

## Session 2023

### Rapport du jury

#### Composition du jury

---

- Pascale Costa, inspectrice générale de l'éducation, du sport et de la recherche, présidente du jury
- Stéphanie Texier, inspectrice d'académie-inspectrice pédagogique régionale de l'académie de Créteil, vice-présidente du jury
- Laurent Ailloud, professeur, lycée Algoud-Laffemas, Valence, académie de Grenoble
- Ianis Bernard, professeur, lycée Buisson, Voiron, académie de Grenoble
- François Brugier, professeur, lycée Le Corbusier, Aubervilliers, académie de Créteil
- Geneviève Faburel, professeure, lycée Follereau, Belfort, académie de Besançon
- Régis Lamoureux, professeur, lycée Tillion, Montbéliard, académie de Besançon
- Hélène Leroux, professeure, lycée François 1<sup>er</sup>, Fontainebleau, académie de Créteil

#### Quelques chiffres

---

	Candidats inscrits		Candidats présents	% de filles
	France	Étranger		
Session 2022	103	7	103	16 %
Session 2023	155	0	146	11 %

La répartition des candidats est assez représentative de celle des classes de spécialité sciences de l'ingénieur. Il est à noter que le nombre de candidats par rapport à l'année dernière est en hausse.

Le jury incite les enseignants de terminale à encourager leurs élèves à présenter le concours général, c'est un exercice très formateur qui valorise leurs élèves et leur établissement.

#### Palmarès de la session 2023

---

Le jury félicite l'ensemble des candidats à l'épreuve de sciences de l'ingénieur du concours général des lycées. Cette année trois prix, cinq accessits et huit mentions ont été attribués.

Les trois premiers candidats ont reçu leur prix lors d'une cérémonie en Sorbonne à Paris en présence du ministre de l'Éducation nationale et de la jeunesse le 6 juillet 2023.

## Commentaires généraux

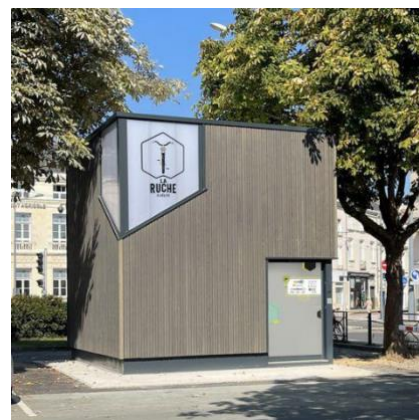
Le jury encourage vivement les élèves de première et de terminale souhaitant se présenter au concours général des lycées à se préparer spécifiquement pour cette épreuve. Pour cela, il faut développer des compétences portant sur l'ensemble des attendus du programme de la spécialité sciences de l'ingénieur. Une maîtrise, même très bonne, de seulement quelques parties du programme ne permet pas de se classer parmi les meilleurs candidats. Certains ont montré, cette année encore, une aisance remarquable sur l'ensemble du sujet proposé.

Le sujet était long mais la plupart des candidats a su bien gérer son temps et aborder l'ensemble du sujet.

## Présentation du support de l'épreuve

Le sujet portait sur un prototype de système automatisé de parking de vélos développé par la Ruche à Vélos. Le système présenté permet de garantir un stockage sécurisé de vélos et sa conception permet d'adapter facilement ses dimensions au nombre de vélos stockés ainsi qu'à l'espace disponible pour son implantation contrairement à d'autres solutions développées comme les parkings à vélos circulaires comme ceux que l'on peut trouver au Japon.

Les problématiques étudiées étaient d'optimiser la place occupée au sol du garage, sécuriser l'accès aux vélos ainsi que réduire le temps d'attente de l'utilisateur pour récupérer son vélo.



L'objectif du sujet était de mettre en avant l'intérêt de ce type de parking à vélos, de développer l'automatisation du système en respectant le cahier des charges imposé puis de concevoir la chaîne de puissance ainsi que la commande permettant de déplacer le vélo à sa place de stockage.

Après une première partie présentant le système étudié, la partie B amenait les candidats à choisir la structure - rectangulaire ou circulaire - permettant de respecter le cahier des charges.

Les objectifs de la partie C étaient de choisir le meilleur protocole d'identification de l'utilisateur puis de développer le programme Python permettant de choisir la place de stockage libre la plus proche tout en mettant à jour la liste des places disponibles.

La partie D s'intéressait à la pince permettant de saisir le vélo et le maintenir durant son déplacement. L'objectif était de dimensionner le ressort en déterminant sa longueur ainsi que sa raideur pour pouvoir appliquer l'effort nécessaire au maintien du vélo.

La partie E permettait d'étudier l'automatisation séquentielle du déplacement du vélo pour l'amener à sa place de stockage.

Enfin, la partie F, plus dense que les autres, s'intéressait à un des axes de déplacement du vélo et avait pour objectifs de déterminer la loi de vitesse à imposer au vélo afin de diminuer le temps de déplacement tout en évitant son basculement, dimensionner la motorisation permettant d'atteindre l'accélération maximale à atteindre, choisir un variateur adapté au fonctionnement souhaité du moteur puis de mettre en place un asservissement permettant d'atteindre les performances attendues du cahier des charges.

## Analyse des résultats

---

La partie B portait sur le choix de la structure du système. Elle représentait 8 % de l'épreuve et a été globalement bien traitée avec de nombreuses copies montrant une belle analyse. Cependant, certains candidats ont tendance à y consacrer trop de temps, notamment en rédigeant excessivement leurs réponses ce qui les a pénalisés par la suite.

La partie C portait sur la gestion automatique du système. Cette partie représentait 20 % de l'épreuve. Elle a été plutôt bien abordée par la majorité des candidats.

Pour les questions 6a et 6b, certains candidats inversent l'ordre des questions et choisissent d'abord un protocole puis en déduisent une portée, or non seulement ce n'est pas ce qui était demandé dans l'énoncé mais la démarche est fautive. C'est le système et son contexte qui imposent les contraintes et qui permettent de faire un choix de protocole. De plus, dans la justification, il est également important d'expliquer pourquoi les autres critères (consommation par exemple) ne sont pas critiques ici.

Lors du calcul du nombre d'adresses codées sur  $N$  bits, il est régulièrement trouvé  $2^N - 1$ . Le jury rappelle que  $N$  bits permettent de créer  $2^N$  adresses, ce sont leurs index qui vont entre 0 et  $2^N - 1$ .

En ce qui concerne la partie informatique, des erreurs de syntaxes sont encore commises, notamment des problèmes d'indentation pour le **return**. Cependant, le nombre de candidats capable d'écrire une fonction simple en Python a nettement progressé depuis l'année dernière ce qui est encourageant.

La partie D portant sur le dimensionnement du ressort de maintien de la pince représentait 18 % de l'épreuve et a été la moins traitée.

Certaines copies ont très bien abordées cette partie montrant une belle maîtrise des notions. Dans les autres copies, longueurs et vecteurs sont souvent confondus. La partie statique n'est, en général, pas abordée par les candidats. Plus de la moitié confond l'effort normal et l'effort tangentiel dans la loi de Coulomb. Très peu ont su réaliser un bilan des actions mécaniques extérieures complet, notamment en oubliant la liaison glissière avec le bâti. Le jury a cependant remarqué que la majorité des candidats ne commet pas l'erreur courante qui consiste à inverser résultante et moment.

La partie E permettait aux candidats de montrer leur compréhension du fonctionnement séquentiel du système. Cette partie représentait 4 % de l'épreuve. Les notions d'événement versus condition de garde, et les notations correspondantes ne sont pas maîtrisées par les candidats, constat similaire pour la notation « non » (avec une barre au-dessus de la variable).

La partie F avait pour objectif de déterminer la motorisation nécessaire pour déplacer le vélo ainsi que sa commande. Cette partie représentait à elle seule 50 % de l'épreuve. Beaucoup de candidats ont peu traité la fin par manque de temps.

L'analyse du système pour compléter une chaîne d'information et de puissance a très bien été traitée.

Lorsqu'il est demandé de déterminer le temps disponible pour aller à une place de stockage, beaucoup se contentent de donner le temps total exigé par le cahier des charges sans prendre en compte les opérations autres que le déplacement, pourtant précisées dans l'énoncé.

Les questions sur les calculs de temps et de vitesse de la loi de commande ont été bien traitées.

La partie énergétique/dynamique a été très peu ou mal traitée par les candidats, elle est pourtant au programme.

Presque tous les candidats n'ont pas vu que l'inertie équivalente du réducteur était ramenée sur l'arbre moteur et ont considéré qu'elle était définie sur l'arbre de sortie.

Le bilan des actions mécaniques extérieures est ici également très souvent incomplet ou faux.

Le théorème du moment dynamique, pourtant simple dans le cas qui a été présenté, n'a été réussi que très peu réussi.

Pour le moteur à courant continu, beaucoup de candidats ne comprennent pas que  $di/dt$  est nul en régime permanent.

En ce qui concerne le choix du variateur, il est souvent affirmé qu'un type de hacheur convient sans aucune justification. Le jury rappelle qu'un résultat sans aucune justification n'est pas pris en compte.

Le parcours du courant dans le hacheur a été bien compris par les candidats.

La question 42, dans laquelle il était demandé de compléter un modèle multi-physique a été peu réussie. Beaucoup semblent ne pas savoir comment est branché un voltmètre pour effectuer une mesure de tension.

En asservissement, à la question 43, pour critiquer un modèle afin de l'améliorer, cela n'a aucun sens de le comparer au cahier des charges.

## Éléments de correction

---

Le corrigé de l'épreuve écrite ci-après n'est qu'une proposition qui n'a d'autre but que celui d'aider les futurs candidats dans leur préparation au concours général des lycées. Il ne s'agit donc absolument pas d'un modèle normatif.

---

# SYSTÈME AUTOMATISÉ DE PARKING DE VÉLO

---

## Éléments de correction

- Q1.** Les études montrent qu'en moyenne un stationnement vélo classique nécessite  $2,3 \text{ m}^2$  au sol par vélo. **Déterminer** la surface au sol qui serait nécessaire pour stocker sur un système classique autant de vélos que dans la Ruche. En **déduire** le gain de place au sol en pourcentage apporté par la solution proposée.

Pour stocker 50 vélos avec un stationnement classique, il faudrait  $50 \times 2,3 = 115 \text{ m}^2$ .

La ruche permet donc un gain en place au sol de  $\frac{115-24}{115} = 79\%$ .

- Q2.** **Déterminer** combien de vélos peuvent être stockés sur un étage circulaire en considérant 68 cm de largeur au niveau des guidons lors du stockage (voir Figure B-1(a)).

Le rayon au niveau des guidons est de  $\frac{250+2 \times 50}{2} = 175 \text{ cm}$ . Le périmètre du cercle au niveau des guidons est donc de  $2 \times \pi \times 175 \times 10^{-2} = 11 \text{ m}$ .

Il sera donc possible de stocker  $\frac{11}{0,68} = \boxed{16 \text{ vélos}}$ .

- Q3.** **Déterminer** la surface nécessaire pour stocker le même nombre de vélos avec un étage rectangulaire. **Comparer** avec la surface d'un étage circulaire et en **déduire** si, dans le cas étudié, le critère de la surface au sol permet de choisir l'une des configurations (circulaire ou rectangulaire).

On aura donc une configuration avec 8 vélos de chaque côté de l'allée. La longueur du rectangle sera donc de  $68 \times 8 = 544 \text{ cm}$ . Un étage rectangulaire de 16 vélos aura donc une surface de  $5,44 \times (2,5 + 2 \times 2,25) = 38,1 \text{ m}^2$ .

Un étage circulaire a un rayon de  $\frac{250+2 \times 225}{2} = 350 \text{ cm}$  et donc une surface de  $\pi \times 350^2 = 38,5 \text{ m}^2$ .

Les 2 solutions sont donc quasiment équivalentes dans ce cas en ce qui concerne la surface et cela ne permet donc pas de choisir une configuration plutôt qu'une autre.

- Q4.** **Indiquer**, en justifiant, s'il est possible de diminuer le rayon du cercle extérieur de la solution circulaire (et donc la surface au sol) si moins de vélos sont stockés sur l'étage.

Il faut toujours pouvoir mettre sur un diamètre 2 vélos + la zone de transport donc le rayon extérieur ne peut pas être diminué même si on stocke moins de vélos. Il y aura juste plus d'espace vide entre les vélos.

- Q5.** D'après la courbe Figure B-2, **conclure** en justifiant sur la configuration la plus adaptée pour valider l'exigence 1.3.

D'après les courbes, la surface au sol est toujours plus faible pour la solution rectangulaire et la taille peut être plus facilement adapté – notamment on peut mettre peu de vélos par étage sans espace vide. Il faut donc choisir la solution rectangulaire pour valider l'exigence 1.2.

- Q6.** Choix des protocoles de communication :

- a. **Déterminer**, au vu des exigences et du contexte, le critère pertinent pour choisir le protocole de communication utilisé parmi les suivants : Consommation, Débit et Sécurité. **Justifier** brièvement votre choix. **Indiquer** l'ordre de grandeur de la portée maximale à considérer.

Comme on échange peu d'informations entre l'utilisateur et le système, le débit n'est pas un critère prépondérant ici. Idem pour la consommation. Par contre, il faut que les échanges soient sécurisés pour éviter qu'une autre personne puisse récupérer un vélo qui n'est pas le sien. L'ordre de grandeur de la portée maximale sera de quelques mètres puisque l'utilisateur s'authentifie à l'entrée du sas.

- b. À l'aide de ce critère et des Figure C-1 et Tableau C-1, **choisir** en justifiant un protocole pour le téléphone et un pour la carte de transport qui pourront répondre au besoin du système.

Pour la carte de transport, on pourra utiliser le protocole NFC qui est très sécurisé pour une faible portée. Pour le téléphone, on pourra également prendre le protocole NFC mais aussi le Bluetooth pour les téléphones pas équipés de la technologie NFC.

- Q7. **Traduire** le numéro d'abonné 152 en binaire naturel. Les calculs seront indiqués sur la copie.

$$152_{10} = 1001\ 1000_2$$

On a en effet  $152 = 128 + 16 + 8 = 2^7 + 2^4 + 2^3$ .

On pouvait aussi faire une succession de division par 2 pour trouver le résultat.

- Q8. Il faut choisir le nombre de bits qui seront utilisés pour coder le numéro d'abonné. **Indiquer** le nombre d'abonnés qu'il sera possible de coder sur 8, 16 et 32 bits. **Choisir**, parmi ces 3 possibilités, celle qui est pertinente au vu des exigences du système.

Avec 8 bits on a 256 possibilités, avec 16 bits on a 65 536 possibilités et avec 32 bits on a 4 294 967 296 possibilités. Au vu des exigences du système qui demande de pouvoir gérer 50 000 utilisateurs, on utilisera donc 16 bits pour coder le numéro d'abonné.

- Q9. **Écrire** une fonction en python `distance_manhattan(pt1y,pt1z,pt2y,pt2z)` qui prend en argument les coordonnées de 2 points et qui renvoie un **entier** flottant correspondant à la distance de Manhattan entre les 2 points. La fonction `abs(x)` en python permet de calculer la valeur absolue de `x`.

```
def distance_manhattan(pt1y,pt1z,pt2y,pt2z):  
    return abs(pt2y-pt1y)+abs(pt2z-pt1z)
```

- Q10. **Donner** les valeurs manquantes (a), (b) et (c) de la liste `Ldistance` pour la configuration présentée :

```
Ldistance=[0.68,1.36,(a),1.4,(b),2.76,3.44,2.8,3.48,(c),4.84]
```

On a (a) = 2.04, (b) = 2.08 et (c) = 4.16.

- Q11. Un vélo est ajouté au parking, **spécifier** à quelle place il sera stocké. **Donner** la liste `Ldisponible` obtenue après cette ajout. Le vélo de la place 2 est ensuite récupéré par son propriétaire. **Donner** alors la liste `Ldisponible` obtenue après cette action. **Justifier** brièvement.

Le vélo sera ajouté à la place 0 (place la plus proche) et la liste `Ldisponible` devient alors `Ldisponible=[10,6,7,5,3,1]`.

Comme `Ldistance[3]<Ldistance[2]<Ldistance[5]`, après la libération de la place 2, la liste `Ldisponible` devient `Ldisponible=[10,6,7,5,2,3,1]`.

- Q12. **Indiquer** les deux objectifs de la fonction `mystere` dont le code est donné ci-dessous.

```
def mystere(Ldisponible):  
    return Ldisponible.pop(len(Ldisponible)-1)
```

La fonction sera utilisée quand on dépose un vélo. Elle permet non seulement de choisir la place la plus proche où le vélo sera déposé mais aussi de mettre à jour la liste Ldisponible.

**Q13. Compléter** la fonction `ajout_place_libre(Ldisponible,place_liberee,Ldistance)` sur le Document réponse DR1. Celle-ci prend en argument la liste `Ldisponible` décrite précédemment, la place qui sera libérée et la liste `Ldistance` également décrite précédemment. Elle met à jour la liste `Ldisponible` en lui ajoutant la place libérée.

```
def ajout_place_libre(Ldisponible,place_liberee,Ldistance):
    i=0
    while i<len(Ldisponible) and
        Ldistance[place_liberee]<Ldistance[Ldisponible[i]]:
        i=i+1
    Ldisponible.insert(i,place_liberee)
```

**Q14. Détermination de  $L_3$  et  $\beta$ .**

a. À l'aide d'une fermeture géométrique EFD, **déterminer** une relation vectorielle entre  $L_1$ ,  $L_3$ ,  $L_4$  et les vecteurs de base.

$$\overrightarrow{EF} + \overrightarrow{FD} + \overrightarrow{DE} = \vec{0}$$

$$L_3 \vec{x}_2 + \frac{L_1}{2} \vec{y}_0 - L_4 \vec{x}_1 = \vec{0}$$

b. **Projeter** l'équation de la question précédente sur les vecteurs  $\vec{x}_0$  et  $\vec{y}_0$ . **Mettre** les équations sous la forme :

$$\begin{cases} L_3 \cos \beta = f(L_4, \alpha) \\ L_3 \sin \beta = g(L_1, L_4, \alpha) \end{cases}$$

$$L_3(\cos \beta \vec{x}_0 + \sin \beta \vec{y}_0) + \frac{L_1}{2} \vec{y}_0 - L_4(\cos \alpha \vec{x}_0 + \sin \alpha \vec{y}_0) = \vec{0}$$

$$\Leftrightarrow \begin{cases} L_3 \cos \beta - L_4 \cos \alpha = 0 \\ L_3 \sin \beta + \frac{L_1}{2} - L_4 \sin \alpha = 0 \end{cases}$$

$$\Leftrightarrow \begin{cases} L_3 \cos \beta = L_4 \cos \alpha \\ L_3 \sin \beta = -\frac{L_1}{2} + L_4 \sin \alpha \end{cases}$$

c. **En déduire** l'expression littérale de  $\beta$  en fonction de  $L_1$ ,  $L_4$  et  $\alpha$ . **Faire** l'application numérique.

$$\tan \beta = \frac{-\frac{L_1}{2} + L_4 \sin \alpha}{L_4 \cos \alpha}$$

$$\Leftrightarrow \beta = \arctan\left(\frac{-\frac{L_1}{2} + L_4 \sin \alpha}{L_4 \cos \alpha}\right) = -43^\circ$$

d. En élevant au carré les 2 équations de la question b et en les additionnant, **déterminer**  $L_3$  en fonction de  $L_4$ ,  $L_1$  et  $\alpha$ . **Faire** l'application numérique pour la position complètement fermée.

$$L_3^2 = (L_4 \cos \alpha)^2 + \left(-\frac{L_1}{2} + L_4 \sin \alpha\right)^2$$

$$\Leftrightarrow L_3^2 = L_4^2 + \frac{L_1^2}{4} - L_1 L_4 \sin \alpha$$

$$\Leftrightarrow L_3 = \sqrt{L_4^2 + \frac{L_1^2}{4} - L_1 L_4 \sin \alpha} = 4,6 \text{ cm}$$

**Q15.** D'après les lois de Coulomb, **déterminer** la relation entre  $X_{velo}$  et  $Y_{velo}$  à la limite du glissement. **Donner** le signe de  $X_{velo}$  et  $Y_{velo}$ .

À la limite du glissement, d'après les lois de Coulomb, on a  $|Y_{velo}| = f|X_{velo}|$

On a ici  $X_{velo} < 0$  et  $Y_{velo} < 0$ .

**Q16.** Faire le bilan des actions mécaniques extérieures s'appliquant sur {1+2+3+4+ressort}. **Donner** le torseur de chacune de ces actions mécaniques.

Les forces extérieures s'appliquant sur {1+2+3+4} sont :

$$\mathcal{T}_{velo \rightarrow 4} \quad \mathcal{T}_{verin \rightarrow 1} = \begin{pmatrix} F_{verin} & - \\ 0 & - \\ - & 0 \end{pmatrix}_{(O, \vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)} \quad \mathcal{T}_{0 \rightarrow 1} = \begin{pmatrix} 0 & - \\ Y_{01} & - \\ - & N_{01} \end{pmatrix}_{(G, \vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)}$$

**Q17.** En isolant {1+2+3+4+ressort}, **appliquer** le théorème de la résultante statique (PFS en résultante). **Donner** les 2 équations scalaires obtenues.

On isole {1+2+3+4} et on applique le théorème de la résultante statique.

$$\begin{aligned} \vec{F}_{velo \rightarrow 4} + \vec{F}_{0 \rightarrow 1} + \vec{F}_{verin \rightarrow 1} &= \vec{0} \\ \Leftrightarrow X_{velo} \vec{x}_0 + Y_{velo} \vec{y}_0 + Y_{01} \vec{y}_0 + F_{verin} \vec{x}_0 &= \vec{0} \\ \Leftrightarrow \begin{cases} X_{velo} + F_{verin} = 0 \\ Y_{velo} + Y_{01} = 0 \end{cases} \end{aligned}$$

**Q18.** **Déduire** des questions précédentes, la force à appliquer  $F_{verin}$  pour pouvoir obtenir  $|Y_{velo}| = 100 \text{ N}$ .

Il reste à déterminer  $F_{ressort}$  pour pouvoir dimensionner la raideur du ressort.

$$\begin{aligned} F_{verin} &= -X_{velo} \\ \Leftrightarrow F_{verin} &= -\frac{Y_{velo}}{f} \text{ avec } Y_{velo} < 0 \end{aligned}$$

$$F_{verin} = 250 \text{ N}$$

**Q19.** Sachant que  $\mathcal{T}_{1 \rightarrow 3} = \begin{pmatrix} X_{13} \vec{x}_1 + Y_{13} \vec{y}_1 \\ \vec{0} \end{pmatrix}_B$  et  $\mathcal{T}_{4 \rightarrow 3} = \begin{pmatrix} X_{43} \vec{x}_1 + Y_{43} \vec{y}_1 \\ \vec{0} \end{pmatrix}_C$ , en isolant {3}, **montrer**, à l'aide du théorème du moment statique en B (PFS en moment), que  $Y_{43} = 0$ .

On isole {3} et on applique le théorème du moment statique en B

$$\vec{M}_{B,1 \rightarrow 3} + \vec{M}_{B,4 \rightarrow 3} = \vec{0}$$

$$\text{Or } \vec{M}_{B,4 \rightarrow 3} = \vec{M}_{C,4 \rightarrow 3} + \vec{BC} \wedge (X_{43} \vec{x}_1 + Y_{43} \vec{y}_1) = L_2 \vec{x}_1 \wedge (X_{43} \vec{x}_1 + Y_{43} \vec{y}_1) = L_2 Y_{43}$$

On obtient alors :  $L_2 Y_{43} = 0$  et donc  $Y_{43} = 0$ .

En appliquant le PFS sur d'autres isolements, l'expression suivante pour  $F_{ressort}$  est obtenue :

$$F_{ressort} = \frac{2L_2 (\cos \alpha Y_{velo} - \sin \alpha X_{velo})}{L_1 \cos \beta}$$

**Q20.** **Déterminer** la valeur numérique de  $F_{ressort}$  en position complètement fermée. En **déduire** la raideur du ressort à choisir pour garantir l'équilibre.

On obtient  $F_{ressort} = 284 \text{ N}$  et donc  $k = \frac{284}{(0.1-0.046)} = 5260 \text{ N.m}^{-1}$

**Q21.** Sur votre copie, **donner** les transitions 1 à 13 pour que le système ait le comportement attendu sous le format suivant :

① : PorteExtOuv

② : ...

1 : *PorteExtOuv*

2 : *AppuiBouton[CapteurAvant et CapteurArriere]*

3 : *AppuiBouton[CapteurAvant ou CapteurArriere]*

4 : *AppuiBouton*

5 : *CapteurAvant*

6 : *Presence*

7 : *PorteExtFer*

8 : *PorteIntOuv*

9 : *VeloSorti*

10 : *PorteIntFer*

11 : *PosAtteinte*

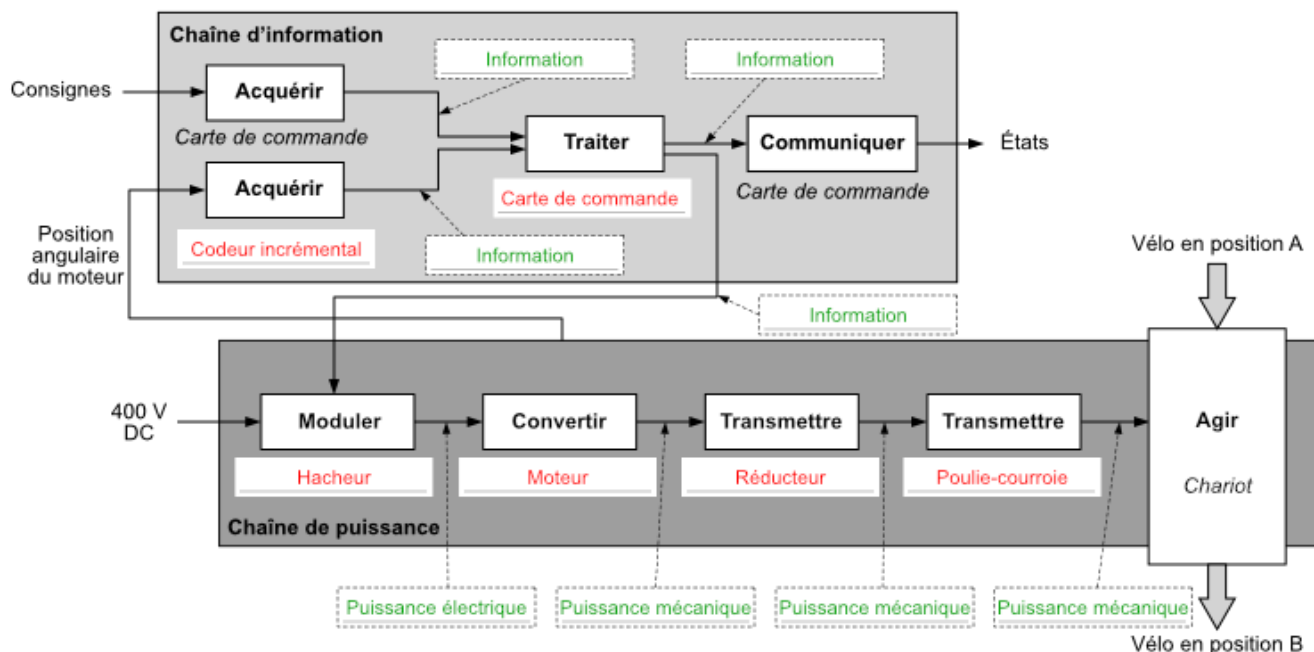
12 : *PinceOuvverte*

13 : *PosInit*

**Q22. Compléter** la chaîne de puissance et la chaîne d'information du Document réponse DR2 en indiquant les constituants réalisant les fonctions.

Voir ci-dessous.

**Q23.** Sur le Document réponse DR2, **indiquer** la nature des flux : puissance électrique, puissance mécanique ou information.



**Q24. Indiquer** le temps disponible pour aller de la station de prise du vélo à une place de stockage afin de respecter le cahier des charges. Ici, seul le temps pour effectuer les déplacements sur Y et Z est considéré.

On a donc :  $30 = 2 t_{YZ} + 13$  d'où  $t_{YZ} = \frac{30-13}{2} = 8 \text{ s}$ . Il faut donc que les déplacements sur Y et Z se fassent en moins de 8 secondes.

**Q25. Déterminer**, de manière littérale, les vitesses de translation du vélo sur l'axe Y et sur l'axe Z, notées respectivement  $v_{nomY}$  et  $v_{nomZ}$  quand les moteurs tournent à leur vitesse nominale. **Faire** l'application numérique, en posant le calcul sur la copie, pour montrer que  $v_{nomY} = 1,8 \text{ m.s}^{-1}$  et  $v_{nomZ} = 2,3 \text{ m.s}^{-1}$ .

$$v_{nomY} = \frac{D_{pY}}{2} r N_N \frac{2\pi}{60} = \frac{68 \times 10^{-3}}{2} \times \frac{1}{3} \times 1500 \times \frac{2\pi}{60} = 1,8 \text{ m.s}^{-1}$$



$$v_{nomZ} = \frac{D_{pZ}}{2} r N_N \frac{2\pi}{60} = \frac{89 \times 10^{-3}}{2} \times \frac{1}{3} \times 1500 \times \frac{2\pi}{60} = 2,3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

**Q26. Déterminer** la valeur de  $t_1$  si l'accélération est maximale.

Pendant la phase d'accélération, on a  $v_{nomY} = at_1$  avec  $a$  l'accélération. D'où  $t_1 = \frac{v_{nomY}}{a} = 0,6 \text{ s}$ .

**Q27. Préciser** la distance  $d_1$  en mètre parcourue pendant la phase d'accélération (à 1 cm près). **Indiquer** alors la distance parcourue pendant la phase de décélération.

Pendant la phase d'accélération, la distance parcourue  $d_1$  correspond à l'aire sous la courbe. On a donc  $d_1 = \frac{1}{2} a t_1^2$  d'où  $d_1 = 0,54 \text{ m}$ . Lors de la phase de décélération, on parcourra la même distance (on a bien la même aire sous la courbe).

**Q28. En déduire** la distance  $d_2$  en mètre restant à parcourir pendant la phase de déplacement à vitesse constante si le déplacement maximal sur Y est effectué. **Déterminer** la durée  $t_2$  permettant de parcourir la distance  $d_2$  déterminée précédemment. **En déduire** le temps  $t_Y$  mis pour parcourir toute la distance sur l'axe Y.

Sur l'axe Y, on doit parcourir au maximum 11,05 m, on a donc  $d_2 = 11,05 - 2 \times 0,54 = 9,97 \text{ m}$ .

Puisque la vitesse est constante lors de cette phase, on a  $t_2 = \frac{d_2}{v_{nomY}} = 5,5 \text{ s}$ .

On a alors  $t_Y = t_2 + 2 t_1 = 6,7 \text{ s}$ .

**Q29. En supposant** que l'accélération est égale à l'accélération maximale, **déterminer**  $t_3$  au dixième de seconde près pour que la distance maximale sur l'axe Z soit parcourue.

On doit parcourir la moitié de la distance (1,4 m) dans le temps  $t_3$ . On a donc  $\frac{1}{2} a t_3^2 = \frac{1,4}{2}$ .

Donc  $t_3 = \sqrt{\frac{1,4}{3}} = 0,7 \text{ s}$ .

**Q30. Valider** le choix d'une loi triangle, en comparant la valeur de  $v_{maxZ}$  (à **déterminer**) à celle de  $v_{nomZ}$ .

On a alors  $v_{maxZ} = a t_3 = 2,1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} < 2,3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ . Le choix d'une loi triangle est bien validée.

**Q31. Indiquer** la durée nécessaire pour déplacer le vélo depuis la zone de prise jusqu'à la position de stockage la plus éloignée. **Conclure** par rapport au respect du cahier des charges quelle que soit la position à laquelle le vélo est stocké.

Le temps total est  $t_T = t_Y + 2t_3 = 8,1 \text{ s} > 8 \text{ s}$  (Q24). Le cahier des charges n'est donc pas vérifié pour les places les plus éloignées. Il faudrait vérifier la flexibilité du critère.

**Q32. Calcul** de l'inertie équivalente du système ramenée sur l'arbre moteur :

a. À partir des données du système ( $J_m$ ,  $J_r$ ,  $D_p$ ,  $M$  et  $k_r$ ), **exprimer** les énergies cinétiques du moteur  $E_{cm}$ , du réducteur  $E_{cr}$  et de l'ensemble {chariot + vélo}  $E_{cc}$  en fonction de  $\omega_m$ .

$$E_{cm} = \frac{1}{2} J_m \omega_m^2 \quad E_{cr} = \frac{1}{2} J_r \omega_m^2 \quad E_{cc} = \frac{1}{2} M \left( \frac{D_p}{2} k_r \right)^2 \omega_m^2$$

b. **En déduire** l'expression de l'énergie cinétique totale du système sous la forme  $E_c = \frac{1}{2} J_{eq} \omega_m^2$  avec  $J_{eq}$  l'inertie équivalente du système ramenée sur l'arbre moteur dont vous préciserez l'expression. Pour rappel, l'énergie cinétique totale est égale à la somme des énergies cinétiques de l'ensemble des composants du système.

$$E_c = \frac{1}{2} \underbrace{\left( J_m + J_r + M \left( \frac{D_p}{2} k_r \right)^2 \right)}_{J_{eq}} \omega_m^2$$

c. **Déterminer** la valeur numérique de  $J_{eq}$  en posant le calcul sur la copie.

$$J_{eq} = 12,7 + 6,1 + 150 \times \left(\frac{7,4}{2} \times \frac{1}{3}\right)^2 = 247 \text{ kg.cm}^2$$

Q33. Calcul du couple moteur  $C_m$  :

a. **Réaliser** le bilan des actions mécaniques extérieures s'appliquant sur l'arbre moteur.

BAME :

$$\{\mathcal{T}_{\text{frot} \rightarrow \text{mot}}\} = \left\{ \begin{array}{c} \vec{0} \\ -C_f \vec{y} \end{array} \right\}_A \quad \{\mathcal{T}_{\text{mot}}\} = \left\{ \begin{array}{c} \vec{0} \\ C_m \vec{y} \end{array} \right\}_A$$

b. En écrivant l'équation des moments du principe fondamental de la dynamique à l'arbre moteur sur l'axe  $(A, \vec{y})$ , **déterminer** l'expression du couple moteur  $C_m$  en fonction de  $J_{eq}$ ,  $\omega_m$  et  $C_f$ .

$$C_m - C_f = J_{eq} \frac{d\omega_m}{dt} \Leftrightarrow \boxed{C_m = J_{eq} \frac{d\omega_m}{dt} + C_f}$$

c. **Déterminer** l'expression du couple moteur  $C_m$  en fonction de  $J_{eq}$ ,  $a$  et  $C_f$ . **Faire** l'application numérique.

$$C_m = C_f + \frac{2J_{eq}}{D_p k_r} a \quad \text{A. N. : } C_m = 2 + \frac{2 \times 250 \cdot 10^{-4}}{74 \cdot 10^{-3} \times \frac{1}{3}} \times 3 = 8,1 \text{ N.m}$$

Q34. En considérant que la vitesse maximale atteinte par le moteur est sa vitesse nominale, **calculer** la puissance maximale que le moteur doit fournir.

$$P_{max} = C_m N_N \frac{2\pi}{60} = 8,1 \times 1500 \times \frac{2\pi}{60} = 1272 \text{ W}$$

Q35. **Conclure** quant à la validité du moteur choisi au regard des exigences.

$P_{max} < 1500 \text{ W}$  donc le moteur convient.

Q36. En **déduire** l'expression de  $\omega_m(t)$  en fonction de  $u_m(t)$ ,  $i(t)$ ,  $R$  et  $K$ .

$$\omega_m(t) = \frac{u_m(t) - Ri(t)}{K}$$

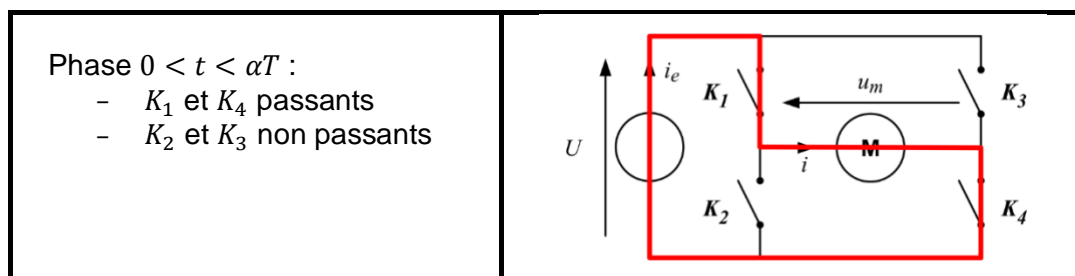
Q37. **Déterminer** l'expression de la tension moyenne  $\langle u_m \rangle$  aux bornes de la machine à courant continu.

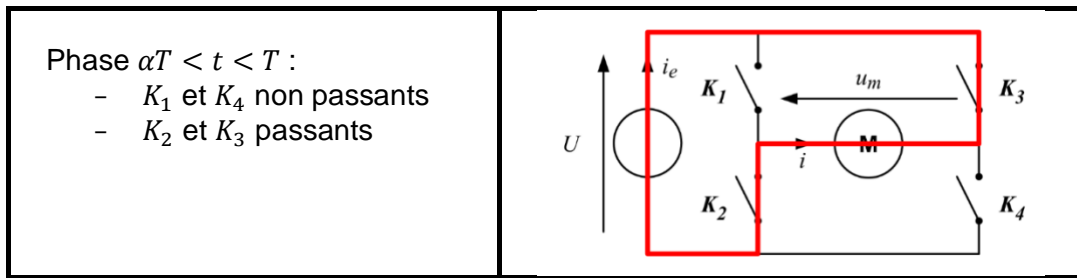
$$\langle u_m \rangle = \alpha U$$

Q38. En **déduire** s'il est alors possible de faire tourner le moteur dans les deux sens de rotation.

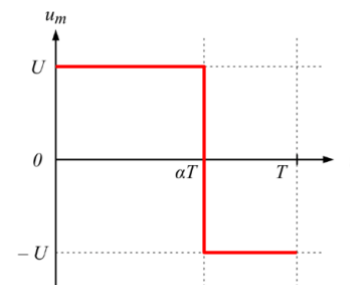
$U$  étant positive, il est impossible d'avoir  $\langle u_m \rangle < 0$  et donc changer le sens de rotation du moteur.

Q39. Sur le Document réponse DR3, **tracer** le trajet du courant du moteur  $i$  sur le schéma donné de 0 à  $\alpha T$  puis de  $\alpha T$  à  $T$ . En **déduire** l'expression de  $u_m(t)$  en fonction de  $U$  pour chaque phase.





**Q40.** Tracer sur le Document réponse DR3 l'allure de la tension  $u_m(t)$  sur une période  $T$ .

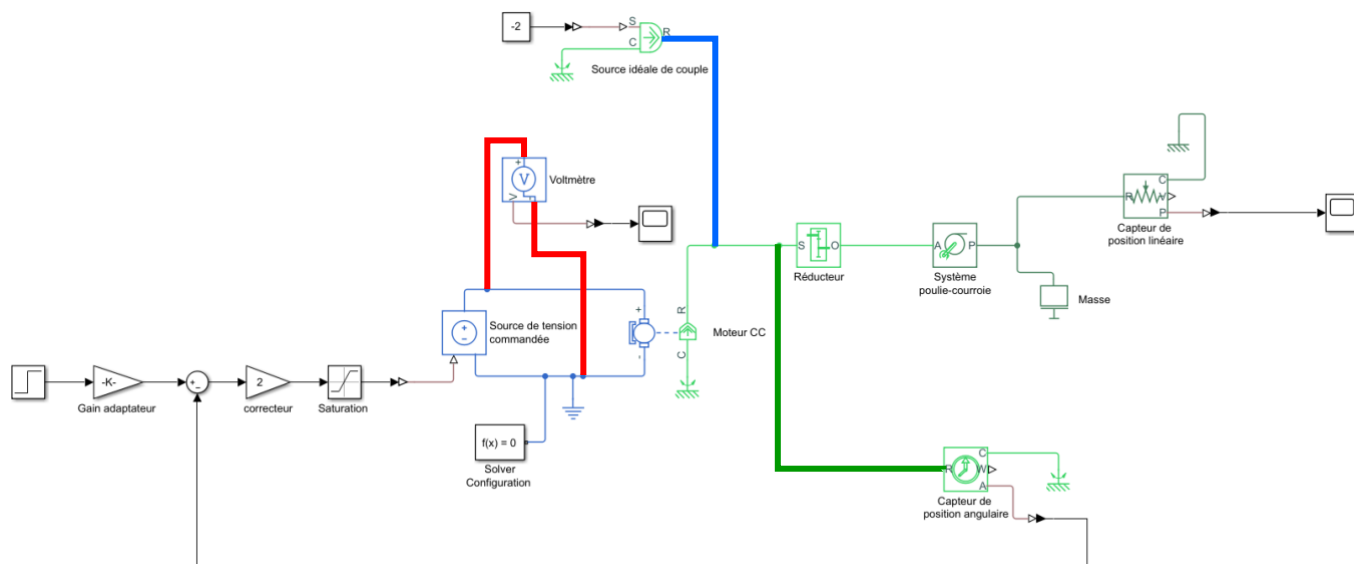


**Q41.** En fonction des valeurs possibles du rapport cyclique  $\alpha$ , **donner** les expressions de  $\langle u_m \rangle_{min}$  et  $\langle u_m \rangle_{max}$ . **Conclure**, en justifiant, quant à la possibilité d'obtenir le fonctionnement du moteur souhaité grâce au hacheur choisi.

$$\langle u_m \rangle_{min} = -U \qquad \langle u_m \rangle_{max} = U$$

Le hacheur choisi permet bien d'avoir une tension d'alimentation du moteur positive et négative. Il est donc possible de faire tourner le moteur dans les deux sens.

**Q42.** Sur le Document réponse DR4, **relier** sur le modèle le voltmètre, l'action du couple de frottement ainsi que le capteur de position angulaire servant à l'asservissement.



**Q43.** **Mesurer** l'erreur statique et la valeur du 1<sup>er</sup> dépassement pour le modèle avec frottement et le modèle sans. **Conclure** sur la possibilité de négliger les frottements dans notre étude.

	Avec frottement	Sans frottement
Erreur statique	0,24 m	0 m
Dépassement	0,34 m	0,26 m

On voit que la précision ne pourra pas être étudiée correctement sans les frottements donc on ne peut pas négliger les frottements sur le modèle.

**Q44.** **Justifier** qu'il ne sera pas possible de respecter les exigences du cahier des charges avec un correcteur proportionnel.

On voit que quand  $K$  augmente la précision s'améliore mais le premier dépassement augmente. Or pour  $K = 2$ , on voit que la précision est vérifiée mais il y a déjà un dépassement de 0,3 m donc on ne peut pas valider le critère de précision et le critère de dépassement simultanément.

**Q45. Conclure** quant au respect du cahier des charges en justifiant.

L'erreur relative est nulle donc le système est bien précis. La sortie ne présente pas de dépassement. Le temps de réponse à 5% est égal à 1,4 s donc il est bien inférieur à 1,5 s. Le cahier des charges est donc respecté.