BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

SESSION 2012

ÉTUDE D'UN SYSTÈME PLURITECHNIQUE

Série S - Sciences de l'ingénieur

Durée de l'épreuve : 4 heures

Coefficient : 4

BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

Session 2012

Série S Sciences de l'ingénieur

ÉTUDE D'UN SYSTÈME PLURITECHNIQUE

Coefficient : 4 Durée de l'épreuve : 4 heures

Le matériel autorisé comprend toutes les calculatrices de poches, y compris les calculatrices programmables alphanumériques ou à écran graphique, à condition que leur fonctionnement soit autonome et qu'il ne soit pas fait usage d'imprimante, conformément à la circulaire N°99-181 du 16 novembre 1999.
Aucun document n'est autorisé.

Les réponses seront rédigées sur les documents réponse et sur feuille de copie.
Il est conseillé de traiter les différentes parties dans l'ordre du sujet.

Composition du sujet et sommaire :

Un dossier « TEXTE DU SUJET » de 8 pages numérotées 1 à 8 comportant :

Présentation du système à étudier	pages 1 à 3
Travail demandé	pages 3 à 8

Un « DOSSIER TECHNIQUE » documents **DT1** à **DT7** pages 9 à 15

DT1 : Caractéristiques du Robot Joola Shorty	page 9
DT2 : Alimentation 12V interne et boîtier de télécommande	page 10
DT3 et DT4 : Réglage de l'oscillation	pages 11 et 12
DT5 : Schéma électrique du robot Joola Shorty	page 13
DT6 : Documentation des moteurs et des transistors de puissance	page 14
DT7 : Documentation des capteurs	page 15

Un « DOSSIER RÉPONSE » documents **DR1** à **DR5** pages 16 à 20

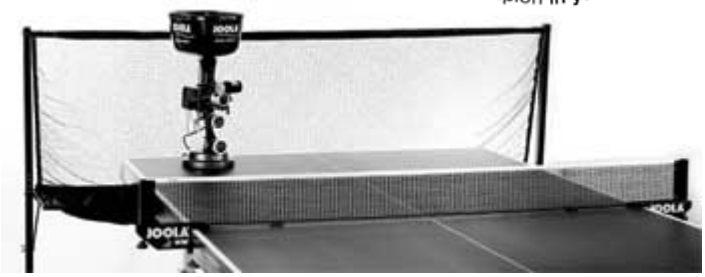
DR1 : Analyse fonctionnelle	page 16
DR2 : Oscillation du robot / Éjection des balles	page 17
DR3 : Algorigramme N°1	page 18
DR4 : Algorigramme N°2	page 19
DR5 : Tableau E/S et extrait du schéma électrique	page 20

Conseils au candidat :

Vérifier que tous les documents définis dans le sommaire sont présents.
La phase d'appropriation d'un système pluritechnique passe par la lecture attentive de l'ensemble du sujet. Il est fortement conseillé de consacrer au moins 30 minutes à cette phase de découverte.

PRÉSENTATION DE L'ÉTUDE

Mise en situation



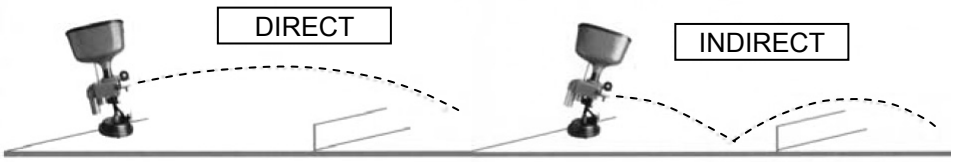
L'entreprise allemande JOOLA est spécialisée dans le développement, la fabrication et la commercialisation de produits destinés à la pratique à haut niveau du tennis de table (table, raquette, etc.).

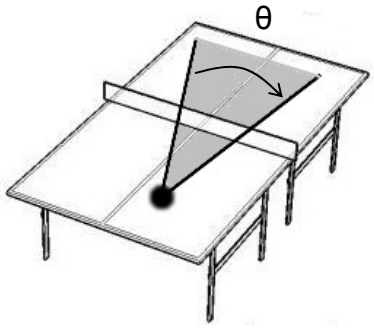
Le robot JOOLA Shorty fait partie du matériel destiné aux phases d'entraînement individuel.

Proposé au tarif de 525,00 € (*source site www.joola.com*), il est livré avec un filet de récupération des balles.

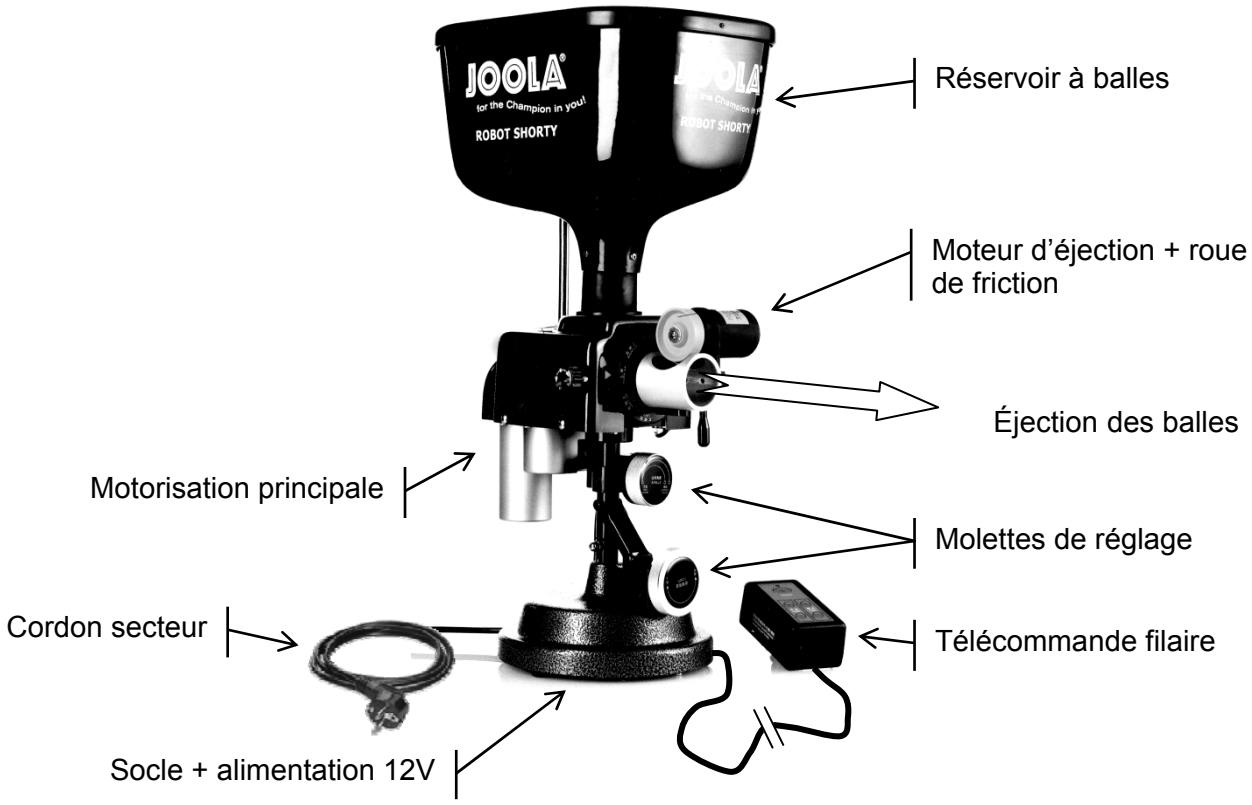
Il se place directement sur la table en face du sportif et permet d'éjecter des balles avec la possibilité de régler :

- le type de coup (direct/indirect) ;





- la vitesse de la balle ;
- la fréquence des balles envoyées ;
- la zone de tir définie par l'angle θ balayé (voir ci-contre) ;
- l'effet donné aux balles.



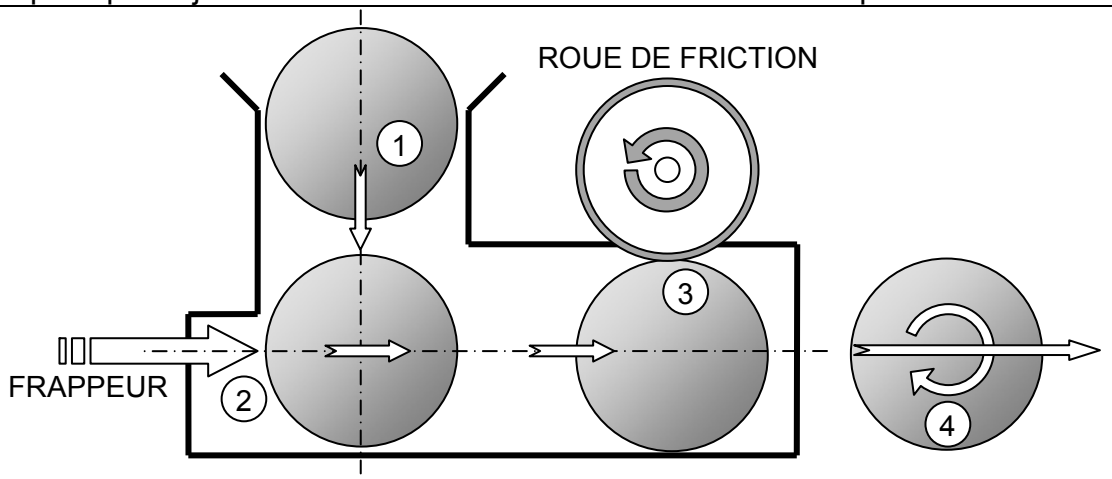
Le document **DT1** présente un modèle détaillé du produit et une partie de ses caractéristiques générales.

Principe de fonctionnement

Raccordée au secteur, l'alimentation 12V fournit l'énergie à l'ensemble du système. Un appui sur la touche « ON/OFF » de la télécommande, fixée sur le côté de la table, provoque la mise en fonctionnement du système. La partie supérieure du robot se met alors à osciller tout en éjectant les balles avec un effet. Les touches +/- de la télécommande permettent de choisir indépendamment la vitesse et la fréquence d'éjection des balles.

Les caractéristiques de l'alimentation et de la télécommande sont présentées sur le document technique **DT2**.

➢ Le principe d'éjection et de mise en effet des balles est décrit par le schéma suivant :



① *Les balles tombent par gravité du réservoir.*

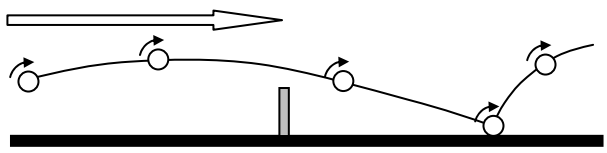
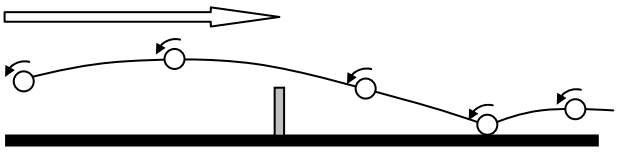
② *Un dispositif de frappe positionne les balles dans le tube d'éjection sous la roue de friction en rotation permanente.*

③ *La balle se coince sous la roue de friction.*

④ *La rotation de la roue de friction donne* ***une vitesse*** *et* ***un effet*** *à la balle.*

Le document **DT3** présente les éléments permettant le réglage de l'effet et de l'inclinaison du robot à effectuer avant la mise en fonctionnement.

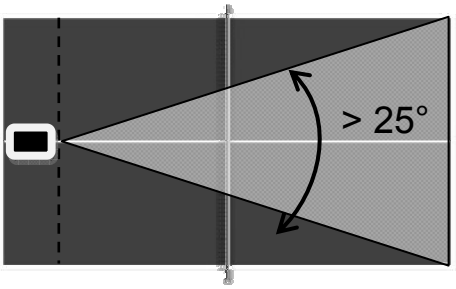
➢ Le système permet aussi de donner un effet (« lifté » ou « coupé ») à la balle. Cette étude ne sera pas traitée dans le sujet.

Effet 1 « lifté »	Effet 5 « coupé »
	

➢ L'inclinaison du robot est provoquée par l'action d'une bielle et d'un dispositif vis/écrou mis en mouvement par la rotation de la molette présente sur le socle (voir **DT1**).

Contraintes du cahier des charges fonctionnel (CdCF)

C1 : Compte-tenu de la géométrie d'une table de tennis (Longueur 2,74 m / largeur 1,52 m) et d'un positionnement du robot sur le premier quart d'un côté de la table, on souhaite que la zone balayée soit définie par un angle supérieur à 25°.



C2 : Afin de s'adapter au niveau des joueurs ou au type d'exercice de l'entraînement, la plage de vitesse de sortie possible des balles doit être comprise entre 12 et 40 km/h. Une tolérance de +/- 10% est jugée acceptable.

C3 : Pour les mêmes raisons, on souhaite que la fréquence d'éjection des balles soit comprise entre 40 et 120 balles/min.

PARTIE N°1 :

L'objectif de cette étude est d'analyser le fonctionnement, de s'approprier l'organisation fonctionnelle et structurelle du système.

À partir de la présentation du système et des documents techniques **DT1, DT2** et **DT6** :

✐ **Question 1A** : Sur le document réponse **DR1**, donner la nature des énergies E1 à E4. Préciser pour les énergies de nature électrique le type (triphasé, monophasé ou continu) et pour les énergies de nature mécanique le mouvement (rotation, translation ou quelconque).

✐ **Question 1B** : Compléter sur **DR1** le nom des solutions techniques **S2** et **S3**.

✐ **Question 1C** : À partir de leur symbole page **DT6** et de leur documentation page **DT6**, donner le nom :

- des actionneurs M1 et M2 en détaillant la forme d'énergie électrique utilisée (continu ou alternatif) ;
- des transistors Q3 et Q4.

✐ **Question 1D :** À partir de l'explication du fonctionnement du système, déterminer :

- si les actionneurs M1 et M2 tournent dans un seul sens ou dans les deux ;
- si ces machines fonctionnent parfois en génératrice ;
- le nombre de quadrants dans lequel fonctionnent ces machines.

Chaque transistor de puissance (Q3 et Q4) correspond à un distributeur ou modulateur d'énergie.

✐ **Question 1E :** En fonction de la nature de l'énergie électrique disponible en sortie d'alimentation et de celle dont chaque actionneur a besoin, choisir la technologie du distributeur (modulateur) réalisé ici et indiquer le nom complet de la solution technique **S1** sur **DR1**.

PARTIE N°2 :

L'objectif de cette étude est de vérifier que le produit répond aux exigences C1 et C3 de l'extrait du CdCF.

Le document **DT3** présente les éléments assurant l'oscillation du robot et le réglage de l'angle qui y est associé.

Un même moteur « MABUCHI MOTOR » de référence RS-550VC-7525 permet de répondre à ces deux contraintes (voir leur documentation sur le **DT6)**.

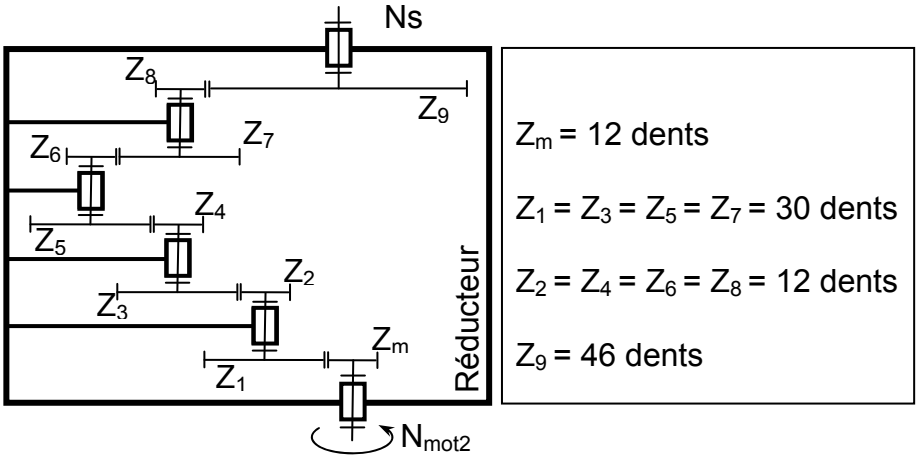
✐ **Question 2A :** Trouver dans cette documentation la vitesse nominale au rendement (efficiency) maximum.

Des mesures sur le système ont permis de constater que la tension maximale aux bornes de l'actionneur M1 est de 7,5V. L'actionneur n'est donc pas utilisé à sa tension nominale, il ne tournera pas à sa vitesse nominale.

✐ **Question 2B :** Comme sa vitesse est pratiquement proportionnelle à la tension qui lui est appliquée, calculer la vitesse théorique maximale obtenue lorsque cet actionneur est alimenté en 7,5V.

Quel que soit le résultat trouvé précédemment, nous considérerons que la vitesse maximale de rotation du moteur est de 9000 tours / minute.

✐ **Question 2C :** A l'aide du schéma ci-dessous, déterminer le rapport de réduction global $r_{global} = \frac{N_S}{N_{Mot2}}$. En déduire la vitesse de rotation maximale $\boldsymbol{N_{s_max}}$ en sortie de réducteur.



✐ **Question 2D :** En vous aidant du **DT1**, déterminer la vitesse de rotation maximale de la came $\boldsymbol{N_{came_max}}$.

✐ **Question 2E :** D'après le profil de la came, déterminer le nombre de frappes de balles pour un tour de celle-ci.

✐ **Question 2F :** En déduire la fréquence maximale d'envoi des balles et conclure quant au respect du cahier des charges (C3).

Le principe d'oscillation consiste à balayer dans un sens et dans l'autre le secteur angulaire θ (voir page 1).
La première partie du document réponse **DR2** représente en vue de dessous les éléments principaux du dispositif d'oscillation du robot (voir les documents **DT3** et **DT4** présentant les éléments assurant l'oscillation du robot et le réglage de l'angle qui y est associé).

✐ **Question 2G** : Compléter sur **DR1** le nom de la solution technique **S4**.

✐ **Question 2H :** Déterminer le nombre de tours de la roue à excentrique pour que le plateau oscillant effectue un aller-retour complet.

✐ **Question 2I :** Réaliser les tracés nécessaires sur le document réponse **DR2** afin de déterminer le débattement angulaire maximal du plateau oscillant sachant qu'il correspond à une configuration où les points E, D et F sont alignés. Conclure quant au respect du cahier des charges (C1).

PARTIE N°3 :

L'objectif de cette partie est d'établir le lien entre la vitesse de rotation de la roue de friction et la vitesse d'éjection des balles.

La deuxième partie du document réponse **DR2** représente une vue en coupe du tube de lancement lorsque la balle se situe sous la roue de friction avant d'être éjectée. À cet instant, on émet les hypothèses suivantes :

- ne pas tenir compte de la déformation de la balle et de la roue sur le modèle simplifié ;
- la balle amorce un mouvement plan (combinaison d'un mouvement de translation dans le tube et d'un mouvement de rotation de la balle autour de l'axe $\vec{x}$) ;
- roulement sans glissement au niveau du point M entre la roue de fiction et la balle ;
- la vitesse de rotation de la roue de friction est d'environ 9000 tr/min.

✐ **Question 3A** : Compte-tenu de la présence du tampon adhérent, indiquer la valeur de la vitesse $\vec{V}_{K\epsilon 2/0}$ sur copie.
En déduire et localiser sur **DR2** la position du centre instantané de rotation $I_{2/0}$ de la balle dans son mouvement par rapport au tube.

La contrainte (C2) du cahier des charges fonctionnel impose que la balle sorte du tube avec une vitesse proche de 40 km/h.

✐ **Question 3B** : Représenter sur le document réponse **DR2**, le vecteur $\vec{V}_{L\epsilon 2/0}$ modélisant cette vitesse en respectant l'échelle et l'unité des vitesses du document.

✐ **Question 3C** : Trouver par construction graphique, le vecteur vitesse $\vec{V}_{M\epsilon 2/0}$. Sur copie donner la relation entre les vitesses $\vec{V}_{M\epsilon 2/0}$ et $\vec{V}_{M\epsilon 1/0}$.

<u>Nota</u> : *quel que soit le résultat trouvé précédemment, on prendra* $\|\vec{V}_{M\epsilon 2/0}\| = 22$ *m/s.*

✐ **Question 3D** : En déduire par le calcul, la vitesse de rotation $\omega_{1/0}$ maximale que doit avoir la roue de friction ($Ø_{roue}$ = 46,5 mm) pour respecter la contrainte (C2). Conclure.

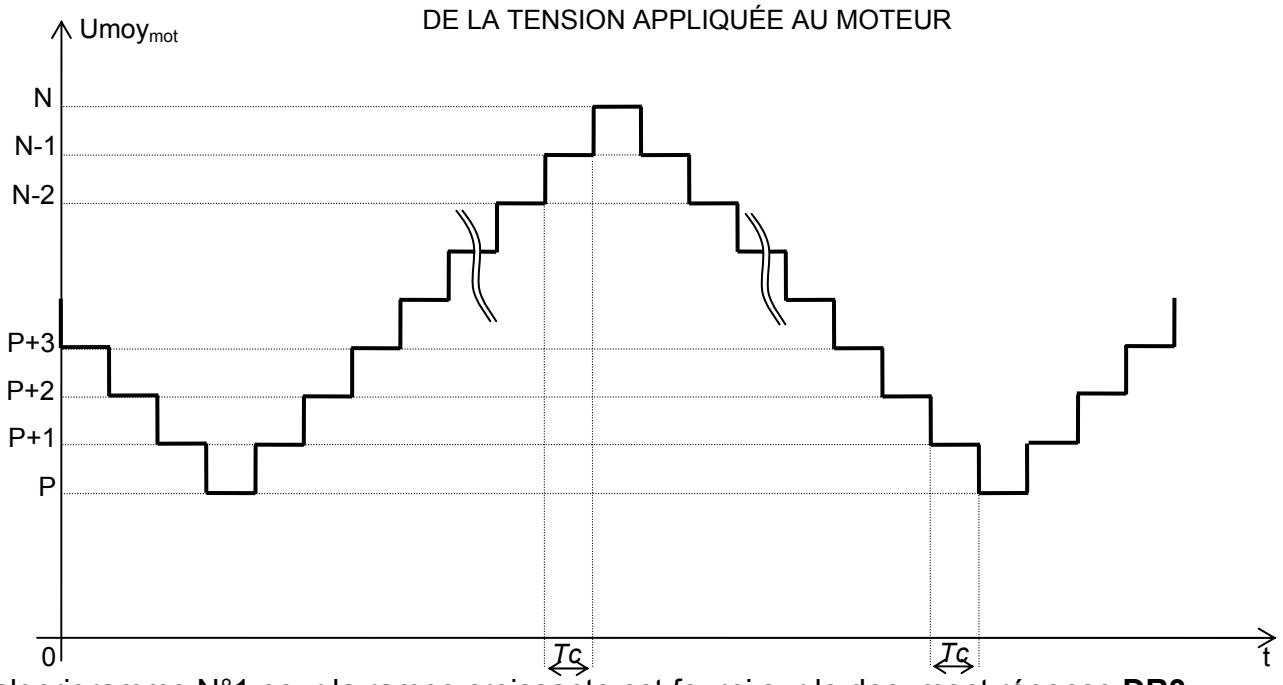
Ce système a l'inconvénient d'être prévisible : il est répétitif. De plus, sans action sur la télécommande, la vitesse des balles reste la même.

Il serait intéressant de faire évoluer le système afin que la vitesse de la balle puisse varier grâce au microcontrôleur, sur une plage de 3 000 à 9 000 tr/min, si le sportif appuie simultanément sur les deux boutons poussoirs de vitesse. Il faudra donc que la tension moyenne appliquée au moteur d'éjection M1 ne soit pas constante.

Pour la conception de ce programme, l'analyse de la solution est effectuée sous forme d'algorigramme dans les questions suivantes.

La manière linéaire est la plus simple pour faire varier la tension moyenne d'un moteur, c'est-à-dire par des rampes croissantes et décroissantes, donc par le signal représenté ci-dessous :

OSCILLOGRAMME 1 DE L'ÉVOLUTION SOUHAITÉE DE LA VALEUR MOYENNE DE LA TENSION APPLIQUÉE AU MOTEUR

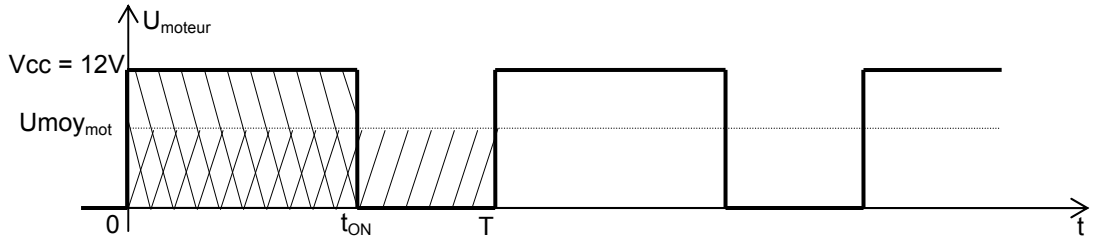


L'algorigramme N°1 pour la rampe croissante est fourni sur le document réponse **DR3**.

La variable A de la taille d'un octet est proportionnelle à la valeur moyenne de la tension du moteur, donc à sa vitesse. Si on néglige le temps de traitement de chaque instruction devant la temporisation t1, on obtient un temps de cycle *Tc* égal à t1 : *Tc* = t1.

✐ **Question 3E :** Compléter cet algorigramme pour obtenir la rampe décroissante conforme à l'oscillogramme de $Umoy_{mot}$ ci-dessus.

La valeur moyenne de la tension du moteur $Umoy_{mot}$ change en faisant varier le rapport cyclique α ($\alpha = t_{ON} / T$) du signal U_{moteur} qui lui est appliqué, comme représenté ci-dessous :



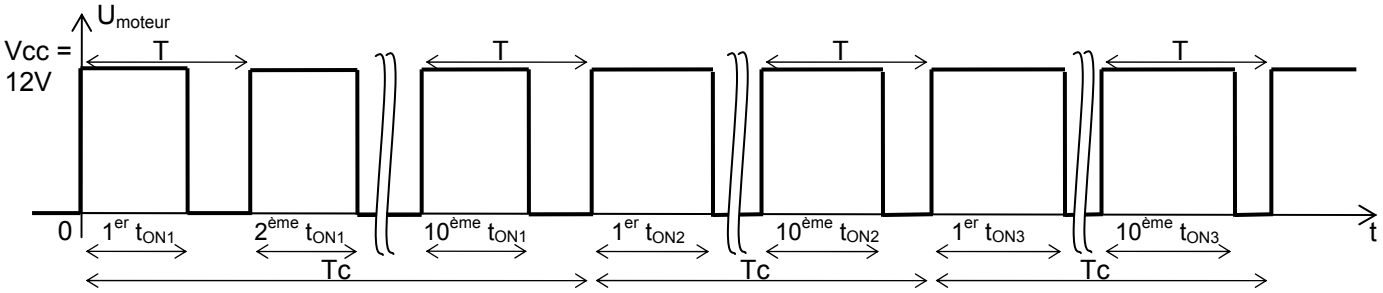
✐ **Question 3F :** Démontrer que la valeur moyenne de la tension du moteur $Umoy_{mot}$ est proportionnelle au rapport cyclique α en sachant que la valeur moyenne $Umoy_{mot}$ est obtenue par l'égalité des deux surfaces rectangulaires hachurées.

La période *T* du modulateur d'énergie est de 3,7 ms.

✐ **Question 3G :** Calculer la fréquence de fonctionnement de ce modulateur.

Comme la valeur moyenne de la tension du moteur $Umoy_{mot}$ est proportionnelle au rapport cyclique $\alpha = t_{ON} / T$, $Umoy_{mot}$ est proportionnelle à t_{ON} si la période *T* est constante, ce qui est le cas ici ; pour effectuer des rampes croissantes et décroissantes de tension moyenne, il suffit de faire croître et décroître le temps t_{ON} de manière linéaire entre deux valeurs extrêmes. On fera varier t_{ON} entre *T/3* et *T*.

Le chronogramme ci-dessous visualise le fonctionnement attendu pour la rampe croissante :



Le rapport cyclique reste constant pendant 10 périodes (10 x *T* = *Tc* correspondant à X_{max}) pour laisser le temps au moteur de changer de vitesse. En effet, étant donnée son inertie, le moteur a besoin de plusieurs périodes *T* avant d'arriver à vitesse établie conforme à la valeur demandée.

L'algorigramme N°2 incomplet de la rampe d'accélération fourni en document réponse **DR4** organise le fonctionnement attendu.

La variable B de la taille d'un octet est proportionnelle au temps t_{ON}. Elle est initialisée à B_{min} au début de l'algorigramme. t_{ON} varie de *T/3* à *T* pour *B* variant de B_{min} à 255, donc pour $Umoy_{mot}$ variant de P à N sur l'oscillogramme 1 page précédente.

Tableau de synthèse de la variable B

Variable	Commentaire
B	Est l'image de T_{ON}
B_0	Vaut 0
B_{min}	Valeur demandée en question 3I, est l'image de t_{ONmin}
B_{max}	Vaut 255, est l'image de $t_{ON} = T$
X	Nombre de périodes à t_{ON} identique
X_{max}	Correspond à *Tc* qui vaut 10**T*

✐ **Question 3H :** Expliquer pourquoi le nombre le plus grand écrit en décimal sur un octet est 255. Répondre sur **DR4**.

✐ **Question 3I :** Calculer la valeur de B_{min}. Répondre sur **DR4**.

✐ **Question 3J :** Compléter l'algorigramme N°2 de la rampe d'accélération sur **DR4** pour obtenir le fonctionnement décrit ci-dessus.

Le programme définitif sera proche de cet algorigramme dans le langage du microcontrôleur.

PARTIE N°4 :

Le constructeur souhaite faire évoluer son produit afin de respecter une nouvelle contrainte d'utilisation signalée par les utilisateurs : il serait préférable que le système s'arrête de fonctionner lorsque le réservoir de balle est vide plus de 5 secondes. Pour cela, il est nécessaire d'ajouter un capteur de détection de présence de balle dans la zone de frappe.

Il faut donc :

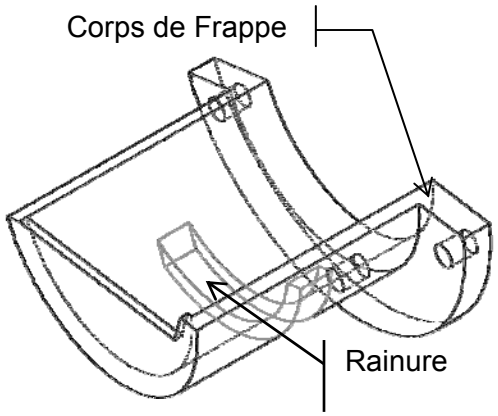
- vérifier la possibilité pour le microcontrôleur actuel de gérer un capteur ;
- choisir le capteur adéquat ;
- intégrer le capteur dans la structure du mécanisme.

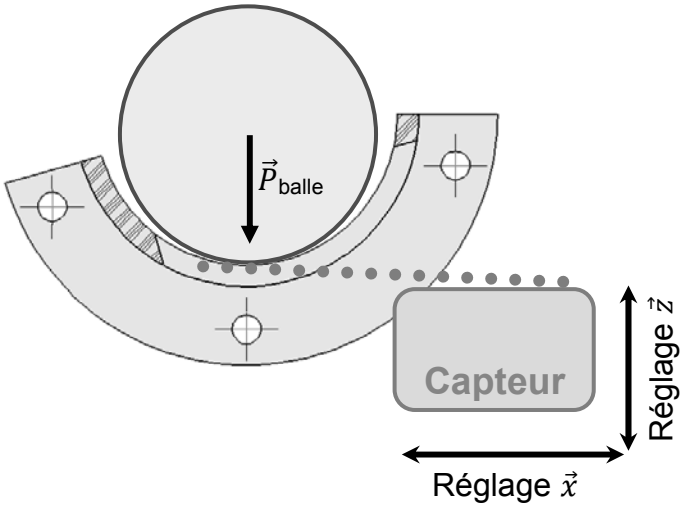
✐ **Question 4A** : Grâce au schéma électrique page **DT5**, compléter, sur le document réponse **DR5**, le TABLEAU PARTIEL DES ENTRÉES SORTIES en mettant soit E si la broche est une entrée, soit S si la broche est une sortie, suivant l'utilisation des broches 11 à 18.

✐ **Question 4B :** Sur ce même tableau, compléter ensuite la nature du signal en mettant soit A si ce signal est analogique, soit L si ce signal est logique.

✐ **Question 4C :** Parmi les trois capteurs proposés en **DT7**, justifier pourquoi le micro-switch sera la meilleure solution pour la détection des balles.

Afin d'être en mesure de détecter la DERNIÈRE balle, il convient de placer le capteur au niveau du frappeur. Pour cela, une rainure sera usinée dans le corps de frappe permettant le passage du levier du capteur.





✐ **Question 4D :** Justifier que ce capteur est capable de détecter la présence d'une seule balle dont la masse est de 2,7 grammes, sachant que g = 9,81 m/s^2.

✐ **Question 4E :** Quelle tension lit-on sur P1-0 (broche 12) par rapport au 0V lorsque S5 est comme sur le schéma, c'est-à-dire non appuyé ? Quelle tension lit-on sur P1-0 par rapport au 0V lorsque S5 est appuyé ? Justifier les réponses.

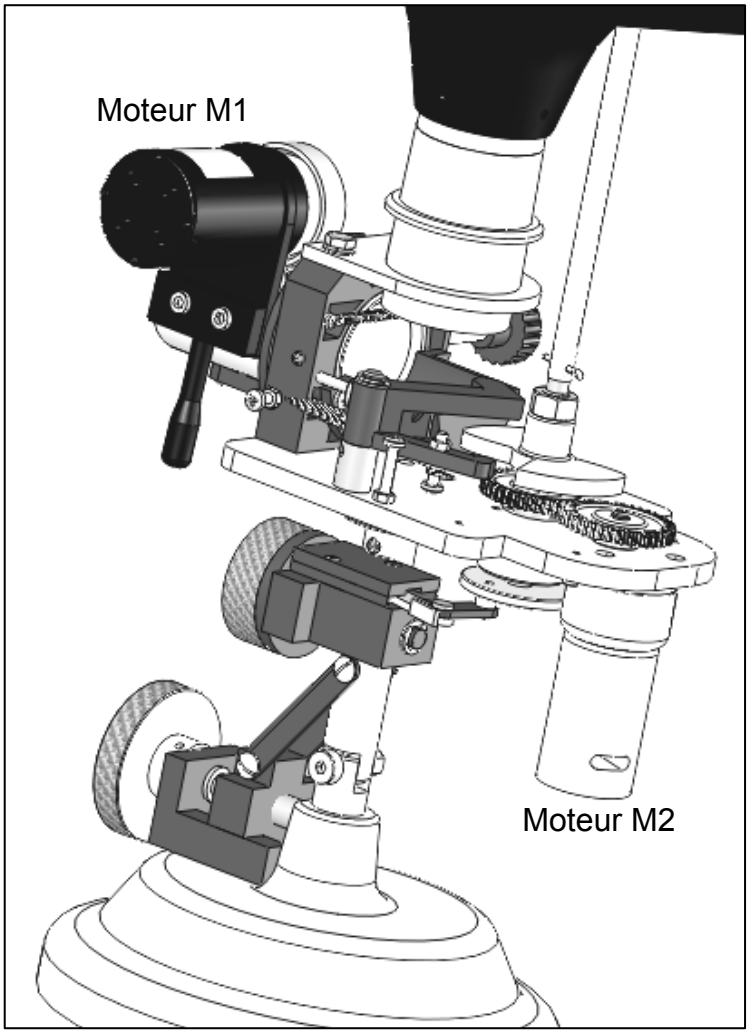
La broche 19 étant non utilisée jusqu'alors, elle est employée pour connecter le capteur S6 de détection de balle.

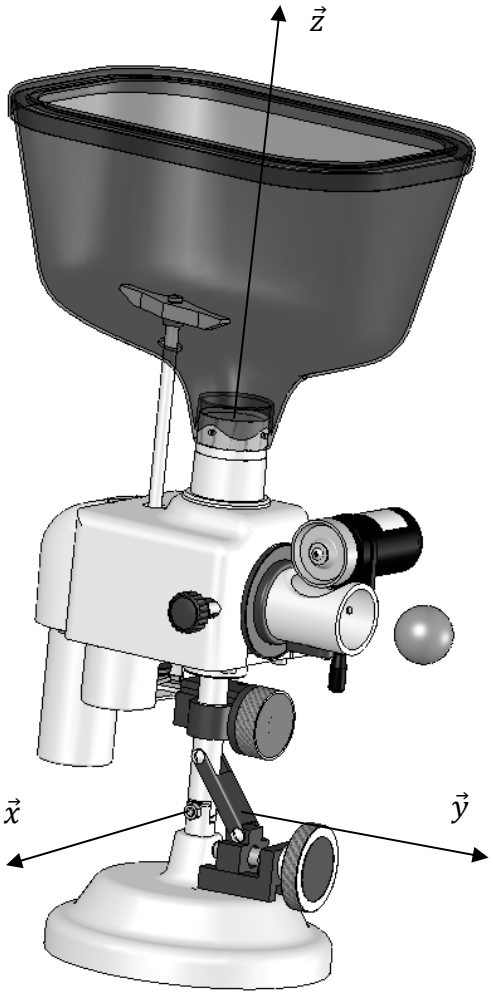
✐ **Question 4F :** Compléter le document réponse **DR5** pour connecter correctement le capteur S6 à la broche 19.

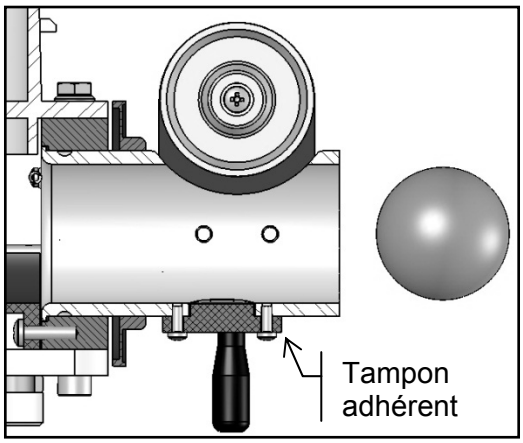
✐ **Question 4G :** Considérant que le microcontrôleur permet de gérer le comptage du temps, l'évolution du produit est-elle possible en regard des attentes des utilisateurs ?

Dimensions (H×l×p)	585mm×320mm ×220mm
Masse	5,5kg
Alimentation secteur	220V / 50Hz
Alimentation interne	12V / 2,5A
Puissance absorbée	100W
Capacité réservoir	150 balles
Nombre d'effets possibles	8
Inclinaison autour de $(0,\vec{x})$	+/- 20°

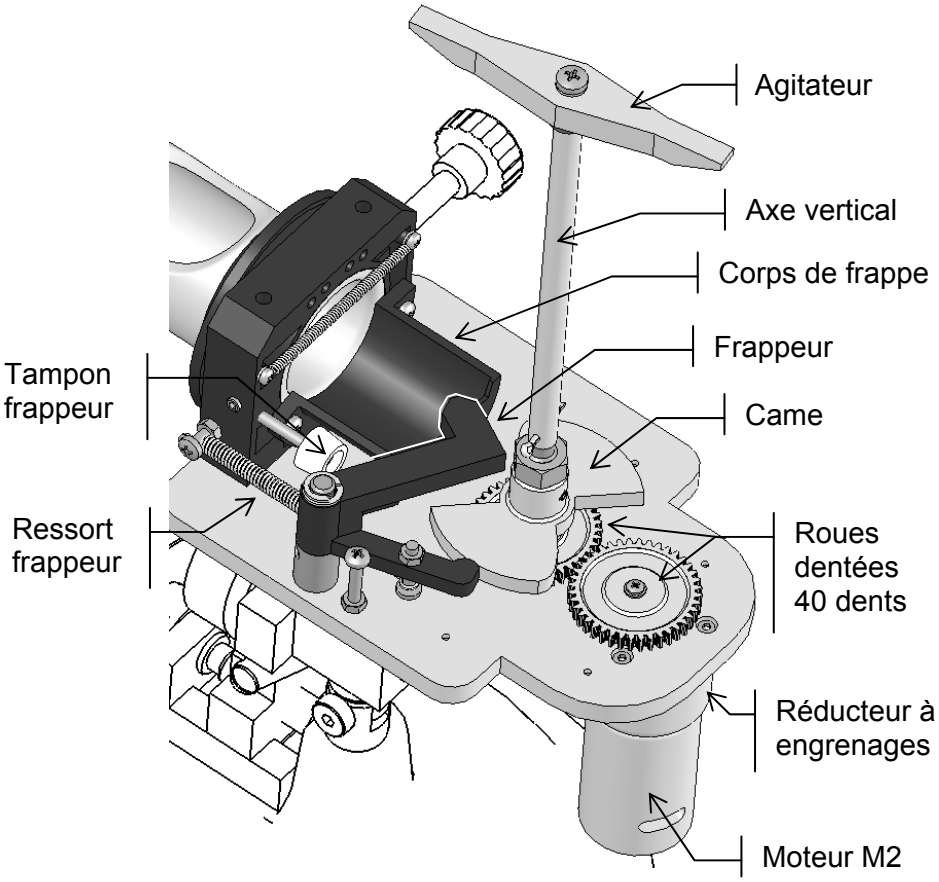
Vue avec capots de protection enlevés

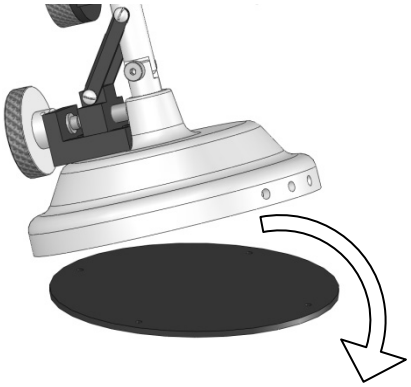


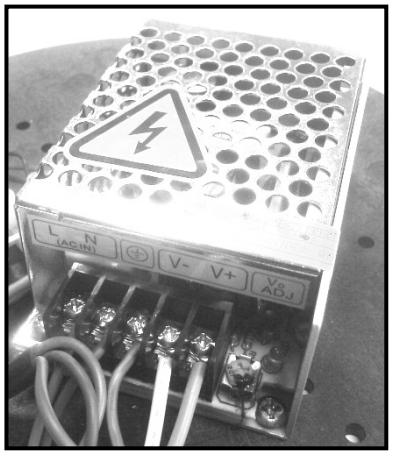




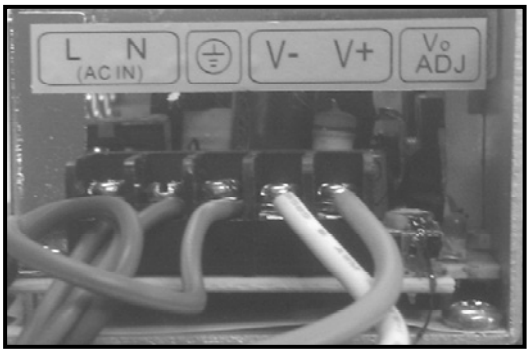
Vue en coupe du tube d'éjection



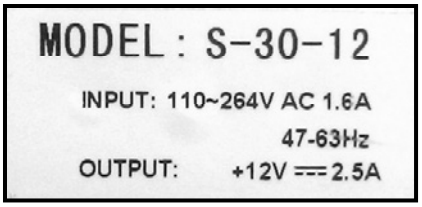




Réseau *Sortie 12V*



Plaque signalétique



Boîtier de télécommande

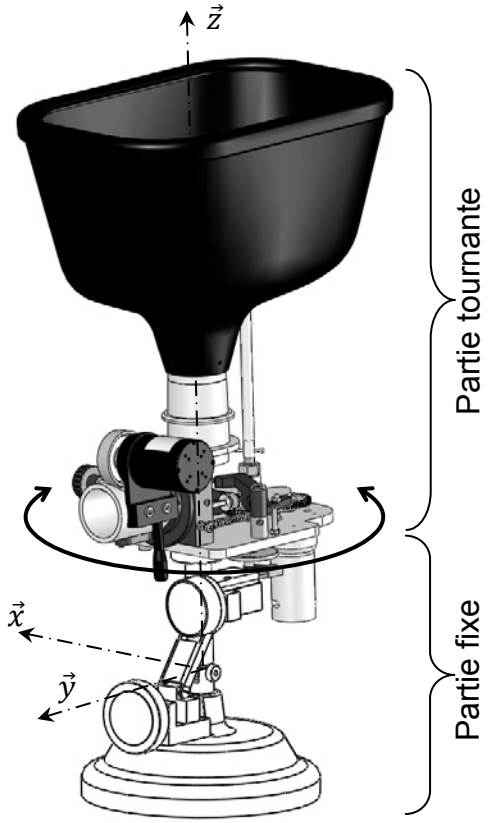
Télécommande

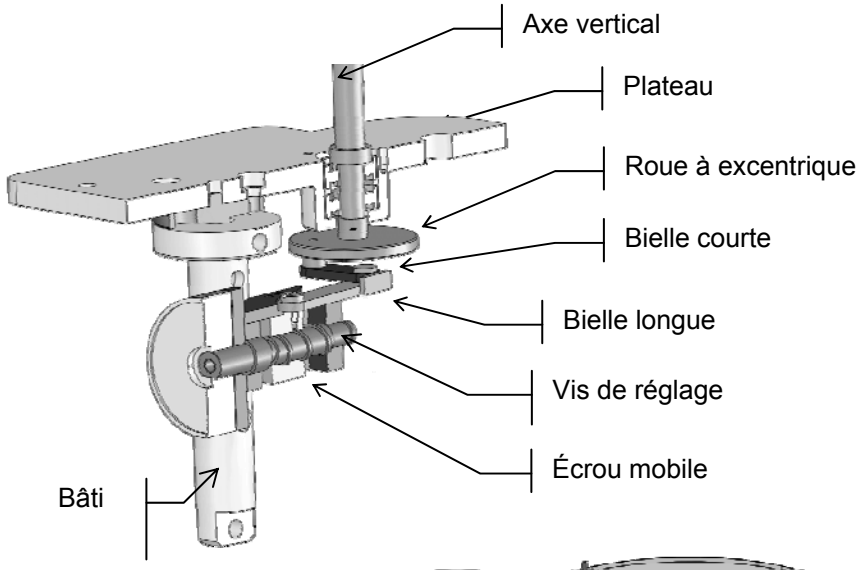
LED : diode électroluminescente Marche / Arrêt

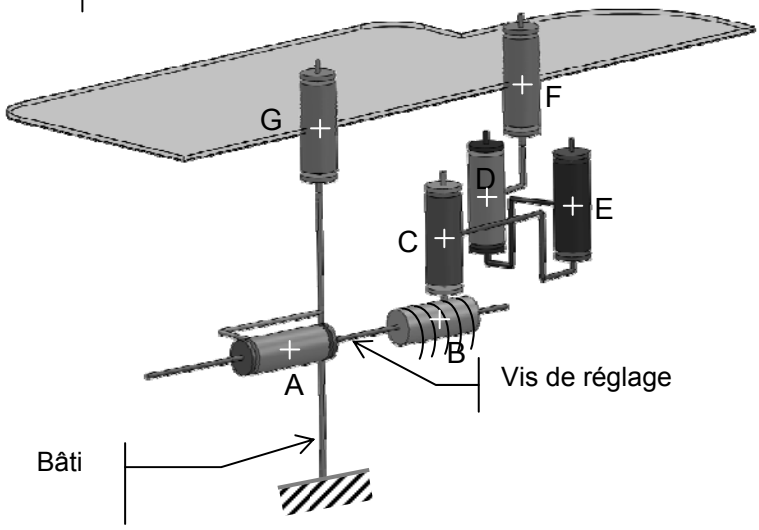
Bouton poussoir Marche / Arrêt

Boutons poussoirs de vitesse de la balle

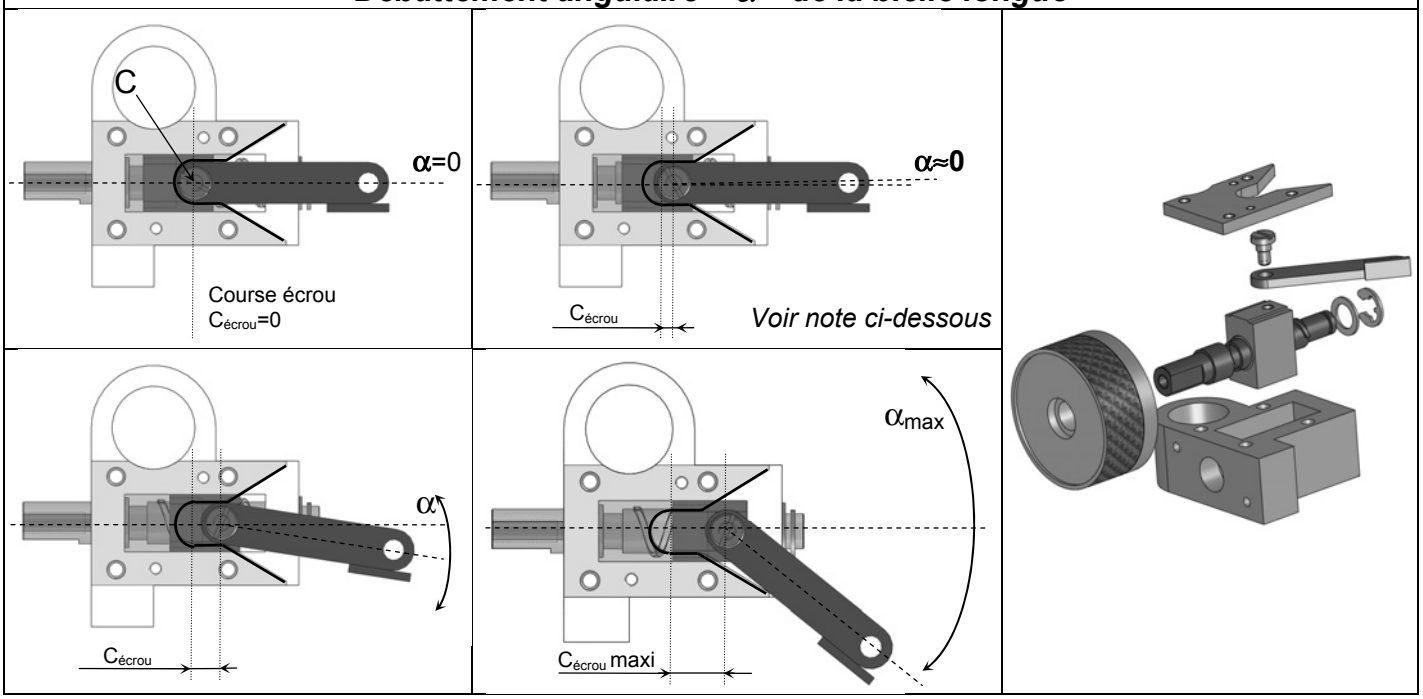
Boutons poussoirs de fréquence d'éjection de la balle







Débattement angulaire « α » de la bielle longue



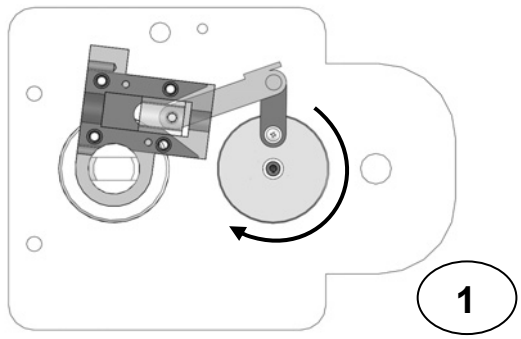
Note : *dans cette configuration, malgré une course effective de l'écrou, le débattement angulaire de la bielle longue est considéré comme nul. En effet, la bielle longue n'est pas suffisamment dégagée de la rainure pour pouvoir osciller.*

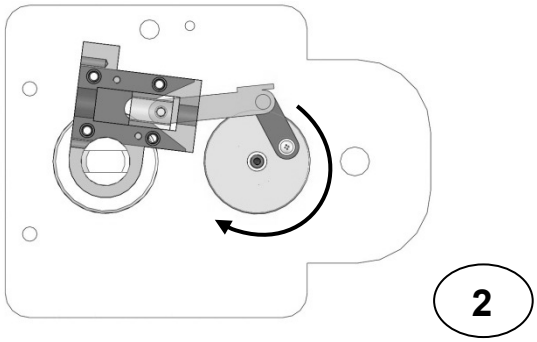
Oscillation du plateau

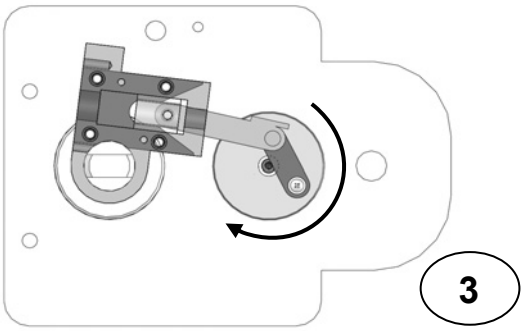
Le motoréducteur entraine en rotation la roue excentrique via un engrenage simple (voir DT1). Ce mouvement de rotation continu est transmis et transformé en un mouvement de rotation alternatif au plateau par l'intermédiaire de la bielle courte et de la bielle longue.

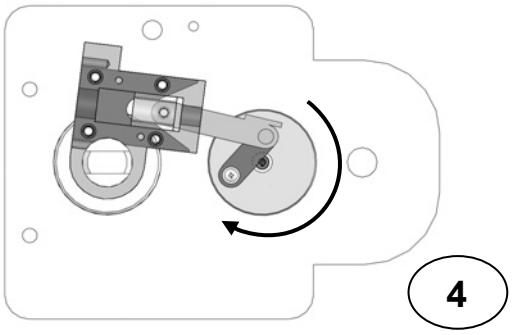
L'oscillation du plateau sera fonction de la liberté de mouvement de la bielle longue (angle α, voir DT3).

Ci-dessous deux positions exemplaires en vue de dessous :



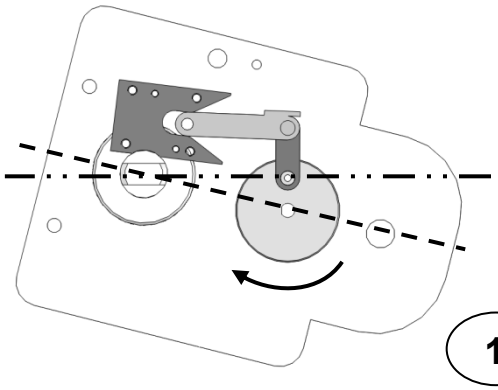


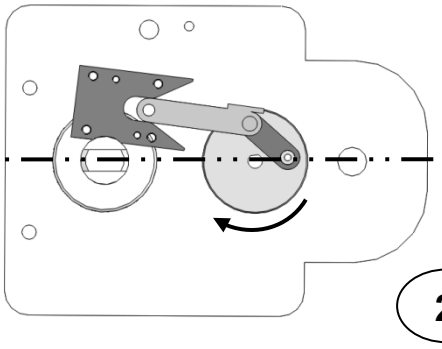


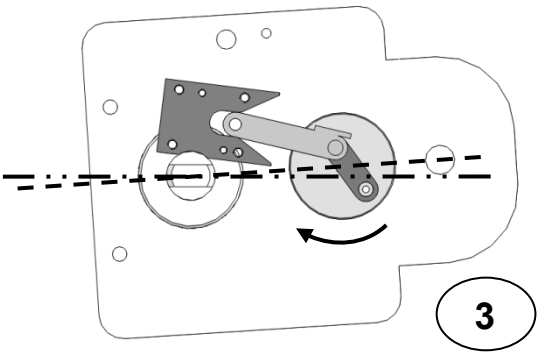


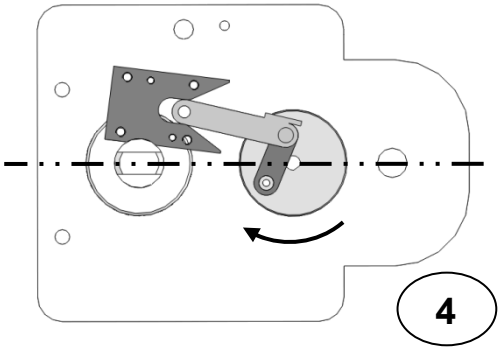
$\Delta\ \alpha_{max} = 55°$

La transmission du mouvement s'arrête à la rotation de la bielle longue autour de l'axe (C, $\vec{z}$). Le plateau n'oscille pas.









$\Delta\ \alpha = 12°$

Dans ce cas de figure l'amplitude de débattement de la bielle longue est limité par le bâti. La bielle courte transmet une action mécanique provoquant un mouvement d'oscillation du plateau.

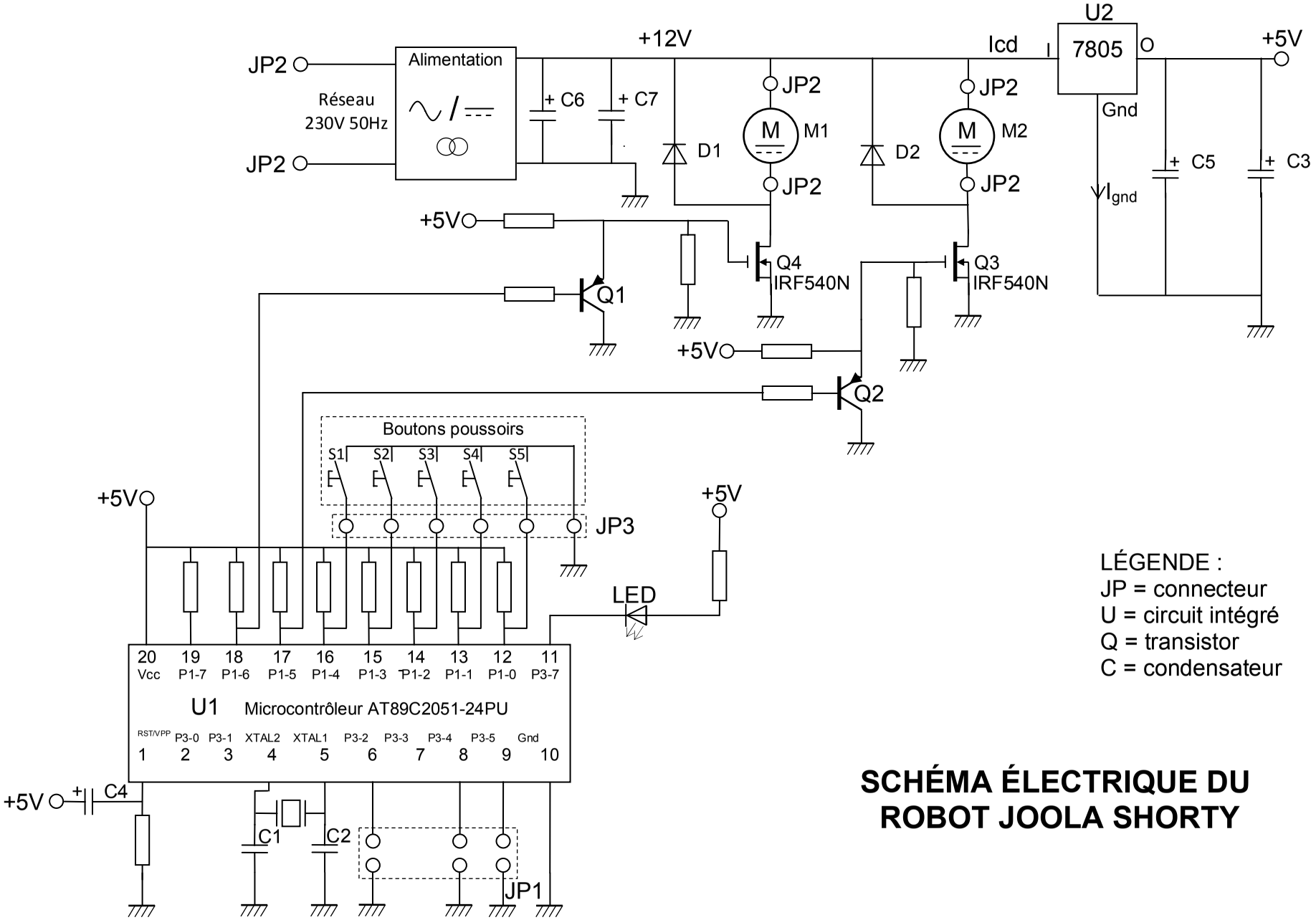


SCHÉMA ÉLECTRIQUE DU ROBOT JOOLA SHORTY

RS-550PC/VC

MABUCHI MOTOR
Carbon-brush motors

OUTPUT : 5.0W~100W (APPROX)

WEIGHT : 247g (APPROX)

Typical Applications **Cordless Power Tools :** Drill / Cordless Garden Tool / Air Compressor
Toys and Models : Ride-on Toy

MODEL		VOLTAGE		NO LOAD		AT MAXIMUM EFFICIENCY					STALL		
		OPERATING RANGE	NOMINAL	SPEED	CURRENT	SPEED	CURRENT	TORQUE		OUTPUT	TORQUE		CURRENT
				r/min	A	r/min	A	mN·m	g·cm	W	mN·m	g·cm	A
RS-550PC-8019	(*1)	6.0~9.6	7.2V CONSTANT	15300	1.40	13540	10.8	41.7	425	59.1	363	3700	83.0
RS-550VC-7525	(*1)	6.0~14.4	12V CONSTANT	17600	1.20	15730	10.1	58.3	594	95.9	549	5596	85.0

Caractéristiques des transistors de puissance

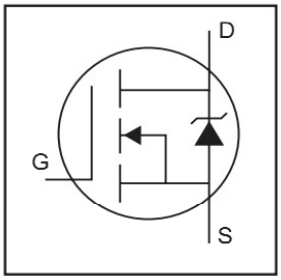
International
IOR Rectifier

PD - 91341B

IRF540N

HEXFET® Power MOSFET

- Advanced Process Technology
- Ultra Low On-Resistance
- Dynamic dv/dt Rating
- 175°C Operating Temperature
- Fast Switching
- Fully Avalanche Rated



V_{DSS} = 100V

$R_{DS(on)}$ = 44mΩ

I_D = 33A

Description

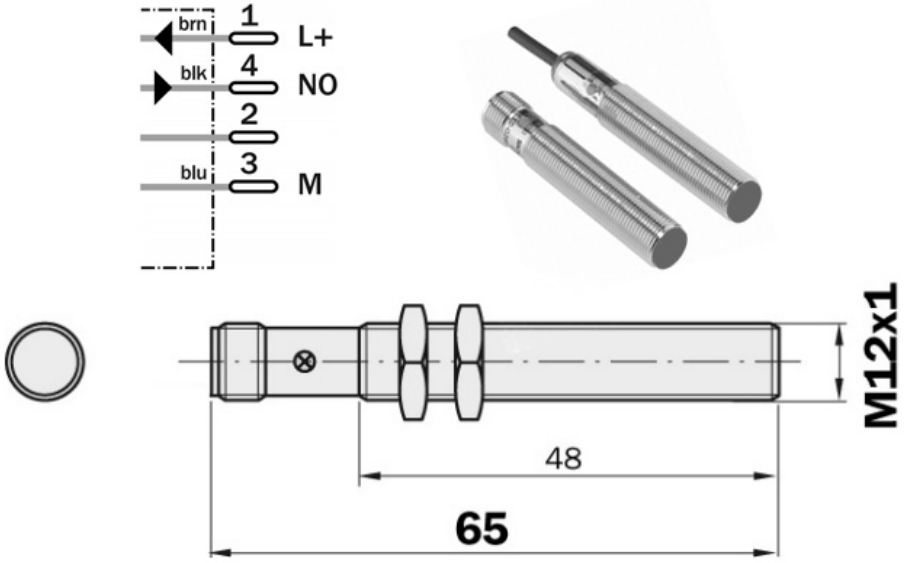
Advanced HEXFET® Power MOSFETs from International Rectifier utilize advanced processing techniques to achieve extremely low on-resistance per silicon area. This benefit, combined with the fast switching speed and ruggedized device design that HEXFET power MOSFETs are well known for, provides the designer with an extremely efficient and reliable device for use in a wide variety of applications.

The TO-220 package is universally preferred for all commercial-industrial applications at power dissipation levels to approximately 50 watts. The low thermal resistance and low package cost of the TO-220 contribute to its wide acceptance throughout the industry.

TO-220AB

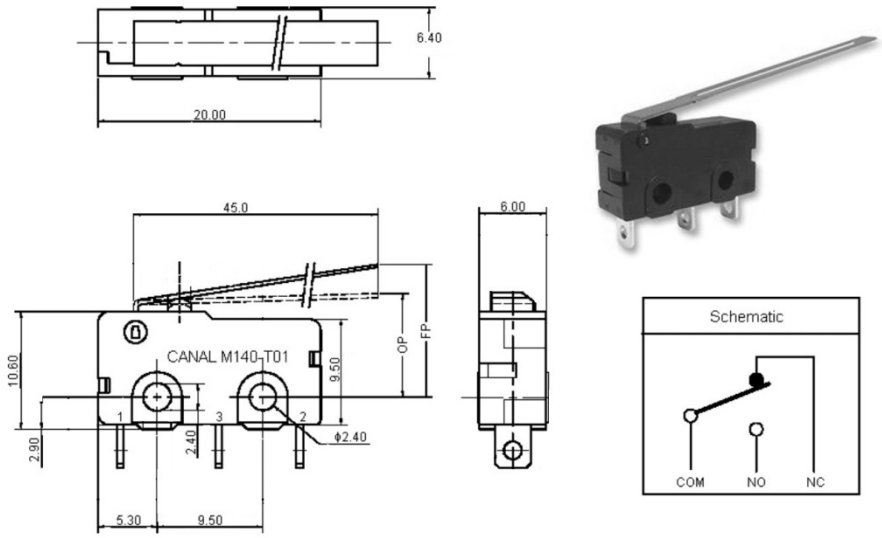
Capteur inductif

Longueur : 65 mm
Plage de détection : 4 mm
Taille : M12
Tension : 10 – 30V c.c.
Sortie : NPN, NO
Prix : 88 €



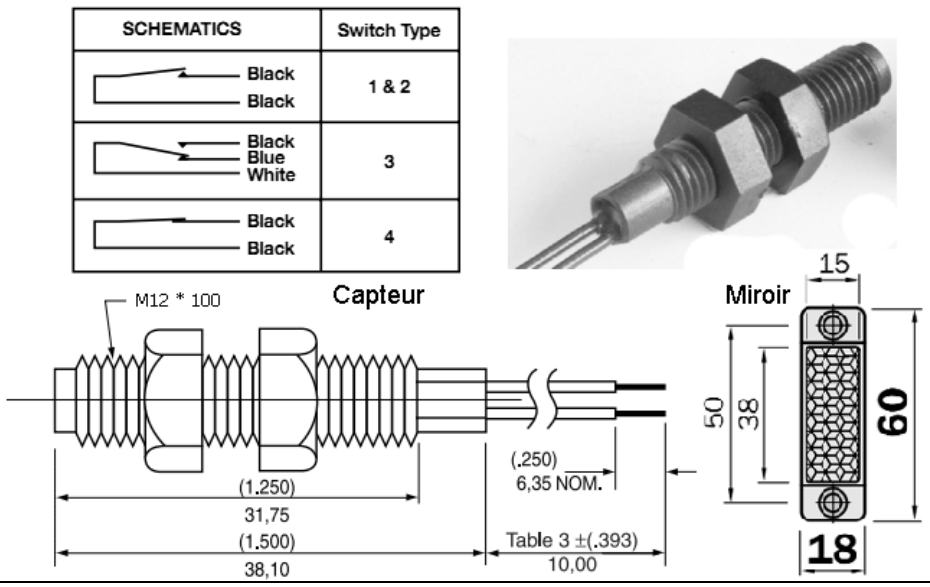
Micro switch

Force de contact en bout de levier : 0,02 N
FP-OP = 3 mm
Tension max : 250 V
Courant max : 5 A
Sortie : NC, NO
Prix : 2,10 €

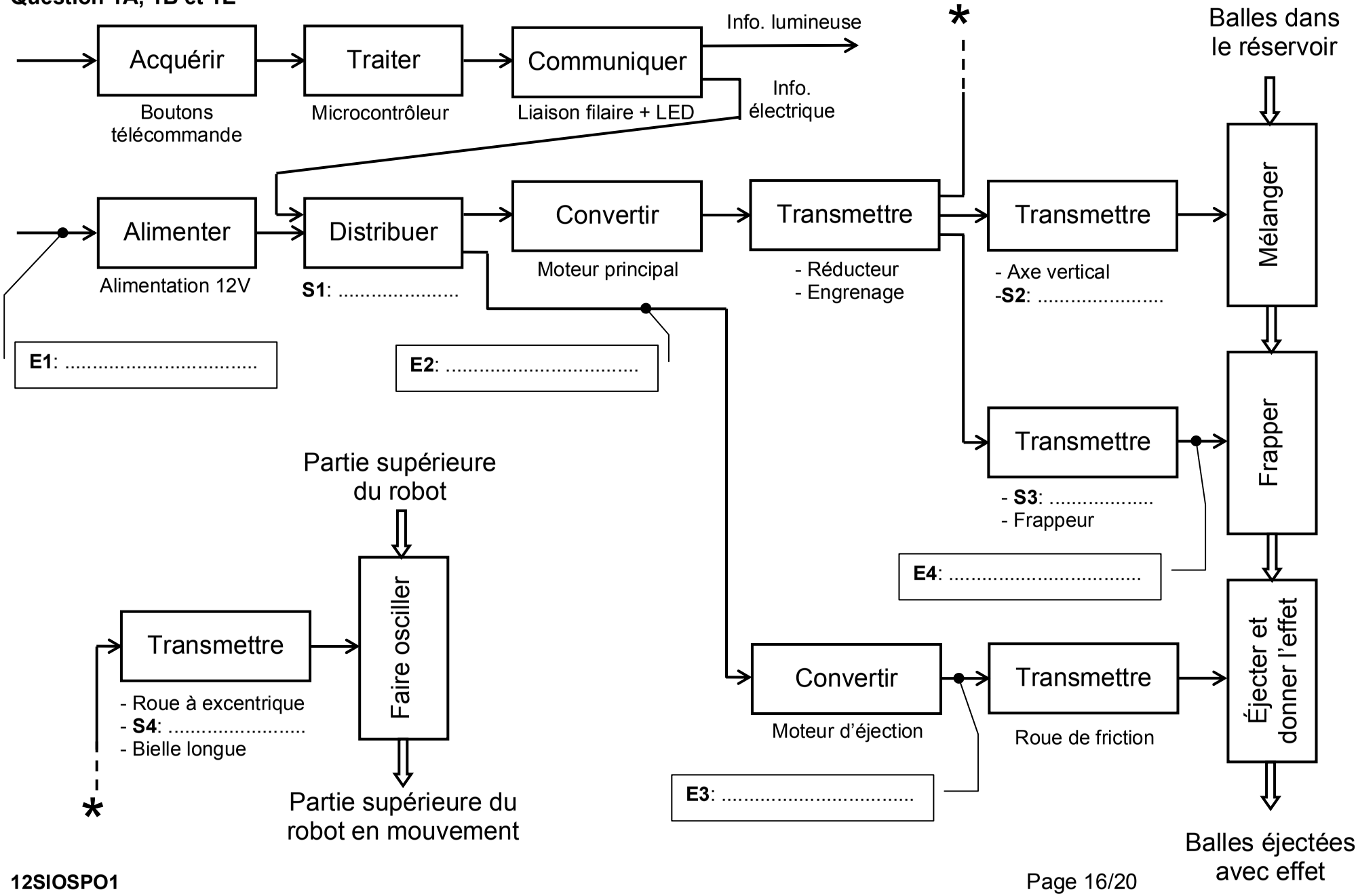


Capteur photoélectrique

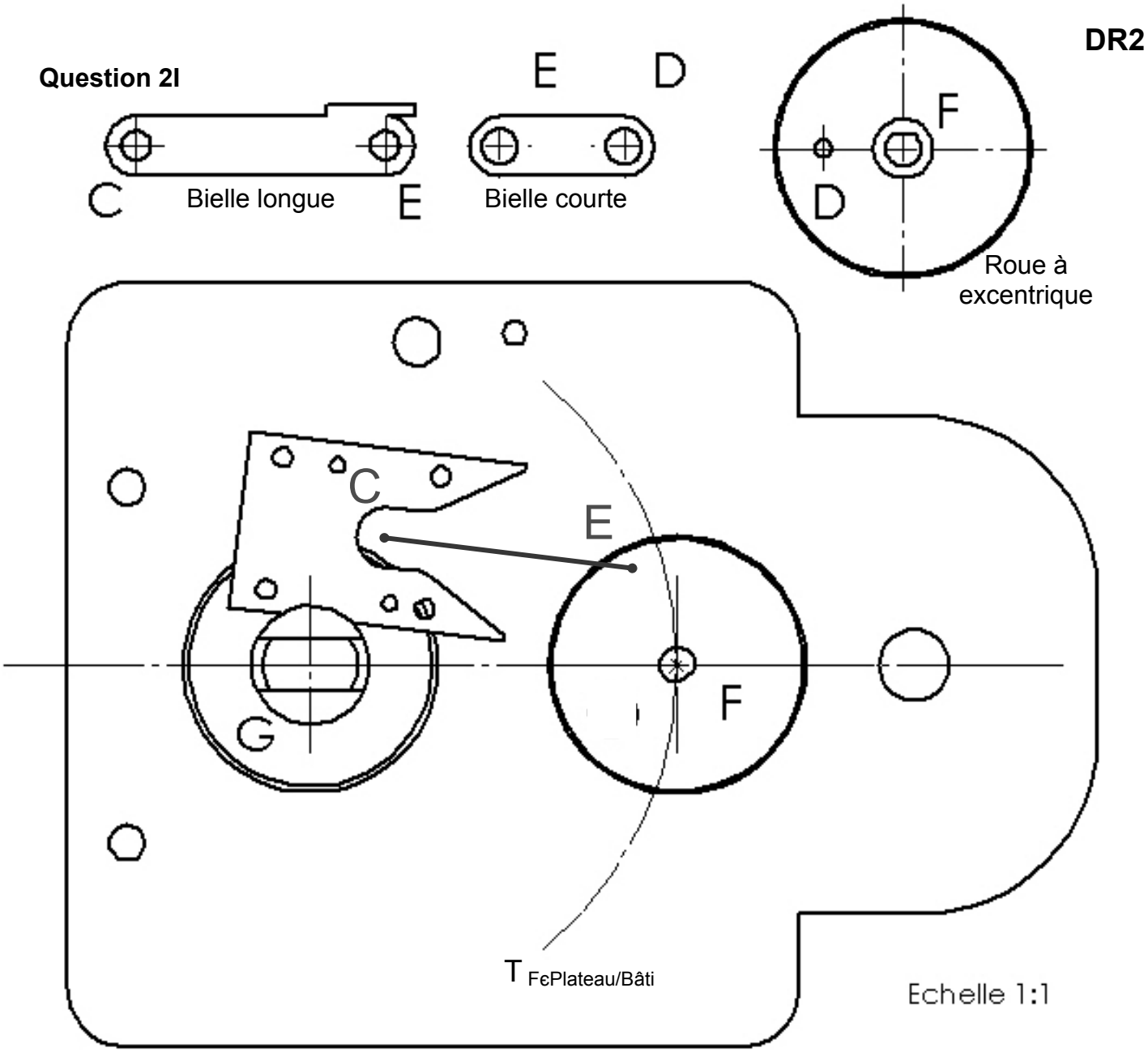
Longueur : 38 mm
Plage de détection : 80 mm
Taille : M12
Tension : 5 – 12V c.c.
Sortie : NC, NO
Prix : 71 €



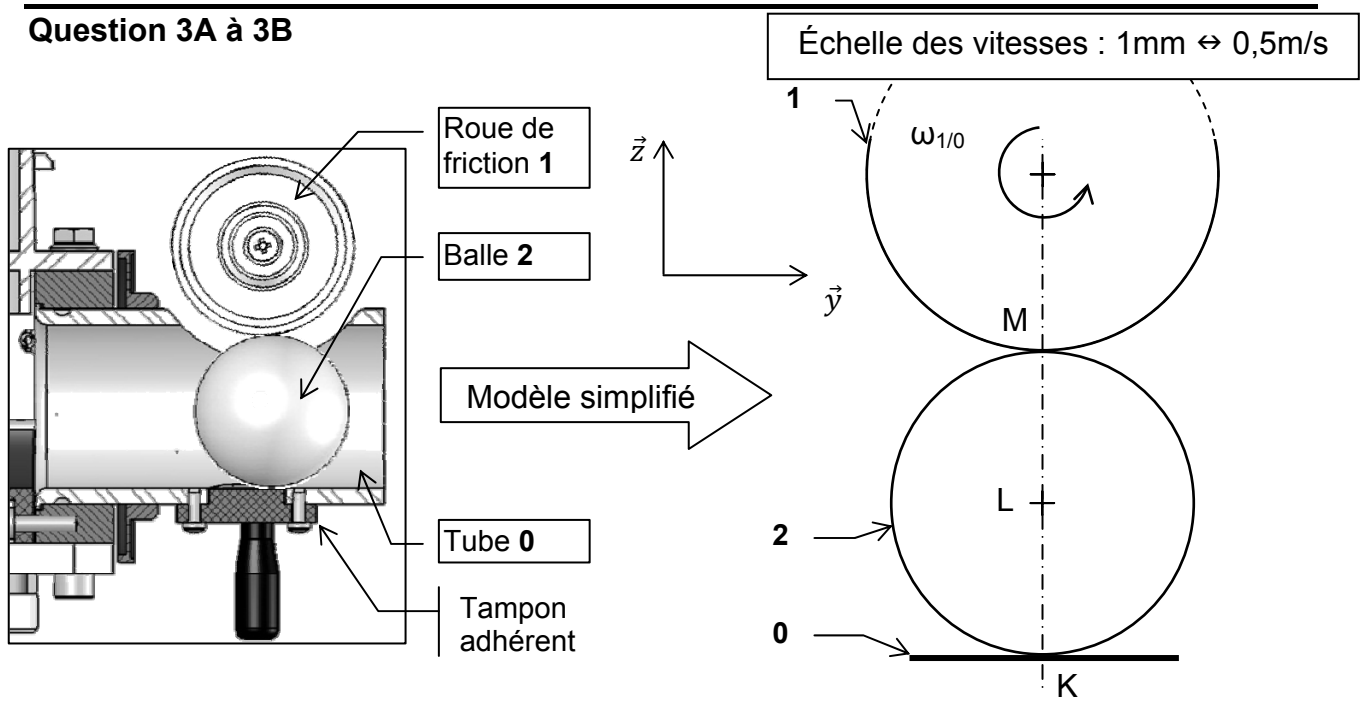
Question 1A, 1B et 1E



Question 2I

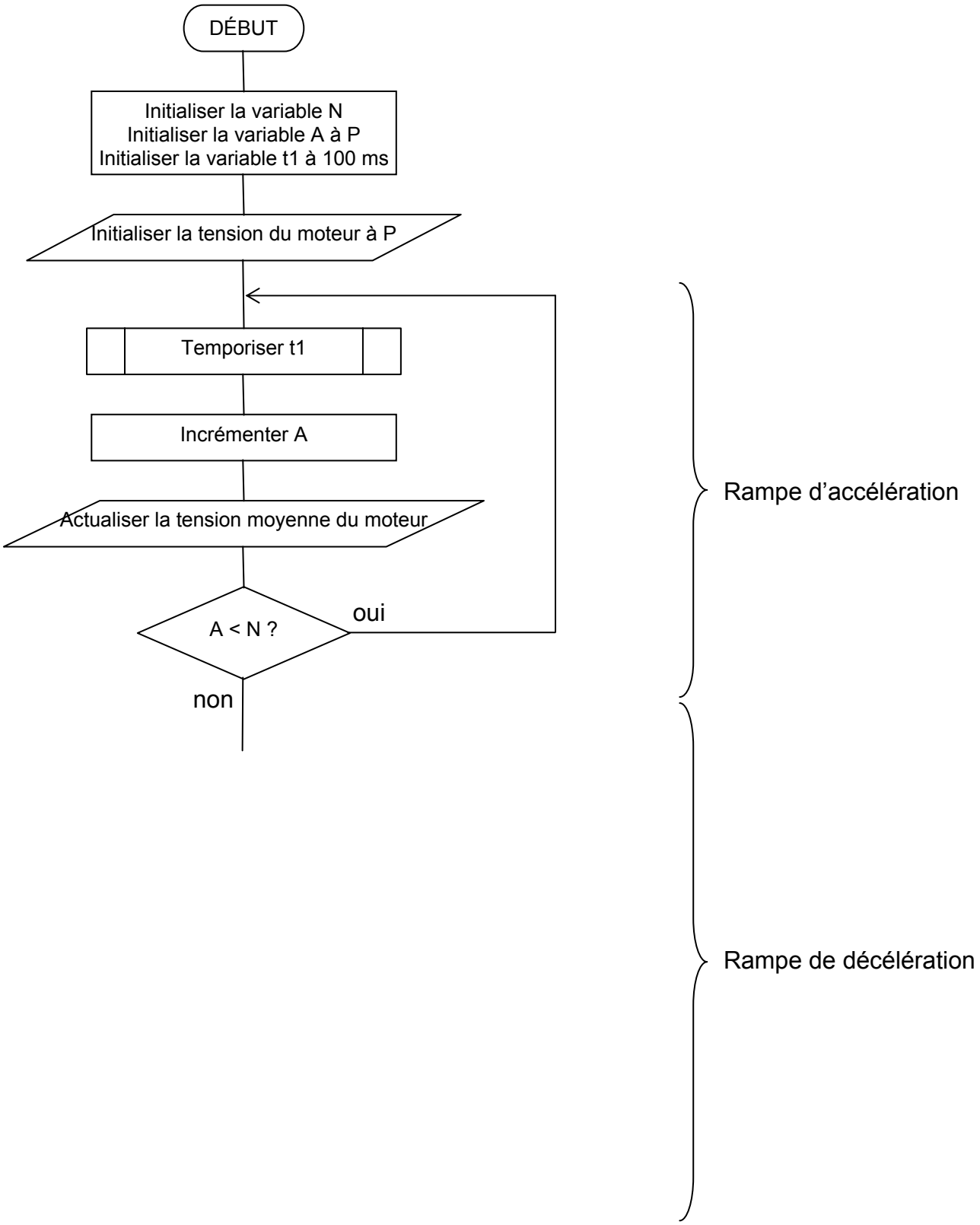


Question 3A à 3B



Question 3E :
ALGORIGRAMME N°1

Légende : incrémenter = ajouter 1 à la variable
décrémenter = soustraire 1 à la variable



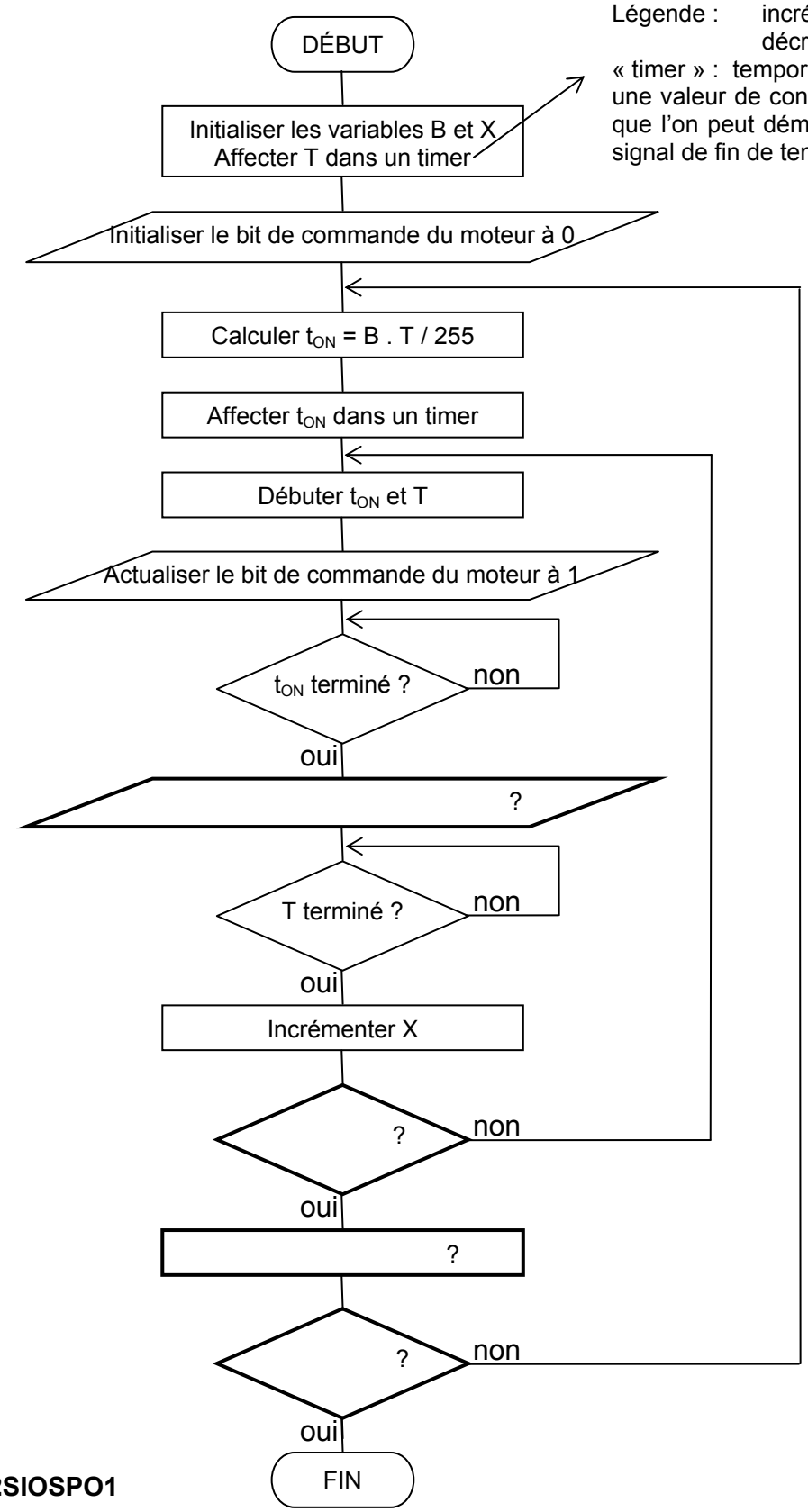
Question 3H : nombre le plus grand sur un octet est 255 . . . . . .

. . . . . .

Question 3I : Calcul de la valeur de B_{min} . . . . . .

Question 3J : ALGORIGRAMME N°2 DE RAMPE D'ACCÉLÉRATION

Légende : incrémenter = ajouter 1 à la variable
décrémenter = soustraire 1 à la variable
« timer » : temporisation dans laquelle on peut mettre une valeur de consigne proportionnelle au temps désiré, que l'on peut démarrer par programme et qui délivre un signal de fin de temporisation.



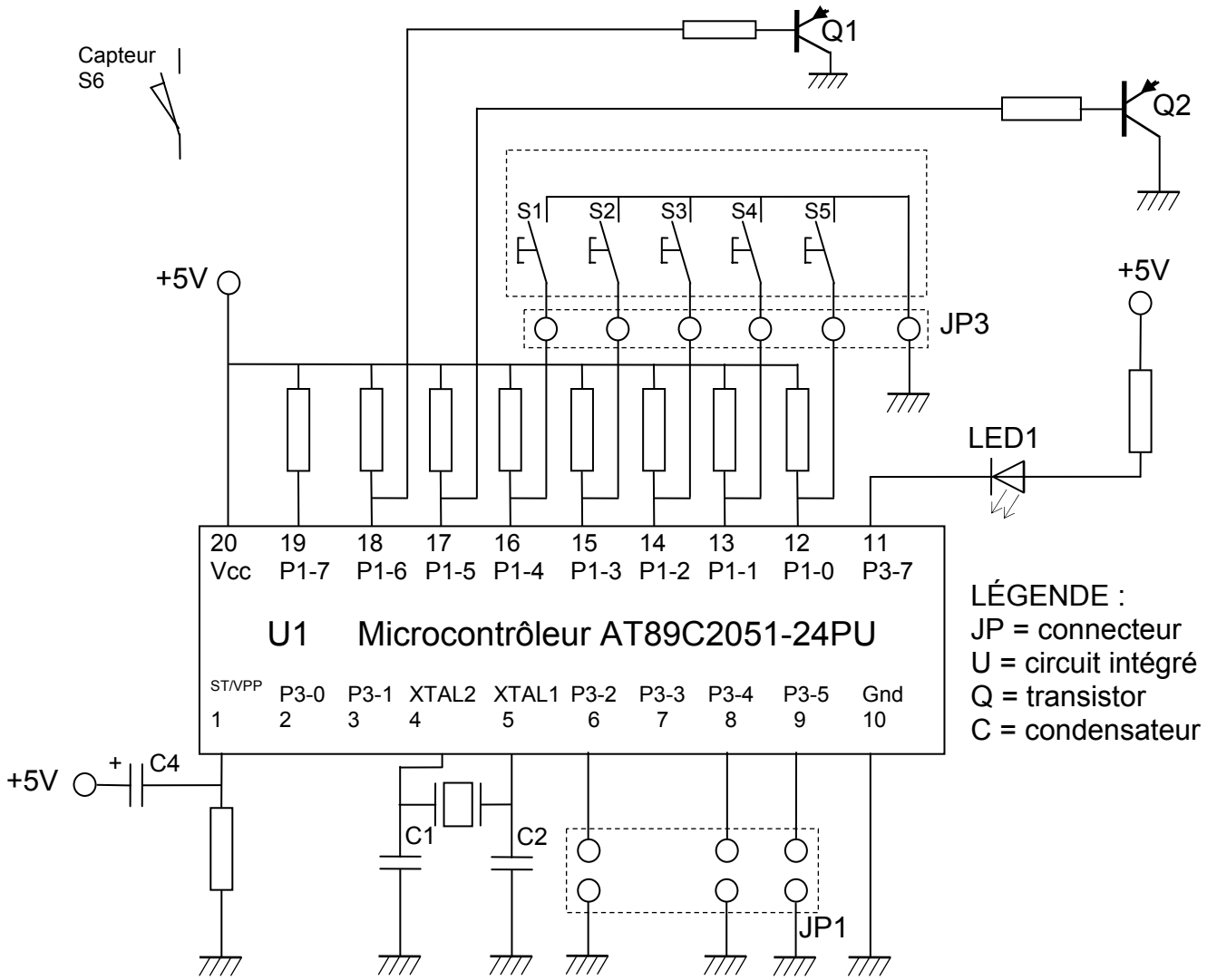
Question 4A et 4B :

TABLEAU PARTIEL DES ENTRÉES ET SORTIES :

	ENTRÉES / SORTIES								
Numéros de broches	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Soit E pour entrée, soit S pour sortie									NU
Signal : soit A pour analogique, soit L pour logique									NU

NU = bit Non Utilisé sur le système d'origine

Question 4F :



EXTRAIT DU SCHÉMA ÉLECTRIQUE DU ROBOT JOOLA SHORTY