

**BACCALAURÉAT GÉNÉRAL
SÉRIE S**

SESSION 2004

SCIENCES DE L'INGÉNIEUR

Durée : 4 heures- Coefficient 4

ETUDE D'UN SYSTÈME PLURI TECHNIQUE

**Sont autorisés les calculatrices électroniques et le matériel habituel du dessinateur.
Aucun document n'est autorisé.**

**Le candidat doit vérifier qu'il dispose d'un sujet complet numéroté de la page 1/16
à la page 16/16.**

Les documents- réponse pages 13/16 sont à rendre impérativement avec la copie.

BACCALAURÉAT GÉNÉRAL Série S-SI

Composition écrite de sciences de l'ingénieur

Durée 4 heures, coefficient 4.

Étude d'un système pluri technique.

ROBOT TONDEUR AUTO MOWER

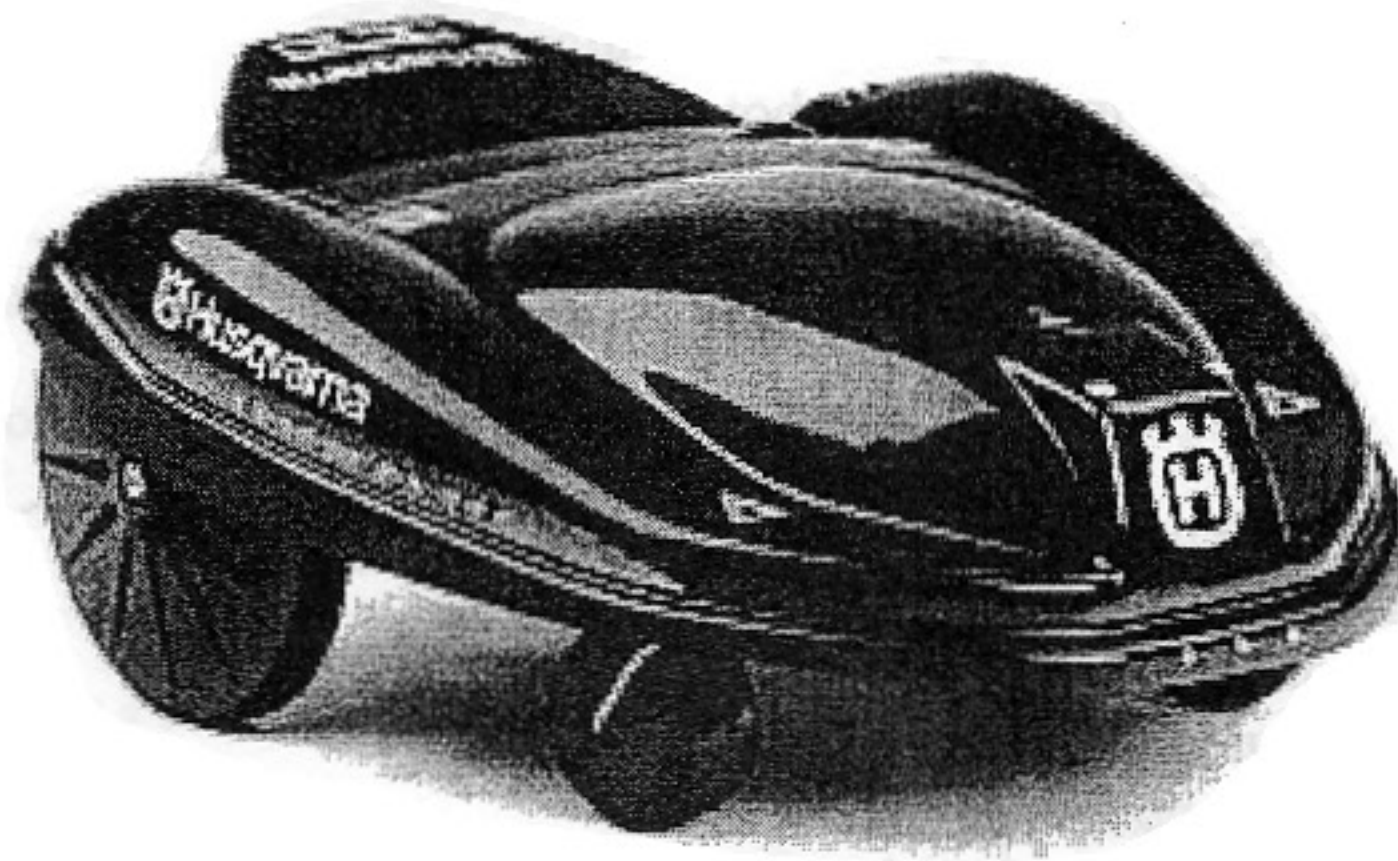


Figure 1 : Robot tondeur vue générale

Composition du sujet:

Présentation du sujet	Page 1
Présentation du système – Description du fonctionnement	Pages 2, 3 et 4
Etude du système	Pages 5
Etude de l'adaptation aux conditions de coupe	Pages 5, 6 et 7
Etude de l'autonomie	Page 8
Etude et définition de l'axe de transmission du moteur de coupe	Page 8
Annexes	Pages 9 à 12
Documents réponses à rendre avec la copie	Pages 13 à 16

Sommaire:

	<i>Répondre sur</i>	<i>Temps conseillé</i>
Présentation du système et description du fonctionnement	<i>Lecture</i>	20 min.
Analyse des solutions technologiques	Document réponse 1	15 min.
Etude des conditions de coupe		
Vérification de la vitesse de coupe des lames	Feuille de copie et document réponse 2	25 min.
Etude de la motorisation de coupe	Feuille de copie et document réponse 2	90 min.
Evaluation du couple résistant - Puissance	Feuille de copie et document réponse 3	40 min.
Validation de l'autonomie du robot		
Evaluation des énergies mises en jeu	Feuille de copie	20 min.
Etude et définition de l'axe de transmission	Document réponse 4	30 min.

Présentation du système

Le robot tondeur Auto Mower a été conçu pour libérer au maximum le propriétaire d'une pelouse de l'astreinte de la tonte.

Le principe est une tonte quasi permanente (figure 2), sans ramassage des déchets de coupe, ce qui est favorable à l'entretien de la pelouse et réduit considérablement l'apport extérieur d'éléments nutritifs (engrais).

L'installation du système nécessite au départ la pose de deux boucles magnétiques (figure 3) permettant pour l'une de délimiter la zone de tonte, pour l'autre de permettre au robot tondeur de s'acheminer vers un poste de recharge de sa batterie.

Ces deux boucles magnétiques sont constituées de fils électriques pouvant être légèrement enterrés (3 à 4 cm) afin de les rendre invisibles et de les protéger.

L'installation effectuée, l'utilisateur pose le robot tondeur sur le sol, introduit son code secret sur le clavier (voir figure 7) et peut laisser le robot en totale autonomie.

En cas de problème de fonctionnement:

- non détection de la boucle périphérique,
- impossibilité de trouver la boucle de recharge,
- impossibilité de se dégager d'un recoin,
- soulèvement ou retournement du robot,

les moteurs ne sont plus alimentés, une alarme par "buzzer" se met en route et un code correspondant au problème s'affiche par allumage de diodes électroluminescentes (figure 7).

Il est à noter que l'introduction du code secret est nécessaire au redémarrage du robot.

Caractéristiques générales:

- Capacité de tonte maximale 1500 m²
- Largeur de coupe 200 mm
- Vitesse d'avance de l'ordre de 0,4 m.s⁻¹
- Surface moyenne de tonte 60 m²/h
- Autonomie moyenne 2h
- Temps de recharge 2h
- Consommation moyenne 8 kW/h par mois (saison de tonte moyenne 7 mois).

Description du fonctionnement

Tonte normale

Le robot tondeur une fois posé sur le sol doit détecter la présence de la boucle magnétique périphérique. Il démarre alors son cycle de tonte en roulant en ligne droite jusqu'à rencontrer cette boucle périphérique délimitant la surface à tondre. Celle-ci rencontrée, le robot "rebondit" (figure 4) suivant un angle aléatoire dont les valeurs limites fixées au départ d'usine peuvent être modifiées par la suite en fonction de la configuration du terrain.

La phase de tonte se poursuit ainsi jusqu'à ce que la batterie soit à 50% de sa capacité, le moteur de coupe s'arrête, et le robot se met en quête de la boucle magnétique de recharge. Celle-ci rencontrée, il s'achemine jusqu'au poste de recharge de la batterie pour pouvoir redémarrer un nouveau cycle de tonte.

Il est à noter qu'une horloge interne permet de programmer les heures de tonte.

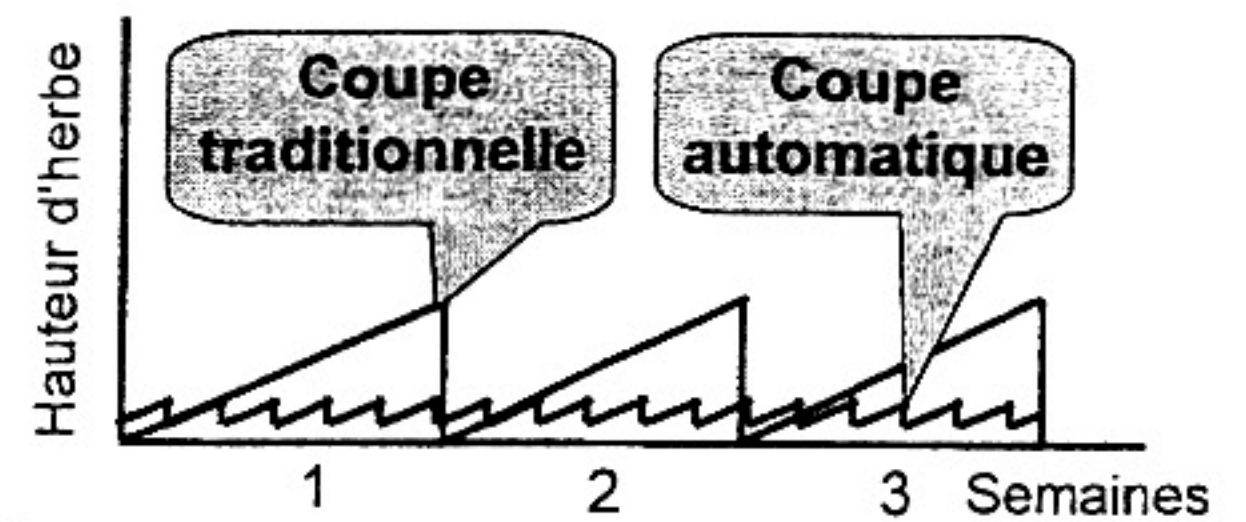


Figure 2 : Comparaison des techniques de tonte

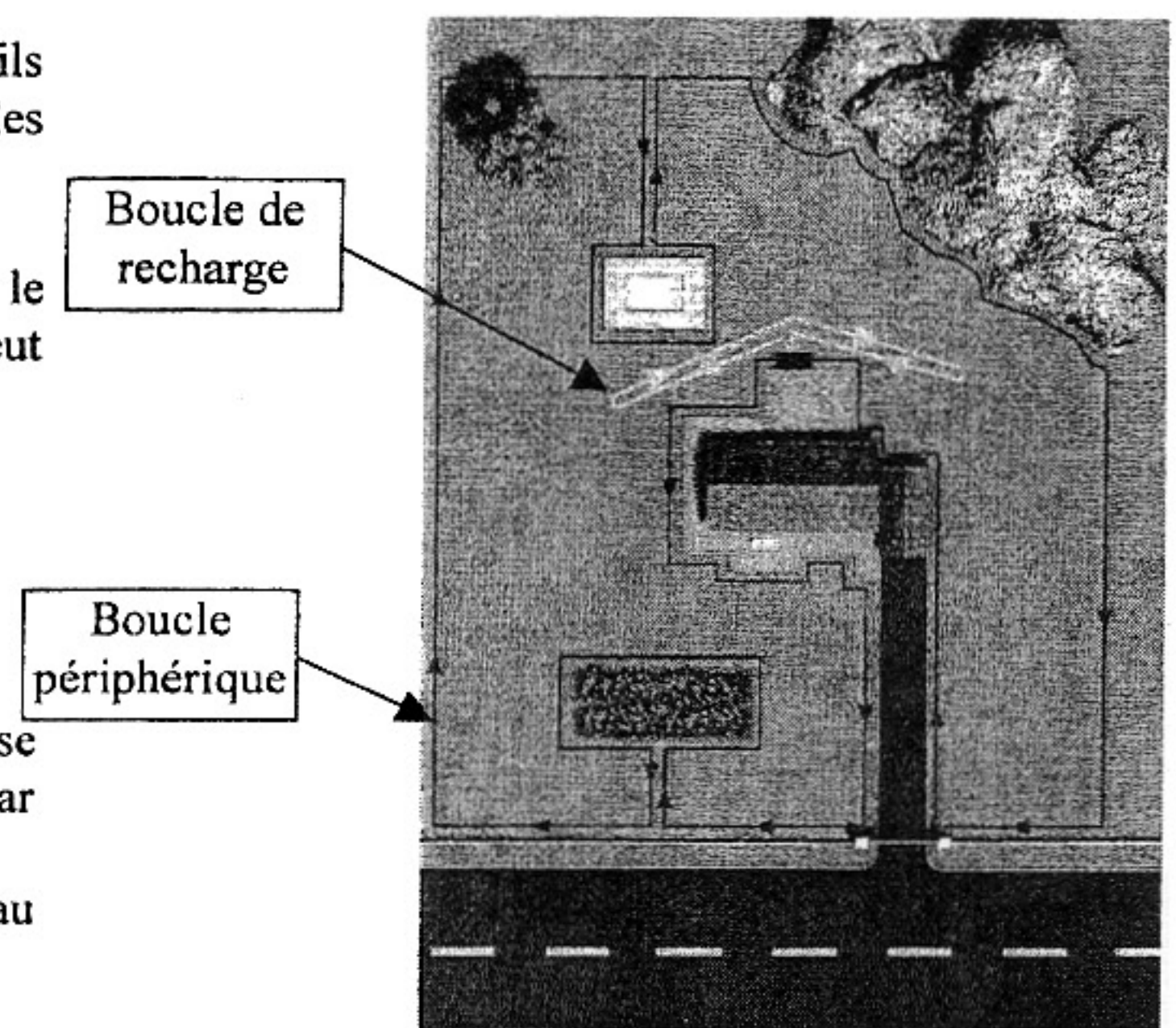


Figure 3 : Boucles magnétiques

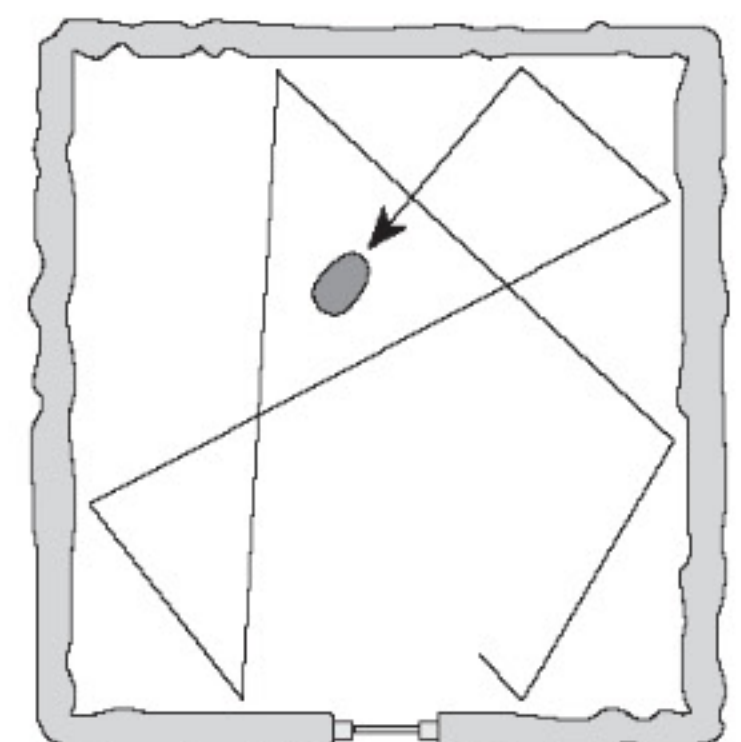


Figure 4 : Tonte normale

Cas de la rencontre d'un obstacle à l'avancement

Les obstacles "rigides" (arbres, ...) sont détectés par déplacement de la coque de la machine. Le robot effectue alors un léger recul, puis change de direction en pivotant sur lui-même et repart.

Cas d'une pente trop importante

Si le robot tondeur se trouve sur une pente trop importante pouvant entraîner un patinage des roues motrices, il effectue un pivotement sur lui-même de 180° et repart en sens inverse.

La pente maximum définie départ usine est de 15° , il est possible de l'augmenter pour adapter le robot à la configuration du terrain, il faut dans ce cas là rajouter des poids pour augmenter l'adhérence au sol.

Cas d'une zone d'herbe très dense

Pour des raisons pouvant être dues à la tonte suivant un cycle aléatoire ou à la première tonte en début de saison, le robot peut rencontrer une zone où l'herbe est très dense donc difficile à tondre, le couple résistant augmente sur le moteur de coupe.

Il démarre alors un cycle de déplacement en spirale (figure 5) jusqu'à s'être assuré que la partie de pelouse concernée a bien été complètement coupée.

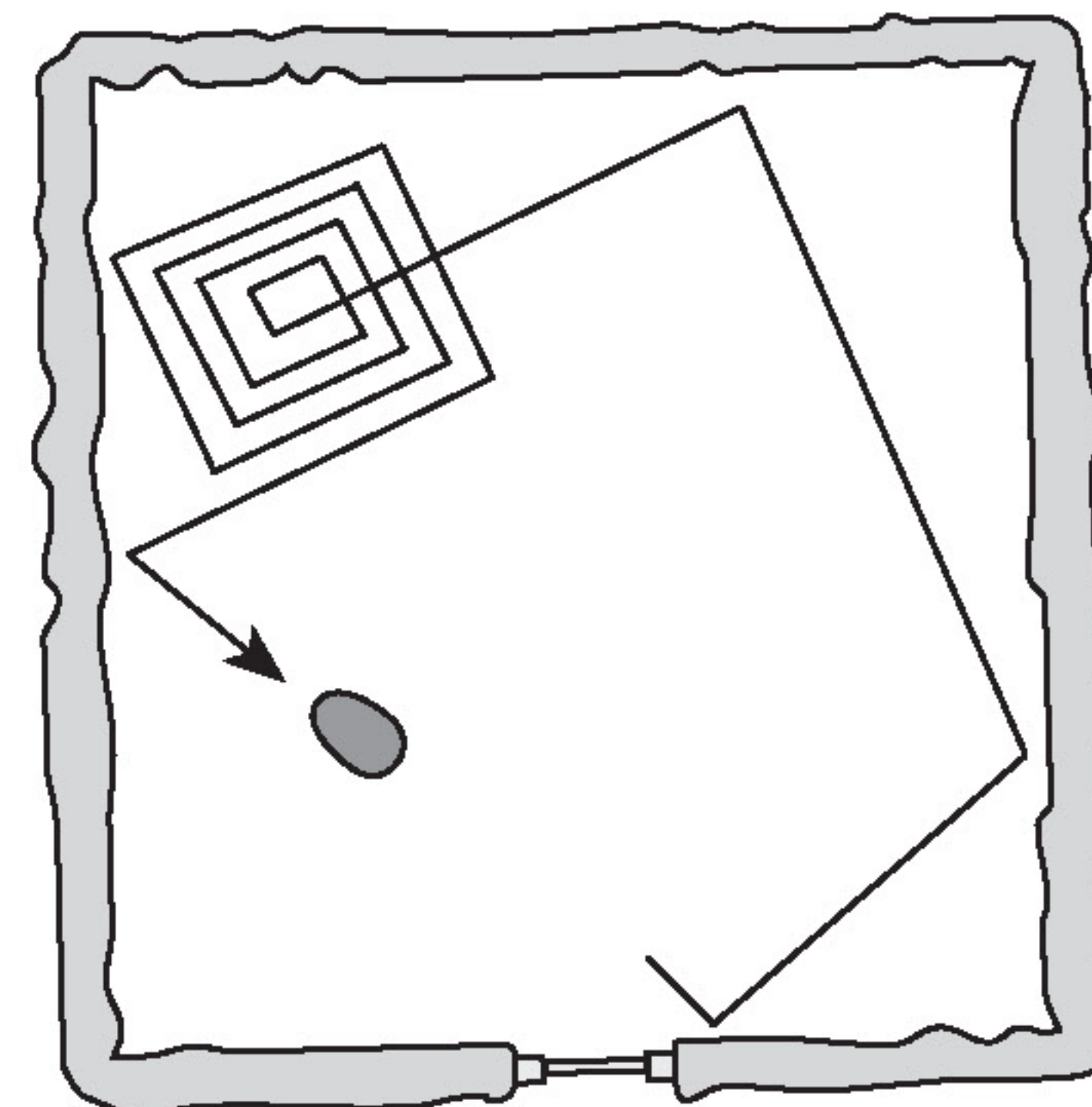


Figure 5 : Cas d'herbe dense

Description du robot tondeur

Déplacement du robot tondeur

Le déplacement du robot est assuré par deux roues motrices situées à l'arrière (figures 6 et 8). Chaque roue est entraînée indépendamment de l'autre par un moteur à courant continu à travers un réducteur.

Le changement de direction du robot est obtenu grâce à une inversion relative des vitesses de rotation des deux roues motrices. Le robot pivote alors sur lui-même. Un capteur optique lié à l'axe de chacun des moteurs permet à la carte électronique de connaître les angles de rotation des roues et donc de diriger précisément le robot.

Coupe

Le mécanisme de coupe (figures 8 et 9) est constitué d'un plateau équipé de trois lames entraîné en rotation par un moteur électrique. Les lames de coupe sont articulées sur le plateau, sous l'effet de la force centrifuge elles s'écartent vers l'extérieur, en cas de choc important (branche par exemple), elles pivotent et se retrouvent masquées par une plaque de protection en tôle d'acier, libre en rotation, qui assure la protection des éléments tournants.

Gestion du système

Le robot est géré par une carte électronique construite autour d'un microcontrôleur (68HC11 de Motorola) Cette carte reçoit et traite les informations issues des capteurs de pente, de choc et de boucles, reçoit aussi les informations vitesses issues des codeurs associés à chaque moteur, gère les données utilisateur provenant du clavier et fournit les ordres de pilotage à chacun des trois variateurs associés aux moteurs.

Les modulateurs d'énergie sont des convertisseurs statiques continu/continu (hacheurs) commandés :

- En tension pour les moteurs de déplacement car compte tenu des réducteurs le couple est faible en sortie d'arbre moteur et c'est la vitesse de rotation des roues qui est essentielle pour le fonctionnement.
- En courant ou en couple pour le moteur de tonte car selon la densité et la hauteur d'herbe le couple résistant varie et il faut adapter les ordres de pilotage du modulateur à cette situation .

La batterie qui permet le fonctionnement global du robot, est une batterie de 12V/4,4 Ah, de technologie Nickel Métal Hydrure (Ni-MH). Ce type de batterie permet des décharges profondes sans altérer ses propriétés de charge.

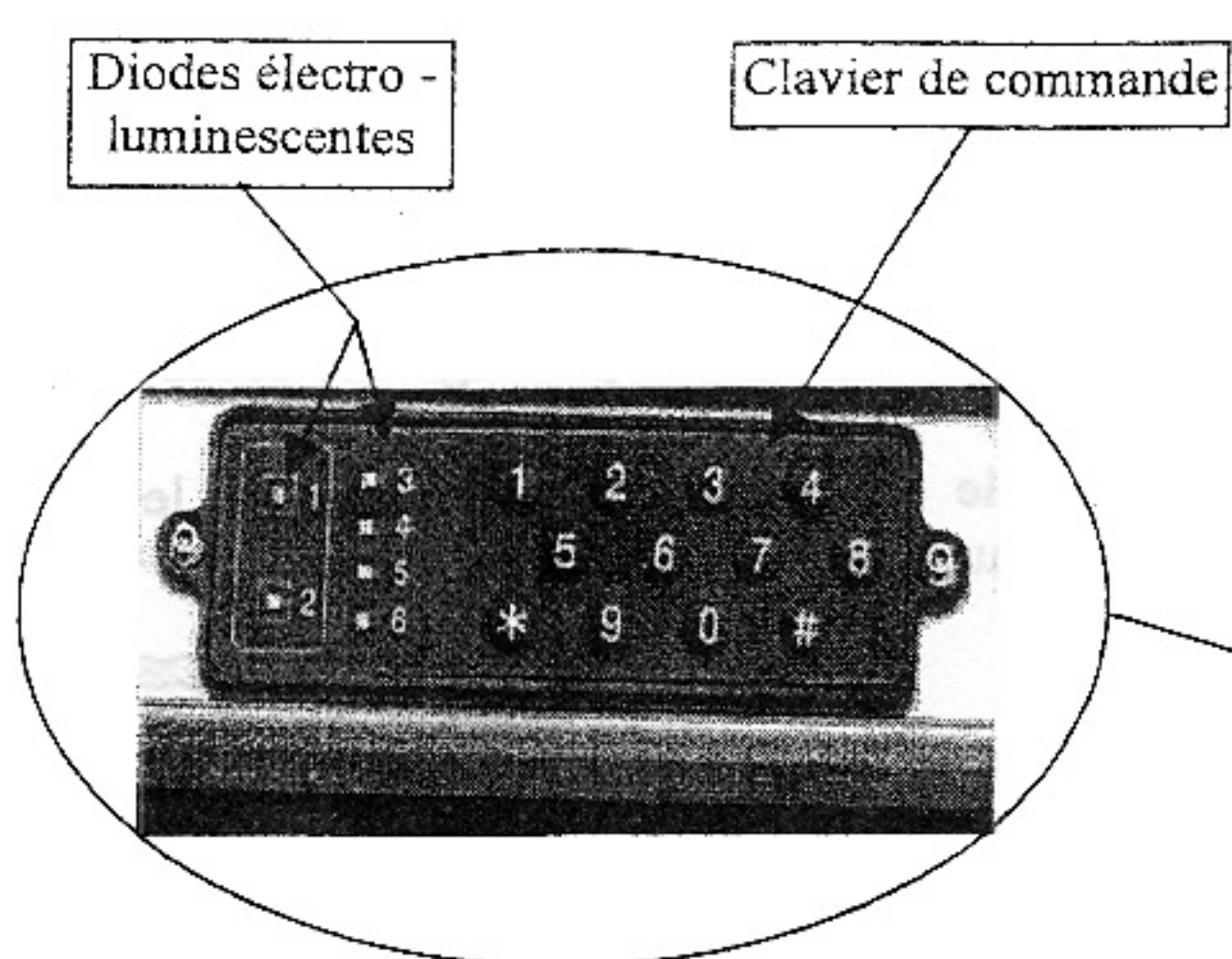


Figure 7 : Interface de communication

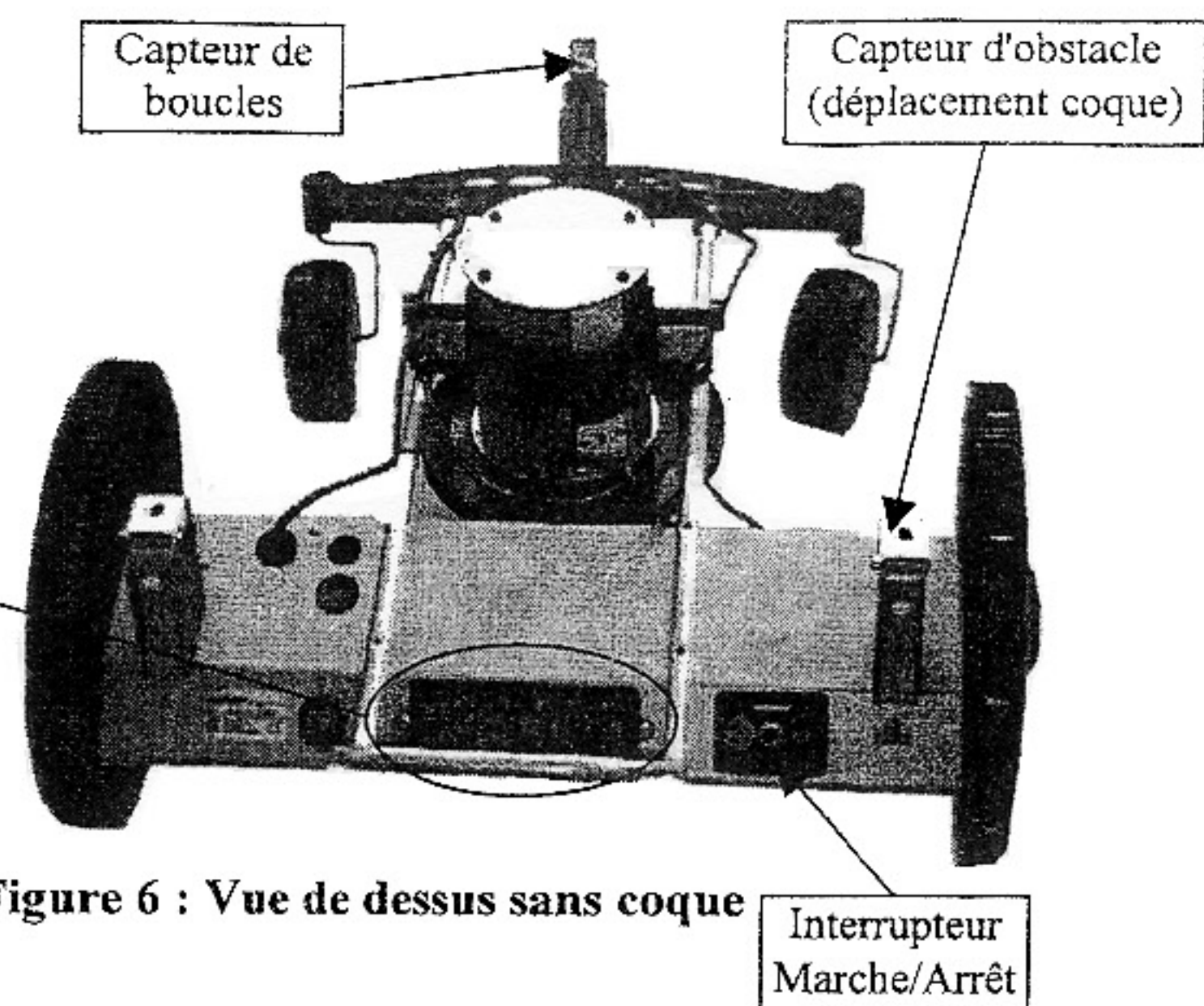


Figure 6 : Vue de dessus sans coque

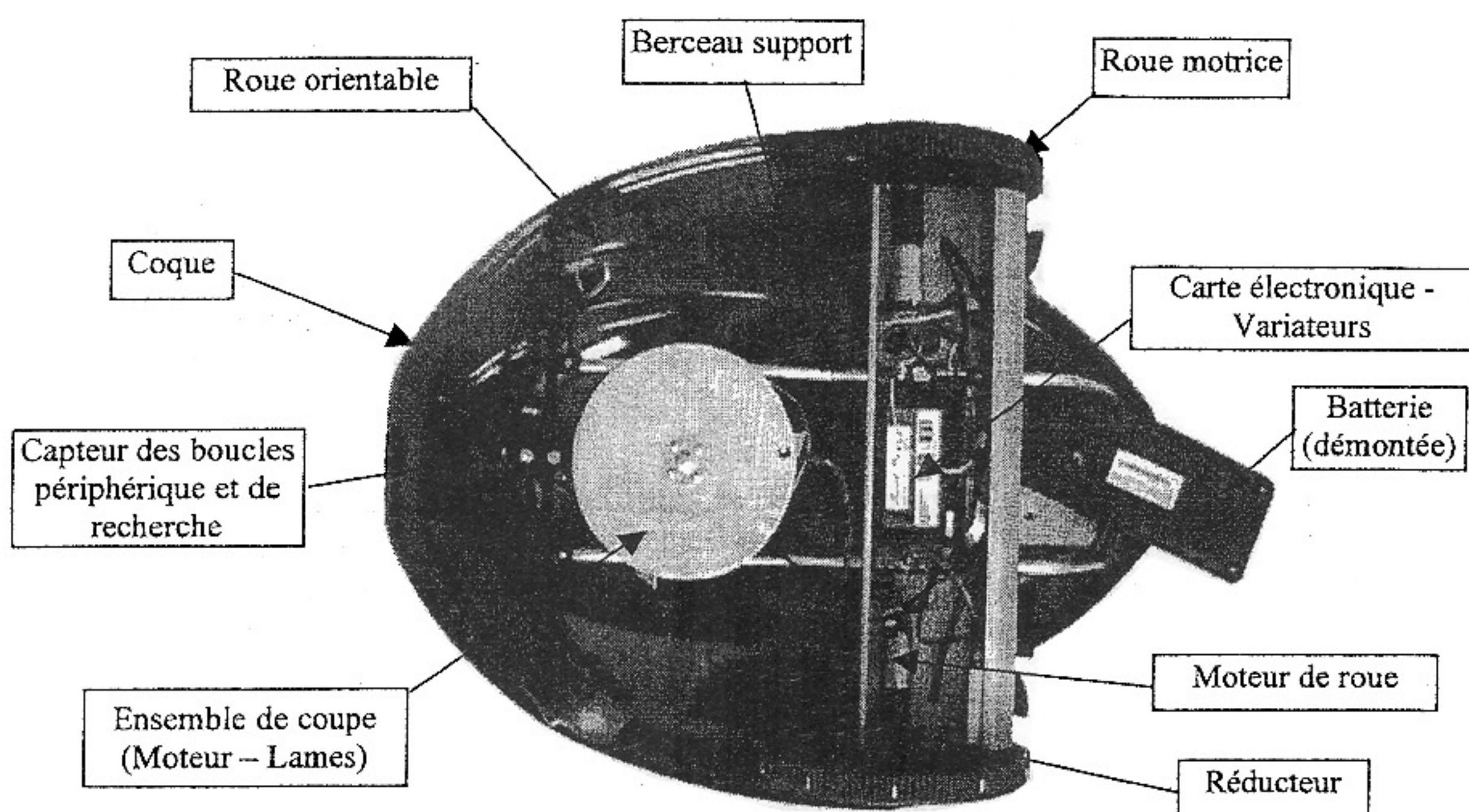


Figure 8 : Vue de dessous

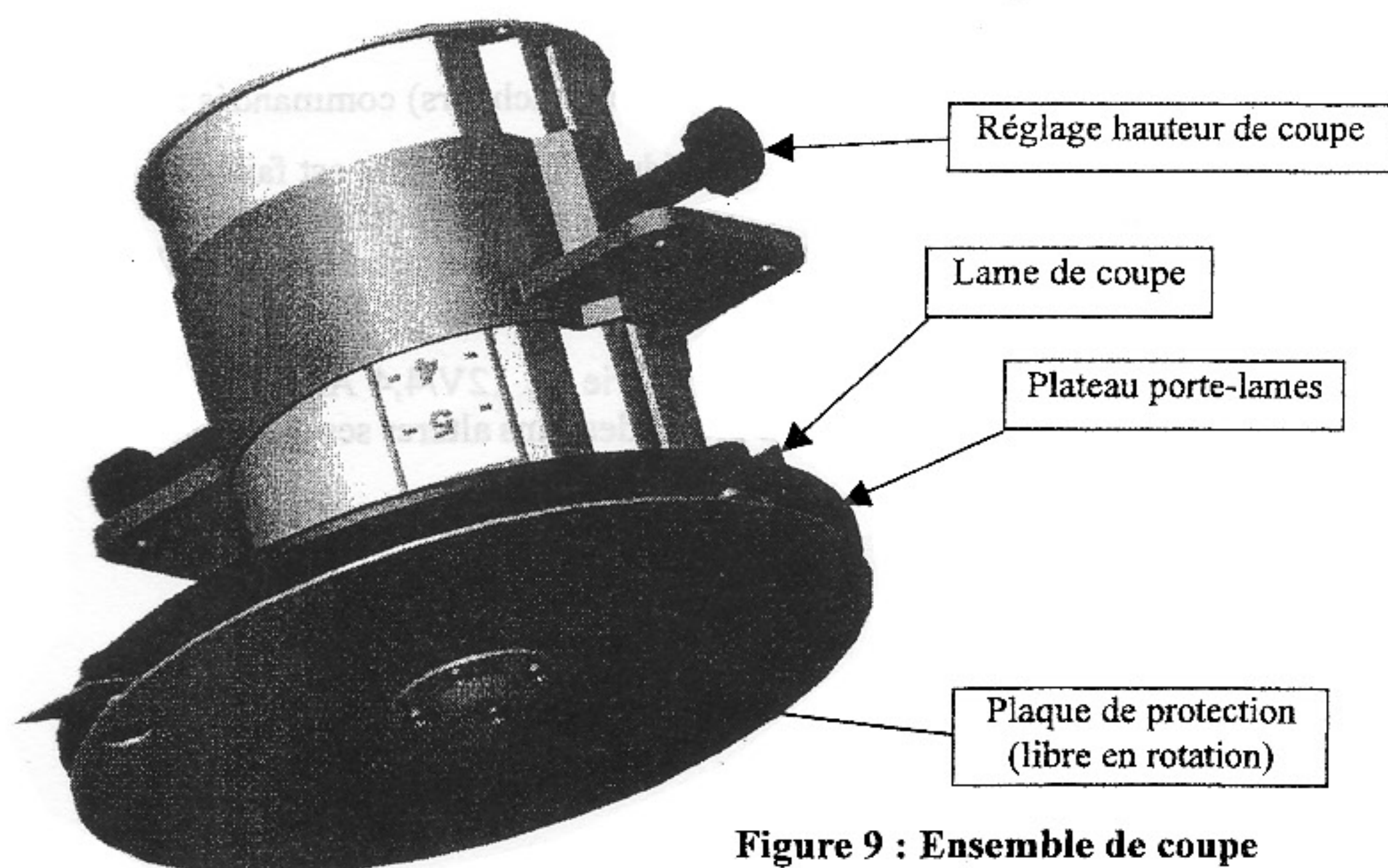


Figure 9 : Ensemble de coupe

Étude du système

Étude n°1 L'objet de cette étude est d'identifier les principaux éléments constitutifs des chaînes d'information et d'énergie répondant à la fonction : Tondre la pelouse.

Après avoir soigneusement lu la présentation et la description du fonctionnement du système étudié dans les deux pages qui précèdent :

☒ Compléter les chaînes d'information et d'énergie du document réponse 1 page 13 et compléter la liste des éléments à détecter.

Étude de l'adaptation aux conditions de coupe

Étude n°2 L'objet de cette étude est de déterminer les paramètres limites de coupe (vitesse, couple et puissance)

Question 2-1 : Calcul de la vitesse d'avance du robot tondeur Répondre sur feuille de copie.

Les moteurs de déplacement sont pilotés par des modulateurs d'énergie qui appliquent à chacun des moteurs une tension continue moyenne de 9,45 volts. Le rapport de réduction important permet d'absorber un courant qui est proche du courant à vide. La vitesse est elle aussi au rapport cyclique près, la vitesse à vide des moteurs.

Données: Fréquence de rotation des moteurs de roues = 3800 tours / minute

Rapport de réduction d'un réducteur = 1 / 126,56

Diamètre des roues motrices = 248 mm

☒ Calculer la vitesse d'avance du robot tondeur.

Question 2-2 : Vérification de la vitesse de rotation minimum du moteur de coupe Sur feuille de copie et document réponse 2.

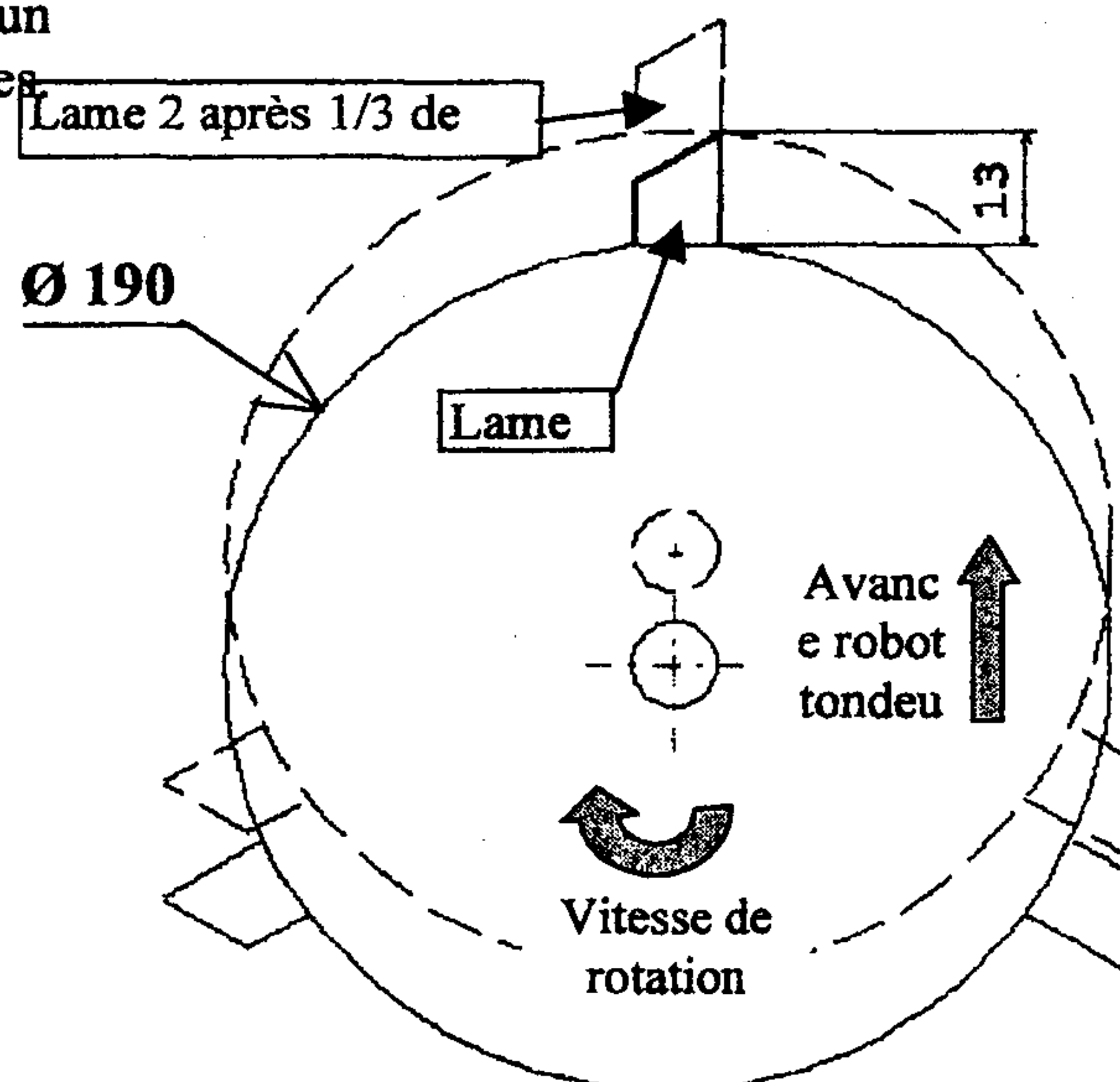
On admettra que pour avoir une coupe nette, il ne doit rester aucun brin d'herbe non coupé entre le passage de deux lames successives.

Données: Une lame de coupe dépasse de 13 mm du disque de protection (voir figure 10).
Le diamètre du disque de protection est de 190 mm.
Le moteur de coupe est le modèle BG3612/4 dont les caractéristiques sont fournies annexe 1 page 9.

☒ Calculer la fréquence de rotation minimum du moteur de coupe nécessaire pour réaliser la condition de coupe nette énoncée ci-dessus et illustrée sur la figure 10.

☒ Le moteur de coupe choisi par le constructeur du robot tondeur est-il compatible avec le résultat trouvé ?

Des essais ont montré que la coupe de l'herbe est nette et franche lorsque la vitesse linéaire de la lame atteint ou dépasse 12 m.s^{-1} .



Figure

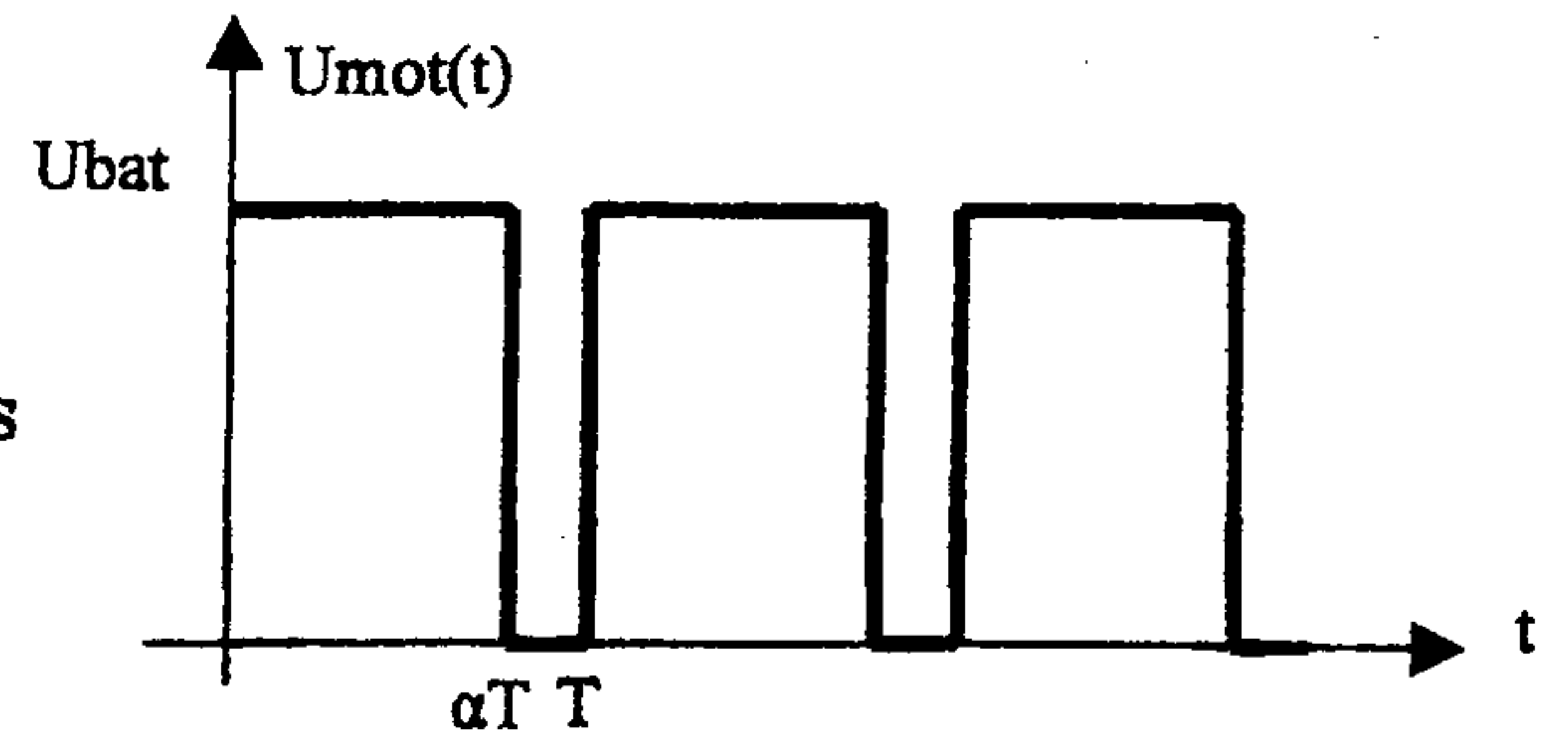
☒ Relever par tracé la fréquence de rotation minimum du moteur de coupe sur le document réponse 2 page 14.

Calculer la vitesse linéaire minimum au bout de lame de coupe (fig. 10). La condition énoncée ci-dessus est-elle vérifiée?

☒ Quelle doit être alors la fréquence minimum de rotation du moteur de coupe ?

Question 2-3 : Identifier les paramètres de commande liés à la variation de vitesse

Le modulateur (hacheur) qui pilote le moteur de coupe applique au moteur une tension de la forme suivante :



- ✎ Exprimer dans le cas ci-dessus la tension moyenne aux bornes du moteur. (*Sur feuille de copie*)

Des mesures ont permis de déterminer des paramètres que ne donne pas le constructeur :

Résistance de l'induit : 0,51 Ohms

Constante électrique : $k=0,0544 \text{ V.s.rad}^{-1}$

- ✎ A partir des documents du constructeur (annexe 1 page 9) pour $U = U_{bat} = 12\text{V}$ et pour le courant nominal, calculer la vitesse de rotation du moteur. Cette vitesse est-elle compatible avec la tonte ? (*Sur feuille de copie*)
- ✎ Calculer la valeur d' α permettant d'obtenir pour le courant nominal une vitesse de rotation de 1200 tr.min^{-1} . (*Sur feuille de copie*)

Question 2-4 : Analyser et déterminer les modes de fonctionnement.

Le disque de coupe a une très forte inertie. Il faut, lorsque l'utilisateur soulève le robot que le disque de coupe s'arrête dans un délai très court. A partir de la représentation du hacheur (4 quadrants) en annexe 2 page 10.

- ✎ Nommer les deux quadrants qui représentent le fonctionnement moteur du robot tondeur (*Sur feuille de copie*).
- ✎ Que se passe-t-il lorsqu'on se trouve dans les autres quadrants ? (*Sur feuille de copie*).
- ✎ En tenant compte des spécificités du robot (alimentation embarquée, autonomie, poids) de quels moyens disposez-vous alors pour freiner le disque ? (*Sur document réponse 2 page 14*)
- ✎ La densité de l'herbe entraîne le couple résistant C , ce couple s'oppose au couple moteur qui est lui-même proportionnel au courant et s'écrit sous la forme $C = k I$. Sur quels paramètres agit le couple moteur ? (*Sur document réponse 2 page 14*)

Question 2-5 : Transformer une grandeur physique en un signal numérique.

Le microcontrôleur, pour ajuster la vitesse du moteur de coupe en fonction du couple résistant dû à l'état de l'herbe, doit connaître en permanence celui-ci.

- ✎ L'information couple moteur est-elle une information analogique, logique, ou numérique ? (*Sur feuille de copie*)
- ✎ Comment est traitée dans ce cas l'information couple, argumenter votre réponse ? (*Sur feuille de copie*)
- ✎ Quelle fonction électronique permet à un microcontrôleur de mesurer cette information ? (*Sur feuille de copie*)

L'information couple moteur est codée sur 8 bits. La pleine échelle (valeur maximale que prend la sortie pour le mot maximum) correspond à une tension de 10 volts.

- ✎ Donner la valeur du pas de progression, en déduire la valeur binaire correspondant à 5 volts puis sa valeur en hexadécimal ? (*Sur feuille de copie*)

Question 2-6 : Evaluation du couple résistant Répondre sur le document réponse 3 et sur feuille de copie.

On se propose dans cette étude d'estimer une valeur du couple résistant dû à certaines conditions de coupe extrêmes. Le robot tondeur rencontre une zone d'herbe dense, le microcontrôleur adapte alors la vitesse du moteur de coupe afin de pouvoir fournir le couple maximum.

Hypothèses: Les lames de coupe se trouvent dans la position définie annexe 3 page 11.

Les trois lames de coupe ont des sollicitations identiques.

Les frottements sur l'articulation de la lame sont négligeables

Toutes les forces sont dans le plan des figures de l'annexe 3 page 11.

Données: La masse de la lame est de 2,6 grammes.

La vitesse de rotation du plateau porte-lames est constante et de 1200 tours / minute.

Cotes et dimensions annexe 3 page 11.

2-6-1 Calcul de la force centrifuge s'exerçant sur une lame

✎ Placer sur la figure du document réponse 3 page 15, un vecteur représentant cette force centrifuge (direction et sens).

✎ Calculer la valeur de la force centrifuge qui s'exerce sur une lame de coupe dans la position de la figure annexe 3 page 11.

Rappel: La force centrifuge qui s'exerce sur un solide en rotation autour d'un axe peut s'écrire:

$$F_c = 1/2 M \omega^2 R$$

Avec M : masse du solide.

R : rayon au centre de gravité.

ω : fréquence de rotation en rad.s^{-1}

2-6-2 Etude de l'équilibre d'une lame de coupe

On admettra que la lame de coupe se trouve en équilibre dans la position de la figure annexe 3 page 11.

Celle-ci est soumise à trois actions extérieures :

- La force centrifuge F_c due à la rotation du plateau porte lames.
- L'action de l'herbe sur la lame dont la résultante sera supposée s'appliquer au point A défini annexe 3 page 11.
- La réaction de l'axe d'articulation de la lame en O.

✎ Ecrire une équation issue du PFS (principe fondamental de la statique) de moments en O et en déduire la valeur de la résultante des efforts de l'herbe sur la lame de coupe.

2-6-3 Calcul du couple résistant sur le plateau porte lames

On rappelle l'hypothèse suivant laquelle les trois lames subissent des sollicitations identiques.

✎ Calculer le couple résistant s'exerçant sur le plateau porte-lames dû à l'effort de l'herbe sur les trois lames.

✎ Le moteur choisi par le constructeur du robot tondeur convient-il ? Justifiez.

2-6-4 Détermination de la puissance nécessaire à la coupe

✎ En déduire la puissance mécanique absorbée dans ces conditions de coupe.

Etude de l'autonomie

Étude n°3 L'objet de cette étude est de déterminer si les diverses consommations d'énergie sont compatibles avec les données du constructeur.

Question 3-1 : Détermination des grandeurs énergétiques des éléments de la chaîne d'énergie.

Le courant nominal du moteur (document constructeur) qui correspond au cas le plus défavorable de tonte n'est pas le courant normal d'utilisation, ce courant est donné par le constructeur : $I_{\text{normal}} = 0,9 \text{ A}$.

✎ Déduire, dans le cas d'un fonctionnement normal, la quantité d'électricité, en Ampère-heure, consommée en une heure par le moteur de coupe. *(Sur feuille de copie)*

On rappelle que lors du déplacement, le courant, compte tenu du rapport de réduction important, dans les moteurs de déplacement est équivalent au courant à vide.

✎ Calculer dans les mêmes conditions de fonctionnement la quantité d'électricité consommée par les moteurs de déplacement (consulter la documentation constructeur annexe 2 page 10).

✎ Déterminer la quantité d'électricité globale consommée en une heure. *(Sur feuille de copie)*

Question 3-2 : Bilan énergétique, autonomie.

L'électronique étant peu consommatrice d'énergie, celle-ci sera négligée.

✎ Relever sur l'annexe 2, page 10, les informations qui permettent de déterminer la quantité d'électricité nécessaire au bon fonctionnement du robot entre deux cycles de tonte. En déduire l'énergie à fournir entre ces deux cycles
(Sur feuille de copie)

✎ La capacité de la batterie, compte tenu des consignes d'utilisation, est-elle capable de satisfaire au besoin de la tonte ? Argumenter votre réponse. *(Sur feuille de copie)*.

Etude et définition de l'axe de liaison moteur de coupe/plateau

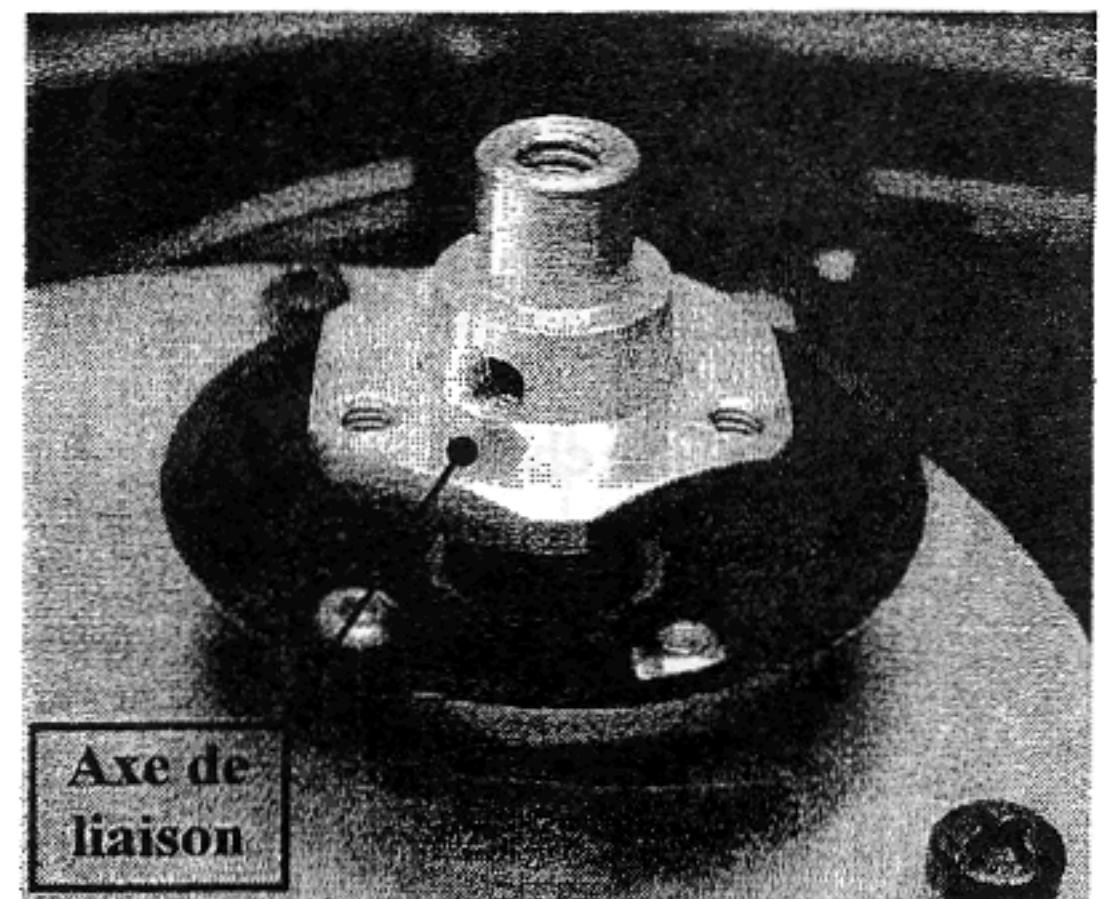
Étude n°4 L'objet de cette étude est d'identifier et de caractériser les principales surfaces fonctionnelles de l'axe de liaison entre le moteur et le plateau porte-lames, puis de définir un arbre de construction de modèleur 3D.

L'axe de liaison permet la réalisation de la liaison complète nécessaire à transmettre la puissance entre le moteur de coupe et le plateau porte-lames. De plus, il supporte les roulements de guidage en rotation de la plaque de protection ayant pour fonction d'empêcher le plateau porte-lames de heurter d'éventuels obstacles pouvant se trouver sur la pelouse. Voir annexe 3 page 11 et 4 page 12

✎ Sur le document réponse 3, identifier et caractériser les principales surfaces fonctionnelles de l'axe de liaison. *Se référer à l'exemple.*

On souhaite construire la pièce avec un modèleur volumique variationnel.

✎ Sur le document réponse 4, proposer une méthode de définition du volume de cet axe de liaison pour un modèleur volumique.



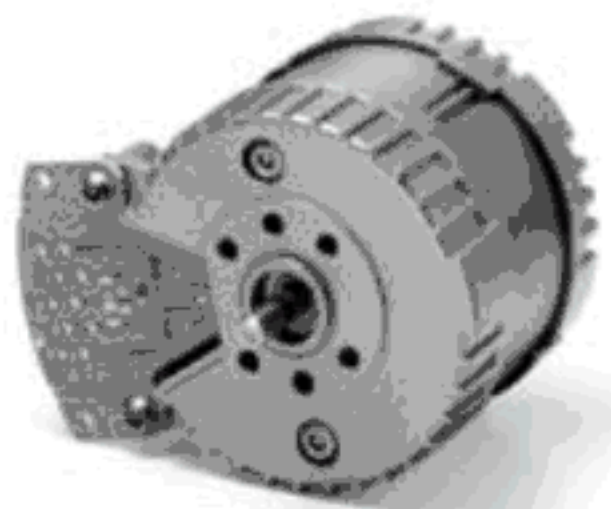
Les volumes élémentaires nécessaires à construire la pièce seront surlignés dans les perspectives, il sera notifié pour chaque volume son type ainsi que les cotes de définition. Voir la première opération définie sur la feuille réponse 4.

NOTA: Les trous taraudés seront exécutés en une seule opération (perçage et taraudage).

ANNEXE 1

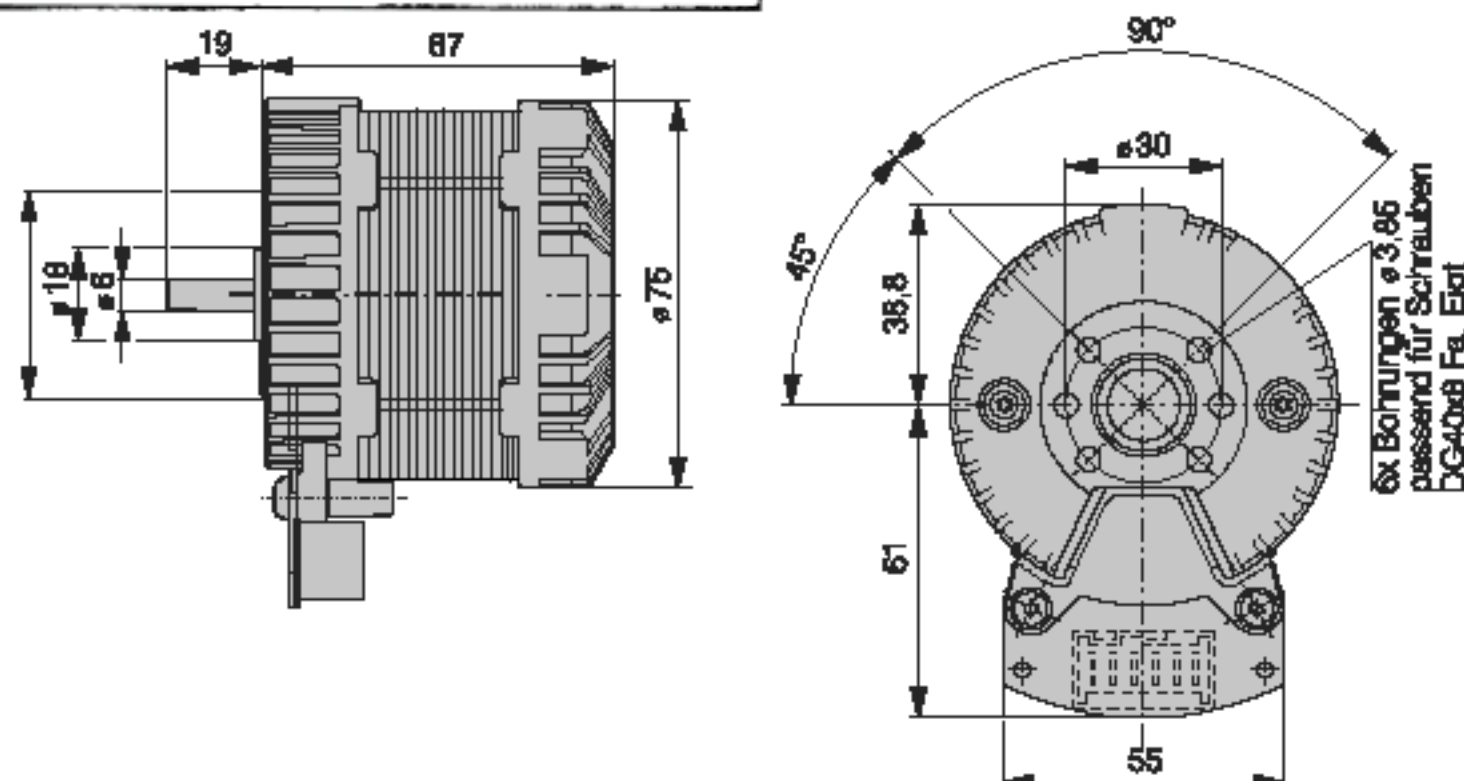
EC Motoren

EC Motors

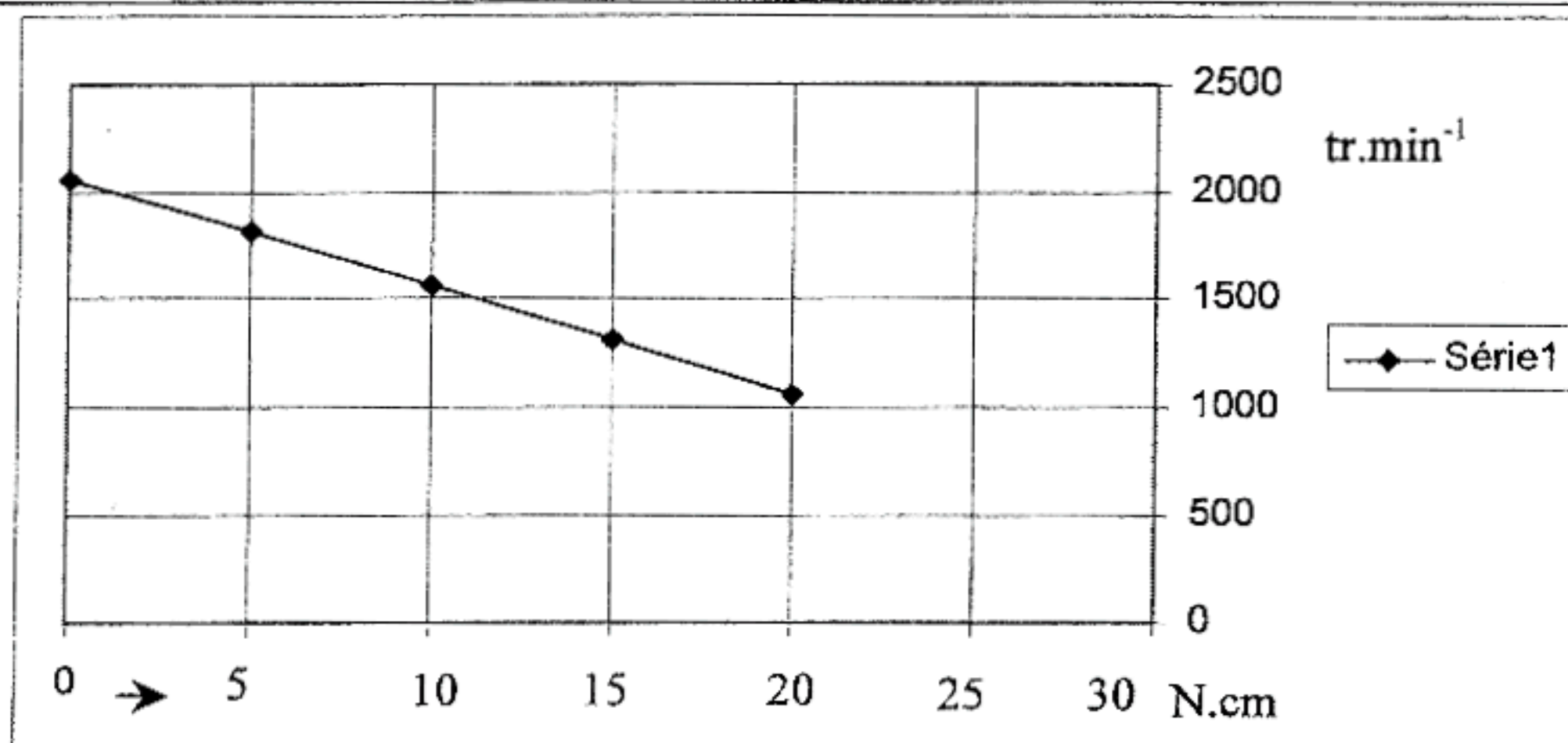


BG 36

Caractéristiques du moteur de coupe



Caractéristique vitesse en fonction du Couple $n = f(M)$ pour le moteur BG3612/4



Typ	type	Type de courbe	Puissance maximale de sortie	Puissance d'entrée Max	Vitesse maximale	Tension nominale	Courant nominal	Couple nominale	Poids	Dimensions
			W	W	min-1	V	mA	Ncm	kg	L
→	BG3612/4	①	22	32	2000	12 DC	1800	10	0.50	46
	BG3612/4	①	22	35	2000	230 AC	290	10	0.50	46
	BG3633/4	②	69	95	2000	12 DC	2400	20	0.90	67

Rappels

Equations de la machine à courant continu :

a : $U = E + RI$ Equation électrique avec :

U : tension d'alimentation en volt (V)

E : force électromotrice en volt (V)

R : Résistance de l'induit en Ohm (Ω)

I : Courant traversant la machine en ampère (A)

b : $E = k_e \Omega$ équation électromécanique avec :

k_e : constante électrique de f.e.m en V.s.rad⁻¹

Ω : Vitesse de rotation en rd.s⁻¹

c : $M = k_I I$ équation de couple avec :

k_T : constante électromécanique de couple en Nm/A

Remarque : $k_e = k_T = k$

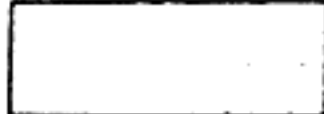
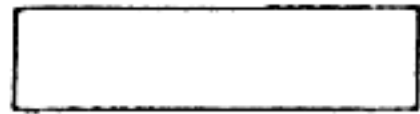
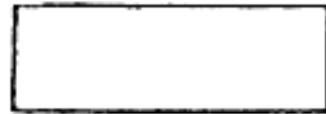
ANNEXE 2

Caractéristiques des moteurs de déplacement

MG 2-2

G 30.1

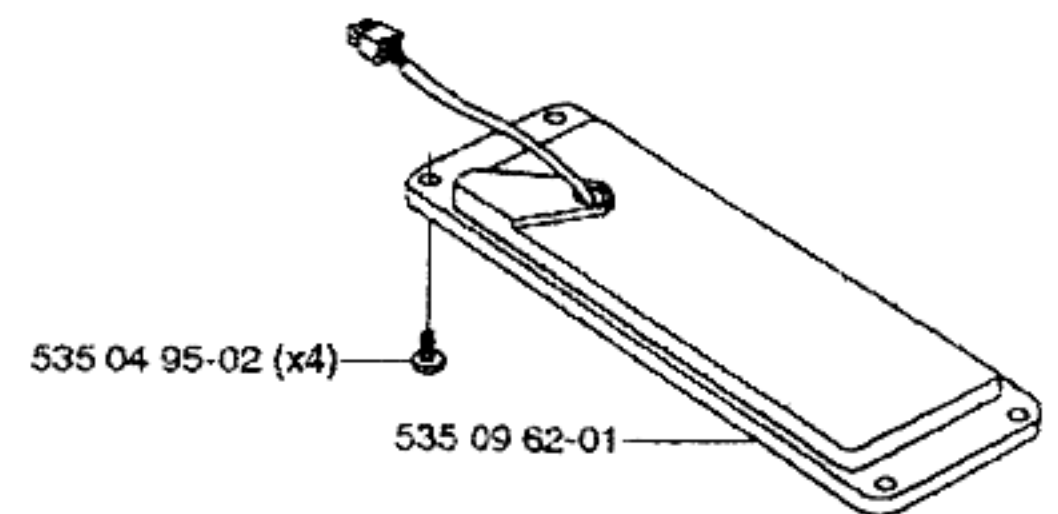
PLG 30.0



Désignation du moteur	G 30.1
Couple nominal	1,65 N.cm
Vitesse nominale	3300 min ⁻¹
Puissance nominale	5,7 W
Tension nominale	12 V
Courant à vide	0,175 A
Diamètre	30 mm
Longueur	50 mm
Courant nominal	0,9 A
Vitesse à vide	4650 min ⁻¹
Couple de démarrage	5,4 N.cm
Constante mécanique de démarrage	17 10 ⁻³ s
Résistance du rotor	4,1 Ohms
Résistance aux bornes du moteur	4,9 Ohms
Constante de couple	2,32 10 ⁻² Nm/A-1P
Tension de démarrage	1,2 V
Puissance de sortie maximale	6,5 W
Température maximale	80 °C

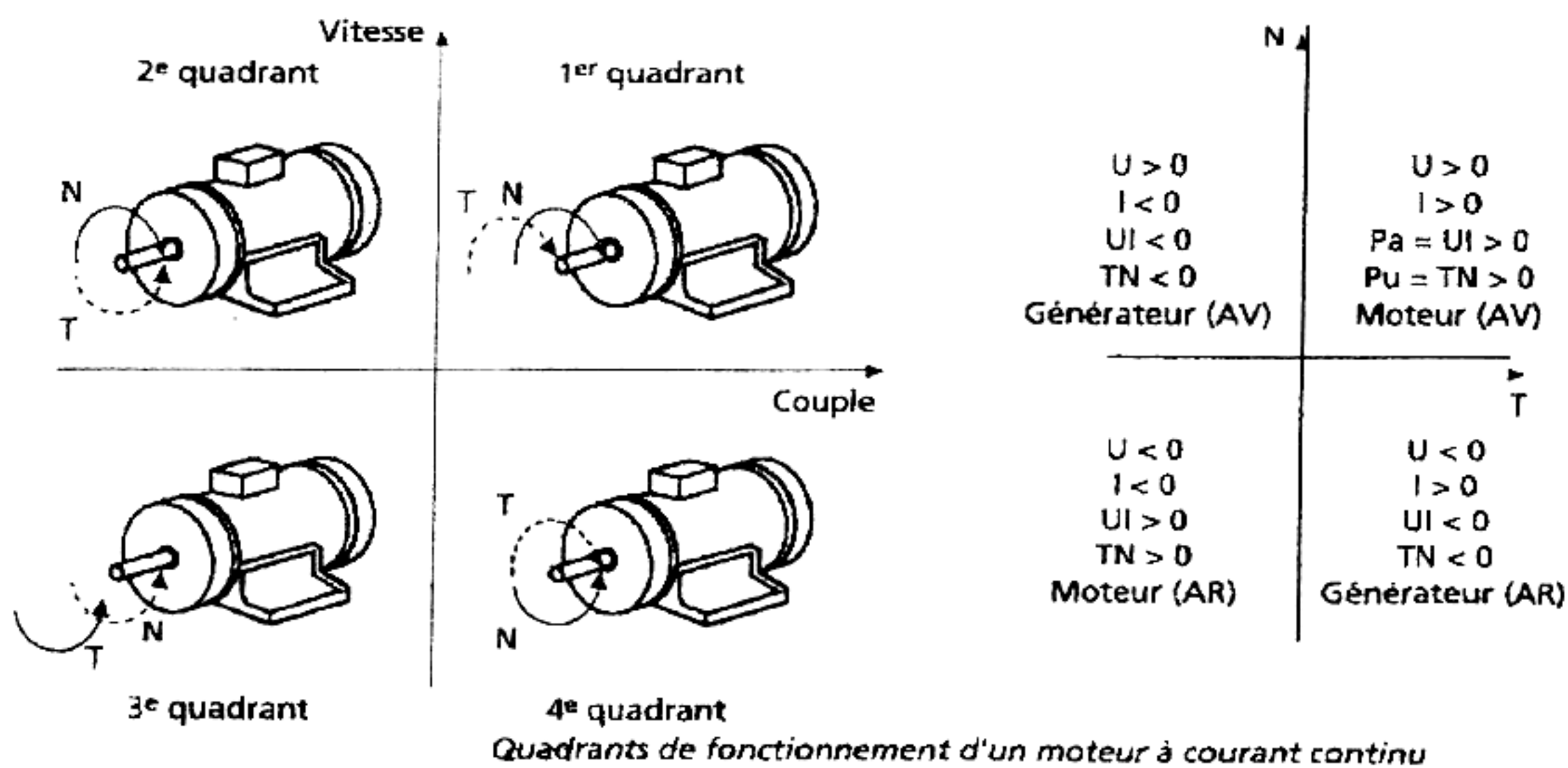
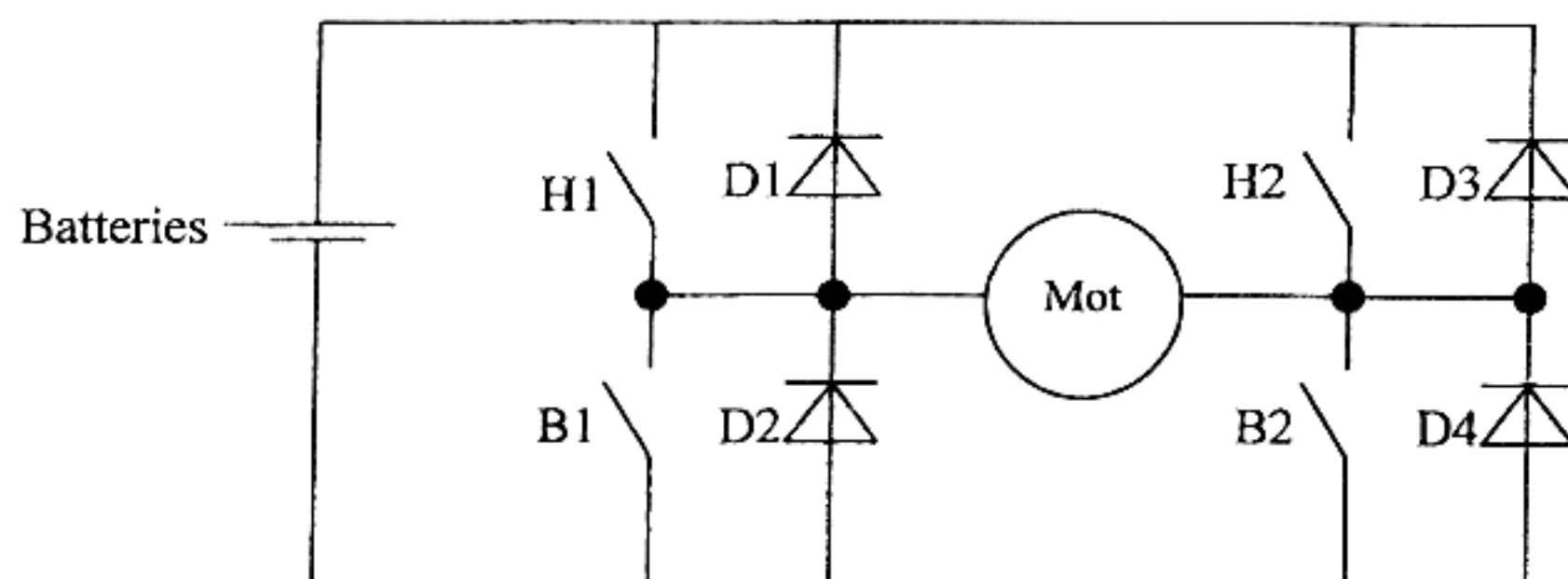
Dunkermotoren

Batterie

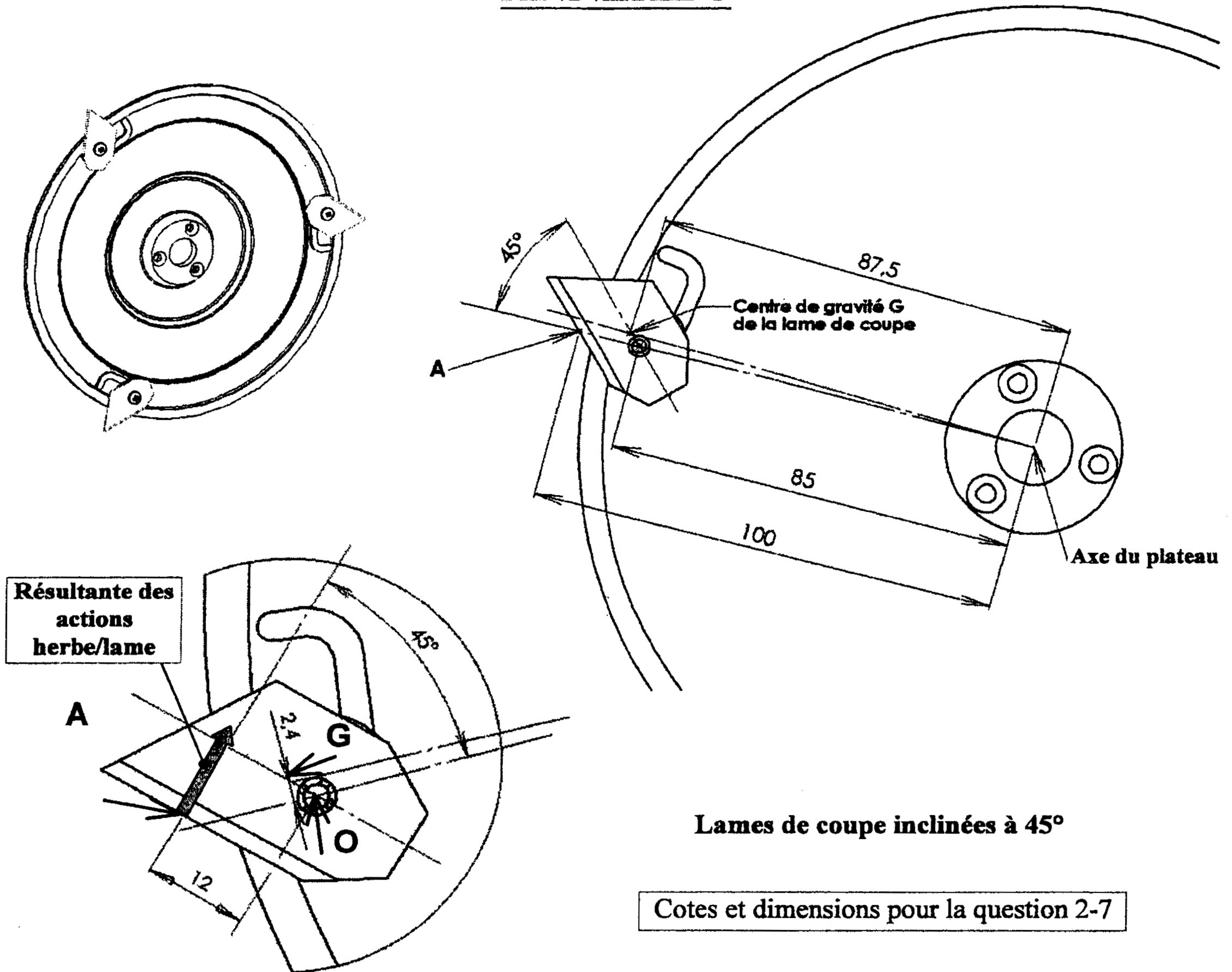


Capacité normale 4.4 Ah
Tension nominale 12 V
Seuil mini avant recharge 1.6 Ah

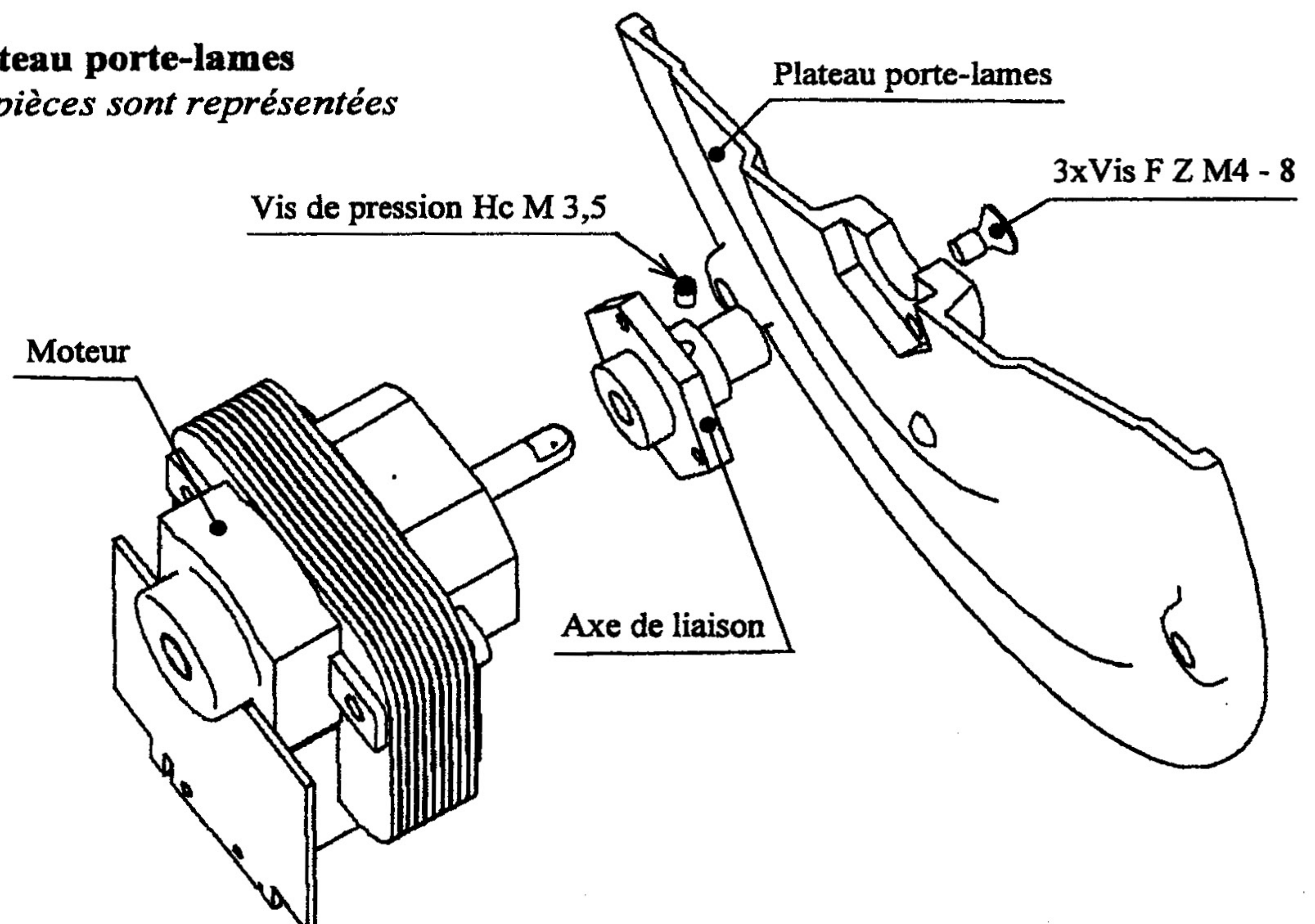
Hacheur 4 quadrants schéma structurel



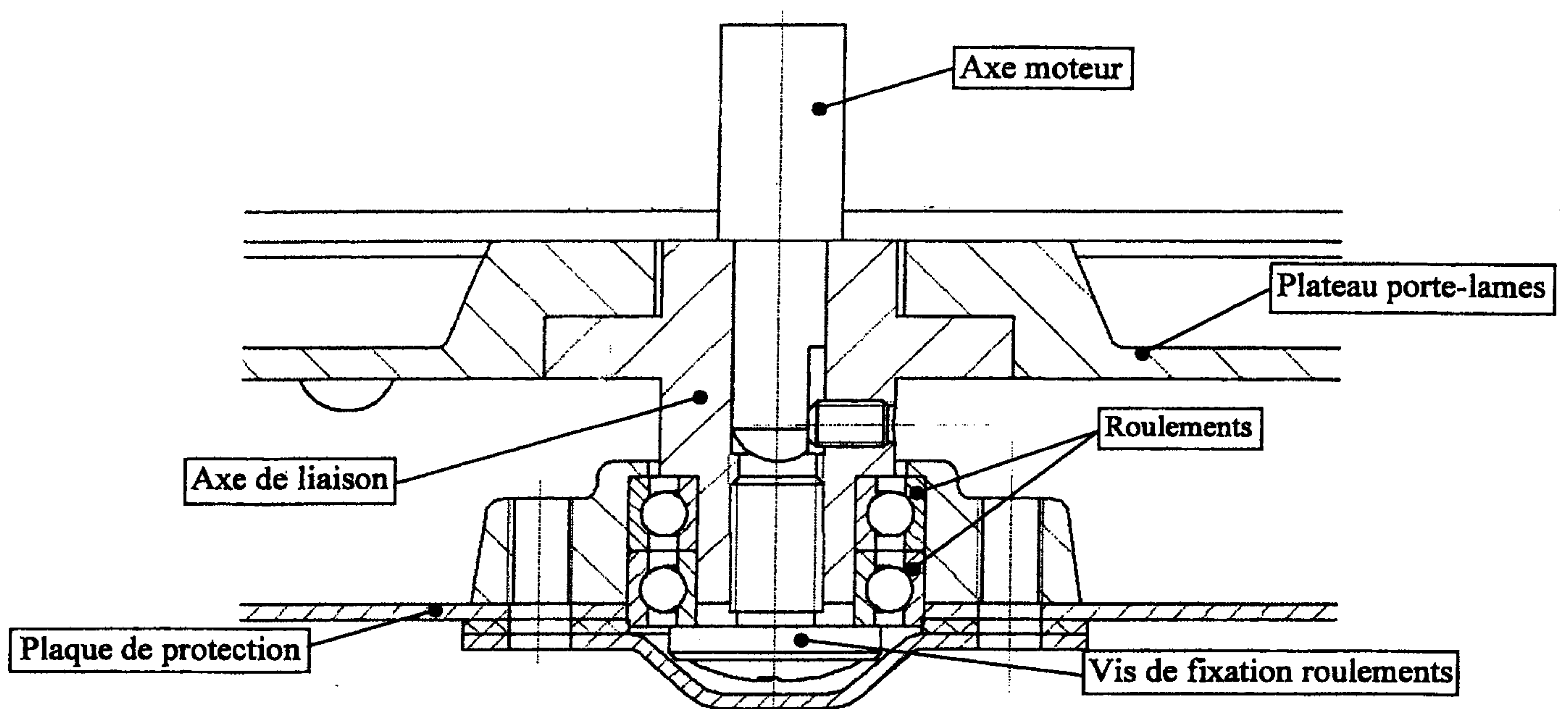
ANNEXE 3



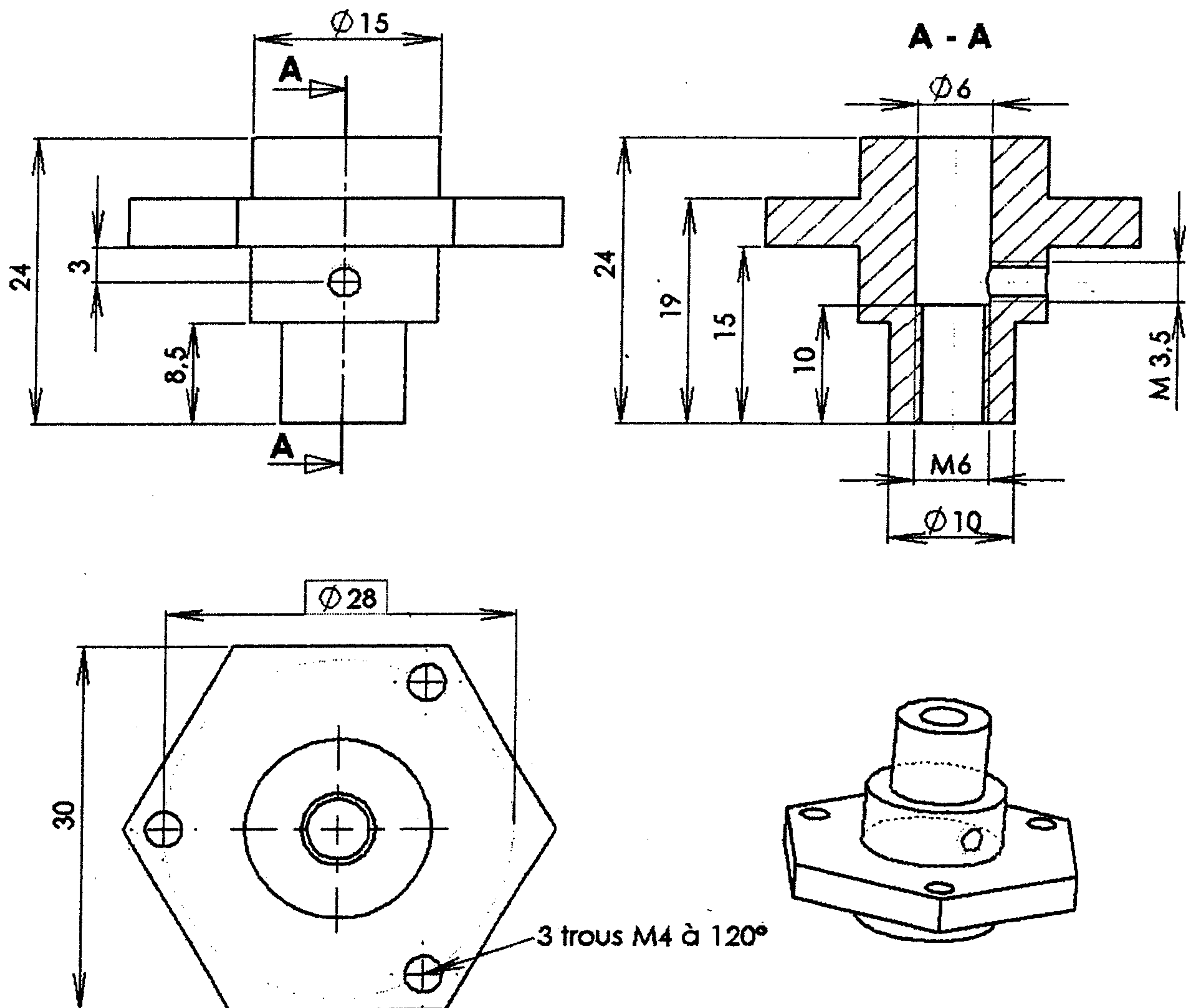
Liaison axe moteur/plateau porte-lames
NOTA: *Seules les principales pièces sont représentées*



ANNEXE 4



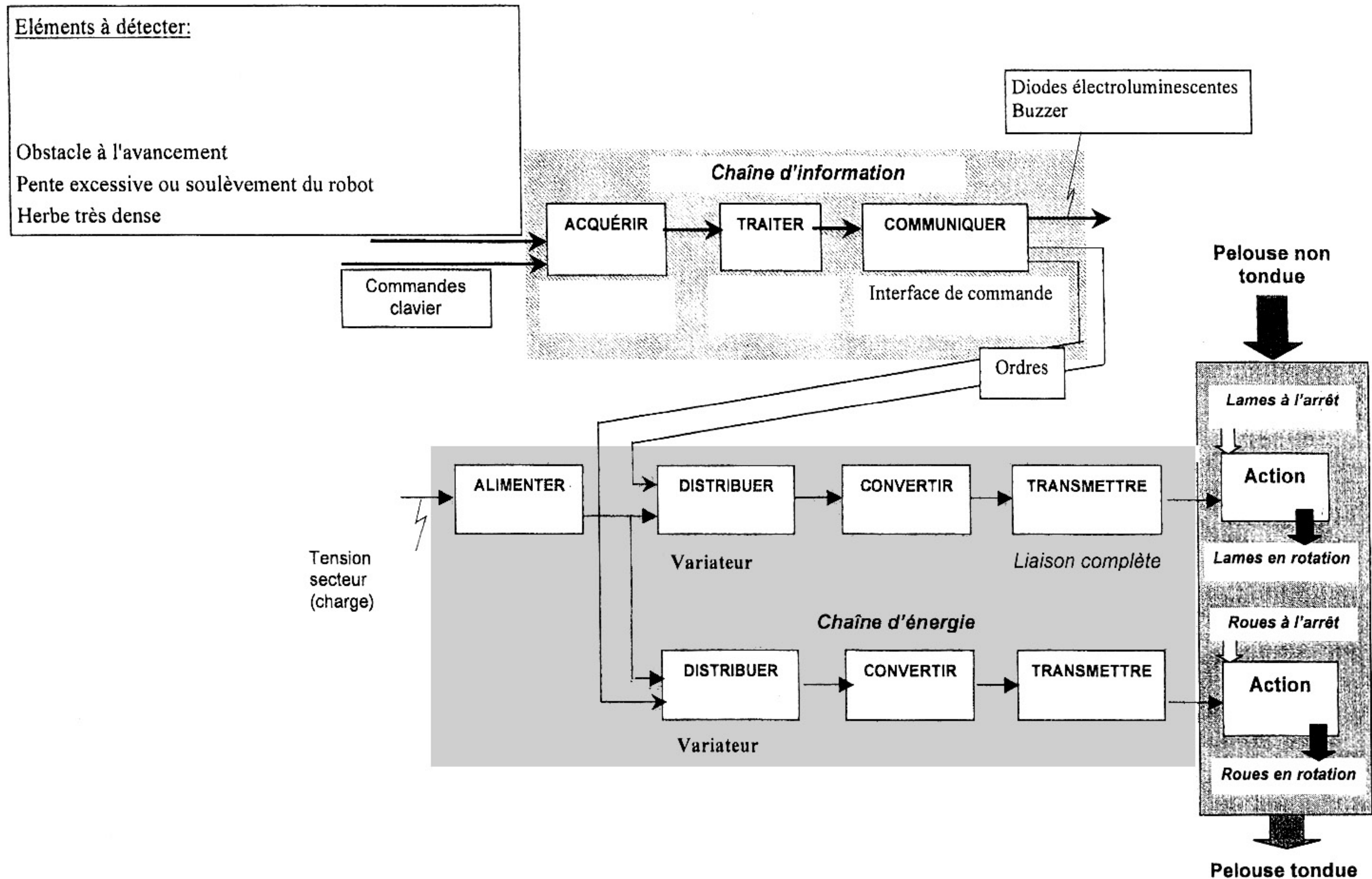
Vue en coupe du guidage de la plaque de protection



Dessin de définition de l'axe de liaison

DOCUMENT REPONSE 1

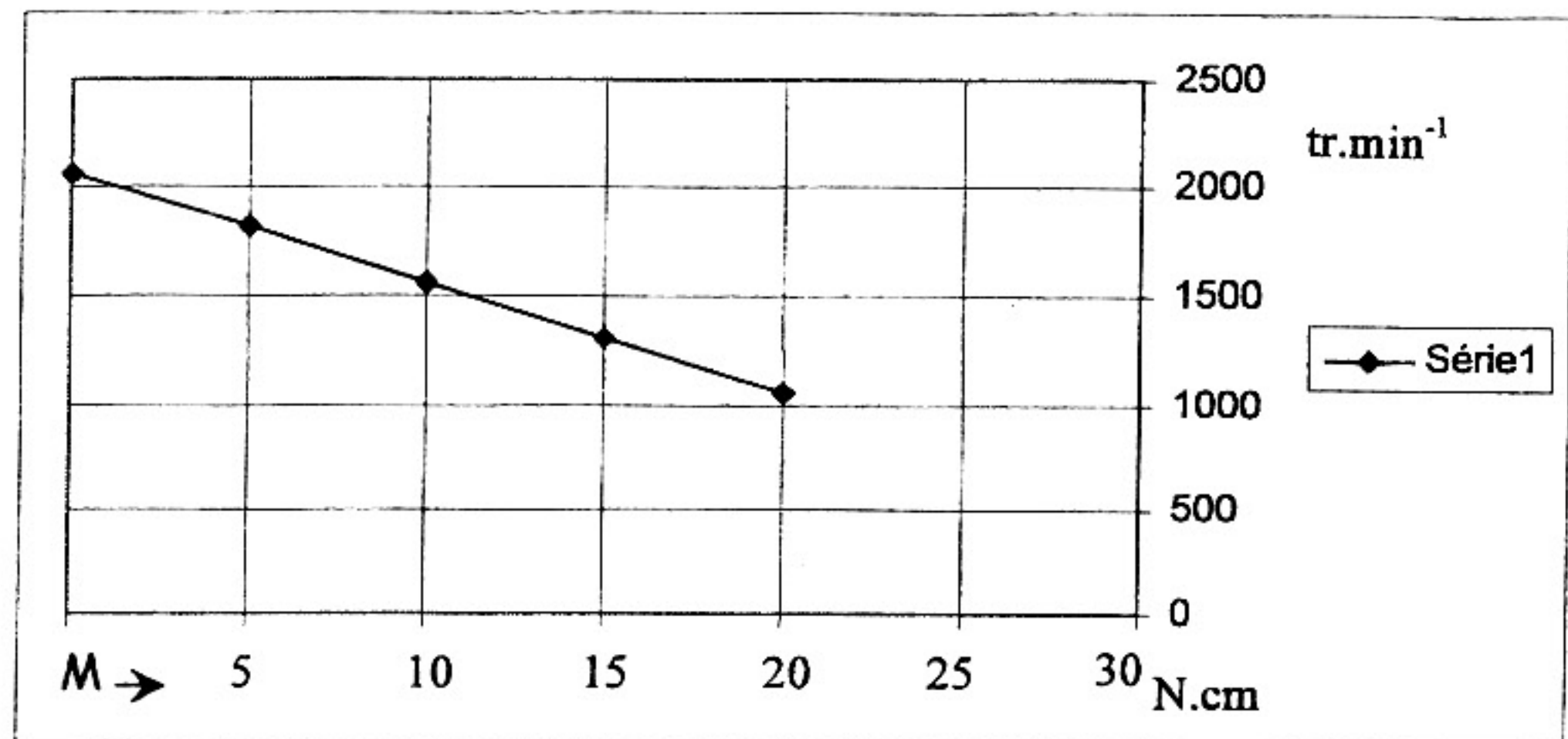
Etude N°1: Compléter les diagrammes des chaînes d'information et d'énergie.



Document Réponse 2

Etude N°2 question 2-2:

Relevé de la fréquence de rotation du moteur de coupe en fonction du couple résistant.



Fréquence de rotation minimum du moteur de coupe :

La suite de la question doit être rédigée sur feuille de copie.

Etude N°2 question 2-4:

Moyen de freinage : Cocher la ou les bonnes réponses :

- | | |
|--|--|
| ☐ Frein mécanique | ☐ Frein électromécanique |
| ☐ Hacheur réversible en tension | ☐ Hacheur réversible en courant |

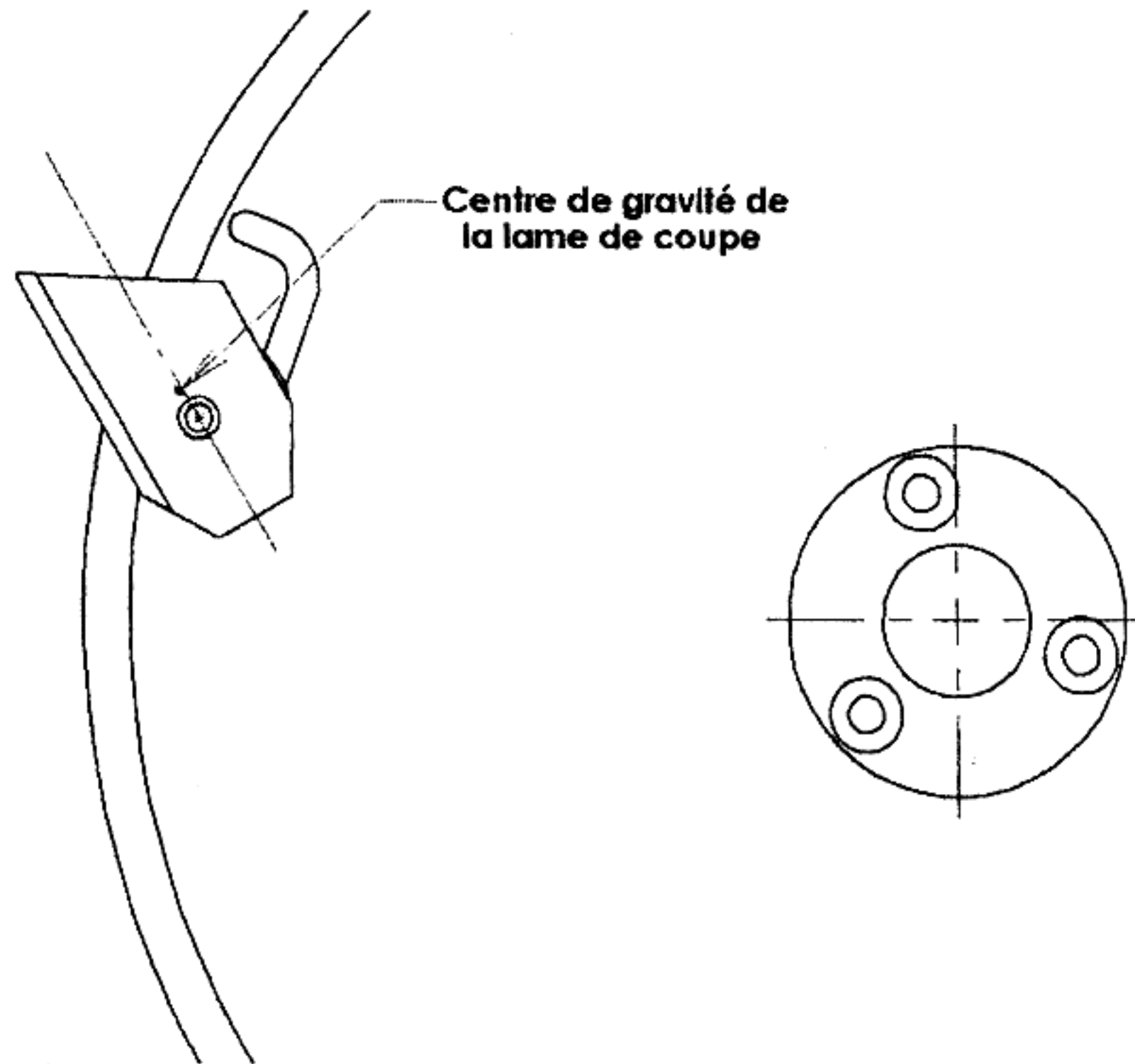
Influence du couple dû à l'herbe : Cocher la ou les bonnes réponses :

	Augmente	Diminue	Ne bouge pas
La vitesse	☐	☐	☐
La tension d'alimentation	☐	☐	☐
Le courant	☐	☐	☐

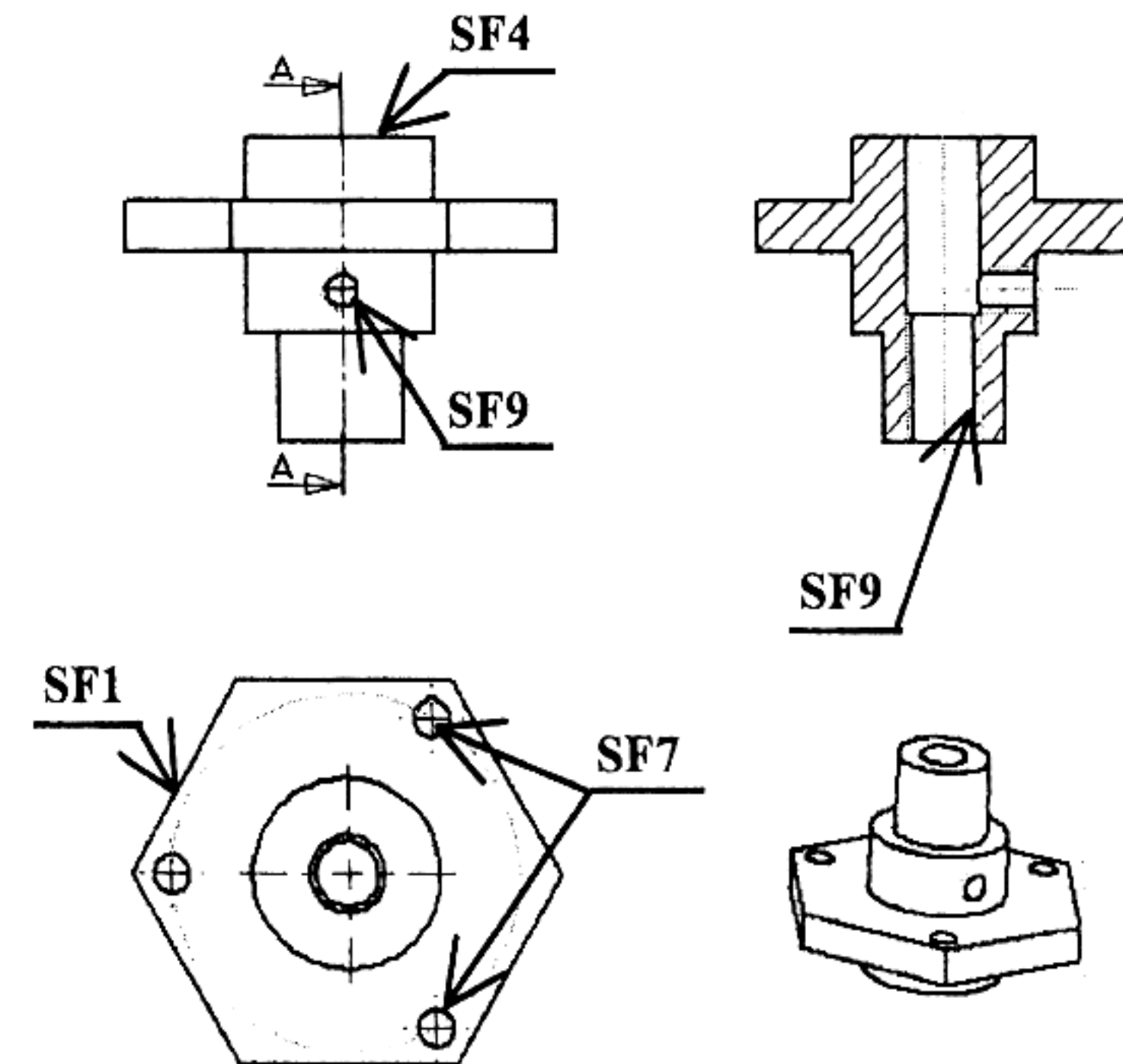
Document Réponse 3

Etude N° 2 question 2-7:

Placez sur cette figure le vecteur représentant la force centrifuge



Etude N° 4:



SF1: Entraînement en rotation et centrage du plateau porte-lames

SF2:

SF3:

SF4: Appuie sur axe moteur

SF5:

SF6:

SF7: Fixation du plateau porte lame

SF8: Serrage sur axe moteur

SF9: Serrage bagues intérieures des roulements

Document Réponse 4

Détaillez les différentes opérations nécessaires à construire l'axe de liaison avec un modeler volumique.

