

**BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR
CONCEPTION ET INDUSTRIALISATION EN
MICROTECHNIQUES
ÉPREUVE E4 :
CONCEPTION PRÉLIMINAIRE
D'UN SYSTÈME MICROTECHNIQUE**

SESSION 2025

Durée : 4 heures

Coefficient : 2

DOSSIER TRAVAIL DEMANDÉ

Ce dossier comporte 5 problématiques réparties sur 8 pages repérées TD 1/8 à TD 8/8

Temps conseillés

Lecture du sujet :	20 min
Problématique 1 :	30 min
Problématique 2 :	100 min
Problématique 3 :	20 min
Problématique 4 :	30 min
Problématique 5 :	40 min

Problématique 1 : Associer un matériau aux tendons synthétiques et déterminer les grandeurs d'actionnement (force et course) des tendons au niveau des unités de traction

L'effort de préhension est généré par des tendons synthétiques intégrés au gant et actionnés par des unités de traction situées dans le harnais sur le dos de l'opératrice ou de l'opérateur.

La course d'actionnement nécessaire au niveau des unités de traction résulte de :

- la longueur des tendons dans le gant entre la main ouverte (doigts dépliés) et la main fermée (doigts pliés),
- L'allongement sous charge des tendons synthétiques.

Pour déterminer les grandeurs d'actionnement (force et course) des tendons au niveau des unités de traction, vous devez à partir de la force de serrage :

- associer un matériau aux tendons synthétiques et déterminer la course d'actionnement,
- déterminer la force d'actionnement et vérifier la résistance des tendons.

On donne :

- diamètre des tendons : $d = 0,5 \text{ mm}$
- longueur des tendons (du gant aux unités de traction) : $l = 1,4 \text{ m}$

Hypothèses :

- l'étude se limite à une unité de traction et un tendon,
- on néglige les frottements entre le tendon et la gaine : l'effort de traction est intégralement transmis en effort de serrage.

Question 1	A partir des données fournies dans le cahier des charges (DT4/16), déterminer par le calcul l'effort de serrage pour un doigt.
Question 2	A partir du tableau des propriétés mécaniques de matériaux (DT8/16), choisir le matériau minimisant l'allongement sous charge du tendon.
Question 3	Déduire des deux questions précédentes et du formulaire de traction (voir DT8/16) l'allongement du tendon.
Question 4	A partir du document réponse DR1/5 , estimer pour un doigt (majeur de taille XL) les longueurs de tendons correspondant aux 2 positions extrêmes et le déplacement nécessaire du tendon au niveau du gant.
Question 5	Déduire des deux questions précédentes la course minimale d'actionnement de l'unité de traction en prenant un coefficient de majoration de 1,5.
Question 6	A partir de l'effort de serrage pour un doigt, donner la force d'actionnement de l'unité de traction et vérifier la résistance à limite élastique du tendon sollicité en traction.

Problématique 2 : Dimensionner les composants de la chaîne cinématique des unités de traction garantissant les grandeurs d'actionnement (force et course) des tendons

Les grandeurs d'actionnement (force et course) des tendons sont générées par des unités de traction situées dans le harnais sur le dos de l'opératrice ou de l'opérateur.

La structure cinématique des unités de traction est donnée sur le document technique **DT6/16**.

Pour garantir ces grandeurs d'actionnement, vous devez :

- valider le choix et dimensionner la transformation de mouvement par un système vis-écrou à billes,
- déterminer les grandeurs d'entraînement du moteur à partir de la transmission de puissance par poulies-courroie,
- choisir la motorisation et sa commande,
- représenter des solutions constructives d'une unité de traction.

2.1- Validation et dimensionnement de la transformation de mouvement par un système vis-écrou à billes

La structure cinématique des unités de traction est donnée sur le document technique **DT6/16**.

On donne :

- force d'actionnement : $F = 15 \text{ N}$ (quelle que soit la valeur trouvée précédemment),
- course d'actionnement retenue : $c = 150 \text{ mm}$ (quelle que soit la valeur trouvée précédemment),
- diamètre retenu de la vis à billes : $d_{\text{vis}} = 5 \text{ mm}$,
- facteur de frottement du système vis-écrou à billes : $\mu = 0,005$.

Question 7	A partir du tableau des solutions technologiques proposées (DT8/16), compléter sur le document réponse DR1/5 le tableau afin de valider la solution technologique de traction des tendons par un système vis-écrou à billes pour optimiser le rendement, la fiabilité, l'encombrement, la rigidité et l'encombrement.
Question 8	A partir des caractéristiques des vis à billes (DT9/16), donner le pas de la vis à billes et en déduire par le calcul l'angle d'hélice.
Question 9	A partir des éléments de calcul des systèmes vis-écrou (DT10/16), en déduire en utilisant l'abaque de rendement la valeur du rendement du système vis-écrou à billes.
Question 10	A partir des éléments de calcul des systèmes vis-écrou (DT10/16), en déduire en utilisant la formule adaptée le couple nécessaire sur la vis pour générer la force d'actionnement.
Question 11	A partir des données fournies dans le cahier des charges (DT4/16), déterminer par le calcul la vitesse de déplacement du cochet d'entraînement pour la course d'actionnement retenue. En déduire la fréquence de rotation de la vis

2.2- Détermination des grandeurs d'entraînement du moteur à partir de la transmission de puissance par poulies-courroie

La structure cinématique des unités de traction est donnée sur le document technique **DT6/16**. Pour transmettre le couple du moteur à la vis, une solution de transmission par poulie-courroie crantée est retenue.

On donne :

- fréquence de rotation nécessaire de la vis : $N_{\text{vis}} = 3000 \text{ tr/min}$ (quelle que soit la valeur trouvée précédemment),
- couple nécessaire sur la vis : $C_{\text{vis}} = 5 \text{ mN.m}$ (quelle que soit la valeur trouvée précédemment),
- nombre de dents de la poulie liée au moteur : $Z_m = 21$,
- nombre de dents de la poulie liée à la vis : $Z_v = 40$,
- rendement de la transmission de puissance par poulies-courroie : $\eta = 0,95$.

Question 12	Déterminer par le calcul le rapport de transmission de la transmission de puissance par poulies-courroie.
Question 13	En déduire la fréquence de rotation du moteur N_m nécessaire.
Question 14	En déduire aussi le couple moteur C_m nécessaire.

2.3- Choix de la motorisation et de sa commande

On impose les caractéristiques suivantes pour le choix du moteur et de sa commande.

- Moteurs de la marque Faulhaber ;
- Couple moteur nominal $C_m = 3 \text{ mN.m}$;
- Fréquence de rotation minimale $N = 6200 \text{ tr.min}^{-1}$ pour le couple $C_m = 3 \text{ mN.m}$;
- Tension moteur $U_m \leq 15 \text{ V}$;
- Encombrement minimum pour une intégration optimale dans le boîtier.

Critères de choix du moteur conseillés

Pour optimiser le fonctionnement du moteur et obtenir une durée de vie maximale, le fabricant Faulhaber propose les critères ci-dessous pour déterminer le point de fonctionnement à la tension nominale :

- la fréquence de rotation N doit être supérieure à la moitié de la vitesse à vide N_0 : $N > N_0/2$;
- le couple C_m doit être inférieur à la moitié du couple de démarrage C_d : $C_m < C_d/2$;

Question 15	En utilisant le document technique DT13/16 , compléter le document réponse DR2/5 avec tous les critères de choix pour N et C_m énoncés ci-dessus. Proposer ensuite, en justifiant votre réponse, le moteur répondant le mieux au besoin exprimé.
-------------	--

BTS CIM - Épreuve E4 - Conception préliminaire d'un système microtechnique			Session 2025
Code :	Durée : 4 heures	Coefficient : 2	TD3 / 8

Le bureau d'étude valide le choix du moteur FAULHABER 1741U012CXR et le DRIVER de puissance DRV8800 (**DT16/16**).

Question 16	Pour le couple nominal $C_m = 3 \text{ mN.m}$, repérer sur les courbes du document réponse DR2/5 le point de fonctionnement "couple/vitesse".
Question 17	Déterminer ensuite graphiquement la fréquence de rotation N du moteur en tr.min^{-1} et noter cette valeur sur le document réponse DR2/5 .
Question 18	Vérifier qu'elle remplit les conditions de fréquence de rotation exigée.
Question 19	Relever à l'aide du graphe la valeur du courant de blocage $I_{\max}$ du moteur.
Question 20	Vérifier que le choix du driver de puissance DRV8800 en DT16/16 utilisé pour la commande du moteur est compatible en termes de tension/courant avec le choix de ce moteur.

2.4- Représentation des solutions constructives d'une unité de traction

On souhaite anticiper la conception d'une partie d'une unité de traction en proposant, à main levée, des solutions constructives en faisant apparaître les mises en position (MIP), les maintiens en position (MAP) ainsi que les jeux et ajustements nécessaires.

On donne :

- nombre de dents de la poulie liée au moteur : $Z_m = 21$,
- nombre de dents de la poulie liée à la vis : $Z_v = 40$,
- largeur de la courroie : $l = 3 \text{ mm}$

Question 21	Sur le document réponse DR3/5, compléter le dessin d'ensemble, à partir des documents techniques DT 9/16, DT 11/16 et DT12/16, en représentant les solutions constructives suivantes : – le guidage en rotation de la vis par roulements à billes montés sur des supports de roulement (les roulements à billes sont déjà représentés), – l'assemblage complet par des vis auto-taraudeuses des supports de roulement avant et arrière sur le corps (tube profilé), – l'assemblage complet du moteur sur le support avant, – le système de transmission de puissance par poulies-courroie, – l'écrou du système vis-écrou à billes et l'assemblage entre l'écrou/crochet d'entraînement. On pourra représenter des vues supplémentaires si besoin.
-------------	---

Problématique 3 : Choisir la batterie en rapport avec l'autonomie indiquée dans le cahier des charges tout en minimisant l'encombrement

On vous donne ci-dessous le chronogramme modélisé d'une mesure du courant $i(t)$ fourni par la batterie lors d'un cycle d'utilisation du gant dans une condition de test standard.

$t = 0 \text{ s}$ à $t = 10 \text{ s}$: attente du serrage (unité de traitement seule) $\rightarrow i(t) = 0,10 \text{ A}$

$t = 10 \text{ s}$ à $t = 11 \text{ s}$: déplacement et phase de serrage $\rightarrow i(t) = 2,6 \text{ A}$

$t = 11 \text{ s}$ à $t = 16 \text{ s}$: maintien du serrage $\rightarrow i(t) = 0,50 \text{ A}$

$t = 16 \text{ s}$ à $t = 18 \text{ s}$: retour position origine $\rightarrow i(t) = 0,20 \text{ A}$



Les courants $i(t)$ seront considérés constants pendant tous les intervalles.

Question 22	Déterminer par le calcul la valeur moyenne $\langle I \rangle$ du courant pour ce cycle.
-------------	---

Après plusieurs cycles de test successifs pour les modes d'utilisation usuels du gant, les techniciens proposent d'adopter une valeur moyenne de courant $\langle I \rangle = 0,40 \text{ A}$.

Question 23	Rappeler le temps d'utilisation maximum prévu pour le gant dans le cahier des charges, puis déterminer par le calcul la quantité d'électricité Q nécessaire pour assurer l'autonomie souhaitée.
-------------	---

Question 24	En utilisant DT13/16 , proposer le modèle de batterie qui répond le mieux au besoin. Justifier votre choix.
-------------	---

Problématique 4 : Valider le choix des composants de la chaîne d'information pour capter la position des tendons

Sur la description fonctionnelle (DT6/16), on constate que la mesure de la force de serrage n'est pas la seule information transmise à la chaîne d'information. Dans le cas d'opérations fréquentes sur le même objet ou quand la force de serrage n'est pas le critère principal (objet très léger ou déformable), le programme de l'unité de traitement utilise une mesure du déplacement des tendons pour accélérer le processus de préhension.

Le bureau d'étude propose de placer un codeur incrémental IE2-XXX (DT14/16) sur chacun des 5 moteurs.

4.1-Validation du choix du capteur de position

L'étirement des tendons est directement en relation avec le nombre de tours effectués par le moteur. Il faut donc connaître avec précision la relation entre l'étirement et le nombre d'impulsions lu en sortie du codeur.

Question 25	On souhaite une résolution angulaire minimale de 1 degré sur l'axe moteur. Déterminer le nombre d'impulsions par tour qui permet de valider la valeur de résolution imposée.
Question 26	Le codeur étant choisi, vous devez fournir à l'équipe en charge du programme informatique le nombre d'impulsions générées par A ou B pour la course complète de l'écrou. Pour ce faire, on vous rappelle que la course complète de l'écrou nécessite 75 tours de vis, soit 155 tours moteurs.

4.2- Prise d'origine du système

Lors de la mise sous tension, il faut vérifier que les tendons sont bien relâchés et que le système est en position initiale. Les moteurs, commandés par le circuit de commande DRV8800 (DT16/16), doivent permettre le retour du système de traction à sa position d'origine.

Le cycle de fonctionnement programmé à la mise sous tension est le suivant :

1. Alimentation du moteur jusqu'au retour à la position d'origine (butée mécanique)
2. Détection du blocage moteur par le microcontrôleur
3. Coupure de son alimentation avec le mode freinage "lent"

Question 27	En utilisant la documentation du codeur incrémental (DT14/16) et les chronogrammes de A et B du document réponse DR4/5, préciser sur DR4/5 le sens de rotation du moteur pour les deux cas : • cas 1(retour origine) : $U_m < 0$ V • cas 3 (déplacement vers serrage) : $U_m > 0$ V
Question 28	Compléter ensuite sur le document réponse DR4/5 les états logiques sur les entrées du driver DRV8800 pour obtenir le fonctionnement décrit dans ces chronogrammes.

Question 29	Lorsque la position d'origine est atteinte, le moteur est dans la phase de blocage mécanique. Quelle caractéristique des signaux A et B peut être utilisée par le programme du microcontrôleur pour déterminer la mise en butée ?
Question 30	En vous aidant de la documentation du driver DRV8800 (DT16/16), proposer une autre solution technologique qui aurait permis de détecter le blocage du moteur à courant continu.

Problématique 5 : Proposer une Interface Homme-Machine (I.H.M.) pour visualiser le niveau de charge de la batterie et acquérir le niveau de force de serrage à atteindre conformément à FC2 (DT4/16)

5.1- Visualisation du niveau de batterie

Sur la télécommande, quatre diodes électroluminescentes blanches (**DT2/16 repère 1 schéma 7**) permettent d'afficher quatre niveaux de charge de la batterie. Lorsque le niveau de batterie devient critique ($<20\%$), une diode électroluminescente rouge (**repère 8 schéma 7**) allume le pictogramme . Ces cinq diodes électroluminescentes sont commandées par le port B du microcontrôleur conformément au tableau ci-dessous :

Taux de charge T	leds Blanches	Led Rouge	Valeur sur PORTB
$T < 20 \%$	○○○○	●	\$16
$20 \% < T < 40 \%$	○○○●	○	\$1
$40 \% < T < 60 \%$	○○●●	○	\$3
$60 \% < T < 80 \%$	○●●●	○	\$7
$T > 80 \%$	●●●●	○	\$15

Le niveau de batterie est mesuré à l'aide d'un convertisseur analogique-numérique (CAN) du microcontrôleur. La conversion fournit le nombre entier N_{CAN} .

Taux de charge T	N_{CAN}
$T = 100 \%$	859
$T = 80 \%$	828
$T = 60 \%$	796
$T = 40 \%$	767
$T = 20 \%$	736

Question 31	Compléter l'algorithme du document réponse DR4/5 afin d'obtenir l'affichage souhaité.
-------------	---

5.2- Acquisition de la force de serrage

Sur la description fonctionnelle **DT6/16** on voit que l'unité de traitement doit acquérir la force de serrage pour réaliser l'asservissement.

Le cahier des charges nous indique la force de serrage maximale sur la main.

Pour déterminer l'interface d'entrée, le constructeur souhaite prendre une marge de sécurité en adoptant une valeur maximale de force F rapportée sur un doigt égale à 20 N.

En utilisant le graphe du capteur de force (**DT15/16**),

Question 32	Relever à l'aide du graphe la valeur de la résistance R du capteur pour une force $F = 20$ N.
-------------	--

Dans sa documentation, pour mesurer la force de serrage, le constructeur du capteur propose comme interface le schéma structurel à amplificateur linéaire intégré donné sur DT15/16.

Question 33	Exprimer la tension V_+ en fonction de V_{dd} , R , et R_1 . L'intensité du courant dans la borne + sera considéré nul.
Question 34	En utilisant la relation de V_{OUT} fournie par le constructeur du capteur, déterminer par le calcul la valeur de la résistance R_1 afin que la tension V_{OUT} soit égale à 4 V pour la force de 20 N.
Question 35	Choisir la valeur de la résistance R_1 dans la série E12 (DT15/16) pour que la tension $V_{OUT} = 4$ V soit la valeur maximale à ne pas dépasser.

5.3- Acquisition de la force souhaitée par l'opérateur

La télécommande permet à l'utilisateur de sélectionner le niveau de force souhaitée par des appuis sur deux boutons poussoirs « + » et « - » (**repère 2 schéma 7 du DT2/16**).

Les boutons poussoirs sont reliés au port A d'un microcontrôleur.

Consignes de câblage à respecter :

- Le bouton poussoir « + » est relié à l'entrée PA0, le bouton poussoir « - » est relié à PA1
- Sans action de l'utilisateur, les entrées associées du microcontrôleur doivent lire un état logique « 0 »
- Lors d'un appui sur le bouton poussoir, les entrées associées du microcontrôleur doivent lire un état logique « 1 »

Question 36	Sur le document réponse DR5/5 En utilisant les composants proposés, compléter le schéma structurel afin de répondre aux consignes de câblage.
-------------	--

**BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR
CONCEPTION ET INDUSTRIALISATION EN
MICROTECHNIQUES**

**ÉPREUVE E4 :
CONCEPTION PRÉLIMINAIRE
D'UN SYSTÈME MICROTECHNIQUE**

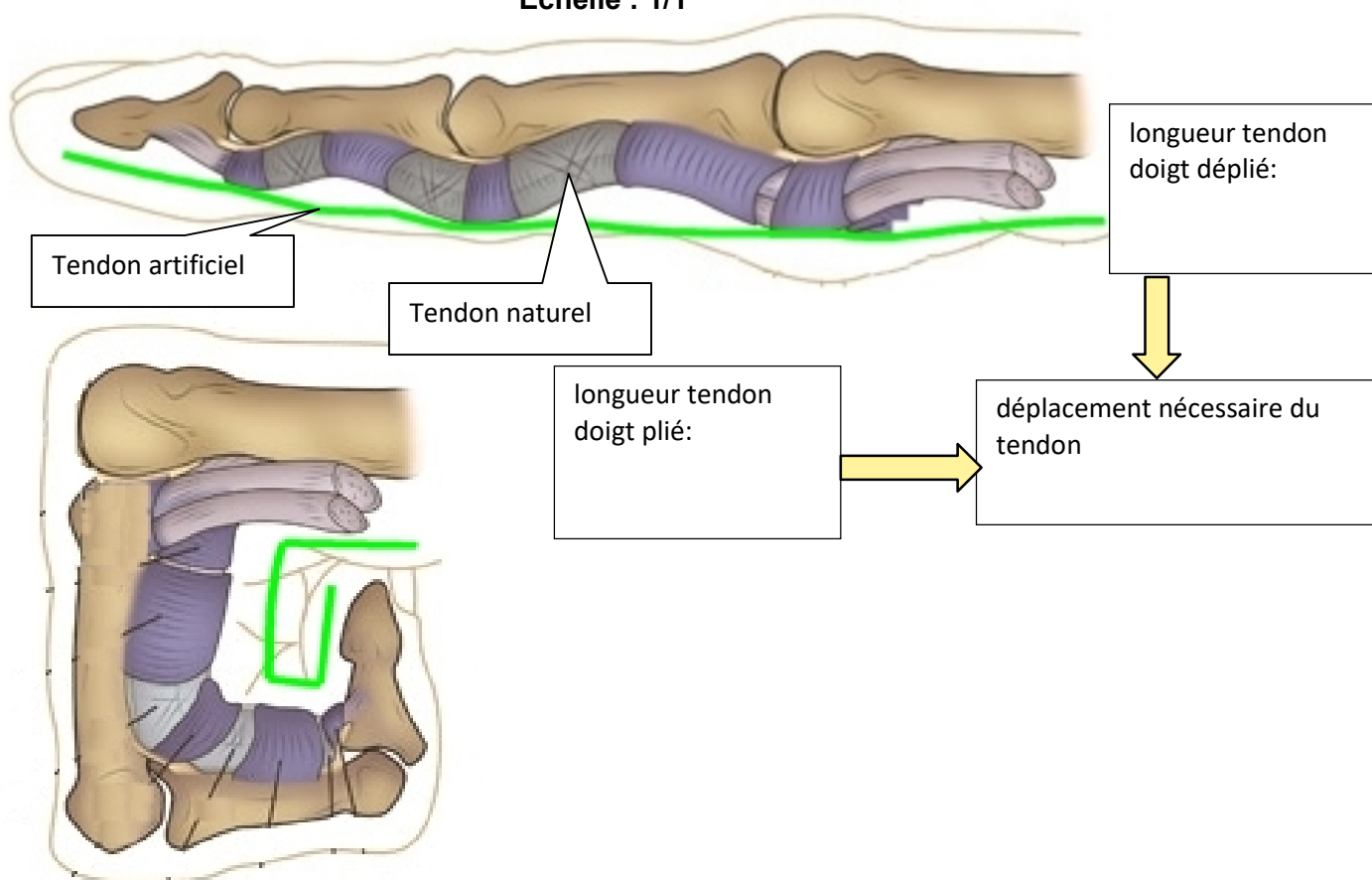
SESSION 2025

Durée : 4 heures
Coefficient : 2

DOSSIER DOCUMENTS RÉPONSES

Ce dossier comporte 5 pages repérées DR1/5 à DR5/5

BTS CIM - Épreuve E4 - Conception préliminaire d'un système microtechnique			Session 2025
Code :	Durée : 4 heures	Coefficient : 2	Page de garde

DR1**Question 4 :****Echelle : 1/1****Question 7 : Cocher les cases**

	Simplicité	Rendement	Fiabilité	Rigidité (réactivité)	Faible encombrement
Tambour d'enroulement					
Pignon crémaillère					
levier					
Vis écrou classique					
Vis écrou à bille					
Moteur linéaire					
Pignon /courroie d'entraînement					

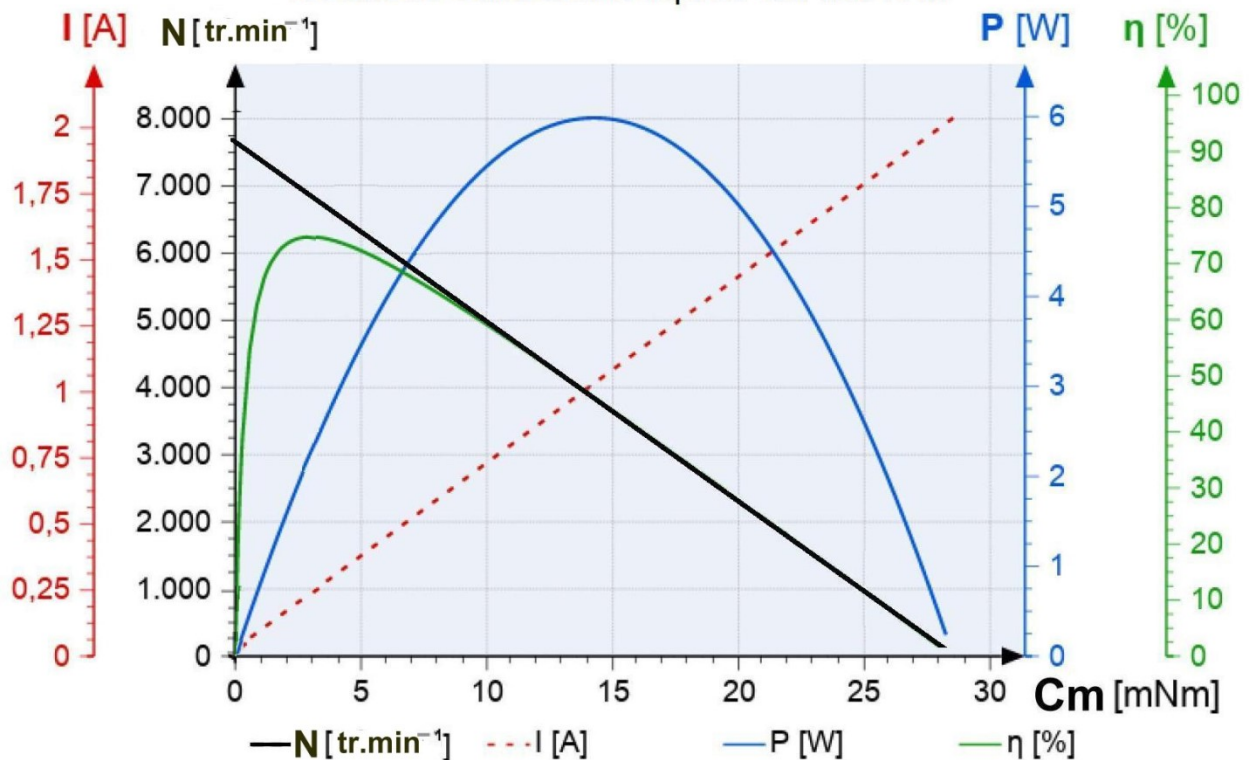
DR2**Question 15:**

MODELE	Respect du critère sur la tension d'alimentation OUI-NON	Respect du critère sur le Couple C_d OUI-NON	Respect du critère sur la fréquence de rotation N OUI-NON
FAULHABER SR 1016 012			
FAULHABER CXR 1741			
FAULHABER CR2657012			
FAULHABER S/G 1624 012S			

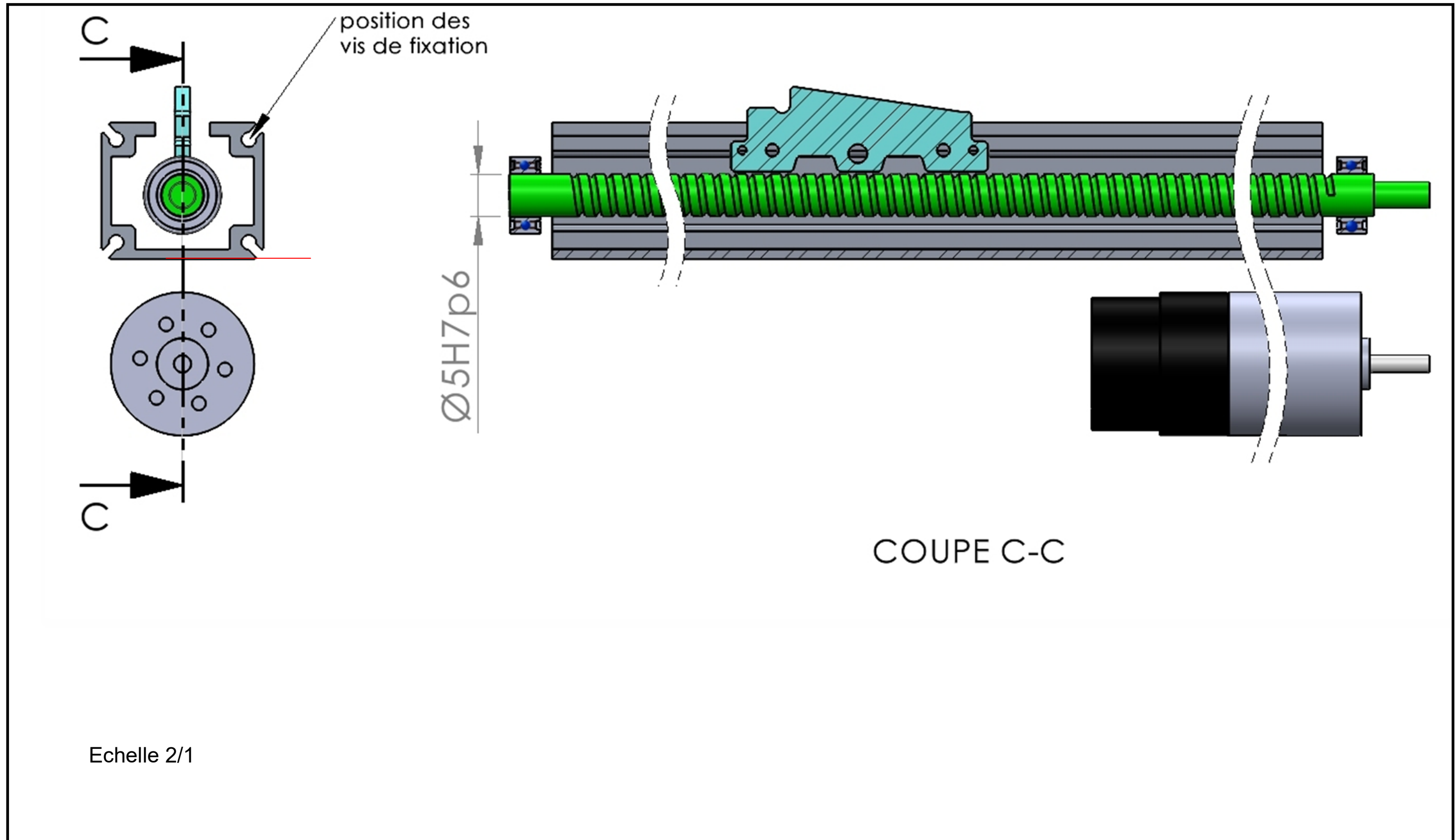
CHOIX DEFINITIF DU MOTEUR :
JUSTIFICATION :

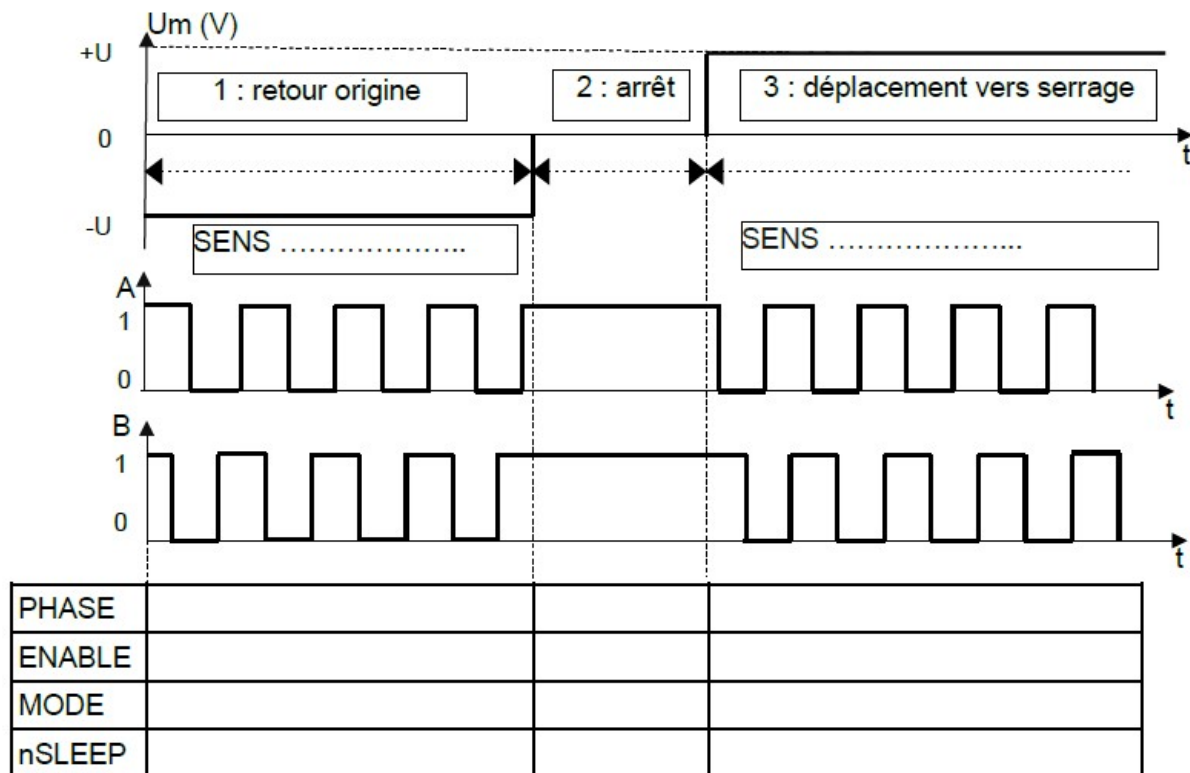
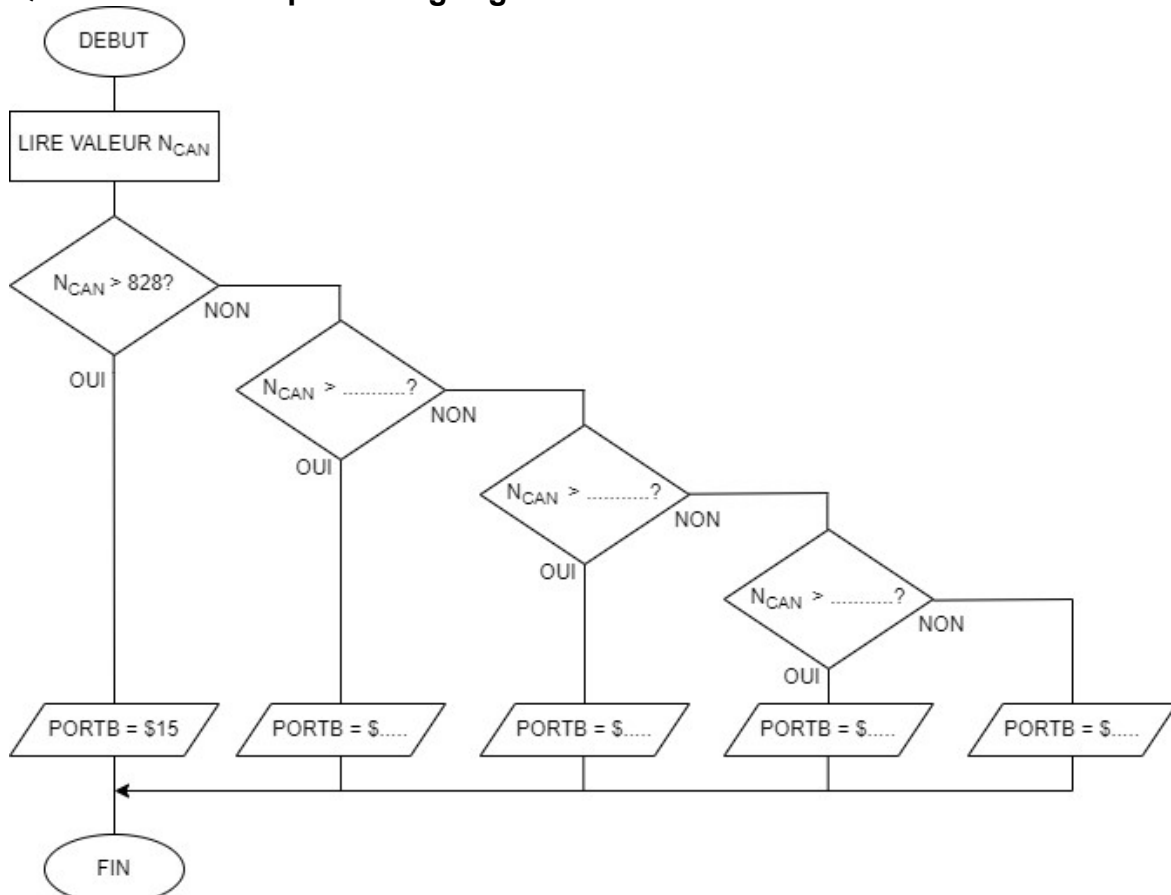
Questions 16 et 17:

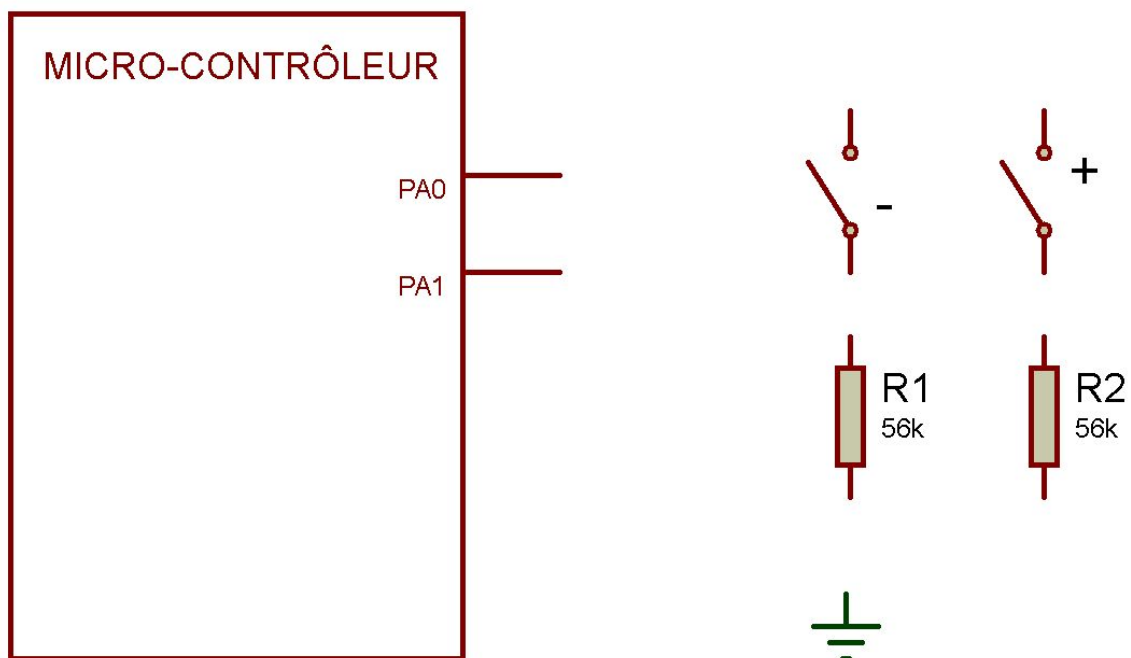
Courbes caractéristiques du moteur



Fréquence de rotation au couple nominal : $N =$

DR3**Question 21: Compléter le dessin d'ensemble**

DR4**Questions 27 et 28 :****Question 31 : compléter l'algorithme**

DR5**Question 36 : compléter le schéma structurel**

BTS CIM - Épreuve E4 - Conception préliminaire d'un système microtechnique			Session 2025
Code :	Durée : 4 heures	Coefficient : 2	DR5/5