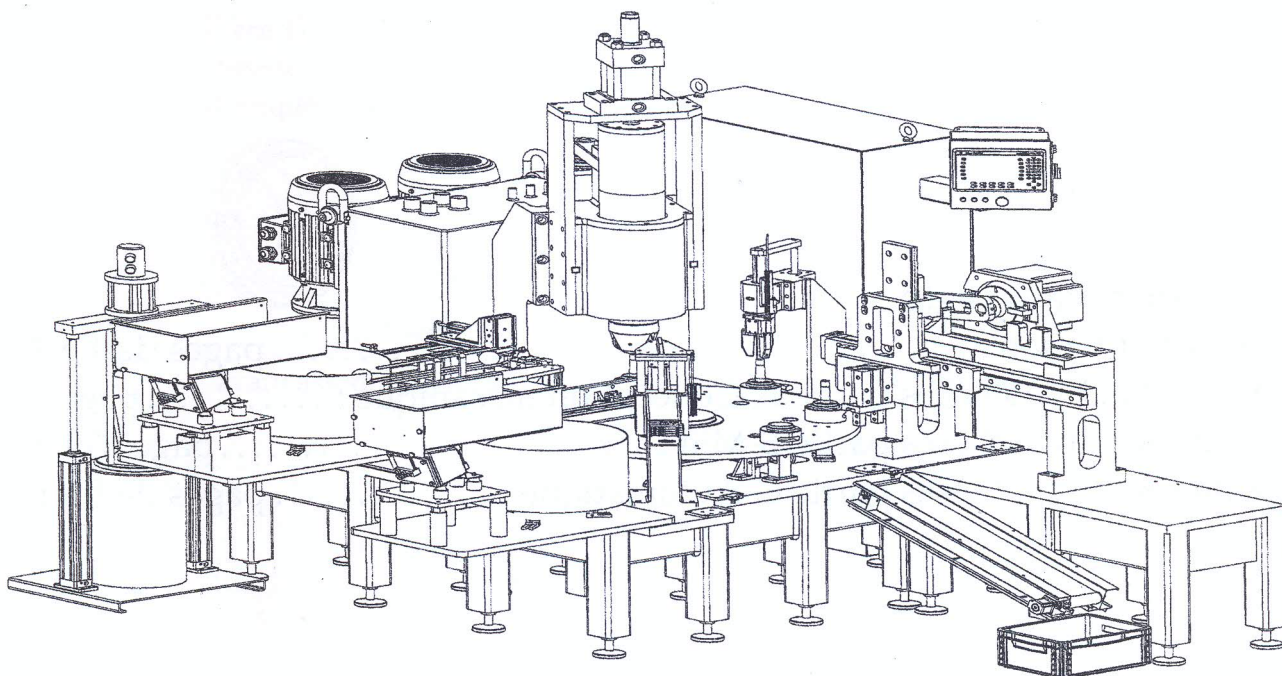




Concours Mathématiques-Physique & Physique-Chimie

Epreuve de

Systèmes Techniques Automatisés



Date : Mercredi 23 Juin 2021 Heure : 8 H Durée : 3 heures

L'épreuve comporte trois parties :

- | | |
|---|----------|
| A - Conception mécanique | (03 pts) |
| B - Mécanique des solides indéformables | (09 pts) |
| C - Automatique | (08 pts) |

Le sujet de l'épreuve remis au candidat comporte trois dossiers :

- 1^{er} : "Mise en situation, Données et Hypothèses",
- 2^{ème} : Un document technique "DT-01".
- 3^{ème} : "Document Réponses" contenant les questions à traiter.

N.B.

- ★ Aucun autre document n'est autorisé.
- ★ Seules les calculatrices de poche non programmables sont autorisées.
- ★ Un seul et unique document réponses est fourni au candidat et doit être rendu en totalité, à la fin de l'épreuve, même sans réponses. **Aucune feuille, du document réponses, ne doit être supprimée** (cet acte est considéré comme étant une tentative de fraude).

Dossier

Mise en situation

Données et Hypothèses

Ce dossier comporte 8 pages :

- ★ Mise en situation : pages de 1 à 2
- ★ Données et hypothèses partie A-Conception mécanique :page 2
- ★ Données et hypothèses partie B-MSI :pages 3 à 5
- ★ Données et hypothèses partie C-Automatique : pages de 5 à 8

où $R(p)$ est le régulateur; $\Omega_r(p)$ est l'entrée du système (la consigne : vitesse de référence); $\Omega_{ch}(p)$ est la sortie du système (vitesse angulaire); $C_r(p)$ est l'entrée de perturbation (couple résistant) et $\varepsilon_1(p)$ est le signal d'erreur.

Asservissement de position du plateau

L'asservissement de position du moteur et du plateau est caractérisé par le schéma de la figure 11

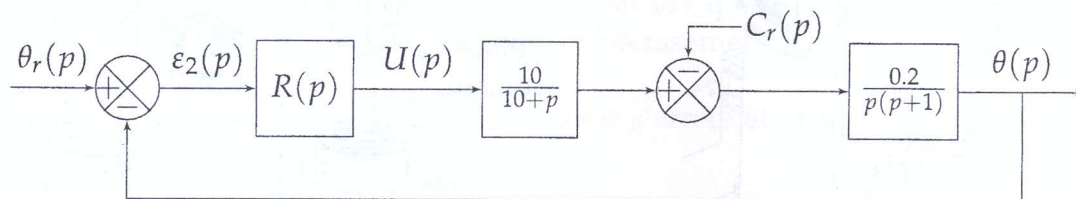


FIGURE 11 – Asservissement de position

où $\theta_r(p)$ est l'entrée du système (la consigne : angle de référence); $\theta(p)$ est la sortie du système (position angulaire) et $\varepsilon_2(p)$ est le signal d'erreur.

SYSTÈME D'ASSEMBLAGE DE ROTULES DE SUSPENSION

Mise en situation

Le système présenté par le document technique DT-01 est destiné à l'assemblage de rotules de suspension de voitures (figure 1). Ladite rotule est constituée d'un moyeu à fond sphérique, d'une bague entretoise en matériau polymère et d'une tige à embout sphérique. Leur assemblage comporte une opération de graissage de l'intérieur de la rotule afin de garantir une meilleure mobilité à l'usage. Afin d'empêcher le démontage de la tige, une opération de sertissage consiste à plier le serti (une zone de faible épaisseur du moyeu 1 (voir figure 2)) pour venir au contact de la tige (3). Cette opération nécessite une pression importante (utilisation d'un vérin hydraulique) et un pliage par appui de galets tournants.

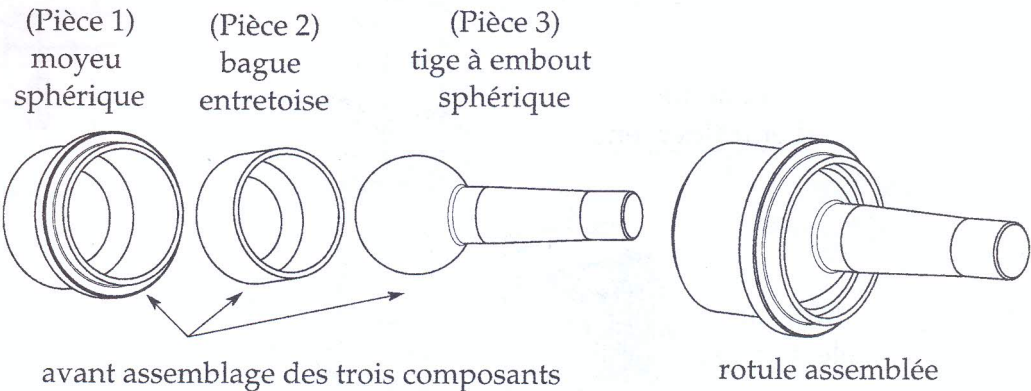


FIGURE 1 – Rotule de suspension

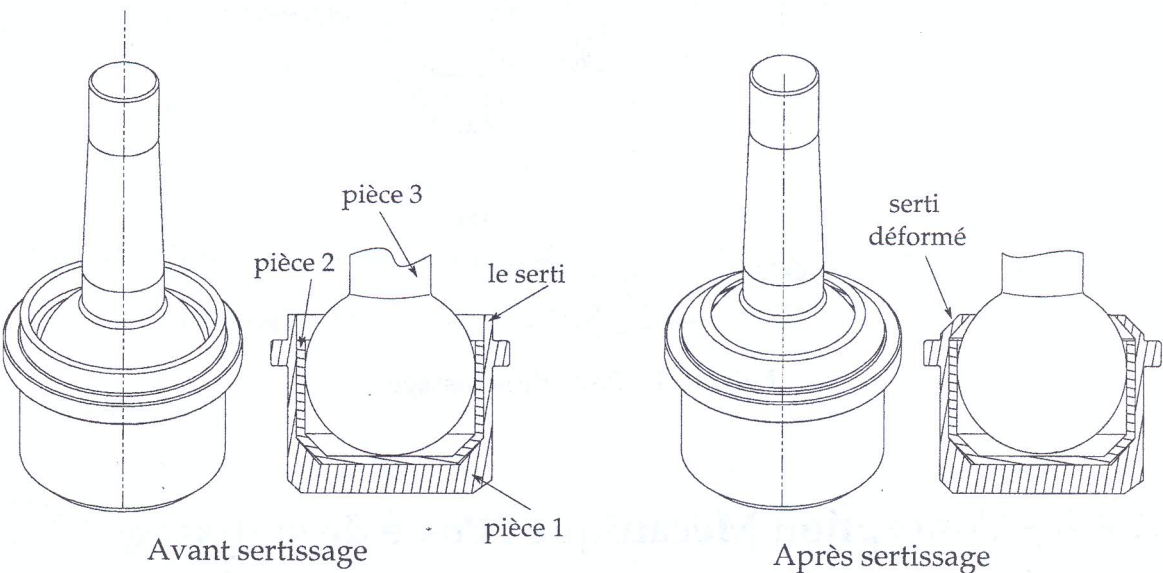


FIGURE 2 – Rotule avant et après sertissage

Le système d'assemblage est ainsi constitué de huit postes successifs permettant chacun d'effectuer une opération spécifique :

1. positionnement du moyeu sphérique (pièce 1),
2. positionnement de la bague entretoise(pièce 2),
3. graissage de l'intérieur du moyeu,

4. positionnement de la tige à embout sphérique,
5. sertissage du moyeu,
6. rodage de la rotule assemblée,
7. évacuation de la rotule assemblée (système de transfert),
8. nettoyage de l'emplacement des moyeux.

Un automate programmable permet la gestion du fonctionnement global de ce système.

Le poste 5 de sertissage (figure 3) fera particulièrement objet de l'étude proposée dans la partie conception mécanique. Les postes (5) et (6) seront étudiés dans la partie séquentielle et finalement la partie mécanique des solide indéformables s'intéressera au système de transfert.

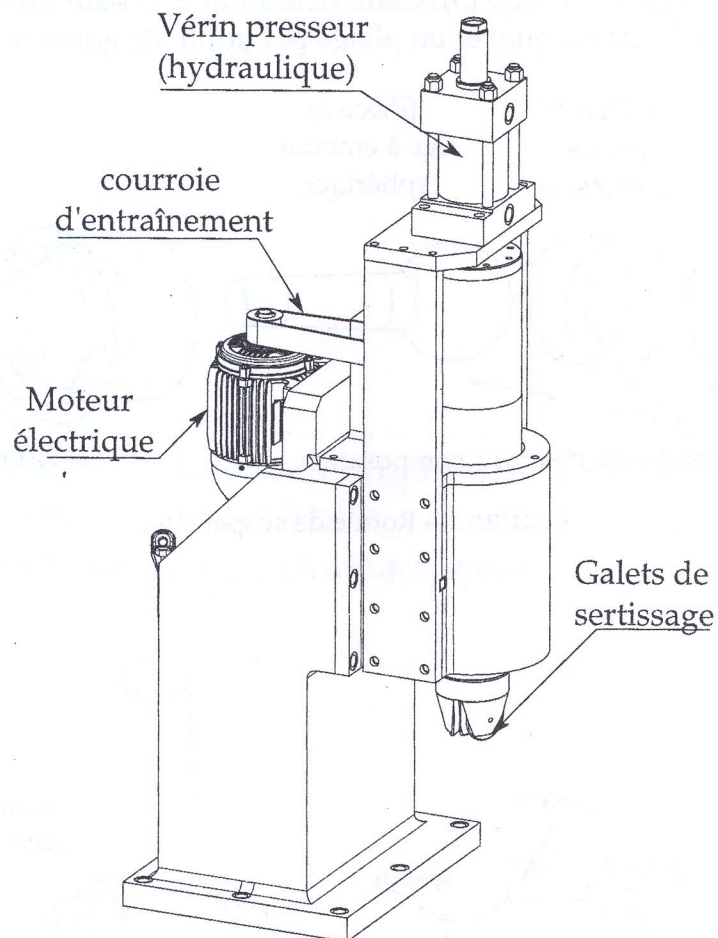


FIGURE 3 – Poste de sertissage

Partie A - Conception Mécanique : Poste de sertissage

Dans cette partie, on s'intéresse au poste de sertissage schématisé par la figure 4. Le support S_1 des galets de sertissage est entraîné en rotation par un motoréducteur et une transmission par poulies et courroie. L'effort presseur nécessaire à la déformation du serti est imposé par un vérin hydraulique. L'arbre moteur S_6 tourne à $N_6 = 3000$ tr/min. Il est muni d'une roue dentée ayant $Z_6 = 20$ dents. L'arbre intermédiaire du réducteur S_5 est lié à deux roues dentées ayant $Z_{5a} = 30$ dents et $Z_{5b} = 20$ dents. Enfin, l'arbre de sortie du motoréducteur S_4 est muni d'une roue ayant $Z_4 = 30$ dents. Par ailleurs, le diamètre primitif de la poulie de S_4 est $d = 60$ mm alors que celui de S_3 est $D = 120$ mm.

Le solide S_3 transmet le mouvement de rotation à S_1 par l'intermédiaire de cannelures (voir figure 5). Les deux zones de la figure 4 encadrées par des traits discontinus feront objet de l'étude dans cette partie.

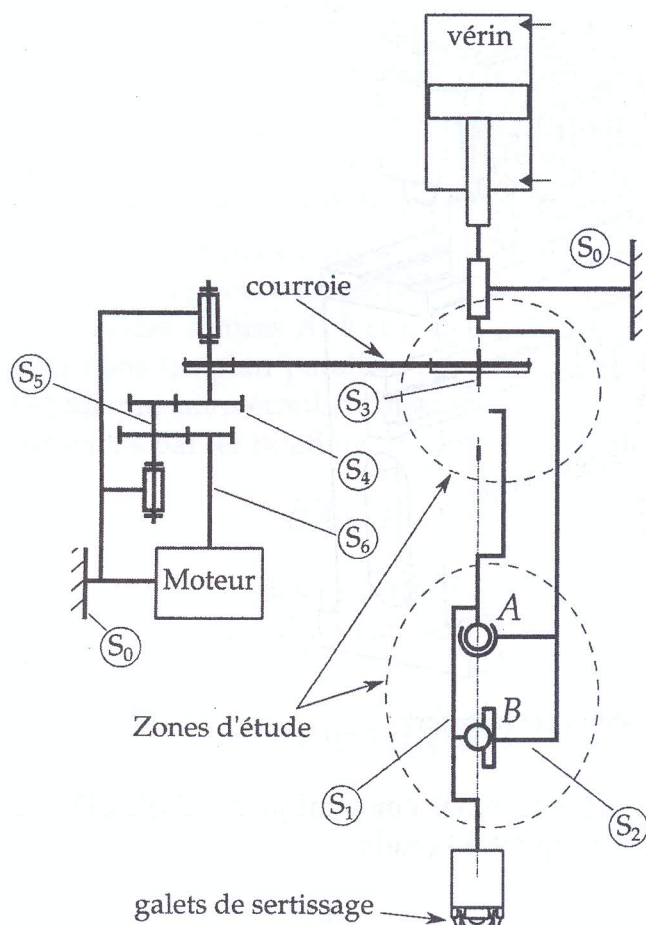


FIGURE 4 – Schéma cinématique du poste de sertissage

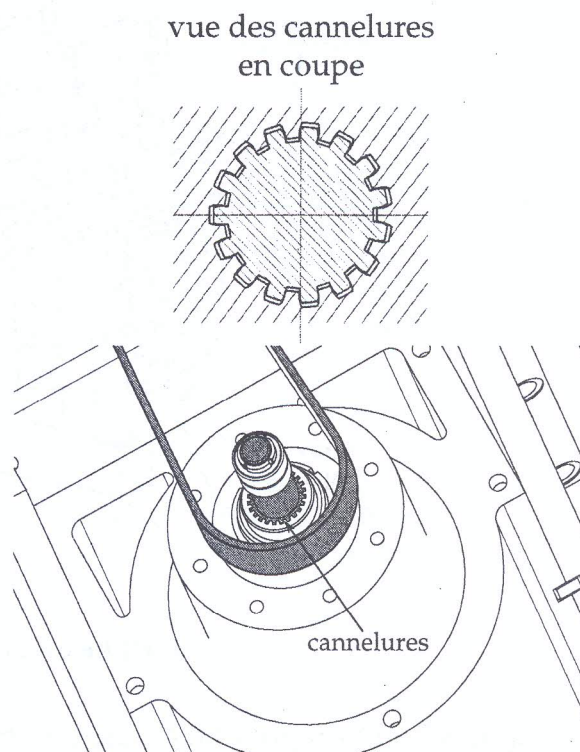


FIGURE 5 – Arbre S_3 avec cannelures (la poulie est retirée pour mieux visualiser les cannelures)

Partie B - Mécanique des solides indéformables : Mécanisme de transfert parallèle

B.1 Présentation

L'étude mécanique porte sur le système de transfert des rotules à la sortie de la chaîne de montage. Ce système est composé, comme l'illustre la figure 6, d'un moteur d'entraînement, d'une manivelle (1) et de deux coulisseaux (2) et (3). L'ensemble est monté sur un bâti suffisamment rigide pour réduire les vibrations induites par le mouvement rotatif alterné de la manivelle. Ledit mécanisme permet de transformer une rotation périodique alternée imposée par un moteur en une translation circulaire alternée de la pince de préhension de la rotule à évacuer.

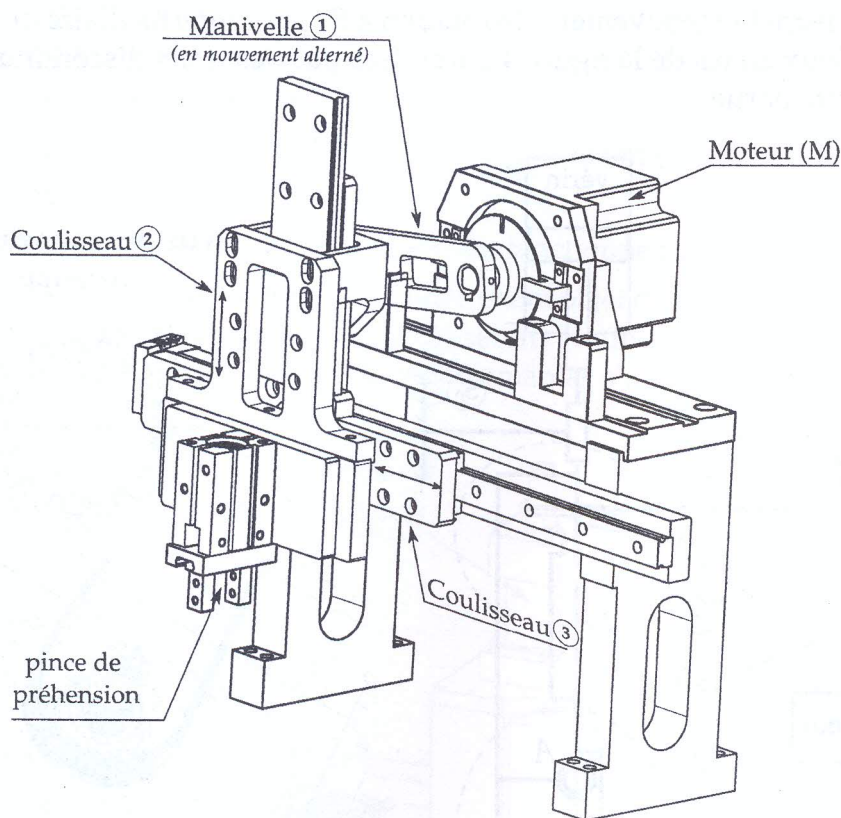


FIGURE 6 – Le système de transfert

Les figures 7.a et 7.b présentent respectivement les schémas cinématiques réduits 3D et 2D du mécanisme, associé au système de transfert, proposé à l'étude.

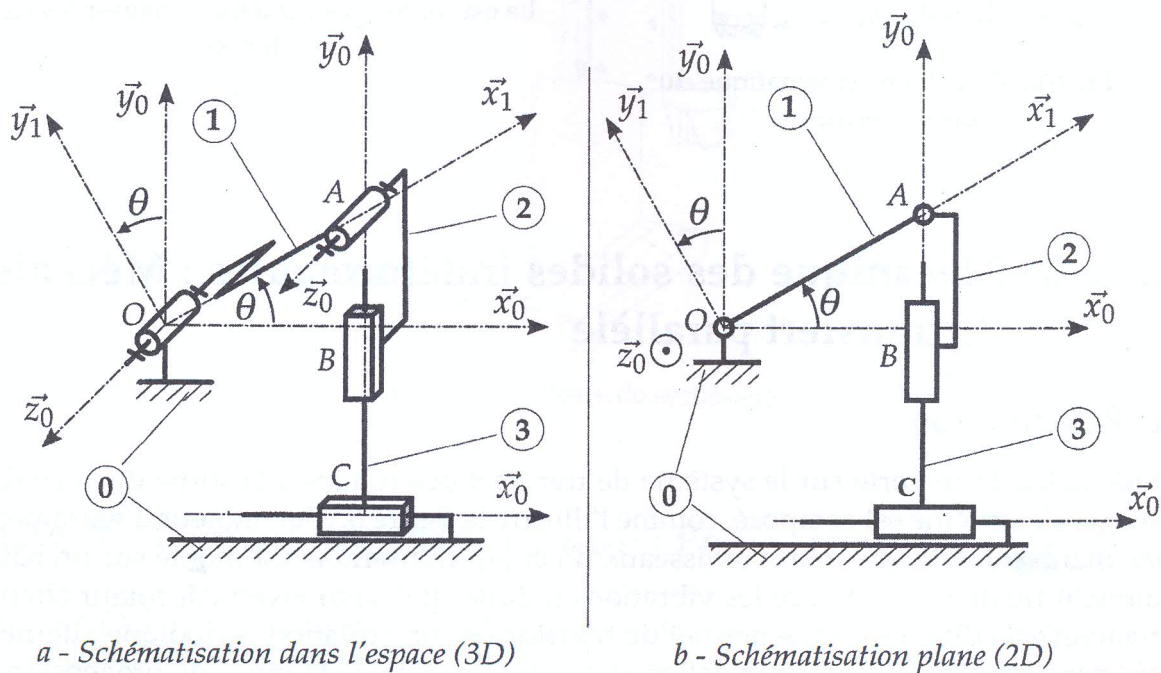


FIGURE 7 – Schéma cinématique du mécanisme de transfert

B.2 Repères, paramètres et données

Le mécanisme, proposé à l'étude, est constitué des solides suivants :

- Le bâti (0) auquel est lié le repère $\mathcal{R}_0(O, \vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)$. Ce repère est considéré galiléen ayant pour axe vertical ascendant (O, \vec{y}_0) .
 - La manivelle (1) est en liaison pivot d'axe (O, \vec{z}_0) avec le bâti (0). Elle est entraînée en rotation grâce au moteur (M) (voir figure 6). Le repère qui lui est associé est $\mathcal{R}_1(O, \vec{x}_1, \vec{y}_1, \vec{z}_0)$ avec $\theta = \widehat{(\vec{x}_0, \vec{x}_1)} = \widehat{(\vec{y}_0, \vec{y}_1)}$.
 - Le coulisseau (2) est en liaison pivot d'axe (A, \vec{z}_0) avec la manivelle (1), il est aussi en liaison glissière d'axe (B, \vec{y}_0) avec le coulisseau (3). Sa translation par rapport au coulisseau (3) est paramétrée par λ . $\mathcal{R}_2(A, \vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)$ est le repère qui lui est associé.
 - Le coulisseau (3) est en liaison glissière d'axe (C, \vec{x}_0) avec le bâti (0). Sa translation par rapport à (0) est paramétrée par μ . $\mathcal{R}_3(C, \vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)$ est le repère qui lui est associé.
- Chacun des centres A , B et C des liaisons définies précédemment, décrit une trajectoire située dans un plan parallèle à $(O, \vec{x}_0, \vec{y}_0)$. Cela permet de modéliser le système proposé à l'étude par un mécanisme plan en considérant les paramètres et les données géométriques présentés par les relations vectorielles suivantes :

$$\overrightarrow{OA} = L\vec{x}_1 ; \overrightarrow{BA} = a\vec{y}_0 ; \overrightarrow{OC} = \mu\vec{x}_0 - d\vec{y}_0 ; \overrightarrow{CB} = \lambda\vec{y}_0$$

Où L , a et d sont des caractéristiques dimensionnelles (constantes). θ , λ et μ sont les paramètres de position du mécanisme, dépendants du temps (variables de configuration).

Partie C - Automatique :

C.1 Étude du capteur de position angulaire du plateau tournant

L'objectif de cette partie est l'étude du capteur permettant la mesure de la position du plateau tournant. En effet, pour connaître avec précision sa position, une des solutions consiste à utiliser un codeur absolu basé sur le code binaire réfléchi (Gray). Cette solution est couramment adoptée pour sa précision.

Le disque des codeurs absolus comporte des pistes concentriques divisées en segments opaques et transparents. Comme le plateau est à 8 positions, on aura à utiliser un codeur à 3 pistes délivrant trois signaux G_0 , G_1 et G_2 .

Si le codeur Gray est le mieux adapté pour la mesure de la position (de l'angle du plateau tournant), on aura besoin du code binaire naturel pour la suite du traitement de l'information. C'est la raison pour laquelle on utilisera un transcodeur BR – BN à 3 bits.

C.2 Étude séquentielle du système d'assemblage de la rotule

Cette partie est dédiée à l'étude séquentielle du système d'assemblage de la rotule. En effet, si les conditions initiales sont vérifiées, l'action sur un bouton poussoir « Dcy » entraîne le fonctionnement des différents postes effectuant les actions suivantes :

Poste 1 : chargement des moyeux sphériques (pièce 1). Un moyeu sera placé dans une empreinte cylindrique solidaire du plateau tournant (actions représentées par la macro étape M10).

Poste 2 : chargement de la bague entretoise (pièce 2) qui sera placée à l'intérieur du moyeu sphérique (M20).

Poste 3 : lubrification de l'intérieur des deux pièces assemblées (pièces 1 et 2), ce qui facilitera le mouvement de l'embout sphérique qui va être placé dedans (M30).

Poste 4 : chargement de l'embout sphérique (pièce 3) pour former ainsi l'ensemble de la rotule (M40).

Poste 5 : (M50) sertissage du moyeu (figure 8). En effet, pour empêcher le démontage de l'ensemble, on effectue un blocage en translation (sertissage) de la pièce 3 dans le logement sphérique. Ce blocage s'effectue par les actions suivantes :

- descente de la tige du vérin V5 poussant le support des roues de sertissage dont l'axe est mis en rotation au même moment, par à un moteur électrique à un seul sens de rotation KM5.
- la fin de course de cette tige est signalée par le capteur L₅₁, déclenchant ainsi une temporisation de 2s. Cette durée permet l'écrasement de la tôle mince permettant le sertissage.
- une fois cette durée est écoulée, le moteur s'arrête et la tige revient à sa position initiale actionnant le capteur L₅₀.

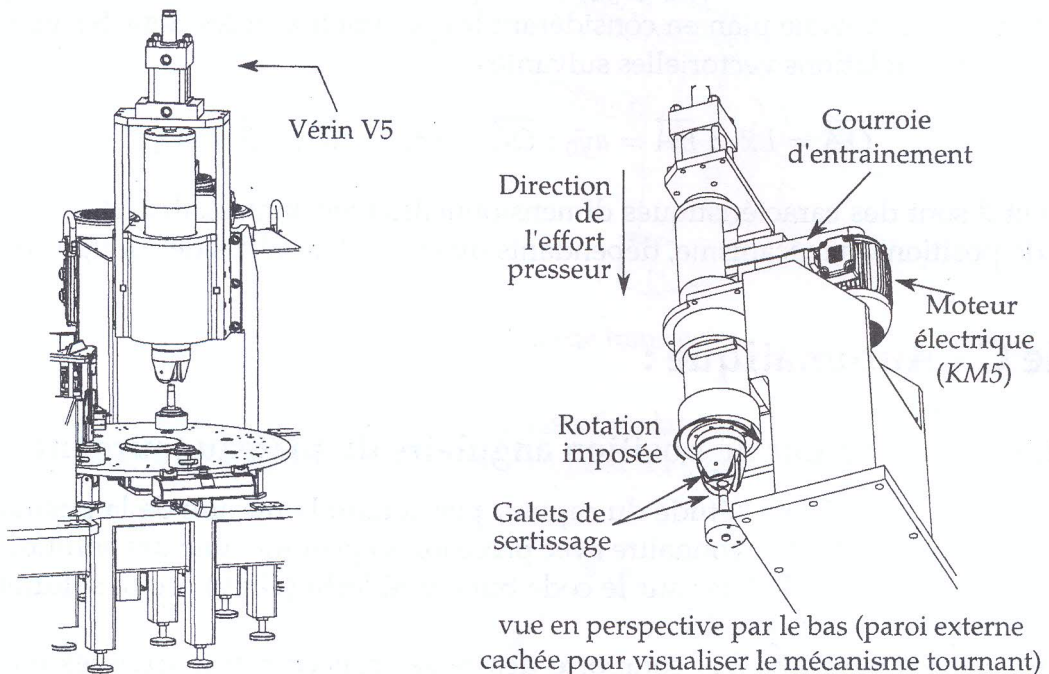


FIGURE 8 – Poste de sertissage

Poste 6 : (M60) rodage et contrôle du jeu fonctionnel (figure 9). En effet, après sertissage, la rotule peut être légèrement coincée sous l'effet de l'intensité du serrage. Il faudra alors vérifier que le jeu fonctionnel est adéquat. Cette procédure se déroule comme suit :

- sortie de la tige du vérin V61, et mise sous tension d'un électro-aimant KA lié à celle-ci, ce qui permet le blocage de l'ensemble des pièces 1 et 2 dans l'empreinte cylindrique. Un capteur L₆₁₁ signale la fin de course de cette tige.
- descente de la tige du vérin V62 (initialement en position sortie) permettant à la pince d'attraper la tige à embout sphérique par simple coincement canonique grâce à trois doigts. Un capteur L₆₂₀ signale la fin de course de cette tige.
- un moto-réducteur électrique à deux sens de rotation solidaire de la tige du vérin V62 entraine la pince en rotation pour effectuer un tour dans un sens KM61 signalé par le capteur n_1 , ensuite il effectue un autre tour dans le sens inverse KM62 signalé par le capteur n_2 .
- montée de la tige du vérin V62 libérant ainsi la tige de la rotule. Un capteur L₆₂₁ signale la fin de course de cette tige de vérin.
- mise hors tension de l'électro-aimant KA et rentrée de la tige du vérin V61. Un capteur L₆₁₀ signale la fin de course de celle-ci.

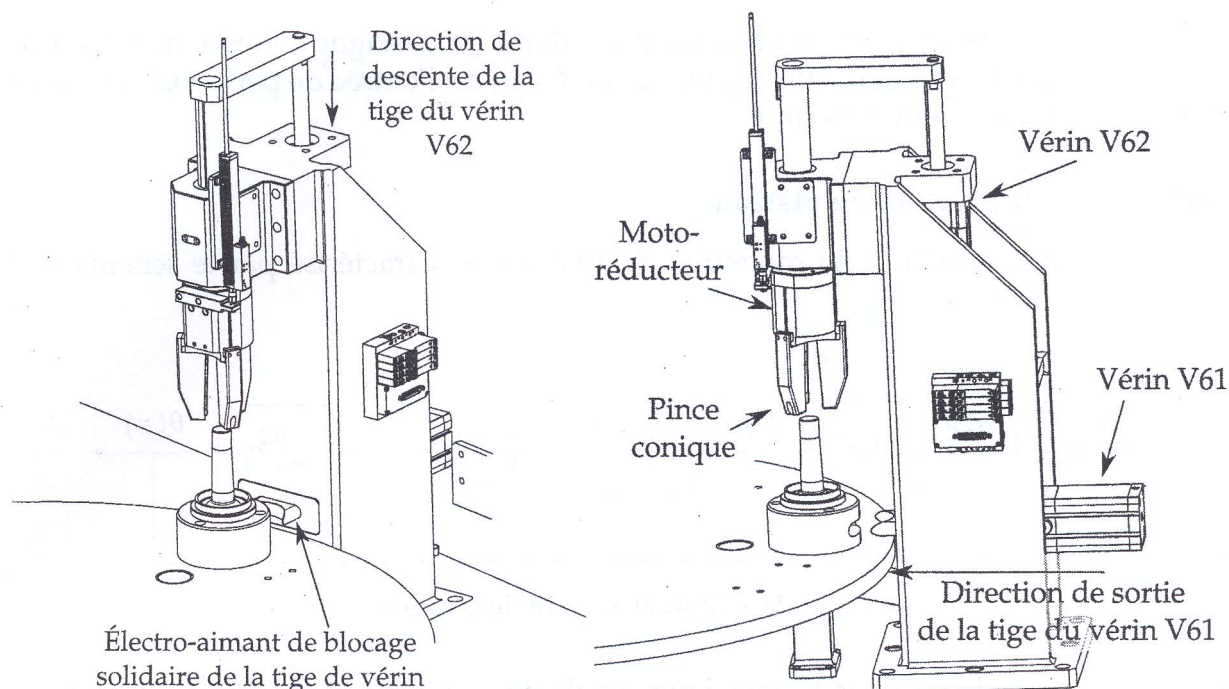


FIGURE 9 – Poste de rodage et de contrôle

Poste 7 : évacuation de la rotule assemblée par le système de transfert parallèle (M70).

Poste 8 : nettoyage de l’empreinte cylindrique fixée sur le plateau. Ainsi, après chaque évacuation d’une rotule, il est impératif de s’assurer de l’élimination des débris ou de résidu de graisse (M80).

Dès l’achèvement des différentes actions dans les huit postes, le plateau effectue 1/8 de tour (45°) grâce au moteur électrique KM qui l’entraîne. La nouvelle position est signalée par un capteur Pr .

Si un nouveau moyeu est présent au poste 1, signalé par un capteur P , le cycle recommence automatiquement, si non le système s’arrêtera jusqu’à une nouvelle action sur le bouton poussoir « Dcy ».

Remarque : tous les vérins utilisés sont à double effet.

C.3 Étude du système de commande du plateau

Deux asservissements sont utilisés pour la commande du plateau :

Asservissement de vitesse du plateau

L’asservissement de vitesse du moteur avec le plateau est caractérisé par le schéma de la figure 10

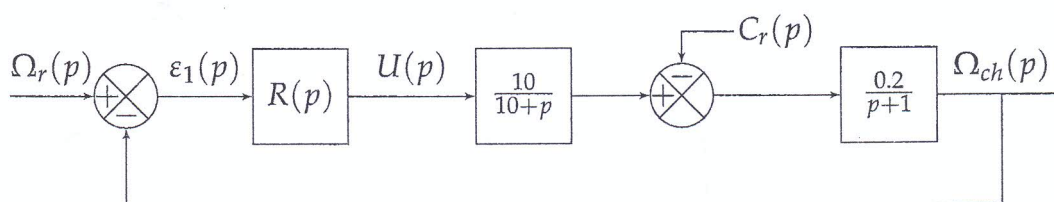
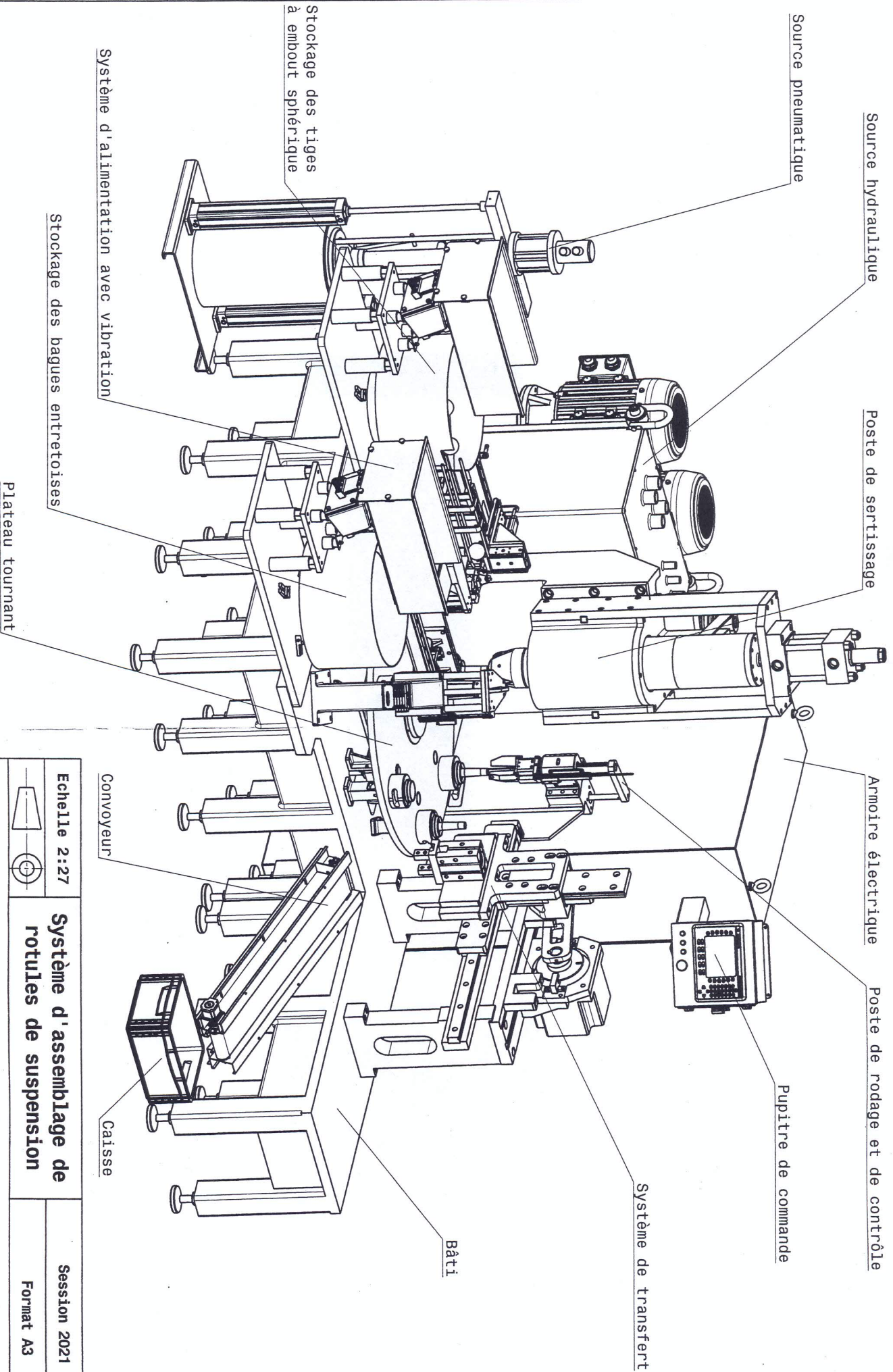


FIGURE 10 – Asservissement de vitesse du moteur



Echelle 2:27

Système d'assemblage de rotules de suspension

Session 2021

Format A3

Concours nationaux d'entrée aux cycles de formation d'ingénieurs

Concours Techno - Epreuve S.T.A

Etude d'un système d'assemblage de rotules

DT-01

H G R A

Dossier

DOCUMENT REPONSES

✱ Ce dossier comporte 19 pages numérotées de 1 à 19

▷ Partie A – Conception mécanique : pages de 1 à 3

▷ Partie B – Mécanique des Solides Indéformables : .. pages de 4 à 12

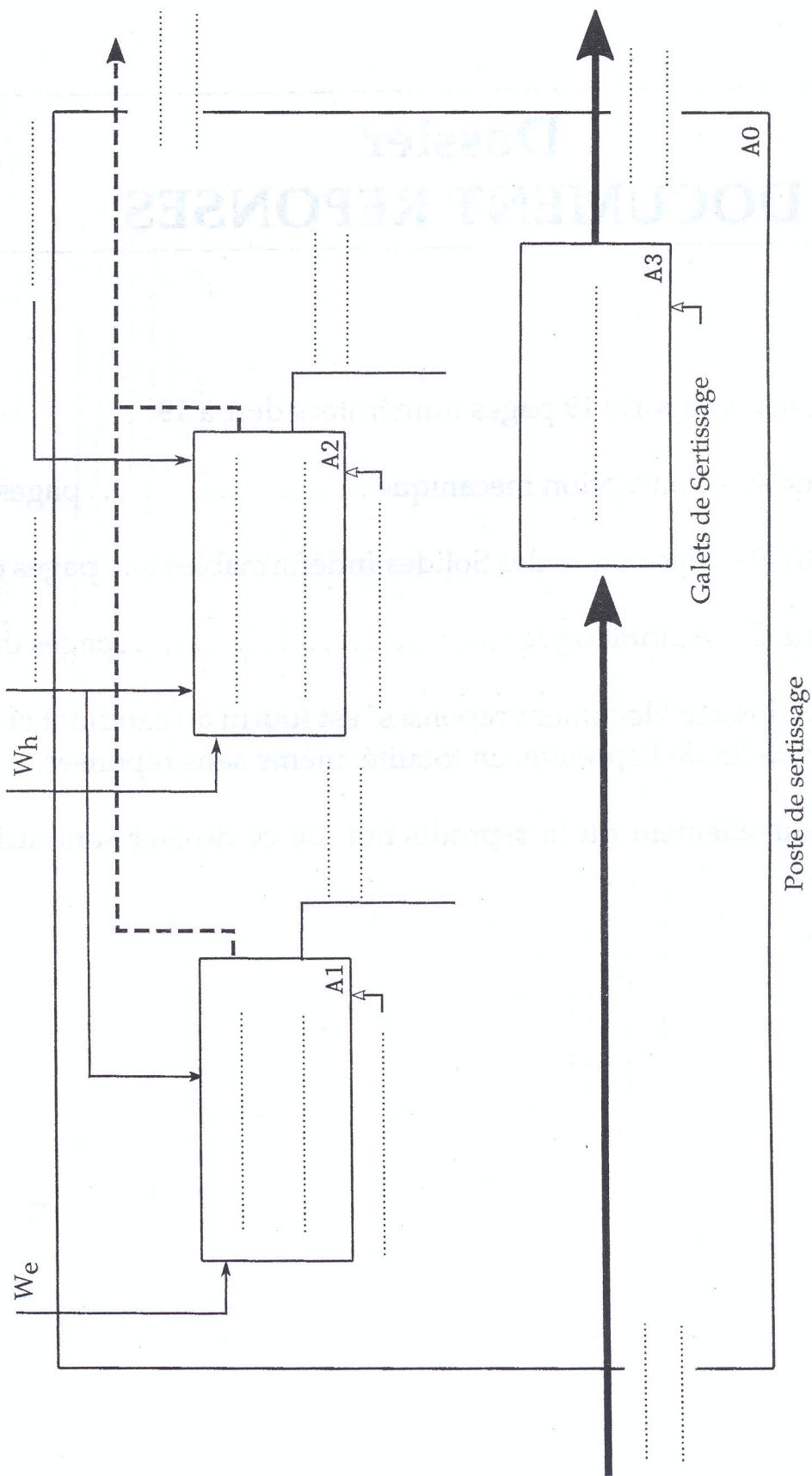
▷ Partie C – Automatique : pages de 13 à 19

✱ Un seul dossier "document réponses" est fourni au candidat et doit être rendu à la fin de l'épreuve, en totalité, même sans réponses.

✱ Le renouvellement ou la reproduction de ce dossier sont strictement interdits.

Partie A : Conception Mécanique

A.1: Compléter l'actigramme niveau A0 du cinquième poste dédié au sertissage (figure 3).

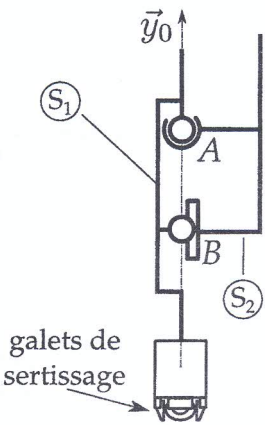


A partir du schéma cinématique du poste de sertissage (figure 4) du document "Mise en situation, Données et Hypothèse", on demande de :

A.2: Donner la désignation de chacune des liaisons en (A) et (B).

(A) :

(B) :



A.3: Montrer par un calcul statique que la liaison équivalente entre S₁ et S₂ est une liaison pivot d'axe (A, \vec{y}_0).

A.4: Par quels moyens peut-on réaliser cette liaison pivot entre S₁ et S₂? (Proposer deux exemples de solutions technologiques.)

Partie B : Mécanique des Solides Indéformables

B.1 Étude Cinématique

L'objectif de cette étude cinématique est d'exprimer les vitesses et les accélérations en translation des coulisseaux (2) et (3) en fonction de la vitesse et de l'accélération angulaire à l'entrée du mécanisme de transfert.

B.1: Déterminer les torseurs cinématiques des solides qui suivent dans leurs mouvements par rapport au bâti (0) :

- a. le solide (1) au point A , l'exprimer dans la base $\mathcal{B}_1(\vec{x}_1, \vec{y}_1, \vec{z}_0)$, en fonction de $L, \theta :$

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131	132	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144	145	146	147	148	149	150	151	152	153	154	155	156	157	158	159	160	161	162	163	164	165	166	167	168	169	170	171	172	173	174	175	176	177	178	179	180	181	182	183	184	185	186	187	188	189	190	191	192	193	194	195	196	197	198	199	200	201	202	203	204	205	206	207	208	209	210	211	212	213	214	215	216	217	218	219	220	221	222	223	224	225	226	227	228	229	230	231	232	233	234	235	236	237	238	239	240	241	242	243	244	245	246	247	248	249	250	251	252	253	254	255	256	257	258	259	260	261	262	263	264	265	266	267	268	269	270	271	272	273	274	275	276	277	278	279	280	281	282	283	284	285	286	287	288	289	290	291	292	293	294	295	296	297	298	299	300	301	302	303	304	305	306	307	308	309	310	311	312	313	314	315	316	317	318	319	320	321	322	323	324	325	326	327	328	329	330	331	332	333	334	335	336	337	338	339	340	341	342	343	344	345	346	347	348	349	350	351	352	353	354	355	356	357	358	359	360	361	362	363	364	365	366	367	368	369	370	371	372	373	374	375	376	377	378	379	380	381	382	383	384	385	386	387	388	389	390	391	392	393	394	395	396	397	398	399	400	401	402	403	404	405	406	407	408	409	410	411	412	413	414	415	416	417	418	419	420	421	422	423	424	425	426	427	428	429	430	431	432	433	434	435	436	437	438	439	440	441	442	443	444	445	446	447	448	449	450	451	452	453	454	455	456	457	458	459	460	461	462	463	464	465	466	467	468	469	470	471	472	473	474	475	476	477	478	479	480	481	482	483	484	485	486	487	488	489	490	491	492	493	494	495	496	497	498	499	500	501	502	503	504	505	506	507	508	509	510	511	512	513	514	515	516	517	518	519	520	521	522	523	524	5
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	---

$$\{\psi_{1/0}\}_A = \left\{ \begin{array}{c} \dots\dots\dots \\ \dots\dots\dots \\ \dots\dots\dots \end{array} \right\}_A$$

- b. le solide (2) au point A , l'exprimer dans la base $\mathcal{B}_1(\vec{x}_1, \vec{y}_1, \vec{z}_0)$, en fonction de $L, \dot{\theta}$:

[illegible]

$$\{\psi_{2/0}\}_A = \left\{ \begin{array}{c} \dots\dots\dots \\ \dots\dots\dots \\ \dots\dots\dots \end{array} \right\}_A$$

- c. le solide (3) au point C, l'exprimer dans la base $\mathcal{B}_0(\vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)$, en fonction de μ :

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131	132	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144	145	146	147	148	149	150	151	152	153	154	155	156	157	158	159	160	161	162	163	164	165	166	167	168	169	170	171	172	173	174	175	176	177	178	179	180	181	182	183	184	185	186	187	188	189	190	191	192	193	194	195	196	197	198	199	200	201	202	203	204	205	206	207	208	209	210	211	212	213	214	215	216	217	218	219	220	221	222	223	224	225	226	227	228	229	230	231	232	233	234	235	236	237	238	239	240	241	242	243	244	245	246	247	248	249	250	251	252	253	254	255	256	257	258	259	260	261	262	263	264	265	266	267	268	269	270	271	272	273	274	275	276	277	278	279	280	281	282	283	284	285	286	287	288	289	290	291	292	293	294	295	296	297	298	299	300	301	302	303	304	305	306	307	308	309	310	311	312	313	314	315	316	317	318	319	320	321	322	323	324	325	326	327	328	329	330	331	332	333	334	335	336	337	338	339	340	341	342	343	344	345	346	347	348	349	350	351	352	353	354	355	356	357	358	359	360	361	362	363	364	365	366	367	368	369	370	371	372	373	374	375	376	377	378	379	380	381	382	383	384	385	386	387	388	389	390	391	392	393	394	395	396	397	398	399	400	401	402	403	404	405	406	407	408	409	410	411	412	413	414	415	416	417	418	419	420	421	422	423	424	425	426	427	428	429	430	431	432	433	434	435	436	437	438	439	440	441	442	443	444	445	446	447	448	449	450	451	452	453	454	455	456	457	458	459	460	461	462	463	464	465	466	467	468	469	470	471	472	473	474	475	476	477	478	479	480	481	482	483	484	485	486	487	488	489	490	491	492	493	494	495	496	497	498	499	500	501	502	503	504	505	506	507	508	509	510	511	512	513	514	515	516	517	518	519	520	521	522	523	524	5
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	---

$$\{\mathcal{V}_{3/0}\}_C = \left\{ \begin{array}{c} \dots\dots\dots \\ \dots\dots\dots \end{array} \right\}_C$$

B.2: Exprimer, dans la base $\mathcal{B}_0(\vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)$, le vecteur position de A en fonction de d , μ et λ . En déduire la vitesse de A appartenant au solide (2) dans son mouvement par rapport au bâti (0) en fonction de $\dot{\mu}$ et $\dot{\lambda}$:

Erratum :

Veuillez considérer la figure ci-dessous à la place de la figure B.2 de la page 6/19 du document réponses

✓ La manivelle (1) est représentée par le solide de la figure B.2.

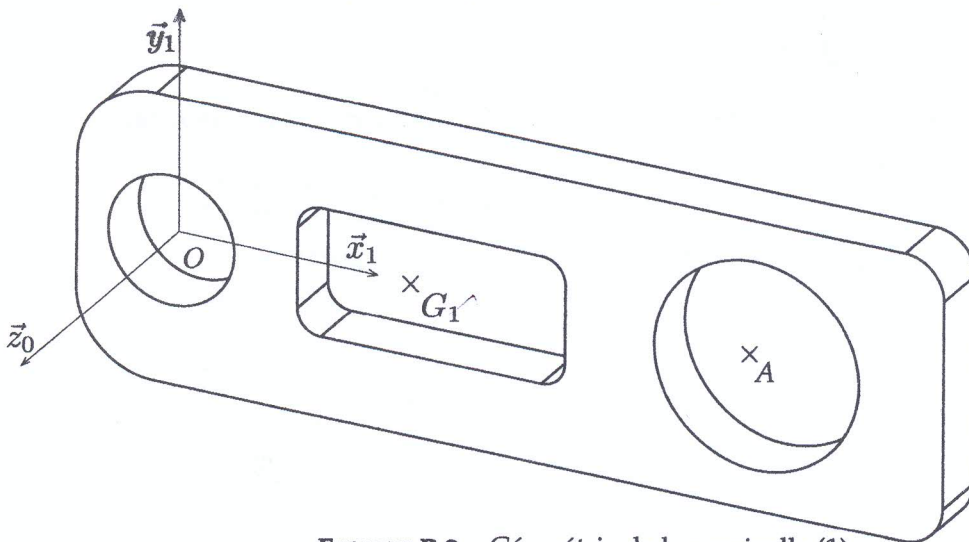


FIGURE B.2 – Géométrie de la manivelle (1)

B.2 Étude dynamique et énergétique

L'étude énergétique et dynamique vise à déterminer le couple développé par le moteur (M) ainsi que les expressions analytiques des actions extérieures s'appliquant au système $\Sigma = \{1, 2, 3\}$

B.2.1 Données et hypothèses

- ✓ $\theta(t)$ est périodique (figure B.1) et $\ddot{\theta}$ est nulle.
- ✓ L'accélération de la pesanteur est définie par : $\vec{g} = -g\vec{y}_0$ avec g est une constante positive.
- ✓ L'action du moteur (M) sur (1) est modélisée par le torseur couple :

$$\{\mathcal{T}_{(\text{Moteur} \rightarrow 1)}\}_O = \left\{ \begin{array}{c} \vec{0} \\ C_m \vec{z}_0 \end{array} \right\}_O$$

- ✓ Les masses des solides (1), (2) et (3) sont désignées respectivement par m_i avec $i = 1, 2, 3$. Sachant que le coulisseau (2) intègre toutes les pièces qui lui sont solidaires y compris le système de préhension (la masse de la rotule est négligée).
- ✓ Les centres d'inertie G_i de ces solides sont définis par les expressions vectorielles suivantes :

$$\vec{OG}_1 = \frac{L}{2} \vec{x}_1 ; \vec{AG}_2 = -b\vec{y}_0 ; \vec{CG}_3 = \vec{0}$$

où b représente une constante dimensionnelle positive.

- ✓ Toutes les liaisons sont supposées parfaites.
- ✓ Il convient de retenir, pour ce problème plan, la notation représentant le torseur des actions mécaniques qu'exerce un solide (i) sur un solide (j) au point Q "centre géométrique de la liaison", exprimé dans la base $\mathcal{B}_0(\vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)$

$$\{\mathcal{T}_{(i \rightarrow j)}\}_Q = \left\{ \begin{array}{cc} X_{ij} & - \\ Y_{ij} & - \\ - & N_{ij} \end{array} \right\}_Q^{\mathcal{B}_0}$$

- ✓ La manivelle (1) est modélisée par le solide schématisé par la figure B.2.

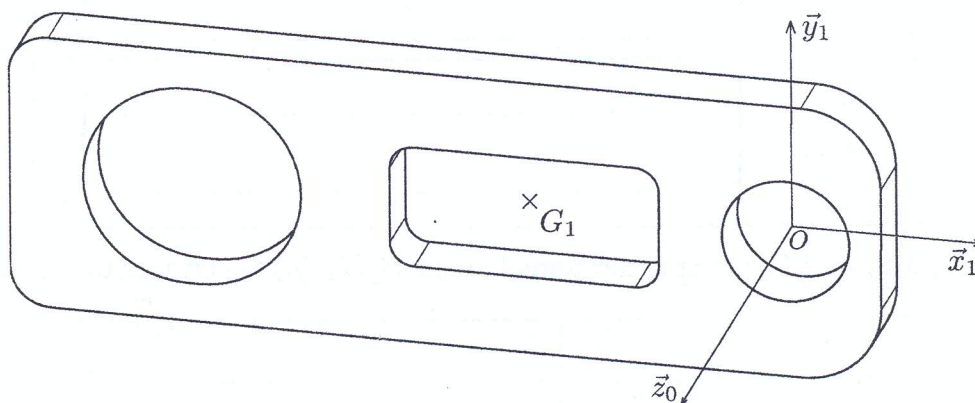


FIGURE B.2 – Modélisation de la manivelle 1

B.6: Donner, après justification, la forme de la matrice d'inertie de la manivelle (1) au point G_1 dans la base $\mathcal{B}_1(\vec{x}_1, \vec{y}_1, \vec{z}_0)$. Cette matrice sera notée $[I_{G_1}(1)]$.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131	132	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144	145	146	147	148	149	150	151	152	153	154	155	156	157	158	159	160	161	162	163	164	165	166	167	168	169	170	171	172	173	174	175	176	177	178	179	180	181	182	183	184	185	186	187	188	189	190	191	192	193	194	195	196	197	198	199	200	201	202	203	204	205	206	207	208	209	210	211	212	213	214	215	216	217	218	219	220	221	222	223	224	225	226	227	228	229	230	231	232	233	234	235	236	237	238	239	240	241	242	243	244	245	246	247	248	249	250	251	252	253	254	255	256	257	258	259	260	261	262	263	264	265	266	267	268	269	270	271	272	273	274	275	276	277	278	279	280	281	282	283	284	285	286	287	288	289	290	291	292	293	294	295	296	297	298	299	300	301	302	303	304	305	306	307	308	309	310	311	312	313	314	315	316	317	318	319	320	321	322	323	324	325	326	327	328	329	330	331	332	333	334	335	336	337	338	339	340	341	342	343	344	345	346	347	348	349	350	351	352	353	354	355	356	357	358	359	360	361	362	363	364	365	366	367	368	369	370	371	372	373	374	375	376	377	378	379	380	381	382	383	384	385	386	387	388	389	390	391	392	393	394	395	396	397	398	399	400	401	402	403	404	405	406	407	408	409	410	411	412	413	414	415	416	417	418	419	420	421	422	423	424	425	426	427	428	429	430	431	432	433	434	435	436	437	438	439	440	441	442	443	444	445	446	447	448	449	450	451	452	453	454	455	456	457	458	459	460	461	462	463	464	465	466	467	468	469	470	471	472	473	474	475	476	477	478	479	480	481	482	483	484	485	486	487	488	489	490	491	492	493	494	495	496	497	498	499	500	501	502	503	504	505	506	507	508	509	510	511	512	513	514	515	516	517	518	519	520	521	522	523	524	5
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	---

$$\{\mathcal{C}_{2/0}\}_{G_2} = \left\{ \begin{array}{c} \text{.....} \\ \text{.....} \\ \text{.....} \end{array} \right\}_{G_2}$$

$$\{\mathcal{D}_{2/0}\}_{G_2} = \left\{ \begin{array}{c} \text{.....} \\ \text{.....} \\ \text{.....} \end{array} \right\}_{G_2}$$

c. Le solide (3) au point G_3 ; l'exprimer dans la base $\mathcal{B}_0(\vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)$ en fonction de m_3 , L , θ et ses dérivées.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131	132	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144	145	146	147	148	149	150	151	152	153	154	155	156	157	158	159	160	161	162	163	164	165	166	167	168	169	170	171	172	173	174	175	176	177	178	179	180	181	182	183	184	185	186	187	188	189	190	191	192	193	194	195	196	197	198	199	200	201	202	203	204	205	206	207	208	209	210	211	212	213	214	215	216	217	218	219	220	221	222	223	224	225	226	227	228	229	230	231	232	233	234	235	236	237	238	239	240	241	242	243	244	245	246	247	248	249	250	251	252	253	254	255	256	257	258	259	260	261	262	263	264	265	266	267	268	269	270	271	272	273	274	275	276	277	278	279	280	281	282	283	284	285	286	287	288	289	290	291	292	293	294	295	296	297	298	299	300	301	302	303	304	305	306	307	308	309	310	311	312	313	314	315	316	317	318	319	320	321	322	323	324	325	326	327	328	329	330	331	332	333	334	335	336	337	338	339	340	341	342	343	344	345	346	347	348	349	350	351	352	353	354	355	356	357	358	359	360	361	362	363	364	365	366	367	368	369	370	371	372	373	374	375	376	377	378	379	380	381	382	383	384	385	386	387	388	389	390	391	392	393	394	395	396	397	398	399	400	401	402	403	404	405	406	407	408	409	410	411	412	413	414	415	416	417	418	419	420	421	422	423	424	425	426	427	428	429	430	431	432	433	434	435	436	437	438	439	440	441	442	443	444	445	446	447	448	449	450	451	452	453	454	455	456	457	458	459	460	461	462	463	464	465	466	467	468	469	470	471	472	473	474	475	476	477	478	479	480	481	482	483	484	485	486	487	488	489	490	491	492	493	494	495	496	497	498	499	500	501	502	503	504	505	506	507	508	509	510	511	512	513	514	515	516	517	518	519	520	521	522	523	524	5
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	---

$$\{\mathcal{C}_{3/0}\}_{G_3} = \left\{ \begin{array}{c} \text{.....} \\ \text{.....} \\ \text{.....} \end{array} \right\}_{G_3}$$

$$\{\mathcal{D}_{3/0}\}_{G_3} = \left\{ \begin{array}{c} \dots \\ \dots \\ \dots \end{array} \right\}_{G_3}$$

B.8: Déterminer l'expression de l'énergie cinétique du système $\Sigma = \{1, 2, 3\}$ dans son mouvement par rapport au bâti (0).

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131	132	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144	145	146	147	148	149	150	151	152	153	154	155	156	157	158	159	160	161	162	163	164	165	166	167	168	169	170	171	172	173	174	175	176	177	178	179	180	181	182	183	184	185	186	187	188	189	190	191	192	193	194	195	196	197	198	199	200	201	202	203	204	205	206	207	208	209	210	211	212	213	214	215	216	217	218	219	220	221	222	223	224	225	226	227	228	229	230	231	232	233	234	235	236	237	238	239	240	241	242	243	244	245	246	247	248	249	250	251	252	253	254	255	256	257	258	259	260	261	262	263	264	265	266	267	268	269	270	271	272	273	274	275	276	277	278	279	280	281	282	283	284	285	286	287	288	289	290	291	292	293	294	295	296	297	298	299	300	301	302	303	304	305	306	307	308	309	310	311	312	313	314	315	316	317	318	319	320	321	322	323	324	325	326	327	328	329	330	331	332	333	334	335	336	337	338	339	340	341	342	343	344	345	346	347	348	349	350	351	352	353	354	355	356	357	358	359	360	361	362	363	364	365	366	367	368	369	370	371	372	373	374	375	376	377	378	379	380	381	382	383	384	385	386	387	388	389	390	391	392	393	394	395	396	397	398	399	400	401	402	403	404	405	406	407	408	409	410	411	412	413	414	415	416	417	418	419	420	421	422	423	424	425	426	427	428	429	430	431	432	433	434	435	436	437	438	439	440	441	442	443	444	445	446	447	448	449	450	451	452	453	454	455	456	457	458	459	460	461	462	463	464	465	466	467	468	469	470	471	472	473	474	475	476	477	478	479	480	481	482	483	484	485	486	487	488	489	490	491	492	493	494	495	496	497	498	499	500	501	502	503	504	505	506	507	508	509	510	511	512	513	514	515	516	517	518	519	520	521	522	523	524	5
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	---

$$E_c(\Sigma/0) =$$

B.9: Compléter sur la figure B.3, l'inventaire des actions mécaniques extérieures appliquées au système $\Sigma = \{1, 2, 3\}$.

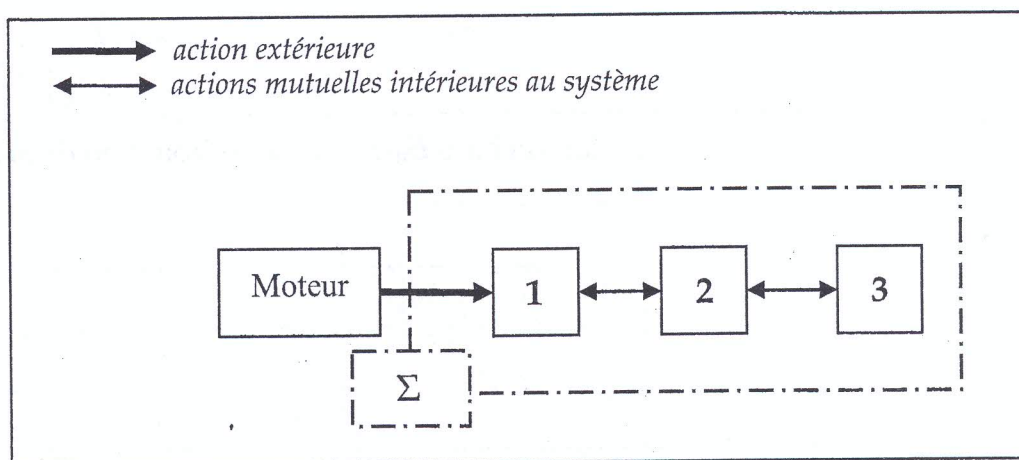
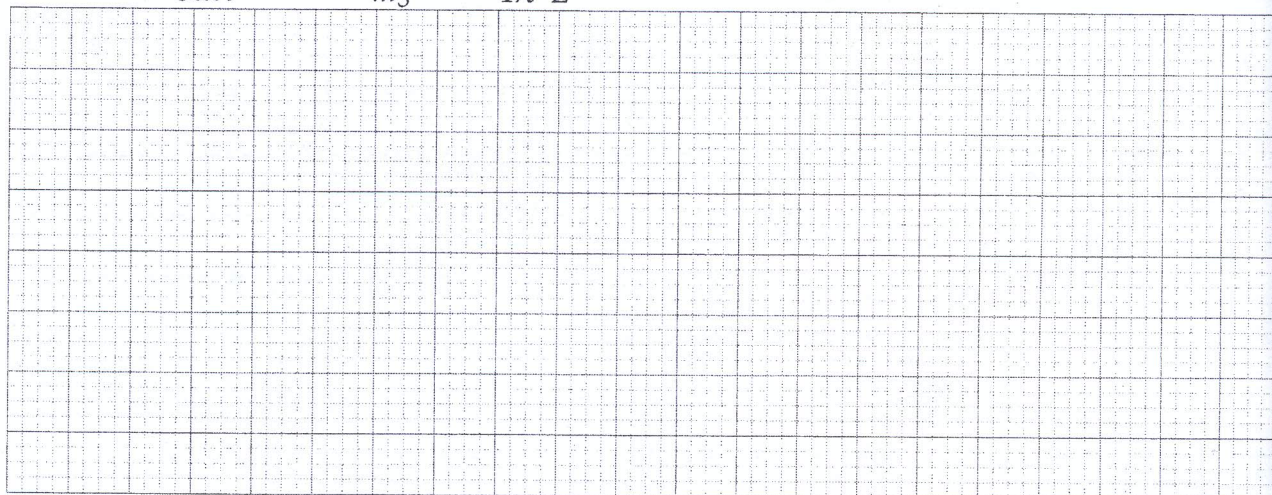


FIGURE B.3 – Diagramme des actions mécaniques

B.10: Écrire les torseurs des actions extérieures et intérieures au système (Σ) en leur point d'application respectif, en les exprimant dans la base $\mathcal{B}_0(\vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)$.

$$C_m = \dots\dots\dots$$

B.13: Montrer que les extremums du couple C_m développé par le moteur sont solutions de l'équation : $\frac{\cos 2\theta}{\sin \theta} = \frac{(m_1/2) + m_2}{m_3} \frac{gT^2}{4\pi^2 L}$



B.14: Écrire les équations scalaires issues de l'application du théorème de la résultante dynamique pour le système (Σ) et les projeter sur \vec{x}_0 et \vec{y}_0 :



Partie C : Automatique

C.1 Étude du capteur de position angulaire

C.1: En se référant à la figure C.1 compléter le code Gray (BR) de la table de vérité ci-contre, où G_0 représente le bit du poids le plus faible.

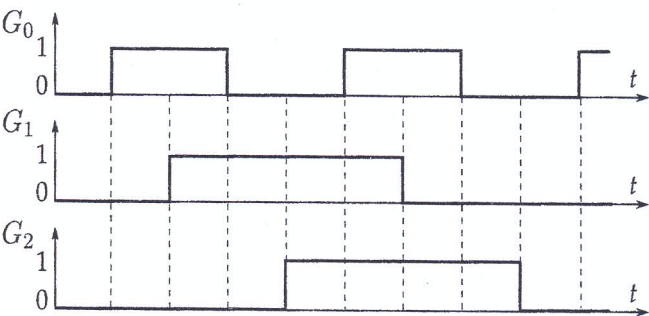


FIGURE C.1 – Chronogramme des trois signaux G_0 , G_1 et G_2

Tableau 1 – Table de vérité du transcodeur à 3 entrées (G_0 , G_1 et G_2) et 3 sorties (B_0 , B_1 et B_2)

Code (Gray ou BR)			Code (BN)		
G_2	G_1	G_0	B_2	B_1	B_0
			0	0	0
			0	0	1
			0	1	0
			0	1	1
			1	0	0
			1	0	1
			1	1	0
			1	1	1

C.2: Compléter les tableaux de Karnaugh des sorties B_0 , B_1 et B_2 , placer les groupements et déterminer les équations simplifiées en fonction des entrées du transcodeur sous forme de somme de produit.

— Sortie B_0 :

G_1G_0	00	01	11	10
G_2				
0				
1				

$B_0 =$

— Sortie B_1 :

G_1G_0	00	01	11	10
G_2				
0				
1				

$B_1 =$

— Sortie B_2 :

G_1G_0	00	01	11	10
G_2				
0				
1				

$B_2 =$

C.3: : On veut minimiser le nombre d'opérateurs logiques. Une solution consiste à utiliser des fonctions logiques de type « ou exclusif » à deux entrées. Cette solution nécessitera seulement deux opérateurs. **Compléter** sur la figure C.2 le logigramme relatif aux sorties du transcodeur étudié.

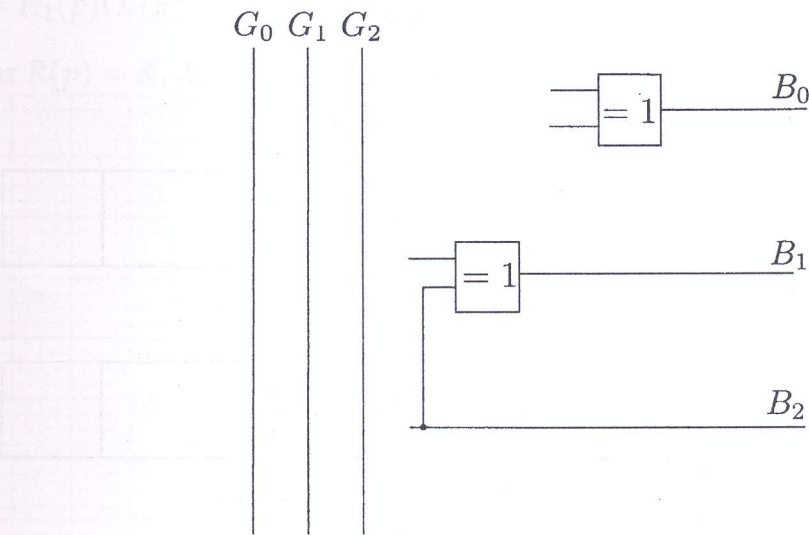


FIGURE C.2 – Logigramme du transcodeur en « ou exclusif »

C.2 Étude séquentielle du système

C.4: Compléter les Grafcet de point de vue commande des figures C.3 et C.4

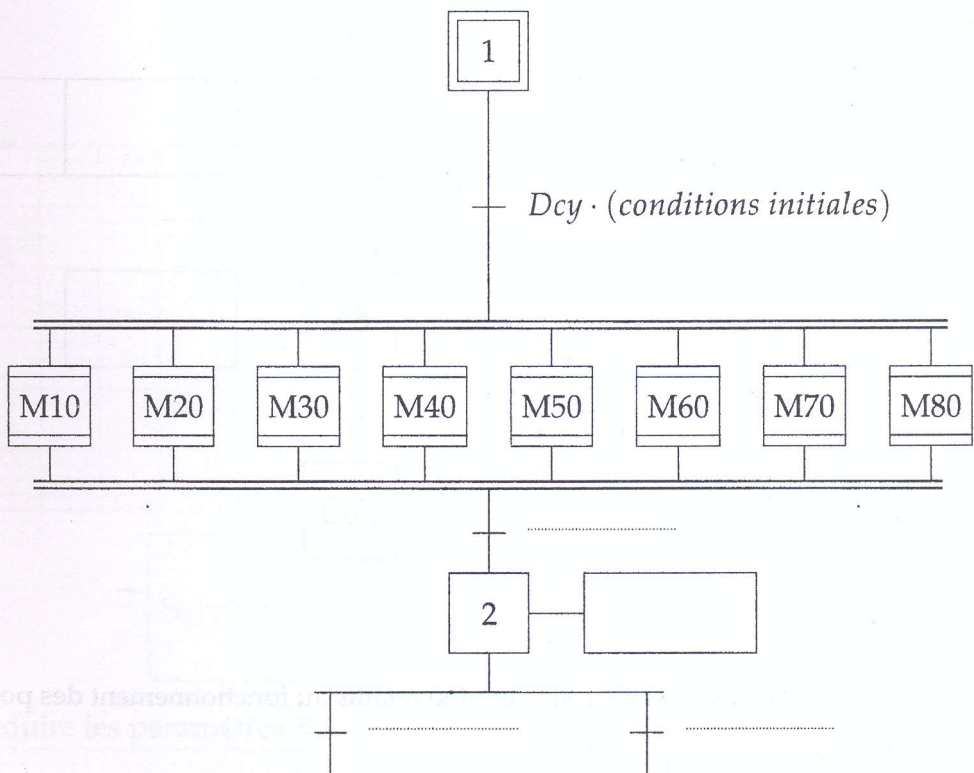


FIGURE C.3 – Grafcet de point de vue commande du système d'assemblage des rotules

N. B. : La normalisation de la commande d'un actionneur bistable V_n exige pour :

- l'activation, $V_n := 1$,
- la désactivation, $V_n := 0$.

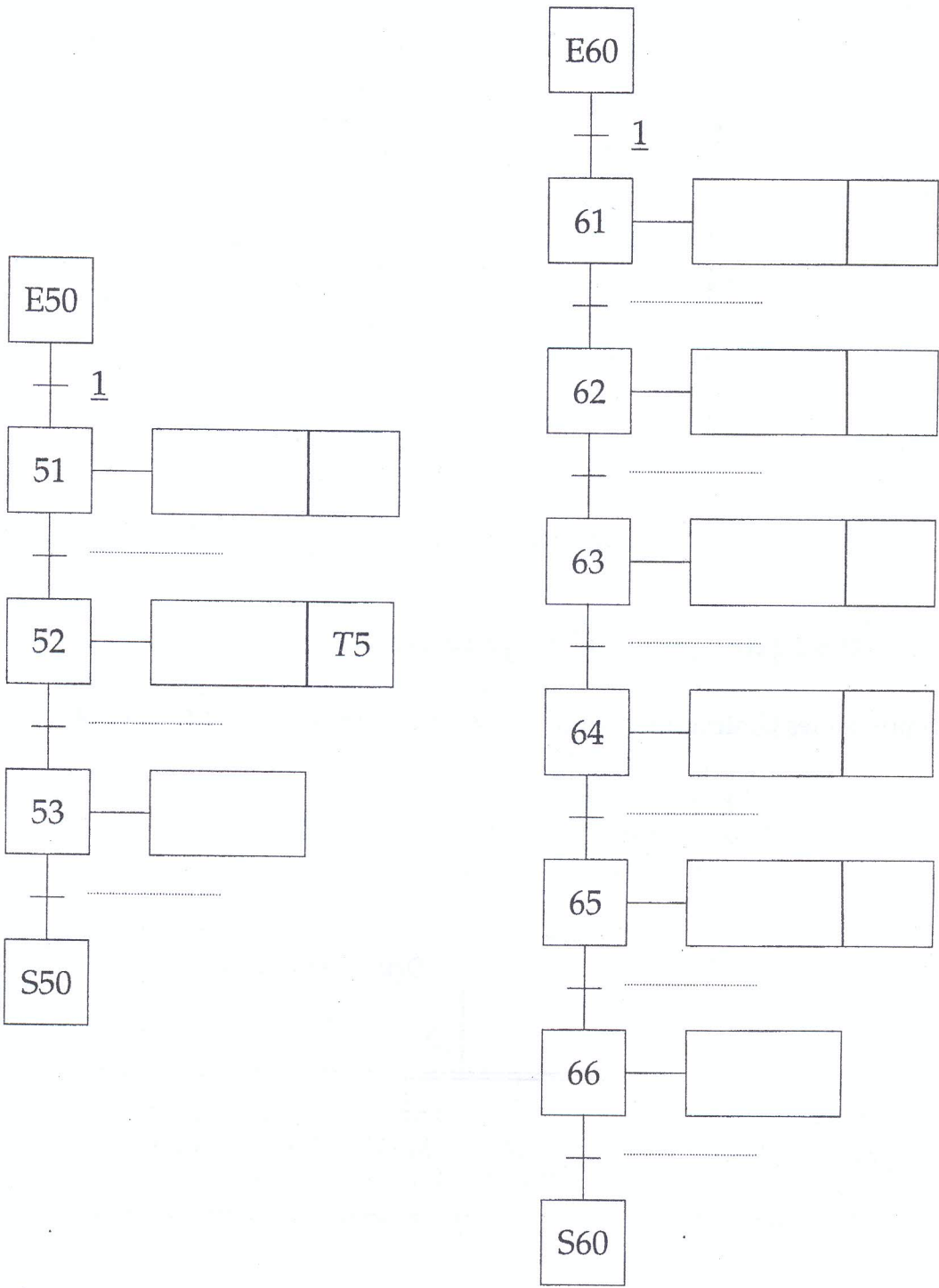


FIGURE C.4 – Grafcet des macro-étapes M50 et M60 relatifs au fonctionnement des postes 5 et 6

$\omega_0 =$

$\xi =$

C.8: Que peut-on dire du premier dépassement " D_1 " ? Justifier.

C.9: A partir des figures 10 et 11, donner les expressions des fonctions de transfert en Boucle ouverte $T_1(p)$ et $T_2(p)$ respectivement des asservissements de vitesse et de position (avec $R(p) = K$ et $C_r(p) = 0$).

$T_1(p) =$

$T_2(p) =$

C.10: A partir des courbes de la figure C.5, tracées pour $R(p) = 1$, identifier les diagrammes des gains $\|T_1(j\omega)\|dB$ et $\|T_2(j\omega)\|dB$ ainsi que ceux des arguments $\varphi_1(j\omega)$ et $\varphi_2(j\omega)$.

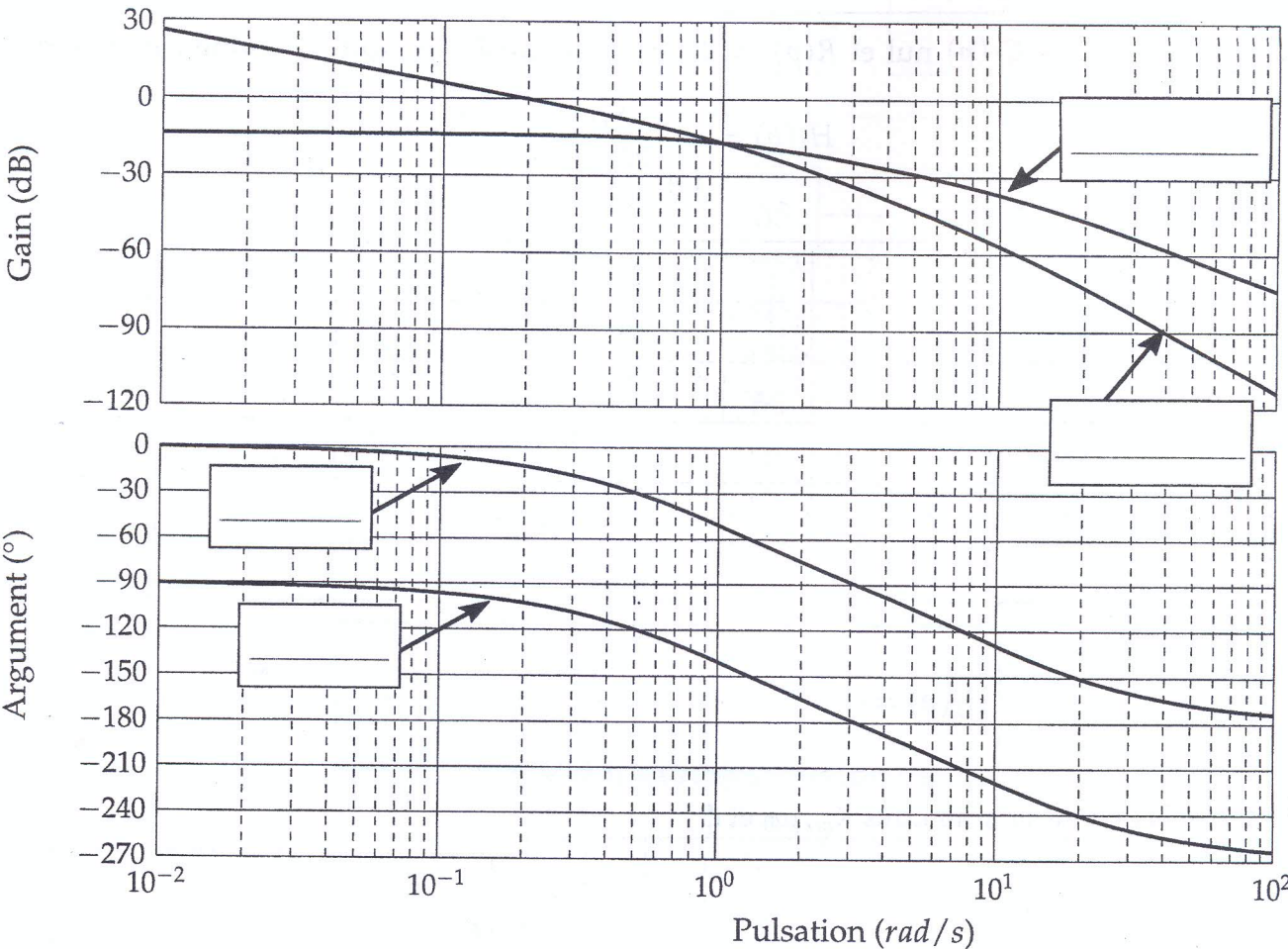


FIGURE C.5 – Diagrammes de bode

C.11: Déterminer la bande passante de l'asservissement de vitesse.

Bp =

C.12: Que devient cette bande passante pour l'asservissement de position?

$$Bp = \dots\dots\dots$$

C.13: Déterminer les marges de gain et de phase relatives aux fonctions $T_1(j\omega)$ et $T_2(j\omega)$.

 $MG_{1dB} = \dots\dots\dots$ $MG_{2dB} =$
$$M\phi_1(^{\circ}) =$$
$$M_{\varphi_2}(\circ) =$$

C.14: Conclure sur la stabilité de chaque asservissement.

[illegible]

C.15: Pour l'asservissement de position, et en exploitant les diagrammes de Bode de la figure C.5, déterminer la valeur du gain critique de stabilité K_C ?

[illegible]
$$K_C = \dots\dots\dots$$

