{total}} + 0,045\vec{y} \wedge \vec{F}_{couroie}$$

$$\Leftrightarrow \sum \vec{M}(B, \vec{F}_{ext}) = 0,045\vec{y} \wedge \vec{F}_{r_{total}} + 0,045\vec{y} \wedge \begin{pmatrix} -\cos(\theta) F_{couroie} \\ -\sin(\theta) F_{couroie} \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$\Leftrightarrow \sum \vec{M}(B, \vec{F}_{ext}) = 0,045\vec{y} \wedge \begin{pmatrix} F_{r_{total}} \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} + 0,045\vec{y} \wedge \begin{pmatrix} -\cos(\theta) F_{couroie} \\ -\sin(\theta) F_{couroie} \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$\Leftrightarrow \sum \vec{M}(B, \vec{F}_{ext}) = (-0,045 \times F_{r_{total}} + 0,045 \times \cos(\theta) F_{couroie})\vec{z}$$

$$\text{Or : } \sum \vec{M}(B, \vec{F}_{ext}) = 0 \text{ d'où : } F_{r_{total}} = \cos(\theta) F_{couroie} (= F_{a_{total}}) \Leftrightarrow F_{couroie} = \frac{F_{a_{total}}}{\cos(\theta)}$$

#### SOUS-SECTION 2-C :

$$\sum \vec{M}(M, \vec{F}_{ext}) = \vec{M}_M + \vec{MP} \wedge \vec{F}_{couroie} = 0$$

$$\Leftrightarrow |\vec{M}_M| = \left| 0,01\vec{x} \wedge \frac{F_{a_{total}}}{\cos(\theta)}\vec{y} \right| = 0,01 \times \frac{69}{\cos(0,308 \text{ rad})} = 0,72 \text{ Nm}$$

## Choix du moteur Section 2 :

Nos contraintes pour ce moteur deviennent les suivantes :

|                      |                                    |
|----------------------|------------------------------------|
| Type :               | Moteur pas-à-pas                   |
| Dimensions (L*l*h) : | 42mm * 42mm * 48mm   Format NEMA17 |
| Couple :             | Min : 72 $N \cdot cm$              |

On choisira donc le moteur suivant (moteur à engrenages !) :

|                                    |   |
|------------------------------------|---|
| Type :                             | Pas-à-pas   NEMA 17   |
| Référence :                        | 17HS19-1684S-PG5  |
| Couple avant boîte d'engrenages :  | 52 $N \times cm$  |
| Rapport de la boîte d'engrenages : | 5.18 : 1  |
| Couple de sortie :                 | 242 $N \cdot cm$  |
| Poids :                            | 0.52kg  |
| Tension nominale :                 | 3 V   |
| Intensité par phase :              | 1.68 A  |
| Résistance/phase :                 | 1.8 ohms  |
| Dimensions :                       | 42mm*42mm*48mm  |
| Diamètre de l'arbre :              | 8mm   |
| Pas :                              | 0,35°   |
| Connexions :                       | A+   Noir<br>A-   Vert<br>B+   Rouge<br>B-   Bleu   |
| Revendeur :                        | StepperOnline   |
| Lien :                             | <a href="https://www.omc-stepperonline.com/fr/nema-17-moteur-pas-a-pas-bipolaire-l-48mm-w-rapport-d-engrenage-5-1-boite-de-vitesses-planetaire-17hs19-1684s-pg5">https://www.omc-stepperonline.com/fr/nema-17-moteur-pas-a-pas-bipolaire-l-48mm-w-rapport-d-engrenage-5-1-boite-de-vitesses-planetaire-17hs19-1684s-pg5</a> |

### Note :

Les moteurs NEMA 17 n'atteignant pas un couple suffisant, nous nous rabattons sur un pas-à-pas avec système d'engrenages. En réduisant ainsi la vitesse de rotation, nous augmentons le couple.

Bien que ce modèle ait un couple dépassant largement notre besoin, il remplit notre critère de dimension (Format NEMA 17 et 48mm de profondeur) et de couple.

## Calculs Section 3 :

### Déterminer $\theta$ :

Par simple déduction trigonométrique, grâce à la figure (6) on obtient :

$$\theta = \arctan\left(\frac{6.5 - 1}{9.5}\right) = 0.525 \text{ rad}$$

### Déterminer le couple du moteur M de cette section :

En appliquant le théorème des moments statiques :

#### SOUS-SECTION 3-A :

$$\sum \vec{M}(A, \vec{F}_{ext}) = \vec{AG} \wedge \vec{F}_{a_{total}} + \vec{Af} \wedge \vec{F}_{Stepper} + \vec{Ag} \wedge \vec{P} + \vec{M}_c$$

$$\Leftrightarrow \sum \vec{M}(A, \vec{F}_{ext}) = 0.065\vec{y} \wedge (-F_{a_{total}})\vec{x} + 0.1\vec{x} \wedge (-0.520 \times 9.81)\vec{y} + 0.11\vec{x} \wedge (-0.200 \times 9.81)\vec{y} + (0.48 \times 0.150 + 0.50 \times 0.060 + 0.61 \times 0.400 + 0.295 \times 0.300 + 0.33 \times 0.200 + 0.39 \times 0.350) \times 9.81$$

$$\Leftrightarrow 0.065F_{a_{total}} = 0.1 \times 5.10 + 0.11 \times 1.962 + 6.25 \cong 7.0$$

$$\Leftrightarrow F_{a_{total}} \cong 108N$$

#### SOUS-SECTION 3-B :

Sachant  $\|\vec{F}_{a_{total}}\| = \|\vec{F}_{r_{total}}\|$  :

$$\sum \vec{M}(A, \vec{F}_{ext}) = \vec{AG} \wedge \vec{F}_{r_{total}} + \vec{AG} \wedge \vec{F}_{couroie}$$

$$\Leftrightarrow \sum \vec{M}(A, \vec{F}_{ext}) = 0.065\vec{y} \wedge \vec{F}_{r_{total}} + 0.065\vec{y} \wedge \vec{F}_{couroie}$$

$$\Leftrightarrow \sum \vec{M}(A, \vec{F}_{ext}) = 0.065\vec{y} \wedge \vec{F}_{r_{total}} + 0.065\vec{y} \wedge \begin{pmatrix} -\cos(\theta) F_{couroie} \\ -\sin(\theta) F_{couroie} \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$\Leftrightarrow \sum \vec{M}(A, \vec{F}_{ext}) = 0.065\vec{y} \wedge \begin{pmatrix} F_{r_{total}} \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} + 0.065\vec{y} \wedge \begin{pmatrix} -\cos(\theta) F_{couroie} \\ -\sin(\theta) F_{couroie} \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$\Leftrightarrow \sum \vec{M}(A, \vec{F}_{ext}) = (-0.065 \times F_{r_{total}} + 0.065 \times \cos(\theta) F_{couroie})\vec{z}$$

$$\text{Or : } \sum \vec{M}(A, \vec{F}_{ext}) = 0 \text{ d'où : } F_{r_{total}} = \cos(\theta) F_{couroie} (= F_{a_{total}}) \Leftrightarrow F_{couroie} = \frac{F_{a_{total}}}{\cos(\theta)}$$

#### SOUS-SECTION 3-C :

$$\sum \vec{M}(M, \vec{F}_{ext}) = \vec{M}_M + \vec{MP} \wedge \vec{F}_{couroie} = 0$$

$$\Leftrightarrow |\vec{M}_M| = \left| 0.008\vec{x} \wedge \frac{F_{a_{total}}}{\cos(\theta)}\vec{y} \right| = 0.01 \times \frac{108}{\cos(0.525 \text{ rad})} = 1.25 \text{ Nm}$$

## Choix du moteur Section 3 :

Nos contraintes pour ce moteur deviennent les suivantes :

|                      |                                 |
|----------------------|---------------------------------|
| Type :               | Moteur pas-à-pas                |
| Dimensions (L*l*h) : | 57mm * 57mm * ∞   Format NEMA23 |
| Couple :             | Min : 125 $N \cdot cm$          |

Les moteurs NEMA 17 n'atteignent pas un couple de 125  $N \cdot cm$ . Ainsi, nous allons en installer deux, fonctionnant face à face et de façon symétrique pour additionner leurs couples. Ainsi, nous cherchons deux exemplaires d'un moteur NEMA 23 de couple 62,5  $N \cdot cm$  au minimum !

|                       |   |
|-----------------------|---|
| Type :                | Pas-à-pas   NEMA 23   |
| Référence :           | 23HE22-2804S  |
| Couple :              | 126 $N \times cm$   |
| Poids :               | 0.70 kg   |
| Tension nominale :    | 2.52 V  |
| Intensité par phase : | 2.8 A   |
| Résistance/phase :    | 0.9 ohms  |
| Dimensions :          | 57mm*57mm*56mm  |
| Diamètre de l'arbre : | 6.35mm  |
| Pas :                 | 1,8°  |
| Connexions :          | A+   Noir<br>A-   Vert<br>B+   Rouge<br>B-   Bleu   |
| Revendeur :           | StepperOnline   |
| Lien :                | <a href="https://www.omc-stepperonline.com/fr/e-serie-nema-23-moteur-pas-a-pas-bipolar-1-8deg-1-26-nm-178-04oz-in-2-8a-57x57x56mm-4-fils-23he22-2804s">https://www.omc-stepperonline.com/fr/e-serie-nema-23-moteur-pas-a-pas-bipolar-1-8deg-1-26-nm-178-04oz-in-2-8a-57x57x56mm-4-fils-23he22-2804s</a> |