

BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR CONCEPTION ET INDUSTRIALISATION EN MICROTECHNIQUES

ÉPREUVE E4 : CONCEPTION PRÉLIMINAIRE D'UN SYSTÈME MICROTECHNIQUE

SESSION 2025

Durée : 4 heures

Coefficient : 2

L'usage des calculatrices est autorisé dans les conditions suivantes :

- l'usage de calculatrice avec mode examen actif est autorisé ;
- l'usage de calculatrice sans mémoire, « type collège » est autorisé.

Information aux candidats : les candidats qui disposent d'une calculatrice avec mode examen devront l'activer le jour des épreuves et les calculatrices dépourvues de mémoire seront autorisées. Ainsi tous les candidats composeront sans aucun accès à des données personnelles pendant les épreuves.

Le sujet comporte 3 dossiers de couleurs différentes :

- **Dossier Technique (DT1/16 à DT16/16) jaune,**
- **Dossier Travail demandé (TD1/7 à TD8/8) vert,**
- **Dossier Documents Réponses (DR1/5 à DR5/5) blanc.**

Dès que le sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.

Les candidates ou les candidats rédigeront les réponses aux questions posées sur les « documents réponses » prévus à cet effet ou sur la feuille de copie.

Tous les documents réponses, même vierges, sont à remettre en fin d'épreuve et doivent être agrafés avec la feuille de copie.

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

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 TECHNIQUE

Ce dossier comporte 16 pages repérées de DT 1/16 à DT 16/16.

- | | |
|---|--------------------|
| • Mise en situation et présentation du produit | DT 1/16 à DT 2/16 |
| • Cahier des charges du gant bionique | DT 3/16 à DT 5/16 |
| • Constitution du gant et architecture du gant bionique | DT 6/16 |
| • Algorigramme de fonctionnement général | DT 7/16 |
| • Documentations techniques | DT 8/16 à DT 16/16 |

Mise en situation et présentation du produit

1- Les Troubles Musculo-Squelettiques de la main (T.M.S.)

Les mouvements répétitifs, les positions non naturelles de la main, ou encore la préhension serrée et prolongée peuvent générer des maladies professionnelles.

Les opérateurs et opératrices exposés à ces gestes sont sujets à différents symptômes :

- picotements dans les doigts,
- douleurs nocturnes,
- douleur diverse et engourdissement,
- perte de dextérité et de force dans la main,
- difficulté à pincer ou à saisir des objets,
- assèchement de la peau.

Ces symptômes peuvent être les signes avant-coureurs d'un **T.M.S.**

2- Les exosquelettes

Les exosquelettes d'assistance physique répondent à des besoins militaires, médicaux ou industriels. Ils visent à apporter une assistance physique à ceux qui les emploient. Cela peut concerner des personnes souffrant d'un handicap physique, des salariés soumis à des tâches fortement répétitives ou encore des militaires en opération.

Une société conçoit, fabrique et commercialise une large gamme d'exosquelettes industriels pour assister les opérateurs dans :

- la manutention de charge,
- les travaux avec bras en hauteur,
- les postures pénibles et répétitives.



Elle dispose déjà d'exosquelettes pour la main qui assistent les opérateurs et les opératrices sur des postes fixes comme sur la figure ci-dessus.

3- Le gant bionique

L'exosquelette actuel nécessite un raccordement filaire à une source d'énergie électrique.

Afin d'élargir sa gamme de produits, la société souhaite maintenant développer un modèle nomade, autonome en énergie.

Pour répondre au besoin, la création du nouveau produit devra intégrer les exigences ci-dessous :

- un encombrement minimal des composants ;
- une autonomie en énergie compatible avec un temps de travail journalier ;
- une réactivité adaptée.



BTS CIM - Épreuve E4 - Conception préliminaire d'un système microtechnique			Session 2025
Code :	Durée : 4 heures	Coefficient : 2	DT1 / 16

4- Les constituants du gant bionique

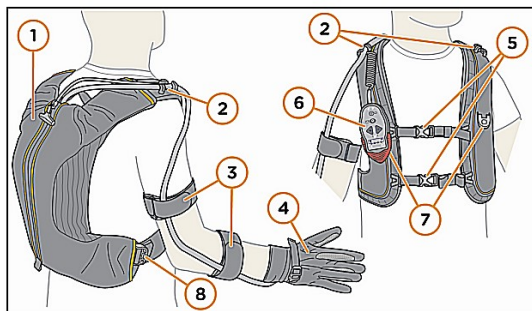


Schéma 3 : les composants du système Ironhand

Élément	Nom	Fonction
1	Harnais avec bloc d'alimentation	Protège le bloc d'alimentation
2	Collier du cordon	Maintient les cordons en place
3	Brassards	Maintiennent le cordon attaché à votre bras
4	Gant	Assure la force de prise
5	Sangles de fermeture ventrales	Relie les bretelles
6	Télécommande	Réglages par l'utilisateur
7	Support de la télécommande	Maintient la télécommande en place
8	Sangle latérale	Sert à attacher le harnais de façon confortable



Prototype du bloc de commande et d'alimentation avec sa télécommande

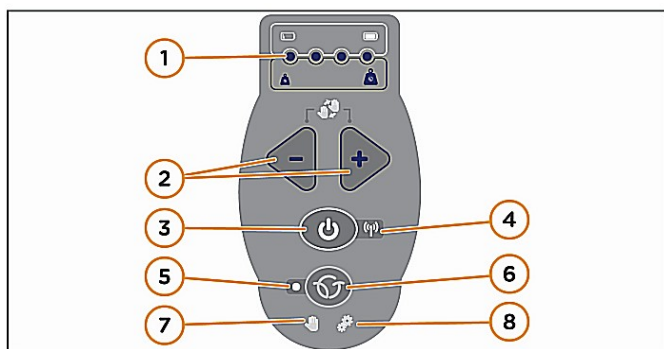


Schéma 7 : télécommande d'Ironhand.

Élément	Nom	Fonction
1	LED	Indique en blanc le niveau de la batterie ou en bleu le niveau de force.
2	Réglage de la force	Une simple pression permet de régler le niveau de force.
3	Bouton ON/OFF	Maintenez-le enfoncé pendant environ 1 seconde pour allumer ou éteindre le système. Double-cliquez pour activer/désactiver le WiFi.
4	Voyant WiFi	Clignotant = la fonctionnalité WiFi est activée. Fixe = connecté au WiFi.
5	Voyant de sélection du profil	Éteint = profil principal ; allumé = profil secondaire.
6	Bouton de sélection du profil	Une simple pression permet de sélectionner le profil.
7	Voyant d'état du gant	Indique les erreurs relatives au gant.
8	Voyant d'état du bloc d'alimentation	Indique les erreurs relatives au bloc d'alimentation.

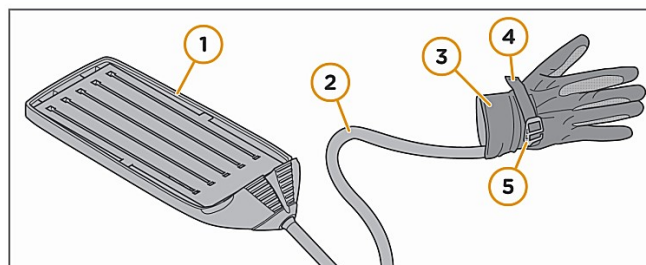


Schéma 5 : gant et connecteur de Ironhand.

Élément	Nom	Fonction
1	Connecteur	Connecte le gant au bloc d'alimentation
2	Cordon	Transmet les données sensorielles et la force
3	Gant	Assure la force de prise
4	Sangle	Attache le gant à la main
5	Boucle	Maintient et détend la sangle

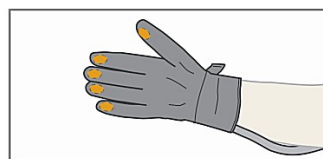
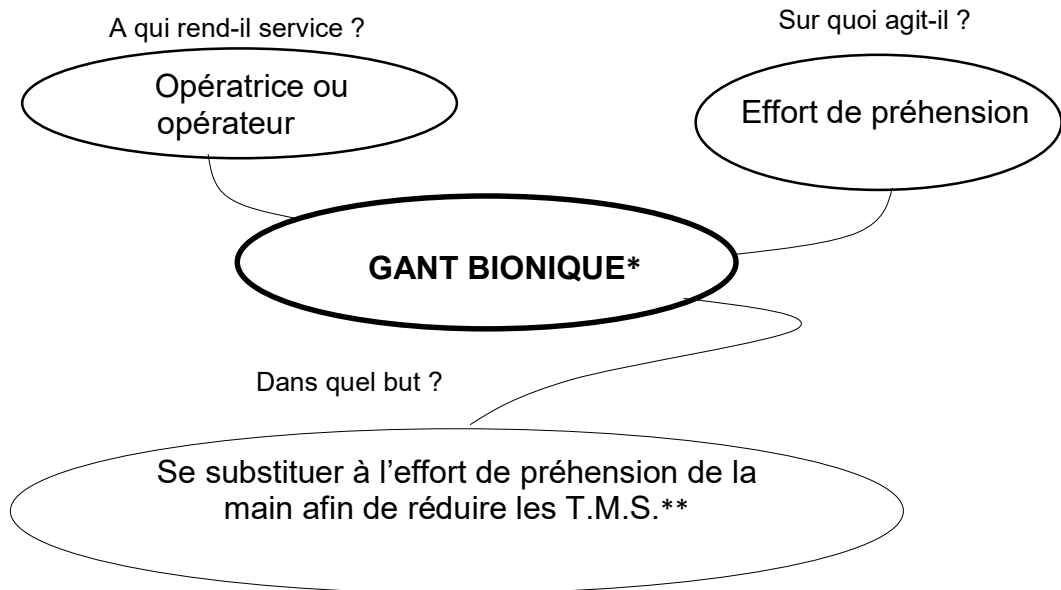


Schéma 6 : capteurs d'Ironhand.

Nom	Fonction
Capteurs sensoriels	Fournissent des données au bloc d'alimentation

Cahier des charges du gant bionique

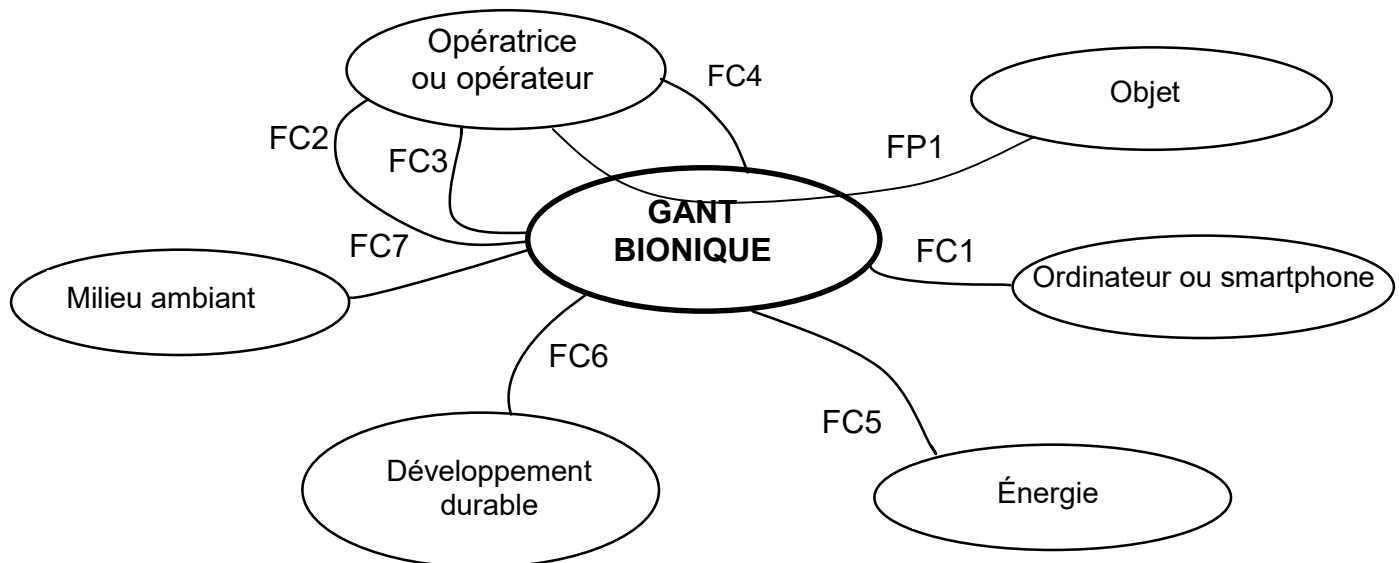
1- Expression du besoin :



* : Gant bionique: gant + cordon + bloc d'alimentation + télécommande

** : Troubles Musculo-Squelettiques

2- Recensement des fonctions de services et des contraintes



FP1 : Fournir l'effort de préhension nécessaire pour la saisie d'un objet

FC1 : Permettre la connexion de l'ordinateur ou smartphone au gant bionique

FC2 : Dialoguer avec l'opératrice ou l'opérateur

FC3 : S'adapter à chaque opératrice ou opérateur

FC4 : Être ergonomique

FC5 : Être autonome en énergie

FC6 : Limiter l'impact environnemental

FC7 : S'adapter au milieu ambiant

BTS CIM - Épreuve E4 - Conception préliminaire d'un système microtechnique			Session 2025
Code :	Durée : 4 heures	Coefficient : 2	DT3 / 16

3- Caractérisation des fonctions de services et des contraintes

FP1 : Fournir l'effort de préhension nécessaire pour la saisie d'un objet		
Critères	Niveaux	Flexibilité
Force de serrage	75 Newtons par main (5 doigts) $\pm 5\%$	F0
Temps de serrage complet	1,5 seconde maximum	F0

FC1 : Permettre la connexion de l'ordinateur ou smartphone au gant bionique		
Critères	Niveaux	Flexibilité
WIFI	Protocole: 802.11 b/g/n/e/i (802.11n jusqu'à 150 Mb/s)	F0

FC2 : Dialoguer avec l'opératrice ou l'opérateur		
Critères	Niveaux	Flexibilité
Indication du niveau batterie et du niveau de force	Affichage avec 4 leds bicolores : – blanches (batterie) – bleues (force) Par led rouge pour erreur de la batterie	F1
Réglage du niveau de Force	2 Boutons-poussoirs + et -	F0
Marche/Arrêt	Bouton unique ON/OFF	F0
Visualisation de l'état de connexion du Wifi	Par led	F1
Profil utilisateur réglable* : - nombre - sélection - affichage	Deux profils Par bouton-poussoir Par led :	F1
Visualisation de l'état système du gant	Par led pour l'erreur du système	F1

* Le gant peut être pré-réglé pour différents utilisateurs

FC3 : S'adapter à chaque opératrice ou opérateur		
Critères	Niveaux	Flexibilité
Taille Préférence manuelle	4 tailles : S-M-L-XL Main droite ou main gauche	F0

FC4 : Être ergonomique		
Critères	Niveaux	Flexibilité
Masse du gant	20 g maximum	F1
Masse de l'unité motrice Masse du harnais	2 kg maximum 0,5 kg maximum	F1
Dimension maximale du bloc d'alimentation	L = 300, l = 120, H = 75	F0

FC5 : Être autonome en énergie		
Critères	Niveaux	Flexibilité
Type de batterie	LI-ion 15 V maximum	F1
Autonomie	6 h à 8 h suivant utilisation	F0

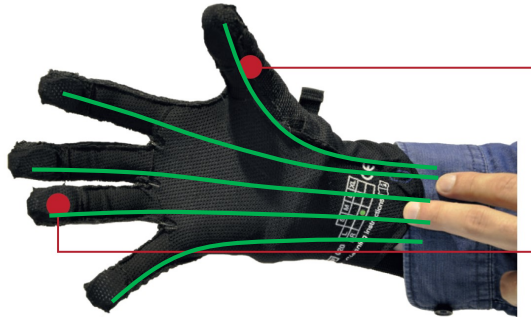
FC6 : Limiter l'impact environnemental		
Critères	Niveaux	Flexibilité
Durée de vie de l'unité motrice	2 ans ou 1 million de cycles d'utilisation	F1
Durée de vie du gant	2 mois ou 100 000 cycles de serrage	F1
Batterie	Recyclable	F0
Matériaux	Nombre de familles de matériaux limités	F1
Composants électroniques	Interchangeables	F0

FC7 : S'adapter au milieu ambiant		
Critères	Niveaux	Flexibilité
Classe IP	IP4X	F0

Signification des classes de flexibilité :

F0	Impératif
F1	Un peu négociable
F2	Moyennement négociable
F3	Négociable

Constitution du gant et architecture du gant bionique



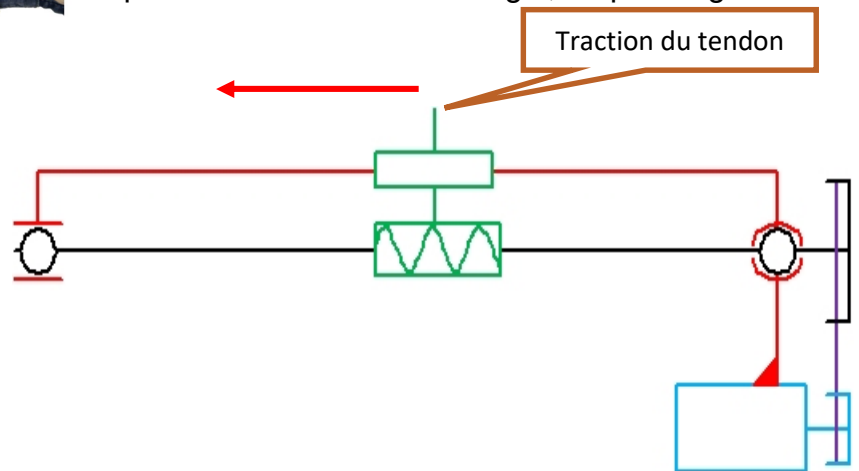
Le gant est équipé de cinq tendons synthétiques intégrés dans chaque doigt du tissu du gant.

Ils peuvent développer une force de l'ordre de quinze Newtons chacun en se substituant à la force qu'aurait dû développer l'opérateur.

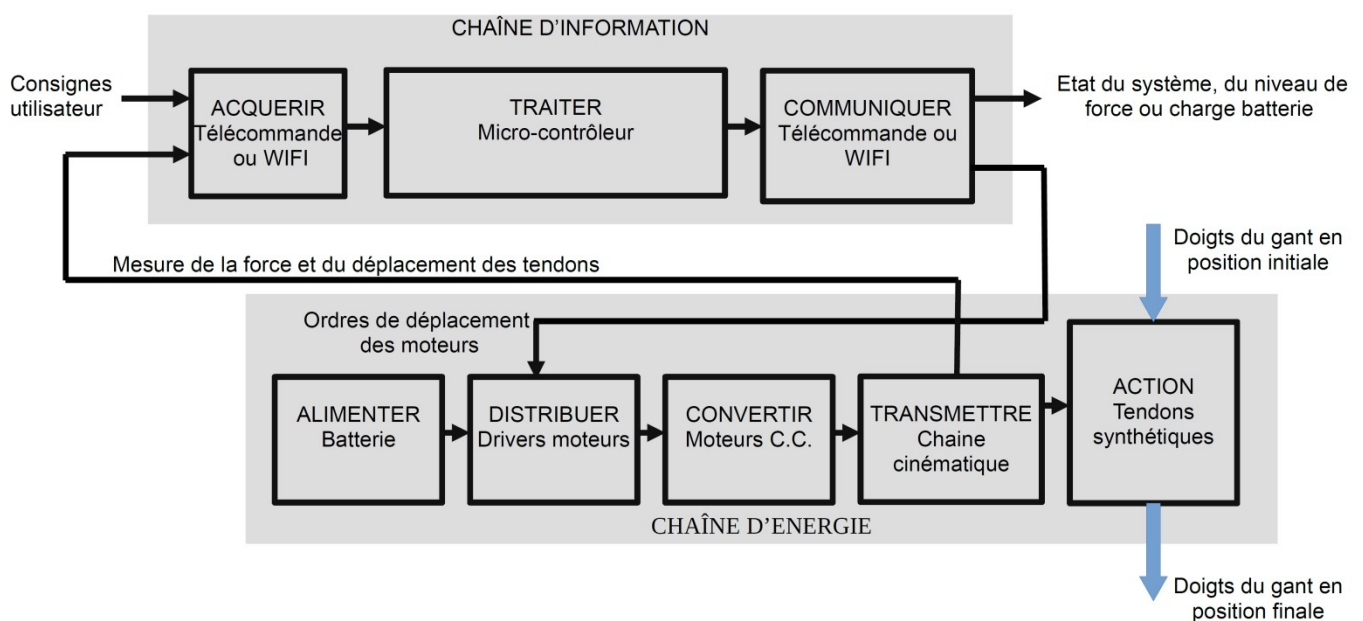
Le gant est équipé de cinq capteurs de pression au niveau des doigts, un par doigt.

Chaque tendon est actionné par une unité de traction.
Chaque unité de traction est constituée d'un moteur électrique, d'une transmission par poulies-courroie et d'un système vis-écrou.

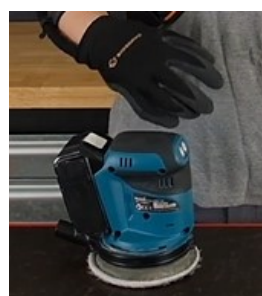
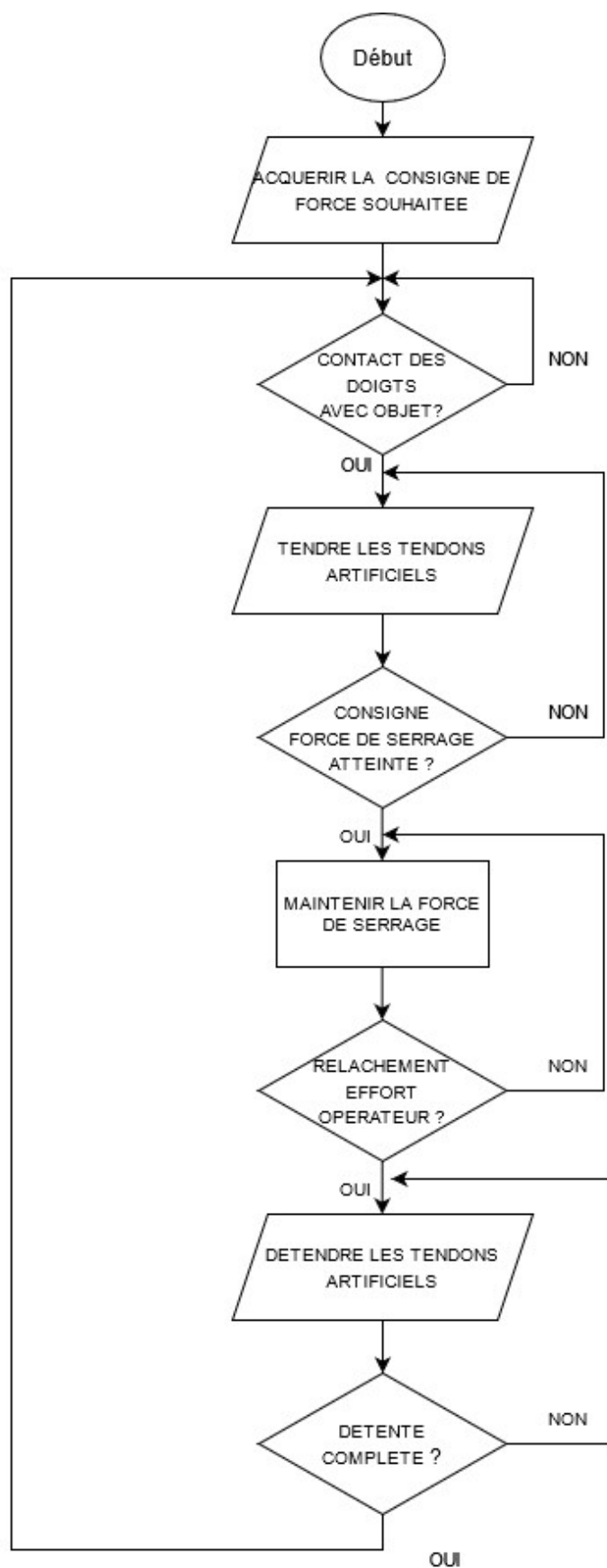
Chaque unité de traction fonctionne de manière indépendante.



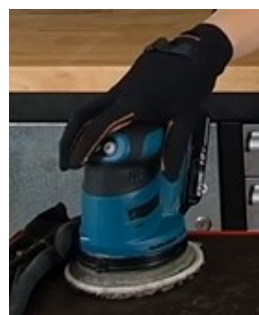
Architecture du gant bionique



Algorithme de fonctionnement général



Contact



Serrage



Relâchement

Propriétés mécaniques des matériaux

Matériaux	Resistance à la traction	Module d'Young E (Gpa)
polyamides	80 MPa	3
Polyéthylène Haut Module (HMPE)	3.6 GPa	116
Fibre de lin	1.1 GPa	80
Fibre de verre	2.5 GPa	70
polyester	66 MPa	3.4
Polypropylène	27 MPa	1.5
Kevlar	3.1 GPa	80

Formulaire de traction

loi de Hooke :

$$\left\{ \begin{array}{l} \sigma = E \cdot \varepsilon = E \cdot \frac{\Delta L}{l} \\ \sigma = \frac{N}{S} \end{array} \right. \Rightarrow \Delta L = \frac{N \cdot l}{E \cdot S}$$

σ : Contrainte en MPa (N/mm²)

ΔL : allongement en mm

N : effort normal en Newton (N)

l : longueur soumise à la traction en mm

S : surface de la section en mm²

E : module de Young en MPa (N/mm²)

Solutions technologiques

	Avantages	Inconvénients
Tambour d'enroulement	Simplicité Prix --	Encombrement Risque d'usure du fil par frottement
Pignon crémaillère	Simplicité Prix --	Encombrement Risque d'usure
levier	Simplicité Prix --	Encombrement important pour course longue
Vis écrou classique	Simplicité Prix – Rigidité Système compact	Mauvais rendement Risque d'usure
Vis écrou à bille	Simplicité Très bon rendement rigidité Système compact	Prix +
Moteur linéaire	Simplicité Pas d'usure rigidité	Prix +++ Encombrement Masse +
Pignon /courroie d'entraînement	Prix – Bon rendement	Complexité mécanique Risque d'usure Flexibilité

Caractéristiques des vis à billes

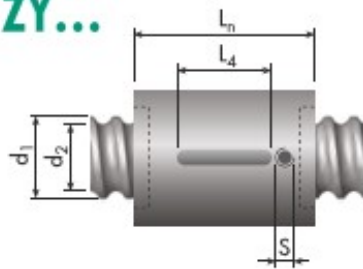
Dimensions

Carry vis à billes

ø4/5/6

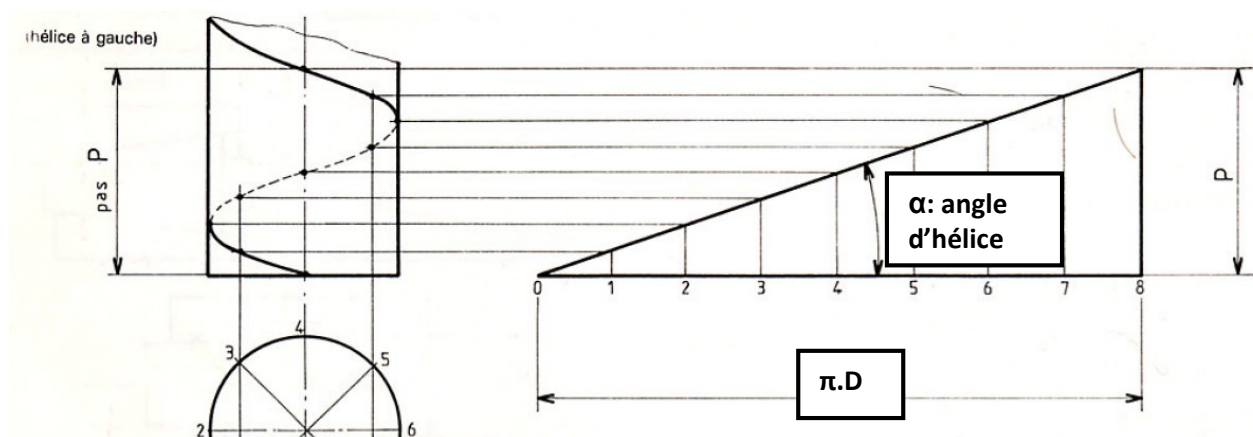
Ecrou cylindrique

ZY...



Dimension nominale d ₀ ×p [mm]	Recirculation de billes Type	Coûts relatifs	Filet à droite / à gauche	Dimensions [mm]													Capacité de charge [N]		Dimension nominale d ₀ ×p [mm]
				Vis	Ecrou												C _{dyn}	C _{stat}	
4×1	...I 	€€€	RH / —	d ₁	d ₂	D ₁	L _n	L ₄	L ₈ h13	i	D _w	B +0.5/0	b p9	t	T _{max}	C _{dyn}	C _{stat}	4×1	
5×2	...I 	€€€	RH / —	5.0	4.0	10 g6	14	8	—	3×1	0.80	—	2	1.0	0.03	500	800	5×2	
6×1	...I 	€€€	RH / —	6.0	5.0	12 g6	14	8	—	3×1	0.80	—	2	1.2	0.03	600	1 000	6×1	

Hélice et pas de vis



Calcul des systèmes vis - écrou

60 ■ 33

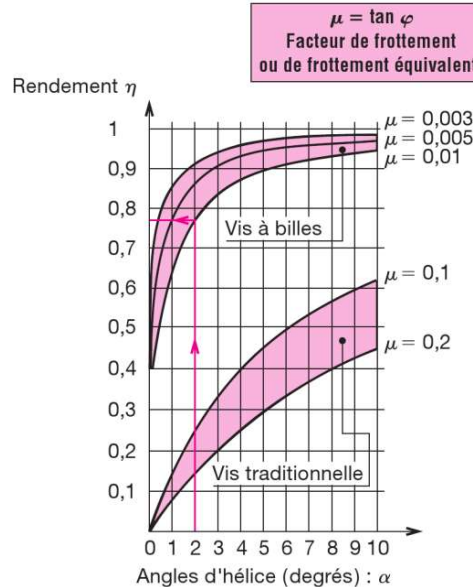
VALEURS DE RENDEMENTS DE MÉCANISMES

Pour les calculs de rendements de mécanismes :

- soit on calcule les valeurs à partir de relations faisant intervenir le facteur de frottement entre matériaux (voir chapitre 12 et chapitre 31).
- soit on utilise les valeurs expérimentales du tableau ci-dessous. Une place particulière est faite aux systèmes vis-écrou à billes, étant donné leur importance dans les parties opératives des machines à commandes d'axes numériques et des systèmes asservis.

Mécanismes particuliers	Rendement η
Arbres sur paliers à roulements	0,98
Arbres sur paliers lisses bien lubrifiés	0,95
Commandes par courroie	0,95
Engrenages droits rectifiés, bien lubrifiés	0,98
Engrenages taillés, bien lubrifiés	0,95 à 0,97
Arbres sur paliers lisses à graissage discontinu	0,9 à 0,92
Engrenages taillés mal lubrifiés	0,9 à 0,92
Engrenages bruts de matriçage, selon montage et entretien	0,75 à 0,85
Roue et vis sans fin :	
- réversible bien lubrifié	0,4 à 0,8
- irréversible, lubrifié à la graisse	0,3 à 0,4
Vis et écrou d'assemblage (irréversible)	0,15 à 0,3

Rendement η des vis-écrou à billes (utilisation normale)*



* D'après Korta. Utilisation normale : tourner la vis pour obtenir un déplacement en translation de l'écrou.

Rendement η (théorique)

en fonction de la nature de la transmission de force

- Cas 1 : couple $\rightarrow$ déplacement linéaire

$$\eta = \frac{\tan \alpha}{\tan (\alpha + \mu)} \quad [-]$$

- Cas 2 : force axiale $\rightarrow$ mouvement rotatif

$$\eta' = \frac{\tan (\alpha - \mu)}{\tan \alpha} \quad [-]$$

... où l'on a respectivement :

$$\tan \alpha = \frac{p}{d_0 \cdot \pi} \quad [-]$$

η = rendement [%]

η' = rendement corrigé [%]

p = pas du filetage [mm]

d_0 = diamètre nominal de la vis [mm]

μ = angle de frottement [°] $\rightarrow \rho = 0,30 \dots 0,60^\circ$

Rendement η_p (en pratique)

Le rendement η se situe, pour une vis à billes Carry, à plus de 0,9

Couple d'entraînement/couple de sortie M
en fonction du type de la transmission de force

- Cas 1 : couple $\rightarrow$ déplacement linéaire

$$M_o = \frac{F_a \cdot p}{2000 \cdot \pi \cdot \eta} \quad [\text{Nm}]$$

- Cas 2 : force axiale $\rightarrow$ mouvement rotatif

$$M_e = \frac{F_a \cdot p \cdot \eta'}{2000 \cdot \pi} \quad [\text{Nm}]$$

M_o = couple d'entraînement [Nm], cas 1

M_e = couple de sortie [Nm], cas 2

F_a = force axiale [N]

p = pas du filetage [mm]

η = rendement [%]

η' = rendement corrigé [%]

Puissance d'entraînement P

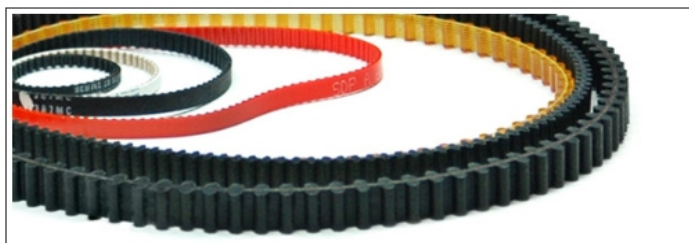
$$P = \frac{M_o \cdot n}{9550} \quad [\text{kW}]$$

P = puissance d'entraînement [kW]

n = vitesse [min⁻¹]

Transmission par poulies et courroie

Courroies



A 6R51M033060

pas de 1mm, 72 dents, largeur 3mm,
denture simple face, neoprene renforcé fibre de verre

Poulies



Numéro d'article	pas	Nombre de dents		Largeur de courroie (mm)	Alésage (mm)	Configuration de la bride et du moyeu	Diamètre extérieur (mm)	Longueur totale (mm)	Diamètre du moyeu (mm)	Prix
Un 6A18M021DF3003	1 mm	21	Alliage d'aluminium	3,00	3,00	2 brides/avec moyeu	6.5	11	9.00	11,93
Un 6A18M040DF3004	1 mm	40	Alliage d'aluminium	3,00	4.00	2 brides/avec moyeu	13	11	14.90	13,09
Un 6A18M040DF3003	1 mm	40	Alliage d'aluminium	3,00	3,00	2 brides/avec moyeu	13	11	14.90	13,09
Un 6A18M021DF3002	1 mm	21	Alliage d'aluminium	3,00	2,00	2 brides/avec moyeu	6.5	11	9.00	11,93

Visserie

Vis autotaraudeuses

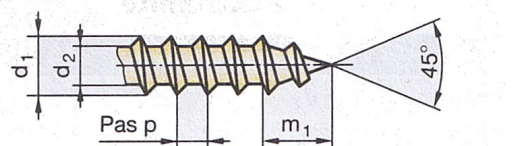
Il existe deux types d'extrémités pour les vis autotaraudeuses :

■ **Les vis à bout pointu, symbole C**, utilisées pour les tôles minces ($e < 1,5$ mm).

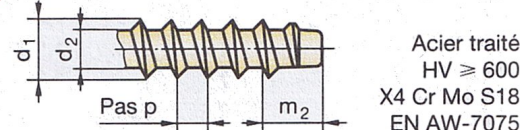
■ **Les vis à bout plat, symbole F**, utilisées pour les tôles plus épaisses, les métaux tendres et les matières plastiques.

Ces vis se fabriquent suivant différents types de têtes et différentes formes d'empreintes.

Bout pointu



Bout plat

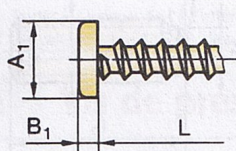


d nominal	A ₁ max.	B ₁ max.	A ₂ max.	B ₂ max.	A ₃ max.	B ₃ max.	d ₁ max.	d ₂ max.	p ≈	m ₁ ≈	m ₂ ≈	L (entièrement fileté)	n
ST 2,2	4	1,3	4,4	0,5	3,2	1,6	2,24	1,63	0,8	2	1,6	4,5-6,5-9,5-13-16	0
ST 2,9	5,6	1,8	6,3	0,7	5	2,3	2,9	2,18	1	2,6	2,1	6,5-9,5-13-16-19	10
ST 3,5	7	2,1	8,2	0,8	5,5	2,6	3,53	2,64	1,3	3,2	2,5	6,5-9,5-13-16-19	15
ST 4,2	8	2,4	9,4	1	7	3	4,22	3,10	1,4	3,7	2,8	9,5-13-16-19-22-25	20
ST 4,8	9,5	3	10,4	1,2	8	3,8	4,8	3,58	1,6	4,3	3,2	9,5-13-16-19-22-25-32	25
ST 5,5	11	3,2	11,5	1,3	8	4,1	5,46	4,17	1,8	5	3,6	13-16-19-22-25-32	25
ST 6,3	12	3,6	12,6	1,4	10	4,7	6,25	4,88	1,8	6	3,6	13-16-19-22-25-32-38	30

Formes de tête

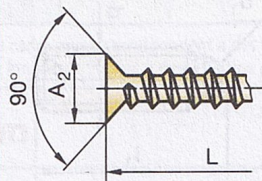
Tête cylindrique large

Fendue : NF EN ISO 1481
Cruciforme : NF EN ISO 7049
Six lobes : NF EN ISO 14585



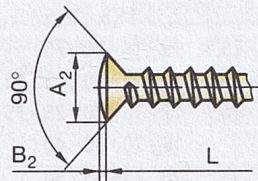
Tête fraisée plate

Fendue : NF EN ISO 1482
Cruciforme : NF EN ISO 7050
Six lobes : NF EN ISO 14586



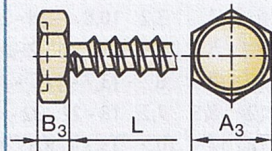
Tête fraisée bombée

Fendue : NF EN ISO 1483
Cruciforme : NF EN ISO 7051
Six lobes : NF EN ISO 14587



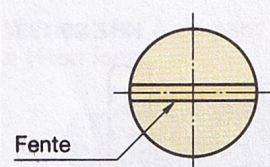
Tête hexagonale

NF EN ISO 1479

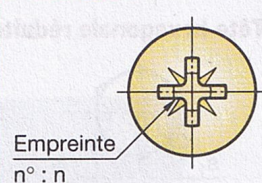


Formes d'empreinte

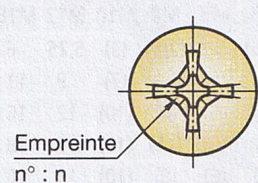
Fendue



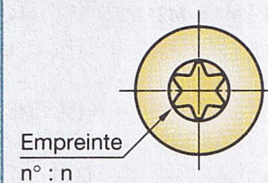
Cruciforme – Type Z « Pozidriv »



Cruciforme – Type H « Phillips »



Six lobes internes « Torx »



Moteurs

FAULHABER SR 1016 012 	FAULHABER CXR 1741 
Ø 10 mm Longueur 16 mm Tension nominale 12 V Vitesse à vide $N_0 = 14100 \text{ tr.min}^{-1}$ Couple de démarrage $C_d = 2,32 \text{ mNm}$	Ø17 mm Longueur 41 mm Tension nominale 12 V Vitesse à vide $N_0 = 7600 \text{ tr.min}^{-1}$ Couple de démarrage $C_d = 27,9 \text{ mNm}$
FAULHABER CR 2657 012 	FAULHABER S/G 1624 012S 
Ø 26 mm Longueur 57 mm Tension nominale 12 V Vitesse à vide $N_0 = 6300 \text{ tr.min}^{-1}$ Couple de démarrage $C_d = 278 \text{ mNm}$	Ø 16mm Longueur 24 mm Tension nominale 12 V Vitesse à vide $N_0 = 13000 \text{ tr.min}^{-1}$ Couple de démarrage $C_d = 4,23 \text{ mNm}$

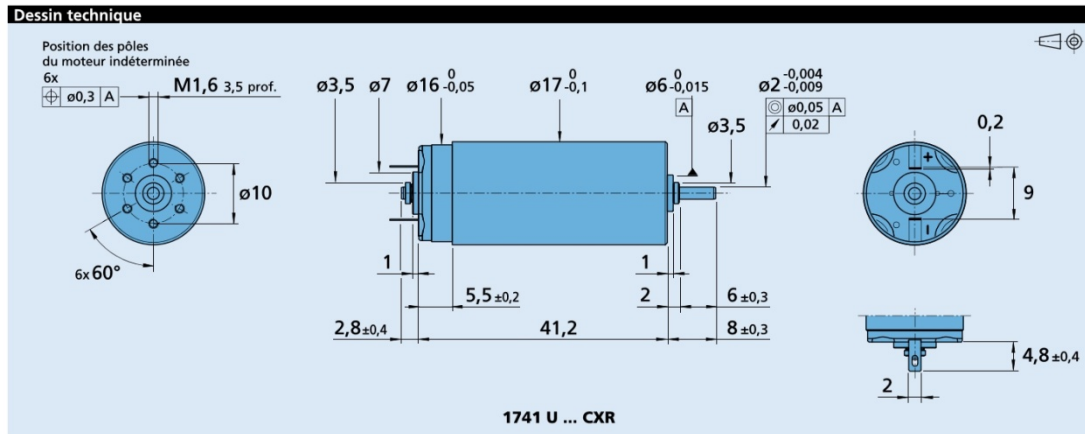
Batteries

RRC2024	RRC2054-2	RRC2054
		
Caractéristiques Batterie Lithium-ion Tension nominale : 14,4 V Capacité nominale : 6,60 A.h Energie : 95,0 W.h Longueur : 167 mm Largeur : 107 Hauteur : 21 mm	Caractéristiques Batterie Lithium-ion Tension nominale : 14,4 V Capacité nominale : 6,9 A.h Energie : 99,4 W.h Longueur : 150 mm Largeur : 77 Hauteur : 22 mm	Caractéristiques Batterie Lithium-ion Tension nominale : 14,4 V Capacité nominale : 3,45 A.h Energie : 49,7 W.h Longueur : 85 mm Largeur : 77 Hauteur : 22 mm

BTS CIM - Épreuve E4 - Conception préliminaire d'un système microtechnique			Session 2025
Code :	Durée : 4 heures	Coefficient : 2	DT13 / 16

Moteur FAULHABER 1741U012CXR avec codeur incrémental

Tension nominale : 12 V
 Résistance induit : 5,8 Ω
 Rendement max : 74 %
 Vitesse à vide : $N_0 = 7600 \text{ tr.min}^{-1}$
 Courant à vide : $I_0 = 0,028 \text{ A}$
 Couple de démarrage : $C_d = 27,9 \text{ mN.m}$
 Constante de fem : $K_e = 1,496 \text{ mV/ min}^{-1}$
 Constante de couple : $K_c = 14,29 \text{ mN.m/A}$



Codeurs

codeurs magnétiques, sorties digitales,
2 canaux, 64 - 1024 impulsions par tour



Combinaisons avec
 Micromoteurs C.C.
 Moteurs C.C. sans balais

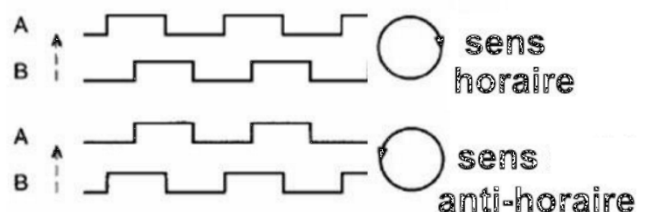
Série IE2-1024

		IE2-64	IE2-128	IE2-256	IE2-512	IE2-1024	
Nombre d'impulsions par tour	N	64	128	256	512	1 024	kHz
Gamme de fréquence, jusqu'à ¹⁾	f	20	40	80	160	300	Canaux
Nombre de signaux de sortie (forme carrée)		2					V
Tension d'alimentation	U_{DD}	4,5 ... 5,5					mA
Consommation moyenne ²⁾	I_{DD}	typ. 9,5, max. 13					mA
Courant de sortie, max. ³⁾	I_{OUT}	5					°e
Déphasage des signaux entre canal A et B	Φ	90 $\pm$ 45					μs
Temps de transition du signal, max. ($C_{LOAD} = 50 \text{ pF}$)	tr/tf	0,1 / 0,1					gcm^2
Inertie du disque ⁴⁾	J	0,09					°C
Température d'utilisation		-25 ... +85					



Alimentation moteur
Connectique codeur

No.	Fonction
1	Moteur - *
2	Moteur + *
3	GND
4	U_{DD}
5	Canal B
6	Canal A



Le codeur incrémental disposé sur le moteur permet de connaître le sens de rotation grâce à deux signaux A et B disponibles en sortie. Le déphasage entre A et B dépend du sens de rotation.

Le codeur incrémental permet aussi de connaître la fréquence rotation du moteur. Le nombre d'impulsions sur A ou sur B par tour moteur dépend du choix du codeur : 64, 128, 256, 512 ou 1024 impulsions par tour sont possibles.

BTS CIM - Épreuve E4 - Conception préliminaire d'un système microtechnique	Session 2025
Code :	Durée : 4 heures Coefficient : 2 DT14 / 16

Capteur FSR

Description : le capteur de force de type FSR (**F**orce **S**ensing **R**esistor) permet de détecter une pression physique sur un support.

Caractéristique électrique des capteurs de la gamme :

L'abscisse correspond à la force appliquée sur une surface de 1cm² du capteur.

L'ordonnée est la résistance correspondante du capteur exprimée en kilo-ohms.

Sa courbe caractéristique montre que sa résistance décroît en fonction de la force appliquée sur le capteur. Les échelles sont de type logarithmiques

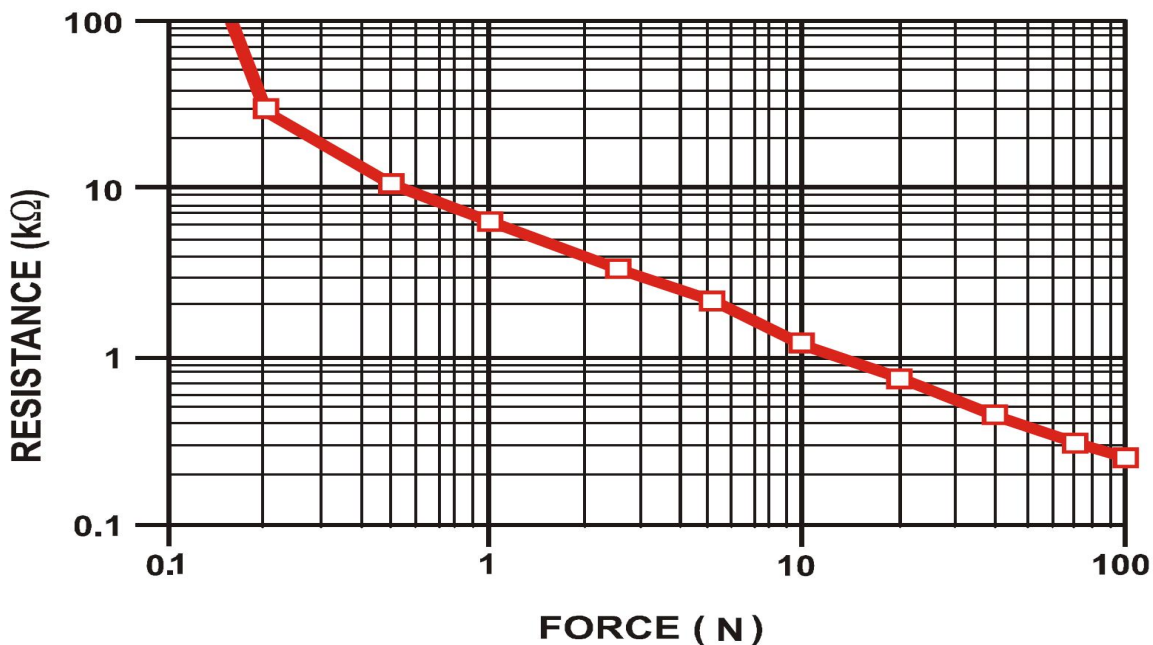
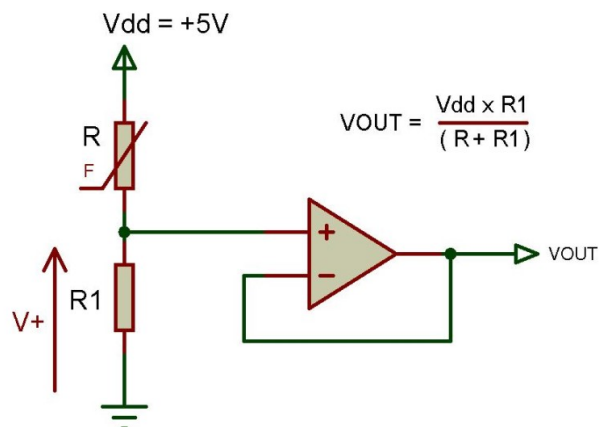


Schéma proposé par le constructeur du capteur pour l'interface vers l'unité de traitement



Série normalisée E12 :

10 - 12 - 15 - 18 - 22

27 - 33 - 39 - 47 - 56 - 68 - 82

BTS CIM - Épreuve E4 - Conception préliminaire d'un système microtechnique			Session 2025
Code :	Durée : 4 heures	Coefficient : 2	DT15 / 16

Driver DRV8800

Tension d'alimentation maximale : 36 V Courant maximal en crête : 2,8 A

Le driver DRV8800 permet la commande d'un moteur à courant continu grâce à un pont en H intégré. Il peut être interfacé avec un microcontrôleur afin d'établir les modes de fonctionnement désirés. Une mesure de l'intensité du moteur à travers le résistor R_{SENSE} permet un contrôle du couple moteur.

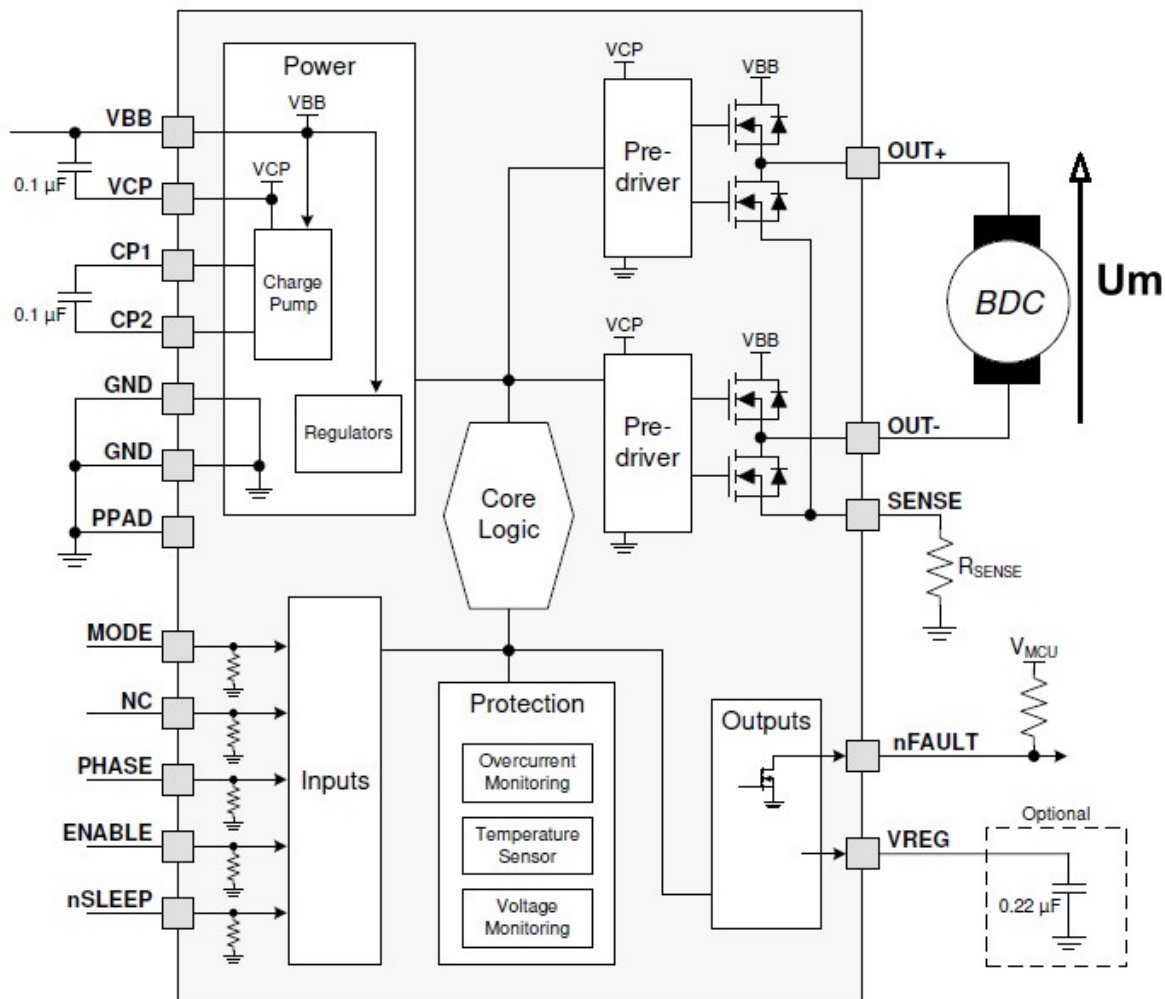


Table de fonctionnement

PHASE	ENABLE	MODE	nSLEEP	Um	OPERATION
X	X	X	0	Z : haute impédance	Pont H bloqué
1	1	X	1	> 0 V	MOTEUR SENS ROTATION 1
0	1	X	1	< 0 V	MOTEUR SENS ROTATION 2
X	0	1	1	0 V	Freinage "lent" ou arrêt
1	0	0	1	Inversion de tension	Freinage "rapide" pour le sens horaire
0	0	1	1	Inversion de tension	Freinage "rapide" pour le sens anti-horaire

légende:

X : état logique 1 ou 0 indifféremment

Z : transistors bloqués

Freinage lent : mise en court-circuit du moteur

Freinage rapide : inversion de la polarité aux bornes du moteur

**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**

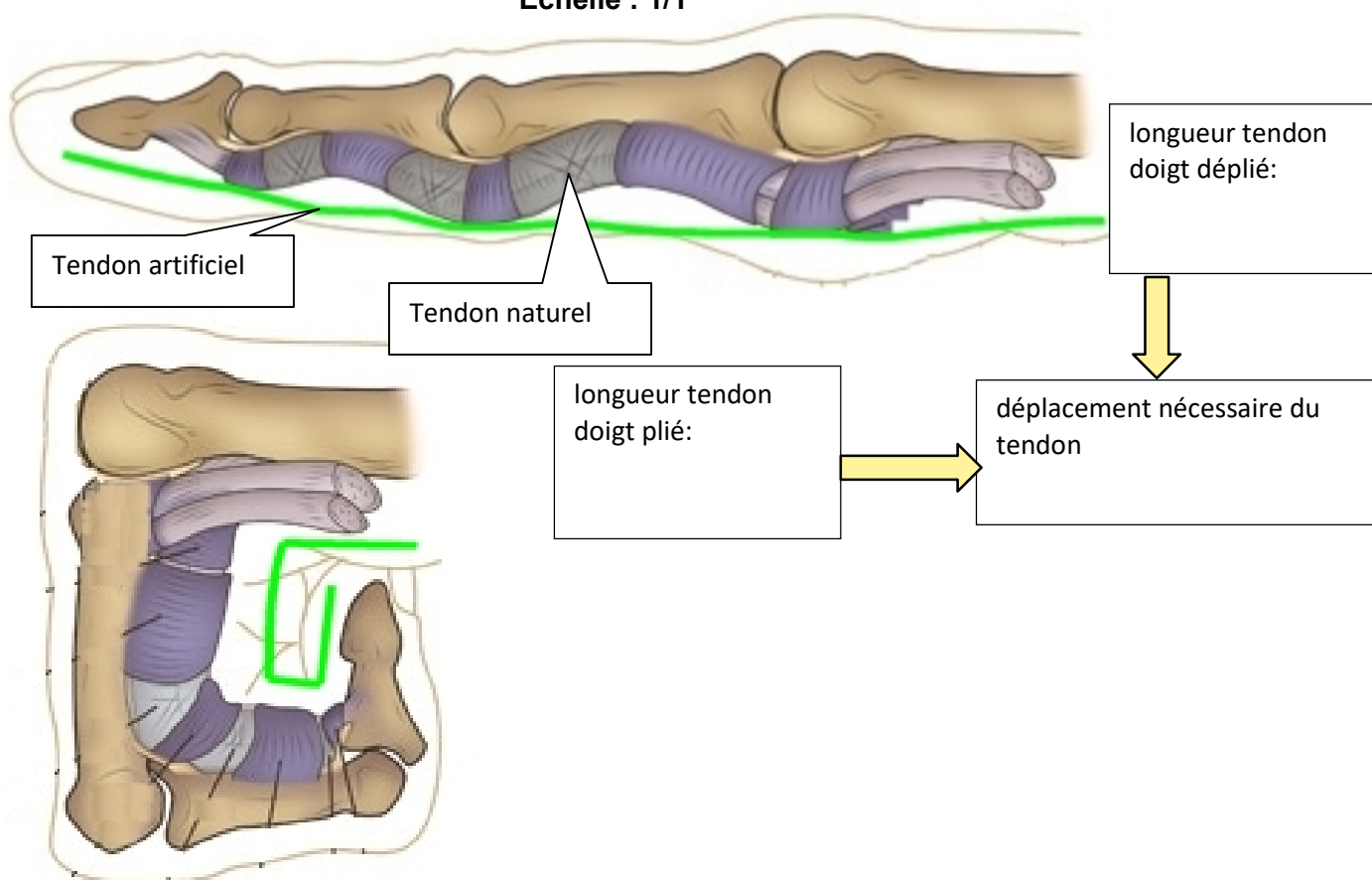
SESSION 2025

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					

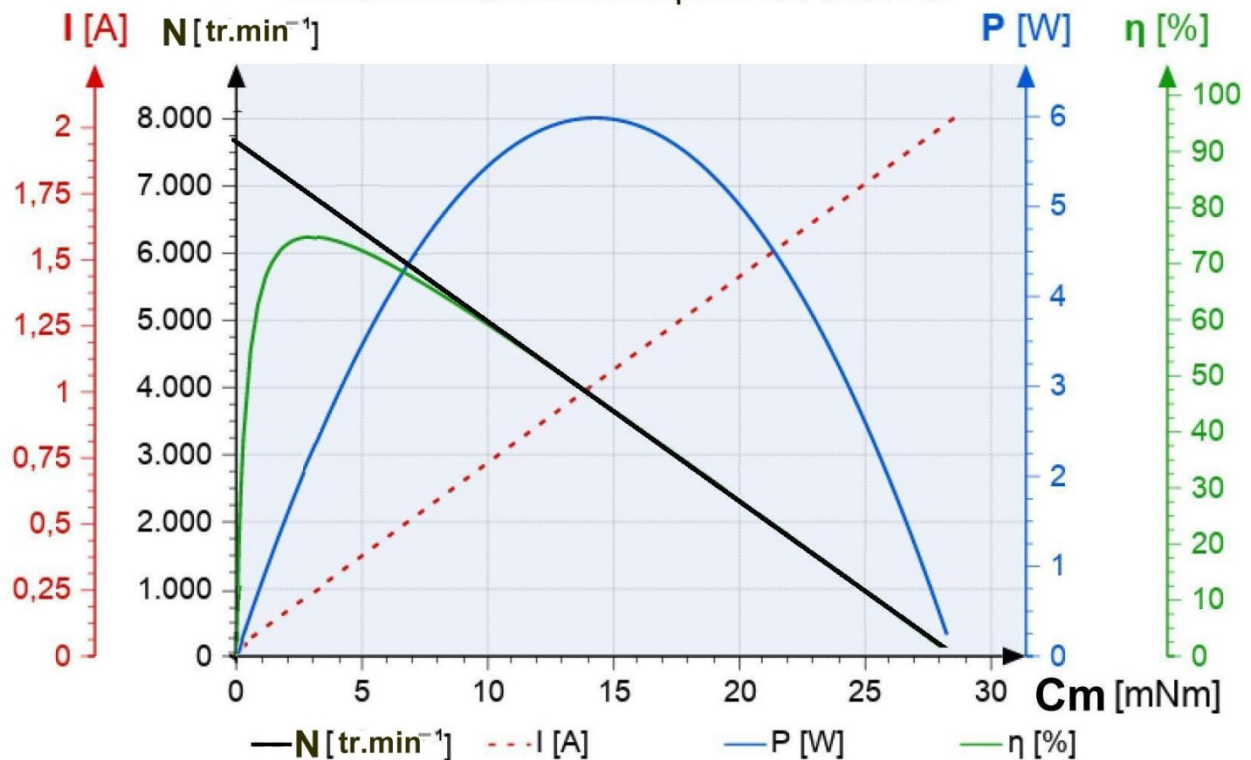
DR2**Question 15:**

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			

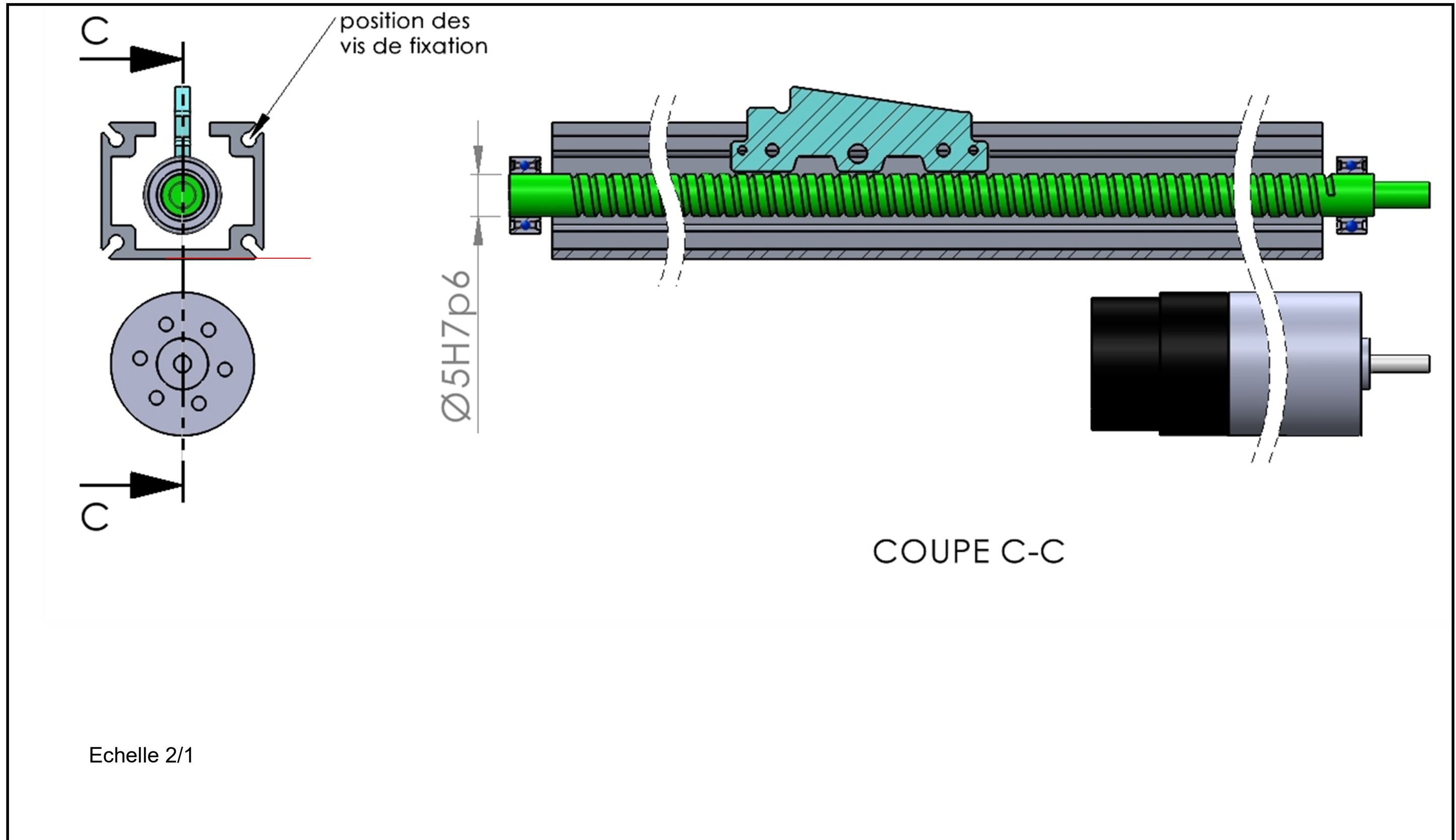
CHOIX DEFINITIF DU MOTEUR :
JUSTIFICATION :

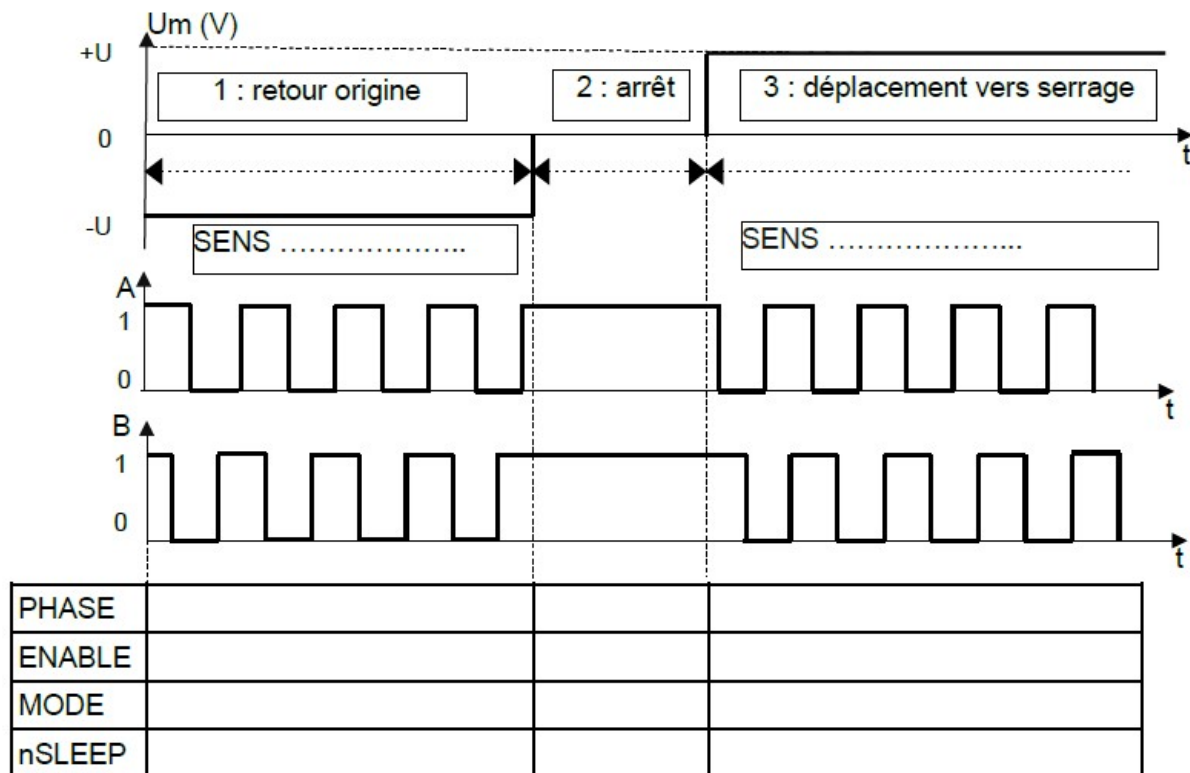
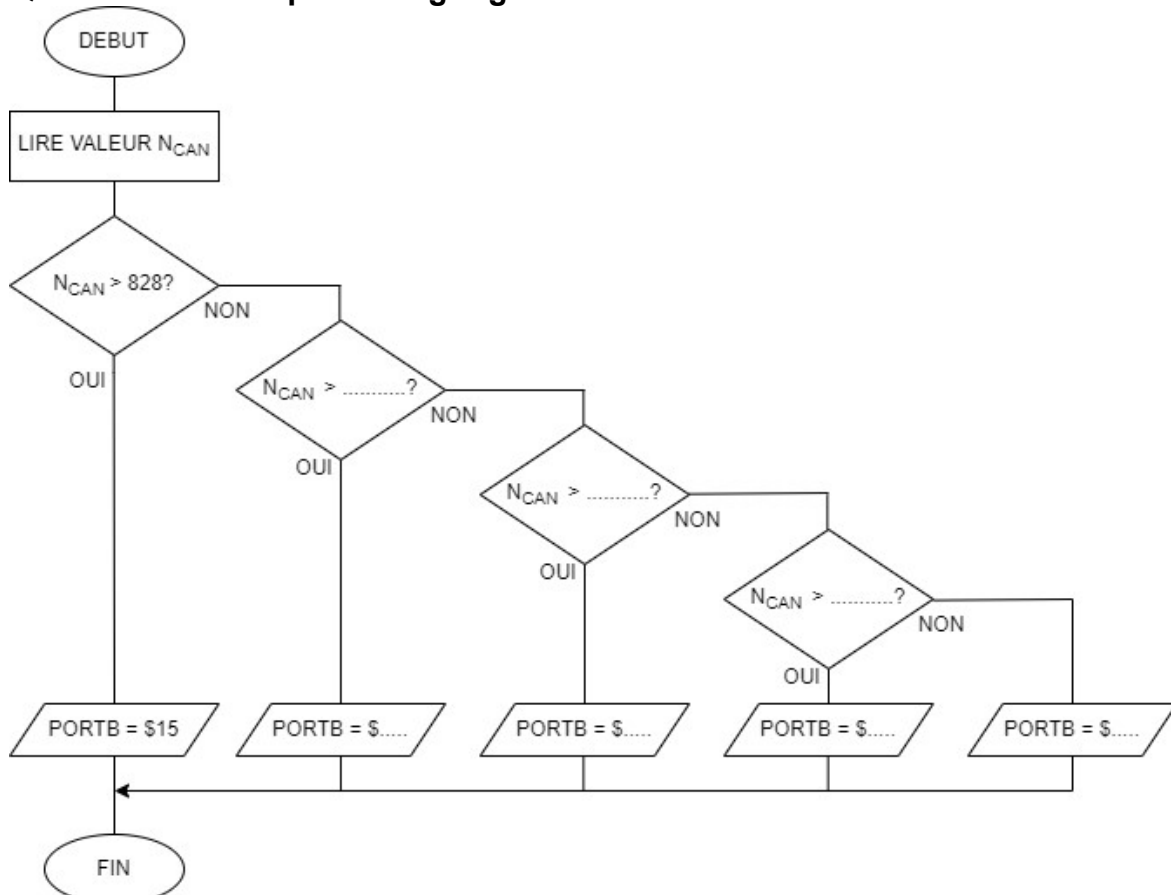
Questions 16 et 17:

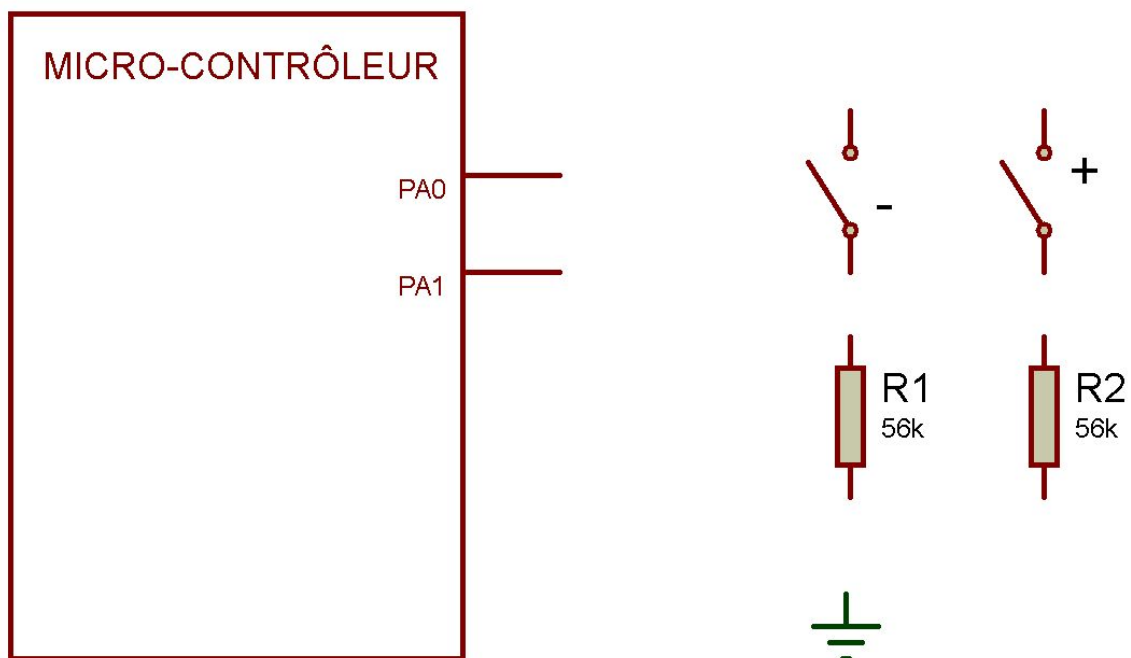
Courbes caractéristiques du moteur



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