

Exercice 1- Bras de robot Maxpid
support de TP Centrale

Corrigé page 9

A. Présentation

Le bras de robot Maxpid est un prototype expérimental permettant de la valider aussi bien d'un point de vue cinématique et dynamique que d'un point de vue asservissement la structure des robots cueilleurs de fruits Citrus (agrumes) Magali (pommès) et du robot de tri des déchets Planeco (Vidéo (historique) de Magali).

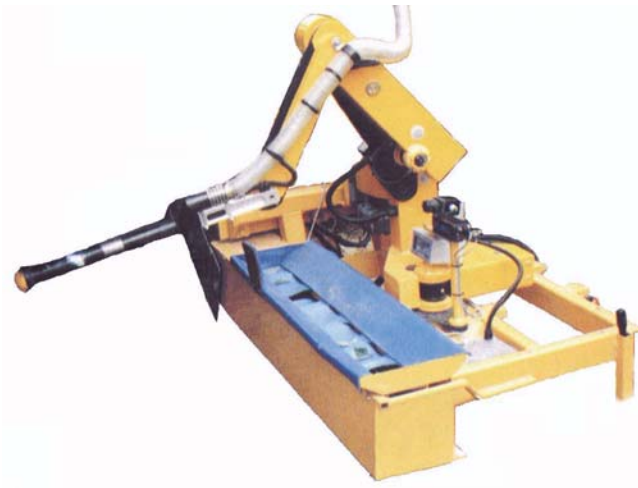


FIGURE 0.1 – Robot Magali sur sa structure porteuse et en action

C'est trois robots sont basés sur la même structure cinématique détaillée pour le robot planeco de tri de déchets (figure 0.2).

Nous n'allons pas ici réaliser l'étude cinématique complète du robot mais nous intéresser à la chaîne cinématique réalisée par les solides {3, 4, 10, 11, 12} qui est justement réalisée sur le prototype Maxpid.

Remarque : le robot Planéco a été l'objet d'un sujet des Mines en 1999 (à aller chercher sur le site des Mines).

Le prototype Maxpid est représenté sur la figure 0.3.

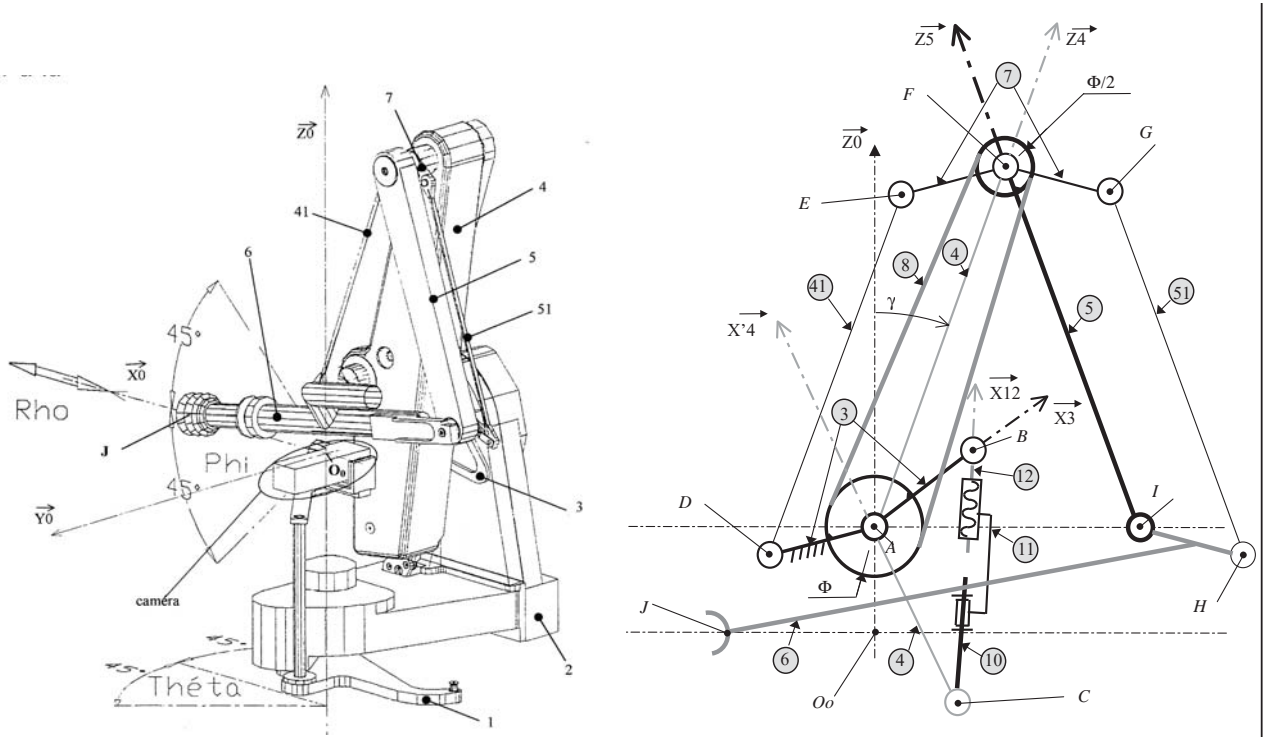


FIGURE 0.2 – Robot Planéco vue 3D et schéma cinématique

Le carter (stator) du moteur est modélisé sur le schéma par le solide 2, il est en liaison pivot d'axe (B, \vec{z}_0) par rapport au bâti. Le rotor du moteur entraîne directement la vis 3.

Le comportement cinématique du bras dépend des caractéristiques géométriques du système. Il est possible, par des raisonnements géométriques, d'évaluer la **loi entrée-sortie** décrivant l'évolution de la position angulaire du bras en fonction de l'angle de la vis : $\theta = f(\lambda)$

On note O l'origine du référentiel, A le centre de l'articulation entre le bâti et le bras, B le centre de l'articulation entre le bâti et le support du moteur et C le centre de l'articulation entre l'écrou et le bras.

On pose $\vec{OA} = a \cdot \vec{x}_0$, $\vec{OB} = b \cdot \vec{y}_0$, $\vec{AC} = c \cdot \vec{x}_5$ et $\vec{BC} = \lambda \cdot \vec{x}_2$.

On donne : $a = 70 \text{ mm}$, $b = 80 \text{ mm}$, $c = 80 \text{ mm}$ et $p = 4 \text{ mm/tr}$ le pas de vis,
 $\theta = (\vec{x}_0, \vec{x}_5)$, $\alpha = (\vec{x}_0, \vec{x}_2)$ $\beta = (\vec{y}_2, \vec{y}_3) = (\vec{z}_2, \vec{z}_3)$.

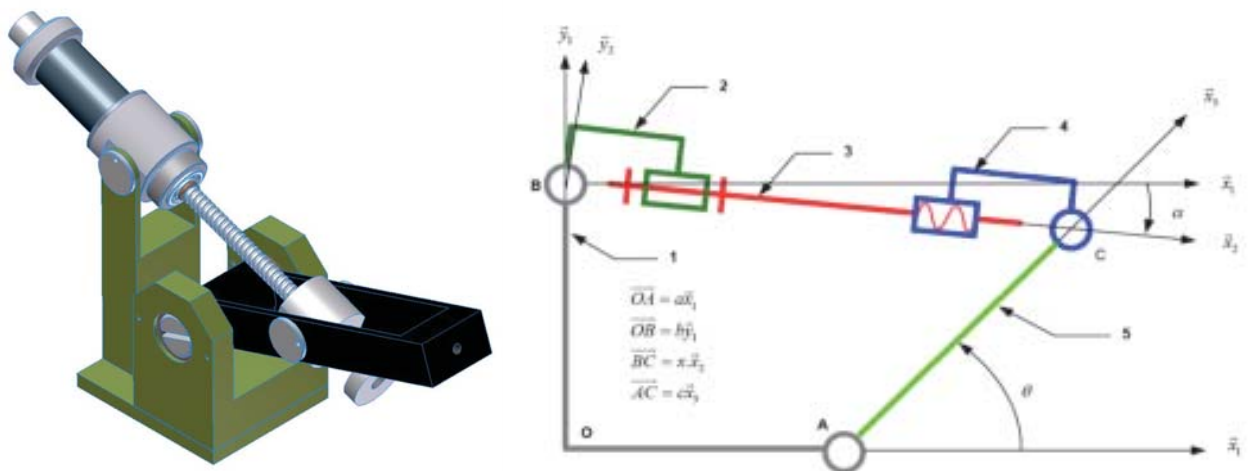


FIGURE 0.3 – Maxpid, modélisation 3D et schéma cinématique

B. Étude des mobilités

B.1. Modélisation cinématique

Q1. Identifier les 5 classes d'équivalence cinématique du mécanisme (on considérera que l'axe moteur et la vis forme une même classe d'équivalence) colorier ces classes sur les différents documents à votre disposition.

Q2. Tracer le graphe des liaisons et nommer les différentes liaisons

B.2. Étude des mobilités et de l'hyperstatique

Q3. Faire l'inventaire des inconnues cinématiques et statiques

Q4. A partir d'une analyse sans calculs, préciser le degré de mobilité du mécanisme, en déduire le degré d'hyperstaticité.

B.3. Propositions de modification

On se propose de rendre le mécanisme isostatique

Q5. Proposer une modifications des liaisons entre la vis et l'écrou et/ou l'écrou et le bras pour rendre le mécanisme isostatique

Q6. Tracer le schéma correspondant

C. Étude géométrique

Q7. Déterminer la relation entre θ et λ , en déduire la relation donnant θ en fonction de β .

Q8. Tracer l'allure de $\theta = f(\beta)$.

Cette relation est linéarisée dans le domaine $\theta \in [30^\circ, 90^\circ]$: $\beta = 1023 \cdot \theta - 19,5$ avec β et θ en radian.

Q9. Conclure

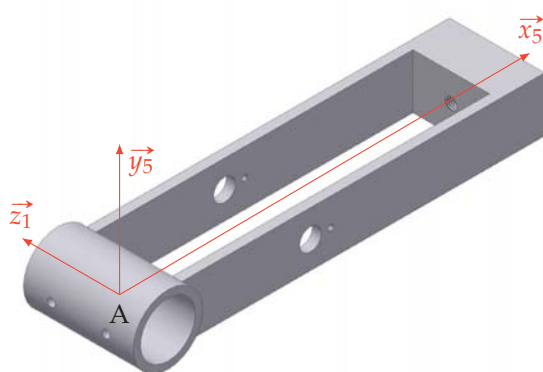
D. Cinétique

Pour réaliser par la suite l'étude énergétique, il est nécessaire de caractériser le mouvement des pièces.

Q10. Préciser pour chaque pièce le torseur cinématique du mouvement par rapport au bâti en fonction des paramètres α , β , θ et leur dérivées.

D.1. Bras et masses additionnelles

Le dessin du bras est réalisé à l'aide du logiciel Inventor.



Les caractéristiques cinétiques calculée par le logiciel sont les suivantes :

— Masse volumique de l'aluminium :

$$\rho = 2700 \text{ kg m}^{-3};$$

— Masse : 0,305 kg ;

— Coordonnées du centre de gravité : (110 mm, 0, 0);

— matrice d'inertie en A dans la base $(\vec{x}_5, \vec{y}_5, \vec{z}_1)$ en kgmm^2 :

$$\begin{pmatrix} A_b = 147 & 0 & 0 \\ 0 & B_b = 2,03 \cdot 10^3 & 0 \\ 0 & 0 & C_b = 1,99 \cdot 10^3 \end{pmatrix}.$$

Q11. Justifier la forme de la matrice d'inertie.

Q12. Déterminer le moment d'inertie autour de l'axe de rotation du bras.

Afin de modéliser les caractéristiques cinétiques des robots Cirius et Magali, on place à l'extrémité du bras ($AM = 270 \text{ mm}$) des masses cylindriques (de 1 à 4 masses) en acier ($m = 600 \text{ g}$, $\rho = 7600 \text{ kg m}^{-3}$).

Les masses seront modélisées comme des masses ponctuelles.

Q13. Déterminer le moment d'inertie de l'ensemble {bras, masses}.

Q14. Déterminer le torseur cinétique et le torseur dynamique du bras et des masses par rapport au repère associé à (0) supposé galiléen.

Q15. Déterminer l'énergie cinétique du bras et des masses dans son mouvement par rapport au bâti, en fonction de $\dot{\theta}$.

D.2. Vis

La vis (3) à une longueur de 195 mm, la documentation constructeur donne une inertie par rapport à son axe de rotation propre de $10,8 \text{ kgm}^2$ par mètre.

Le centre d'inertie de la vis est à 100 mm de l'axe du pivot entre le bâti et le support moteur.

Q16. Déterminer son moment d'inertie par rapport à l'axe de rotation du moteur.

Q17. Proposer un modèle pour déterminer le moment d'inertie suivant les autres directions orthogonales

Q18. Déterminer le torseur cinétique et le torseur dynamique de la vis par rapport au référentiel galiléen.

Q19. Déterminer l'énergie cinétique de la vis dans son mouvement par rapport au bâti en fonction de $\dot{\alpha}$ et $\dot{\beta}$.

Q20. Le terme suivant $\dot{\alpha}$ est-il négligeable devant le terme suivant $\dot{\beta}$?

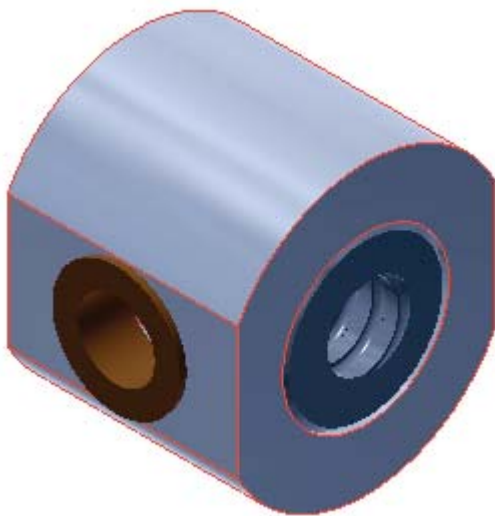
Pour la suite faire les hypothèses nécessaires

D.3. Rotor du moteur Maxon 118778

Q21. À partir de la documentation fournie en annexe, déterminer le moment d'inertie du rotor.

Q22. Déterminer l'énergie cinétique du rotor dans son mouvement par rapport au bâti (on considérait que le centre d'inertie du rotor est proche de l'axe de rotation en B).

D.4. Écrou



L'écrou est majoritairement en aluminium,, il a globalement la forme d'un cylindre percé, avec un perçage dans l'axe et un perçage perpendiculaire permettant de réaliser la pivot d'axe (C, \vec{z}_1) . avec :

Le centre d'inertie de l'écrou est confondu avec C.

Masse : 0,200 kg

Moments principaux d'inertie par rapport au centre de gravité

$$- I_{B, \vec{x}_2} = 43,370 \text{ kgmm}^2$$

$$- I_{B, \vec{z}_1} = 43,600 \text{ kgmm}^2$$

$$- I_{B, \vec{y}_2} = 441,845 \text{ kgmm}^2$$

Q23. Déterminer le torseur cinématique de l'écrou par rapport au référentiel (1).

Q24. Déterminer le torseur cinétique en C. puis le torseur dynamique.

Q25. Déterminer l'énergie cinétique de l'écrou dans son mouvement par rapport au bâti. Faire les hypothèses nécessaires.

D.5. Support moteur

La documentation du moteur ne donne pas suffisamment d'information, on peut se placer dans le pire des cas, et considérer que toute la masse du moteur (voir la doc) est concentré en 1 point, au milieu du moteur, le moteur le centre d'inertie étant alors décalé de l'axe (B, \vec{z}_1) de la moitié de la longueur du moteur.

Q26. Donner le torseur cinématique du support moteur par rapport au référentiel 1.

Q27. Déterminer le torseur cinétique en B.

Q28. Déterminer l'énergie cinétique du support moteur dans son mouvement par rapport au bâti. Faire les hypothèses nécessaires.

D.6. Ensemble complet

Q29. Déterminer l'énergie cinétique de l'ensemble.

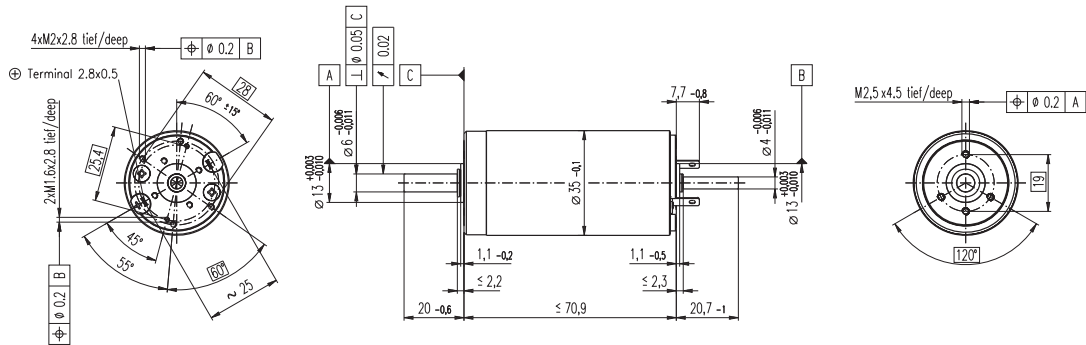
Q30. Mettre l'énergie cinétique sous la forme $T_{\Sigma/\mathcal{R}_g} = \frac{1}{2} J_{eq} \cdot \dot{\alpha}^2$, en déduire le moment d'inertie équivalent J_{eq} .

Q31. Conclure sur l'impact des masses rajoutées sur l'inertie totale du système.

E. Annexes- Moteur Maxon 118778

maxon DC motor

RE 35 Ø35 mm, Commutation Graphite, 90 Watt



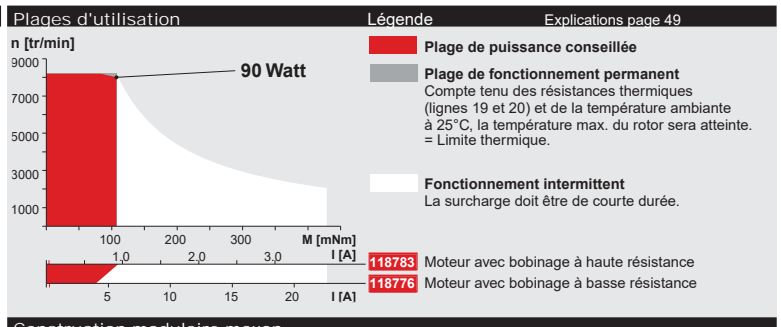
- Programme Stock
- Programme Standard
- Programme Spécial (sur demande!)

Nombres de commande

118776 118777 118778 118779 118780 118781 118782 118783 118784 118785 118786 118787 118788 118789 118790

Caractéristiques moteur		118776	118777	118778	118779	118780	118781	118782	118783	118784	118785	118786	118787	118788	118789	118790
1 Puissance conseillée	W	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90
2 Tension nominale	Volt	15.0	30.0	42.0	48.0	48.0	48.0	48.0	48.0	48.0	48.0	48.0	48.0	48.0	48.0	48.0
3 Vitesse à vide	tr/min	7070	7220	7530	7270	6650	5970	4750	3810	3140	2570	2100	1620	1290	1060	856
4 Couple de démarrage	mNm	872	949	1070	966	878	766	613	493	394	320	253	194	155	125	99.5
5 Pente vitesse/couple	tr/min/mNm	8.45	7.77	7.17	7.63	7.68	7.89	7.86	7.84	8.09	8.19	8.47	8.55	8.54	8.80	8.94
6 Courant à vide	mA	245	124	93	77	69	60	45	34	27	22	17	13	10	8	7
7 Courant de démarrage	A	44.9	24.4	20.3	15.5	12.9	10.1	6.43	4.16	2.74	1.83	1.18	0.704	0.448	0.298	0.193
8 Résistance aux bornes	Ohm	0.334	1.23	2.07	3.09	3.72	4.75	7.46	11.5	17.5	26.2	40.5	68.2	107	161	248
9 Vitesse limite	tr/min	8200	8200	8200	8200	8200	8200	8200	8200	8200	8200	8200	8200	8200	8200	8200
10 Courant permanent max.	A	4.00	2.74	2.15	1.78	1.63	1.45	1.17	0.944	0.768	0.630	0.508	0.392	0.313	0.256	0.206
11 Couple permanent max.	mNm	77.7	107	113	111	111	110	111	112	111	110	109	108	108	107	106
12 Puissance max. fournie à la tension nom.	W	152	175	206	181	150	118	75.0	48.4	31.8	21.2	13.7	8.07	5.10	3.36	2.15
13 Rendement max.	%	81	84	86	85	85	84	83	82	80	79	77	74	72	69	66
14 Constante de couple	mNm/A	19.4	38.9	52.5	62.2	68.0	75.8	95.2	119	144	175	214	276	346	418	515
15 Constante de vitesse	tr/min/V	491	246	182	154	140	126	100.0	80.6	66.4	54.6	44.7	34.6	27.6	22.9	18.5
16 Constante de temps mécanique	ms	6	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
17 Inertie du rotor	gcm ²	65.5	65.5	69.6	65.0	64.5	62.7	62.8	62.8	60.7	59.9	57.9	57.2	57.2	55.5	54.5
18 Inductivité	mH	0.09	0.34	0.62	0.87	1.04	1.29	2.04	3.16	4.65	6.89	10.30	17.10	26.90	39.30	59.70
19 Résistance therm. carcasse/air ambiant	K/W	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2
20 Résistance therm. rotor/carcasse	K/W	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
21 Constante de temps thermique du bobinage	s	27	27	29	27	27	26	26	26	25	25	24	24	24	23	23

- #### Spécifications
- Jeu axial 0.05 - 0.15 mm
 - Charge maximum des roulements axiale (dynamique) non pré-contraint 5.6 N pré-contraint 2.4 N radiale (à 5 mm de la face) 28 N
 - Chassage (statique) 110 N (statique, axe soutenu) 1200 N
 - Jeu radial avec roulements 0.025 mm
 - Températures d'utilisation -20/+100°C
 - Température rotor max. +155°C
 - Nombre de lames au collecteur 13
 - Poids du moteur 340 g
 - Les caractéristiques moteur du tableau sont des valeurs nominales. Voir en page 43 les plages de tolérances. Des informations détaillées se trouvent sur le maxon-selection-programm du CD-ROM ci-joint.



Construction modulaire maxon

- Réducteur planétaire Ø32 mm 0.75-4.5 Nm
Détail page 188
- Réducteur planétaire Ø32 mm 1.0-6.0 Nm
Détail page 191
- Réducteur planétaire Ø42 mm 3-15 Nm
Détail page 195

- Génératrice C.C. Ø22 mm 0.52 V
Détail page 200
- Codeur digital HP HEDS 5540 500 imp., 3 canaux
Détail page 204
- Codeur digital HP HEDL 5540 500 imp., 3 canaux
Détail page 206
- Frein Ø40 mm 24 VDC, 0.4 Nm
Détail page 232

76 maxon DC motor

Edition Avril 2001 / Modifications réservées

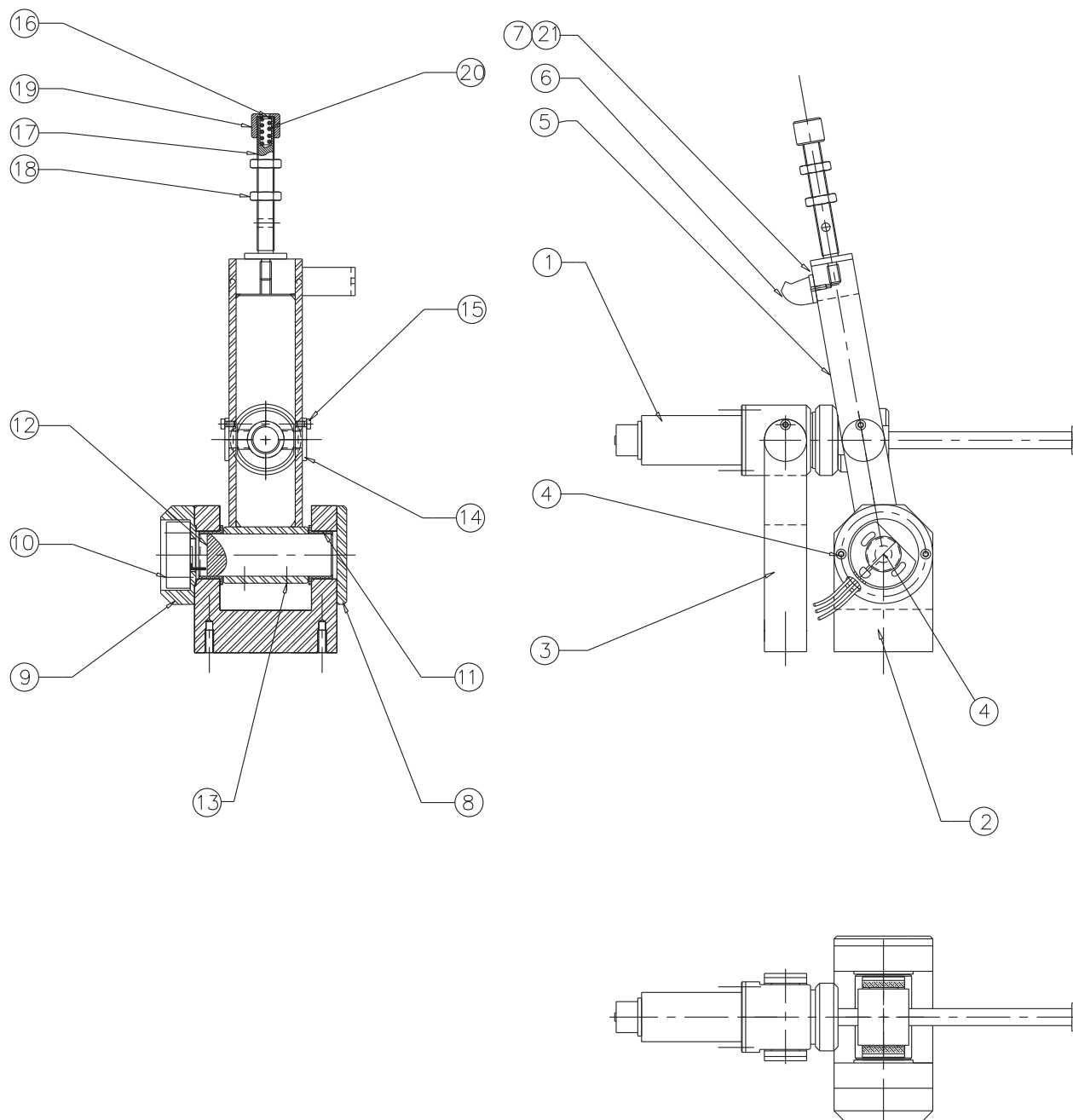


FIGURE 0.4 – Dessin d'ensemble

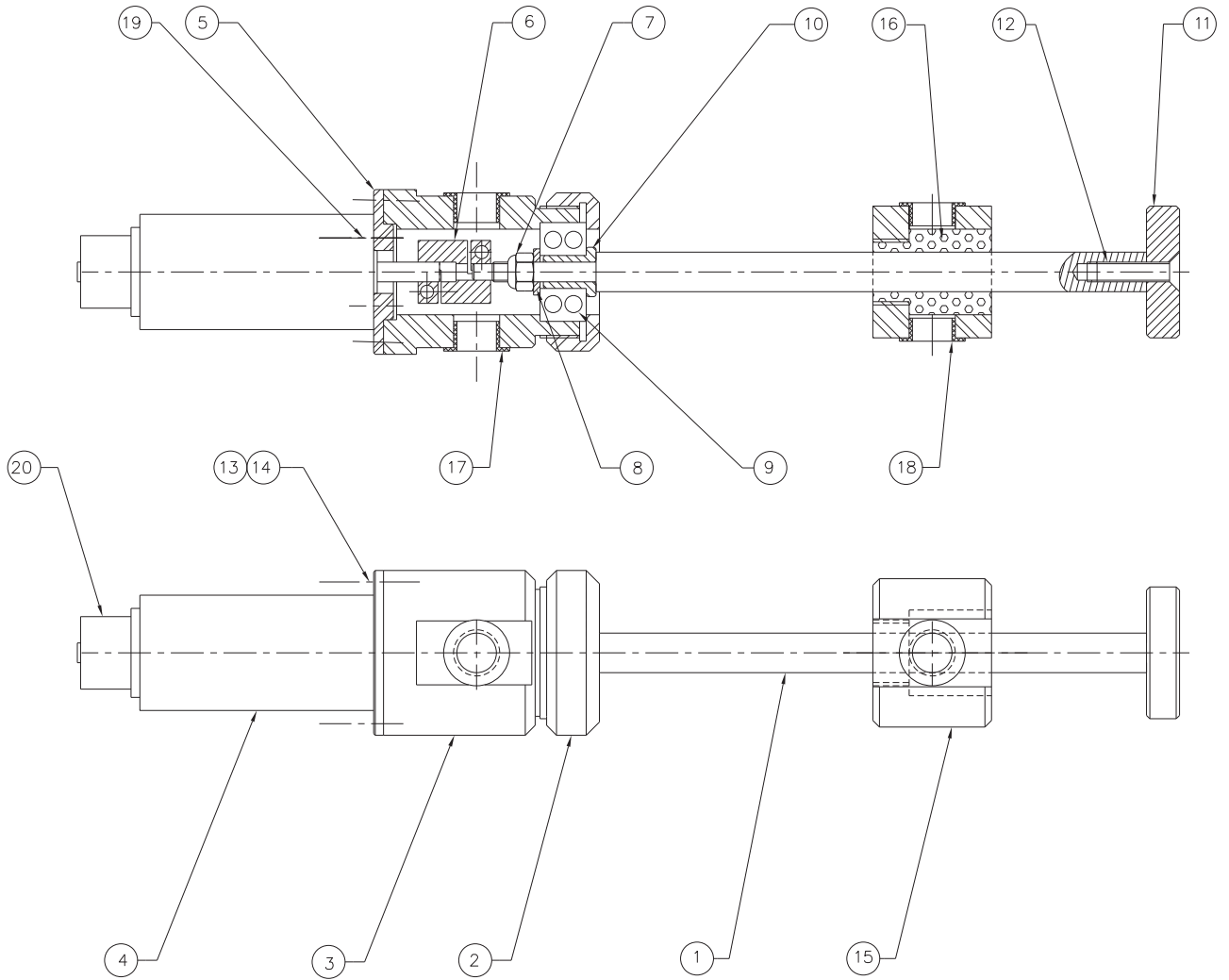


FIGURE 0.5 – Dessin de l'ensemble moteur + axe moteur + vis