

Dimensionnement du moteur d'un empennage d'avion

Cette épreuve n'est pas une épreuve écrite, il n'est donc pas demandé de rédiger un compte-rendu. Toutefois il est demandé d'élaborer avec soin les dessins, les schémas et les graphes utilisés comme illustration lors de cette épreuve orale. Pour préparer les réponses aux questions posées, il faut utiliser les feuilles remises comme brouillon en début d'épreuve.

La qualité de la prestation orale est évaluée.

Une présentation des réponses aux questions de la partie 1 sera faite à l'examineur dès que ces questions seront traitées (le signaler à l'examineur). Pour cette présentation vous vous appuyerez sur le système lui-même, sur vos notes, vos schémas (il est inutile de reproduire les schémas présents dans le sujet).

Pendant le dernier quart d'heure de l'épreuve, et quel que soit l'état d'avancement de vos travaux, vous présenterez une conclusion (3 minutes maximum). Vous vous attacherez à préciser les objectifs qui ont été fixés, à établir un bilan des activités menées et vous conclurez sur les résultats obtenus. Cette conclusion doit vous permettre de montrer à l'examineur vos capacités d'analyse et de synthèse du problème posé.

Sommaire

Description du système	3
Contexte : étude d'un empennage d'avion	3
Système MAXPID	4
Éléments de la chaîne de motorisation	4
Description de cette étude	5
Données fournies :	5
I. Première partie : Analyse fonctionnelle et structurelle. Observations	6
II. Vérification du dimensionnement du moteur : analyse du couple moteur statique et dynamique	6
1. Analyse dynamique	6
Equation du mouvement	7
Détermination de J_{eq} , inertie équivalente de l'ensemble des pièces en mouvement ramenée à l'arbre moteur	7
Loi du mouvement	7
2. Vérification du dimensionnement du moteur de l'empennage	7
III. Analyse des performances de la chaîne d'asservissement	8
1. Détermination des caractéristiques du moteur	8
2. Détermination du gain de l'amplificateur	8
3. Mise en place du modèle	9
4. Validation des performances	9
IV. Amélioration des performances	9
1. Analyse fréquentielle de la FTBO	9
2. Réglage du correcteur	10
V. Conclusions et perspectives	10
Annexe 1 : Synoptique	11
Annexe 2 : Données générales de l'empennage	12
Annexe 3 : Données générales du système MAXPID	14
Annexe 4 : Moteur à courant continu	15
Annexe 5 : Caractéristiques du moteur à courant continu	16
Annexe 6 : Caractéristiques potentiomètre de mesure de position du bras	17
Annexe 7 : Aide Méca3D/Solidworks	19
Annexe 8 Aide Excel (Question 9)	22
Annexe 9 : Aide Did'Acsyde	23
Annexe 10 : Aide Logiciel Maxpid	25

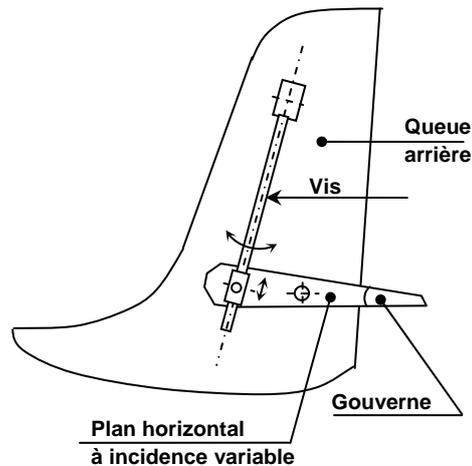
Description du système

Contexte : étude d'un empennage d'avion

L'empennage d'un avion peut être assimilé à une mini aile située à l'extrémité du fuselage de l'avion. Il subit donc, comme la voilure principale, une force de portance et une force de traînée appliquées en son centre de poussée.

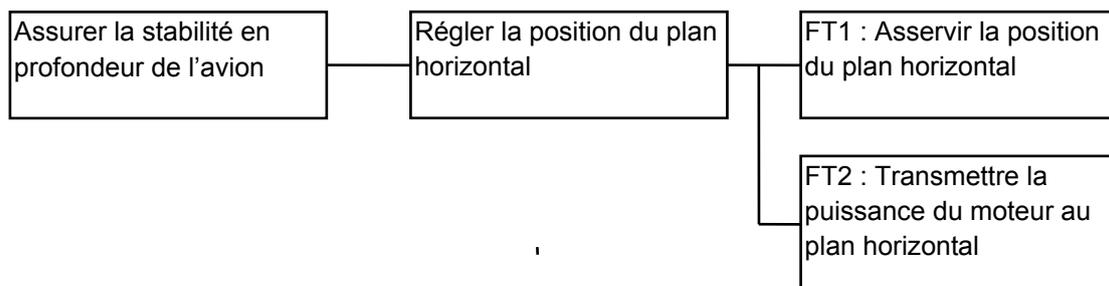
Un empennage est composé de deux parties :

- la première, plan horizontal et gouverne, assure la stabilité en profondeur de l'avion,
- la deuxième, queue arrière, assure la stabilité en direction.



Nous nous intéressons dans ce sujet au système qui permet d'asservir en position l'ensemble plan horizontal et gouverne.

Les fonctions de ce système sont décrites ci-dessous :

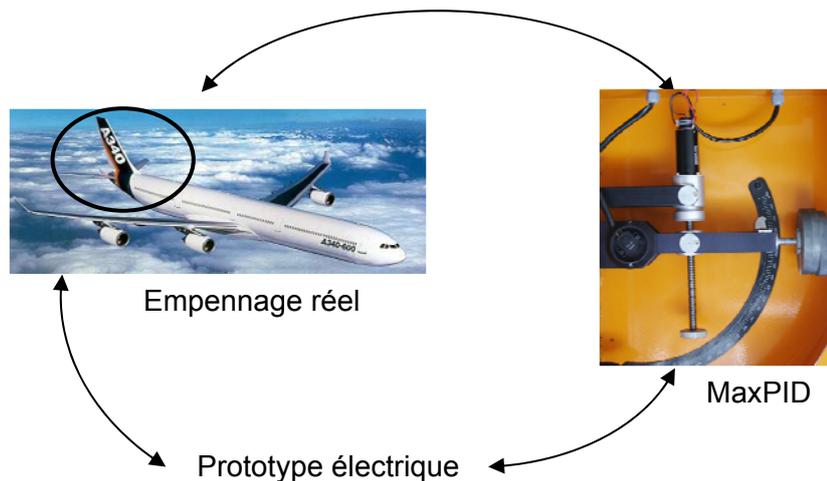


La commande en position du plan horizontal est assurée par un vérin à vis, dont le schéma cinématique est donné en Annexe 2. La rotation de cette vis entraîne la translation d'un écrou qui permet le déplacement du plan horizontal.

Jusqu'alors les moteurs utilisés sur les empennages actuels sont des moteurs hydrauliques. Les progrès réalisés ces dernières années en terme de technologie électrique, et notamment pour les moteurs, incitent à abandonner cette technologie hydraulique au profit de l'électrique. C'est pourquoi on souhaite réaliser une maquette réduite de cet empennage axée sur une motorisation électrique.

La cinématique de l'empennage étant similaire à celle du système MAXPID, on se propose donc d'utiliser ce support de travaux pratiques afin de réaliser cette maquette réduite.

On parlera donc dans ce TP de l'empennage hydraulique de l'airbus, du prototype à technologie électrique et du système électrique MaxPID.



Les objectifs de cette étude sont de :

1. Vérifier le dimensionnement du moteur du prototype (déterminer la puissance, le couple moteur statique, le couple moteur maximal nécessaires du moteur de l'empennage), en s'appuyant sur une étude dynamique du système MAXPID.
2. Mettre en place la chaîne d'asservissement et déterminer le réglage du correcteur.

Le cahier des charges du prototype est le suivant :

- masse suspendue (en bout de bras) de 1,2 kg
- Amplitude du mouvement de l'empennage 40°
- Temps de réponse de 0,2 s
- Erreur statique nulle
- Marge de phase de 60°

Système MAXPID

Éléments de la chaîne de motorisation

- Le moteur électrique à courant continu et à aimants permanents est décrit en Annexe 4 et Annexe 5 : Référence moteur Maxon RE035G-118778
- Une transmission mécanique est décrite en Annexe 3.
- La chaîne de mesure de l'angle θ de rotation du bras, de gain K_{cap} , comporte :
 - Un potentiomètre circulaire alimenté par une tension $[0; +5V]$, fournissant une tension électrique proportionnelle à l'angle de rotation : Annexe 6
 - Un convertisseur analogique-numérique 12 bits permettant d'obtenir un nombre entier r_θ , représentant l'image de la tension analogique issue du potentiomètre. La caractéristique $r_\theta = f(\theta)$ est une fonction affine :

$$\begin{cases} 0^\circ \rightarrow 0 \\ +90^\circ \rightarrow 4095 \end{cases}$$
- Un régulateur réalisé sous forme numérique génère, à partir de l'écart consigne-mesure, un nombre représentant la grandeur de commande.

- Une interface numérique-analogique associée à un amplificateur de puissance permet de convertir la grandeur de commande issue du régulateur en tension analogique alimentant le moteur. D'un point de vue fonctionnel l'ensemble {convertisseur+amplificateur} peut être modélisé dans l'échelle de pulsations utiles par un gain K_a .

D'un point de vue fonctionnel on supposera que la régulation de l'angle du bras peut être représentée par un asservissement à temps continu correspondant au schéma bloc de la figure 1.

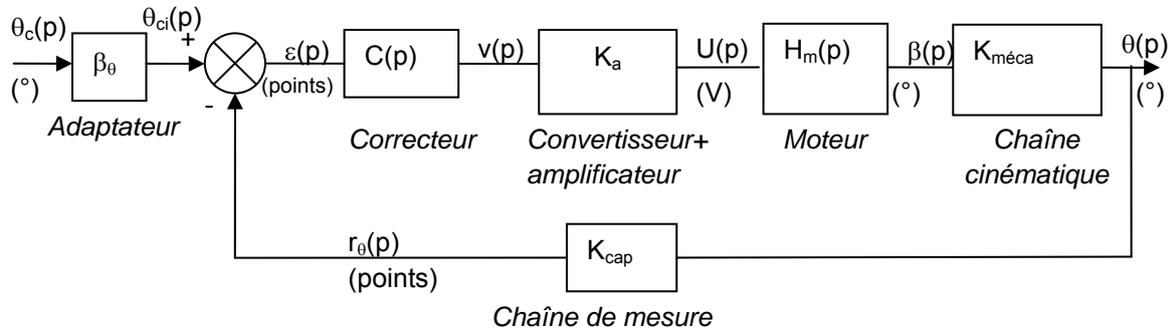


Figure 1. Chaîne d'asservissement

Description de cette étude

Cette étude se décompose en quatre phases.

Une première étape porte sur l'analyse système dont l'objectif est de mieux appréhender l'ensemble du procédé et les différents éléments fonctionnels qui le composent.

Une deuxième étape a comme objectif la modélisation de la chaîne de motorisation de l'empennage, en particulier de la partie mécanique associée, afin d'en vérifier le dimensionnement du moteur.

La troisième étape porte sur la détermination des grandeurs caractéristiques de la chaîne d'asservissement. Cette étape doit permettre de définir et de déterminer les modèles nécessaires à l'étude.

Enfin la quatrième étape porte sur le réglage du correcteur afin de répondre au cahier des charges (stabilité, précision, rapidité).

Données fournies :

Vous disposez pour votre étude de :

- Ce présent texte de TP
- Le système MAXPID et son logiciel de commande associé
- Une maquette numérique du système Maxpid/ Empennage sous Solidwoks/Méca3D
- Une modélisation schéma-bloc du système sous le logiciel Did'Acsyde
- Excel

I. Première partie : Analyse fonctionnelle et structurelle.

Observations

Un synoptique d'étude est fourni en Annexe 1. Des descriptifs de l'empennage et du système MaxPID sont donnés en Annexe 2 et Annexe 3.

Question 1. Analyse générale : Identifier et décrire les sous-ensembles fonctionnels composant les parties opératives des systèmes empennage et MaxPID. Lister les différents écarts entre ces deux systèmes (« écart 1 »). Comparer plus particulièrement les deux cinématiques à l'aide d'un schéma cinématique du système MaxPID.

Question 2. Analyse de la mesure sur MaxPID : à partir des documents fournis en Annexe 6, analyser et expliquer le principe de mesure de la position du bras. On s'intéressera en particulier :

- Au principe physique de la mesure
- A la nature de l'information traitée par le régulateur

On précisera la valeur de K_{cap} le **gain de la chaîne de mesure** (voir figure 1).

Question 3. Analyse du mécanisme MaxPID :

Le mécanisme est modélisé sur la figure 1 par un gain constant $K_{\text{méca}}$:

- Cette modélisation vous semble-t-elle justifiée ?
- Proposer un protocole expérimental permettant de déterminer la valeur $K_{\text{méca}}$ **du gain du mécanisme** à partir des mesures disponibles sur le support.
- Mettre en œuvre celui-ci pour mesurer ce gain autour du point de fonctionnement $\theta=70^\circ$.
- En déduire l'amplitude de la rotation du moteur pour un débattement de 40° , correspondant à l'amplitude de l'empennage.
- L'amplitude exacte de la rotation du moteur est de 4903° , justifier les éventuels écarts avec la valeur précédemment trouvée.

FIN DE LA PARTIE I.

Dès que votre intervention orale est prête, le signaler à l'examineur, puis passer à la suite sans attendre.

Pour la suite de l'épreuve, préparer les réponses aux questions posées en suivant l'ordre et les indications du texte.

II. Vérification du dimensionnement du moteur : analyse du couple moteur statique et dynamique

Les objectifs de cette partie sont de :

- déterminer les caractéristiques mécaniques du mécanisme (inertie équivalente),
- vérifier le dimensionnement du moteur du système « empennage » en présence des efforts de pesanteur et des efforts aérodynamiques.

Hypothèse : le point de fonctionnement du bras, correspondant à la position de référence de l'empennage, est la position $\theta=70^\circ$. En conséquence, toutes les caractéristiques seront déterminées autour de ce point de fonctionnement.

1. Analyse dynamique

Pour la suite du TP, il est nécessaire de connaître les équations du mouvement ainsi que l'inertie équivalente du bras.

Pour l'utilisation de Méca3D, vous pourrez vous aider de l'aide en Annexe 7.

Equation du mouvement

Hypothèses :

- On note J_{eq} l'inertie équivalente de l'ensemble du mécanisme ramenée à l'arbre moteur, supposée constante.
- Les frottements sont négligés.
- Le bras comporte 2 masses embarquées.
- On négligera le poids de la vis, du bras et du moteur. Seul le poids des masses embarquées sera pris en compte.

Question 4. Déterminer l'équation différentielle reliant le couple moteur C_m , les efforts sur l'empennage (poids des masses embarquées), et les paramètres cinématiques (angle de rotation du moteur β et/ou angle de rotation du bras/empennage θ).

Détermination de J_{eq} , inertie équivalente de l'ensemble des pièces en mouvement ramenée à l'arbre moteur

Question 5. Que devient cette équation dans le cas où les effets du poids n'interviennent pas ?

Sous Méca 3D, dans l'étude « étude dynamique J_{eq} », après avoir analysé le type d'effort créé (couple moteur) et les conditions de calculs imposées (« analyse »), expliquer la méthode utilisée afin de déterminer l'allure de l'évolution de J_{eq} en fonction de l'angle de rotation moteur.

A partir des 2 courbes fournies : $\frac{C_m(t)}{\ddot{\beta}(t)}$ et $\theta(t)$, déterminer J_{eq} autour du point de fonctionnement $\theta=70^\circ$ (position de départ 50°).

Loi du mouvement

Afin de vérifier le dimensionnement du moteur, on suppose que la loi de mouvement est la suivante :

- La loi de vitesse du moteur est supposée trapézoïdale.
- L'amplitude du mouvement du bras est de 40° (le bras varie en position de 50 à 90°).
- La durée totale du mouvement est de $0,2$ s.
- Les durées des phases d'accélération et de décélération sont identiques.
- La vitesse maximale du moteur est $\omega_{max} = 6560$ tr/min.

Question 6. Déterminer dans ces conditions la durée des phases d'accélération et de décélération, ainsi que la valeur de l'accélération.

2. Vérification du dimensionnement du moteur de l'empennage

Objectifs :

- vérifier le dimensionnement du moteur (couple moteur maximal) pour le cahier des charges suivant :

- Amplitude du mouvement de l'empennage 40° (de 50 à 90°)
- Temps de réponse de $0,2$ s.
- La résultante du poids et des forces aérodynamiques équivaut à 2 masses embarquées en bout de bras.

Données :

- Couple maximal du moteur : 1070 mN.m

La loi du mouvement est la loi déterminée à la Question 6.

Question 7. Déterminer à l'aide de Méca3D le couple moteur maximal pour cette loi de mouvement. Vous vous aiderez de l'Annexe 7. A l'aide des résultats de la Question 4, justifier

alors l'allure du couple moteur obtenue. Déterminer en particulier C_{\max} , le couple moteur maximal. Conclure quant au dimensionnement du moteur.

Discussion et bilan avec l'examineur.

Dans la suite du TP, on se propose de modéliser puis de régler la chaîne d'asservissement afin d'obtenir la meilleure réponse en position de l'empennage.

III. Analyse des performances de la chaîne d'asservissement

Les objectifs de cette partie sont de :

- Déterminer les caractéristiques de la chaîne d'asservissement en vue du réglage de celle-ci. Les paramètres à déterminer sont :

- Les paramètres moteurs : schéma-bloc du moteur, constantes de couple et de fem.
- Le gain d'amplification.

- Valider le cahier des charges :

- Couple au démarrage inférieur au couple maximal (1070 mN.m)
- Temps de réponse à 5% de 0,2 s
- Erreur statique nulle

1. Détermination des caractéristiques du moteur

Question 8. Que peut-on dire de l'allure de la tension aux bornes du moteur lors d'une sollicitation par un échelon sur le système en boucle ouverte ? Comment, à partir de différentes mesures en boucle ouverte*, peut-on déterminer les valeurs numériques de R et de $K_e = K_c$? Effectuer ces mesures avec $K_p=10$, $K_d=K_i=0$ pour des échelons de 20, 25, 30, 35, 40, et 50°. Déterminer les valeurs numériques de R et de $K_e=K_c$ (vous pourrez vous aider du tableur Excel pour la résolution numérique et de la notice en Annexe 8). Comparer avec les valeurs de la documentation « constructeur » du moteur en Annexe 5.

* Pour réaliser une mesure en boucle ouverte, appuyer sur le bouton noir sur la face avant du maxpid pendant toute la mesure. Relâcher le bouton avant que le bras n'arrive en butée.

Question 9. A partir des équations du moteur à courant continu Annexe 4, établir le schéma bloc du moteur (entrée $U(p)$ et sortie $\Omega_m(p)$) dans le cas où le couple résistant est nul et en l'absence de frottement.

2. Détermination du gain de l'amplificateur

Question 10. Expérimentalement, mettre en évidence la saturation de l'ensemble convertisseur/amplificateur.

Question 11. A partir d'une mesure en boucle fermée ($K_p = 10$), proposer un protocole permettant de déterminer le gain de l'amplificateur K_a hors saturation. Mettre en œuvre ce protocole et déterminer numériquement K_a .

3. Mise en place du modèle

Dans la suite on négligera L, inductance de l'induit. Le bras comporte 2 masses embarquées.

Question 12. A partir des résultats obtenus Question 2, Question 4 et Question 9, expliquer la structure du schéma bloc 1 (fichier « Maxpid1 ») de l'asservissement sous Did'Acsyde et justifier les valeurs numériques des blocs: cod, SAT, R, KE, KT, MECA, poid, dyn. Vous pourrez vous aider de la notice en Annexe 9.

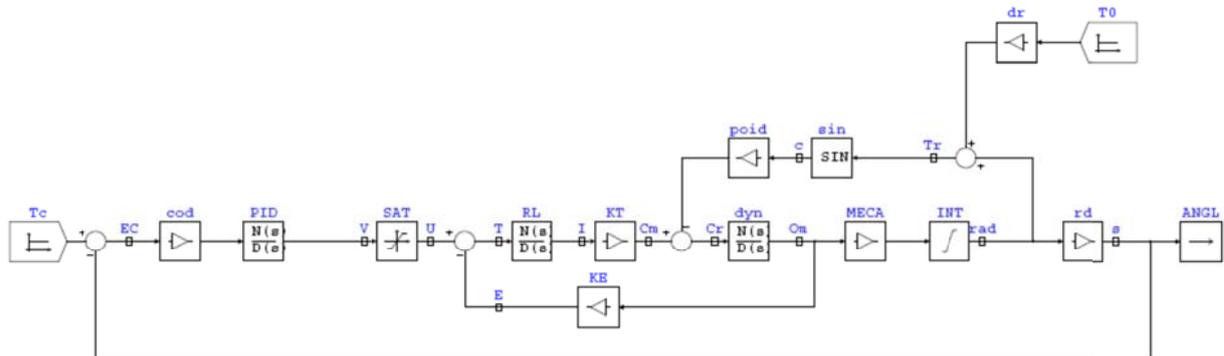


Schéma bloc 1 : fichier « Maxpid1 »

4. Validation des performances

Question 13. Tracer l'allure du couple moteur sous Did'Acsyde pour un échelon de 40°. Commenter vos résultats, en particulier : Couple moteur en régime permanent, couple moteur maximal.

On choisira un correcteur proportionnel $K_p = 100^\circ$, 2 masses embarquées. Peut-on valider le cahier des charges ?

Question 14. Afin de valider le modèle, on souhaite mesurer expérimentalement ce couple moteur. Comment peut-on avoir simplement accès à la mesure du couple moteur ? Tracer l'allure expérimentale de l'évolution du couple moteur. Peut-on valider le modèle ?

Question 15. Commenter la précision du système. Que faudrait-il faire pour annuler l'erreur statique ?

Discussion et bilan avec l'examineur.

IV. Amélioration des performances

L'objectif de cette partie est de proposer un réglage du correcteur permettant de répondre au cahier des charges suivant :

- *Marge de phase de 60°*
- *Temps d'établissement de 0,2s*
- *Erreur statique nulle.*

1. Analyse fréquentielle de la FTBO

Dans le cas d'un système bouclé convenablement amorti, on pourra utiliser, sans aucune justification, la relation : $t_e \cdot \omega_0 = 3$ où ω_0 désigne la pulsation de coupure à 0 dB en boucle ouverte et t_e le temps d'établissement en boucle fermée vis-à-vis d'un échelon de consigne :

- $t_e = t_m$, temps du 1er maximum si le dépassement est supérieur à 5%,
- $t_e = t_R$, temps de réponse à 5% si le dépassement est inférieur à 5%.

Question 16. Ouvrir le fichier « Maxpid2 » sous Did'Acsyde. Analyser et justifier l'allure du schéma bloc et plus particulièrement les blocs « sat » et « sinl ». Tracer sous Did'Acsyde les diagrammes de Bode de la FTBO sans correction ($K_p=1$). Justifier l'allure de ces diagrammes.

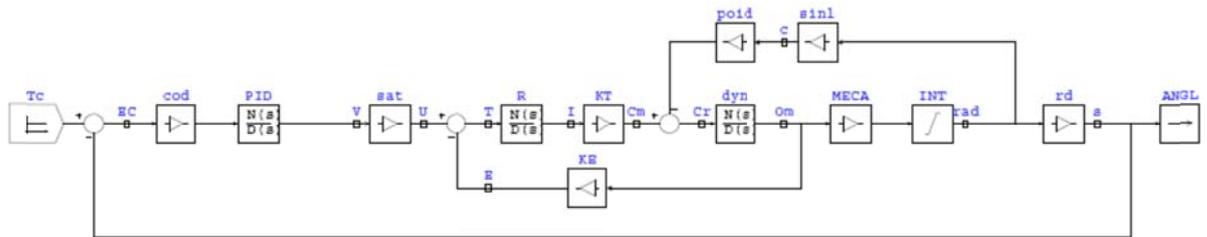


Schéma bloc 2 : fichier « Maxpid2 »

2. Réglage du correcteur

Question 17. Proposer un correcteur et régler celui-ci afin de satisfaire au cahier des charges.

Question 18. Implanter ce correcteur sous Did'Acsyde dans le modèle précédent « Maxpid1 » et vérifier qu'il est conforme au cahier des charges. Analyser les causes d'éventuels écarts.

Sous Maxpid, on définit un correcteur PI de type $C(p) = K_p \cdot \left(1 + \frac{1}{T_i p}\right)$ par les coefficients K_p et

$$K_i = 6 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{K_p}{T_i}$$

V. Conclusions et perspectives

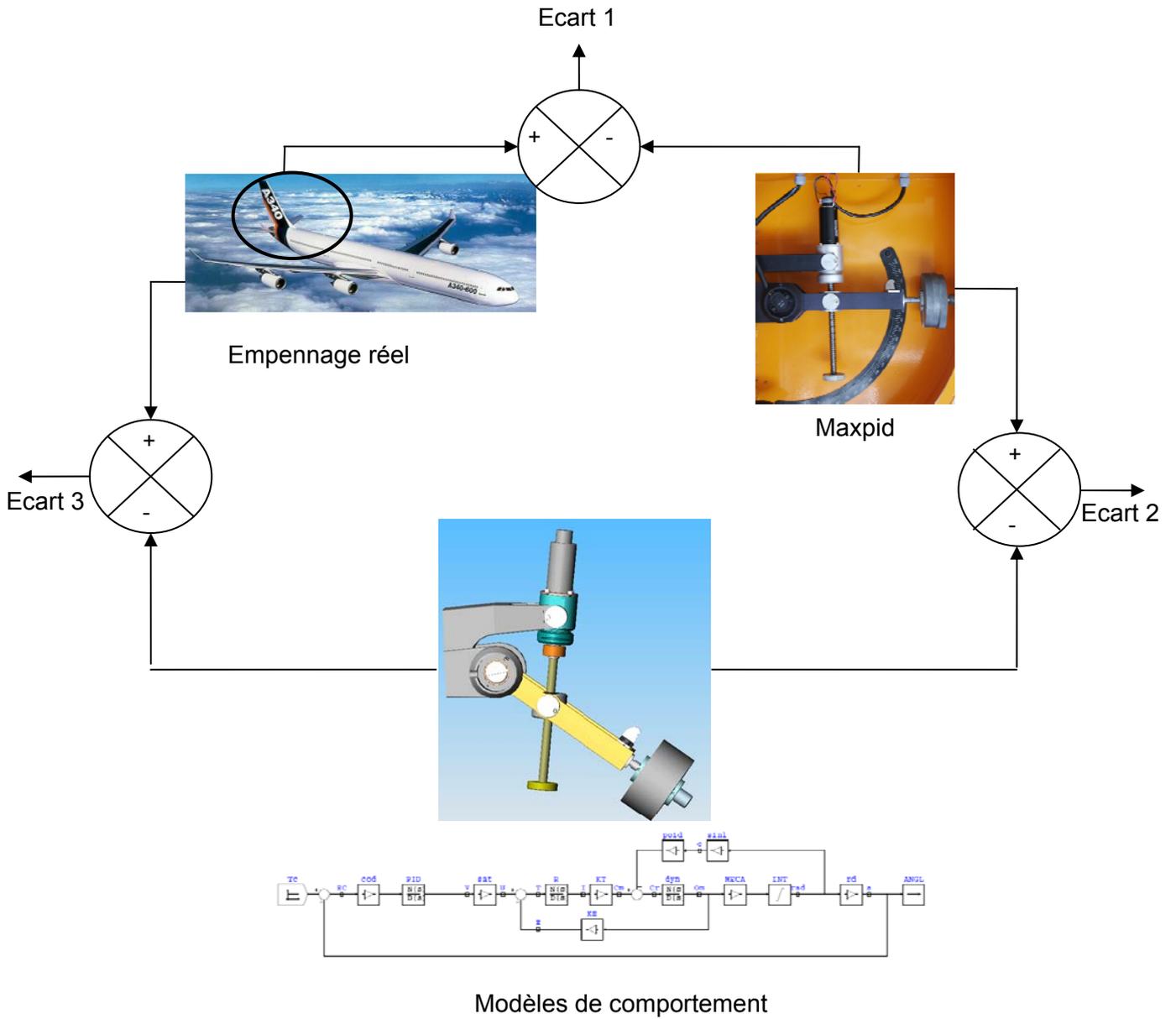
Question 19. Implanter sur le système réel MaxPID le correcteur précédemment défini, et vérifier le cahier des charges. Analyser les différents écarts éventuels entre le comportement du système et les résultats issus de la simulation (« écart 2 » en Annexe 1)

Question 20. Proposer des améliorations au modèle d'étude afin de prendre en compte d'éventuel(s) écart(s) avec le système empennage (« écart 3 » en Annexe 1). En particulier, comment faire apparaître les forces de portance dans la modélisation et quelle sera leur influence quant au cahier des charges ?

Question 21. En vous appuyant sur les différents points abordés, proposez une synthèse à l'ensemble de l'étude.

Dossier Ressources

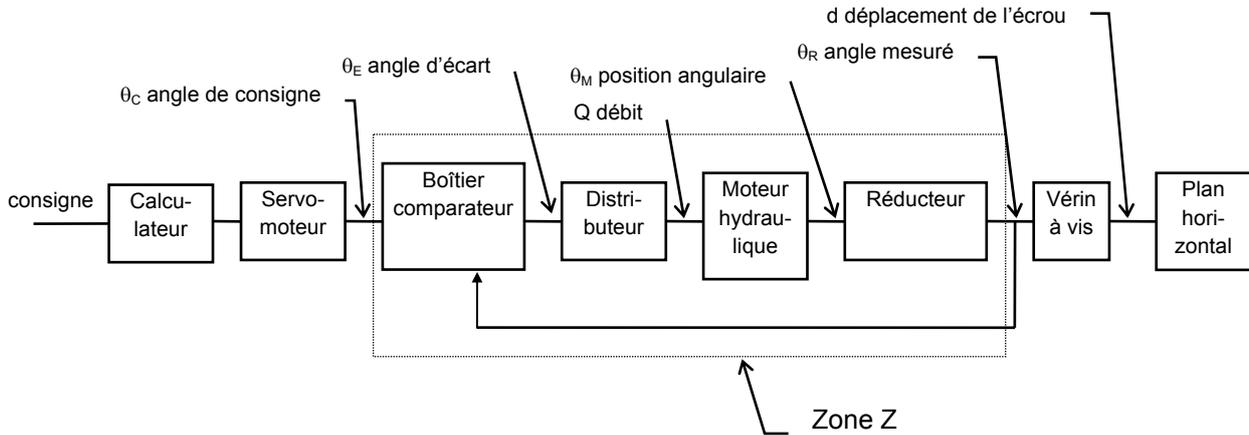
Annexe 1 : Synoptique



Annexe 2 : Données générales de l'empennage

Fonctionnement :

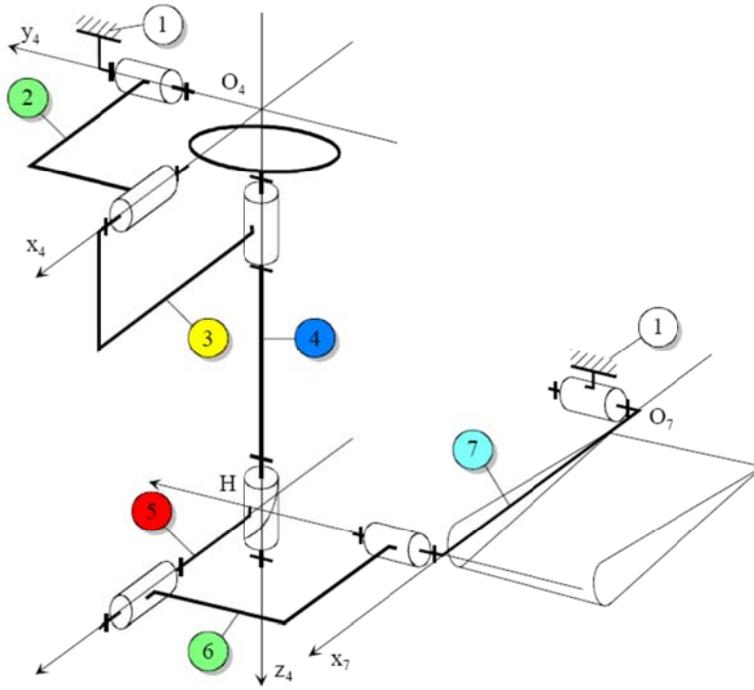
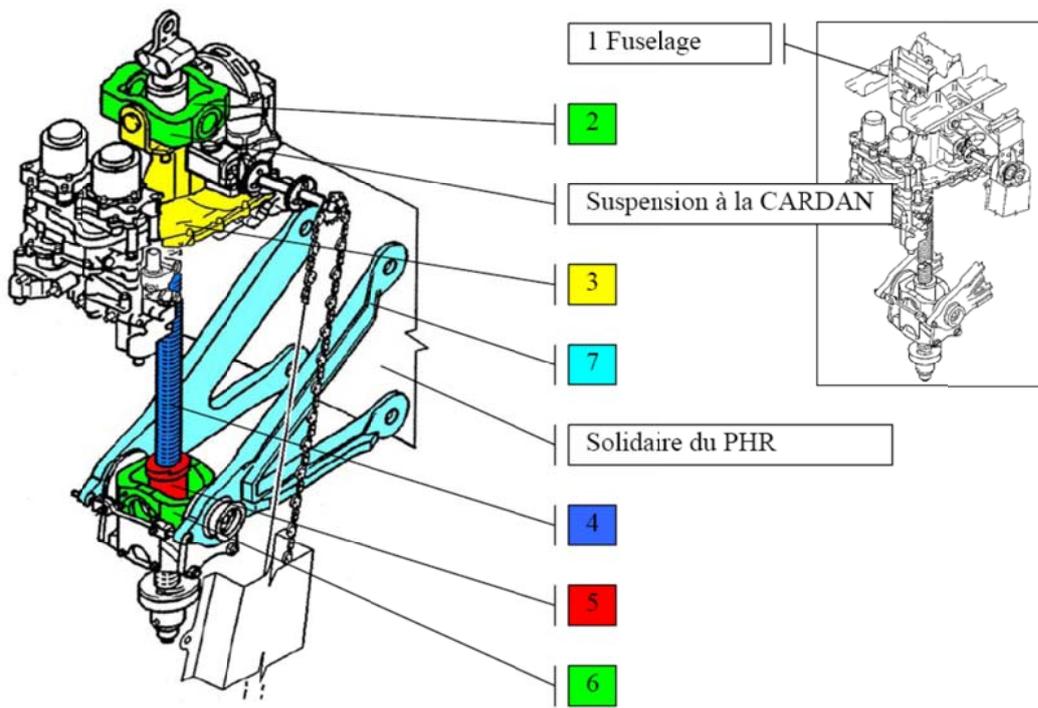
La commande en position du plan horizontal est assurée par un vérin à vis. Un moteur hydraulique asservi en position, à partir d'une consigne délivrée par un servomoteur, entraîne un réducteur, constitué d'un réducteur à roues coniques et d'un différentiel, lié à la vis du vérin à vis. La rotation de cette vis entraîne la translation d'un écrou qui permet le déplacement du plan horizontal. Les fonctions de ce système sont décrites ci-dessous :



Le schéma cinématique du vérin à vis est donné ci-dessous.

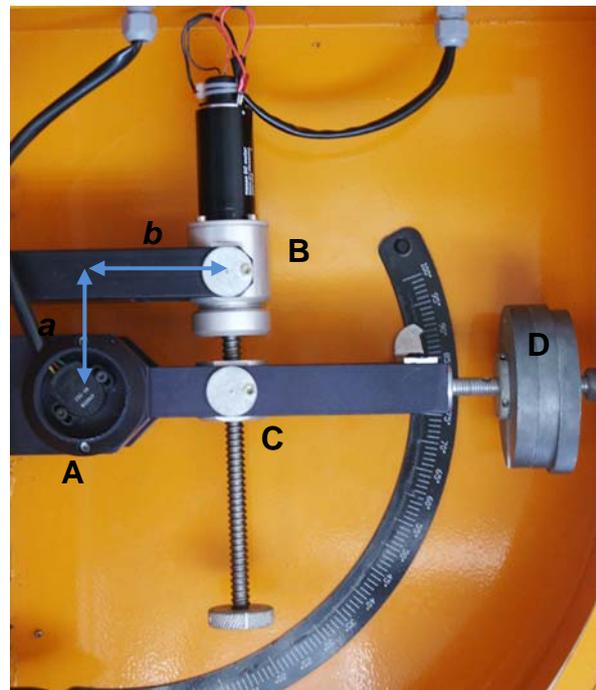
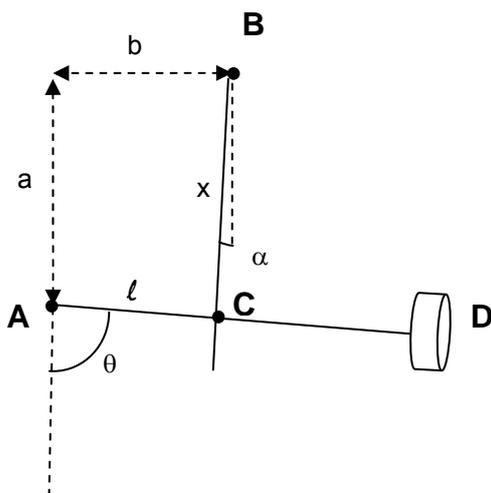
Les moteurs hydrauliques manœuvrent la vis **4** par l'intermédiaire d'un réducteur à engrenage. Cette vis est reliée à la structure avion **1** par l'intermédiaire d'une suspension à la CARDAN, c'est-à-dire que la pièce **3** est reliée par deux liaisons pivots en série, d'axes orthogonaux, à la structure **1**.

L'écrou **5** entraîne l'équerre **7**, solidaire du PHR, par l'intermédiaire d'une autre suspension à la CARDAN. Le PHR est lié à **1** par l'intermédiaire d'une liaison pivot.



Annexe 3 : Données générales du système MAXPID

Géométrie du système	Valeurs
a	70 mm
b	80 mm
$AC = l$	82 mm
Vis	Valeurs
Rayon	5 mm
Longueur	200 mm
Masse volumique	7500 kg/m^3
pas	4 mm
Ecrou	Valeurs
Masse	0,315 kg
Bras	Valeurs
Longueur	200 mm
Largeur	50 mm
Epaisseur	20 mm
Masse volumique	7500 kg/m^3
Masse en bout de bras	Valeurs
Longueur au point A	300 mm
Masse	0,6 kg

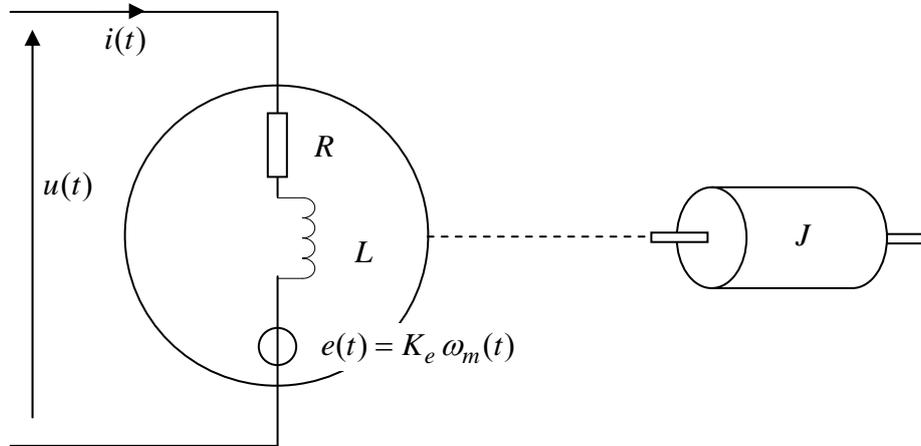


On note β l'angle de rotation du moteur

Annexe 4 : Moteur à courant continu

Un moteur à courant continu est constitué d'un circuit d'induit (rotor) soumis à un champ magnétique créé par le stator. Les moteurs d'asservissement de petite puissance utilisent en général un aimant permanent pour créer ce champ.

Le schéma du moteur entraînant un solide en rotation est le suivant :



Suivant les applications, on considère comme sortie la vitesse angulaire $\omega_m(t)$ ou la position du rotor $\theta_m(t)$. Le moteur à courant continu peut être caractérisé par les données suivantes :

- K_c : constante de couple
- K_e : constante de force contre-électromotrice
- R : résistance de l'induit
- L : inductance de l'induit
- J : inertie (inertie propre du moteur et inertie de la mécanique entraînée)

La grandeur $u(t)$ est la tension appliquée aux bornes de l'induit et $i(t)$ est le courant absorbé par l'induit. Enfin $C_m(t)$, $\omega_m(t)$ et $\theta_m(t)$ désignent respectivement le couple mécanique, la vitesse angulaire et la position angulaire du rotor.

Les équations temporelles régissant l'évolution du moteur sont :

- Equation électrique :
$$u(t) = Ri(t) + L \frac{di(t)}{dt} + K_e \omega_m(t)$$

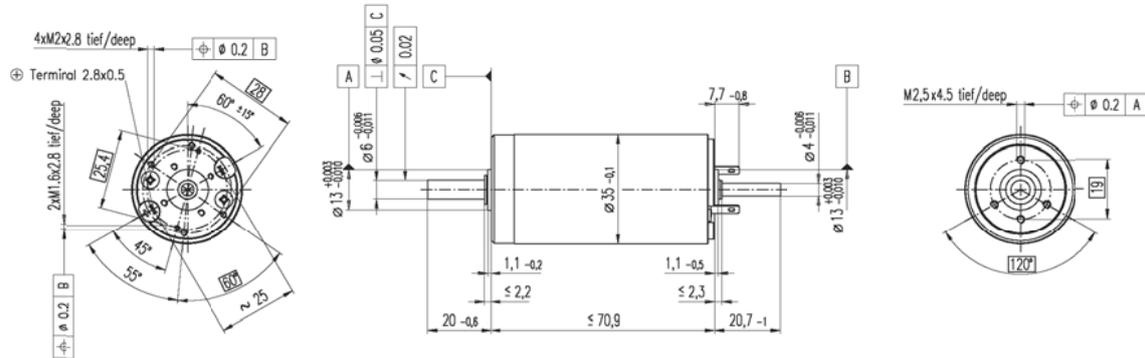
Le terme $e(t) = K_e \omega_m(t)$ est appelé force contre-électromotrice.

- Equation du couple électromécanique :
$$C_m(t) = K_c i(t)$$
- Equation de couplage (en négligeant les frottements visqueux et le couple résistant) :
$$C_m(t) = J \frac{d\omega_m(t)}{dt}$$

On pourra retenir que les constantes de couple et de force contre-électromotrice sont pratiquement identiques $K_e \approx K_c$.

Annexe 5 : Caractéristiques du moteur à courant continu

RE 35 Ø35 mm, Commutation Graphite, 90 Watt



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

Numéros de commande

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

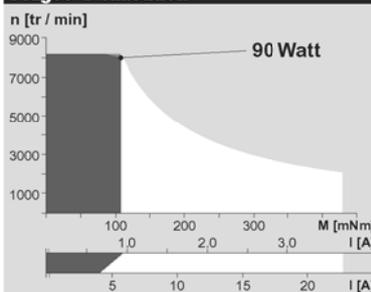
Caractéristiques moteur

		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
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
3	Vitesse à vide	tr / min	7070	7220	7530	7270	6650	5970	4750	3810	3140	2570	2100	1620	1290	1060
4	Couple de démarrage	mNm	872	949	1070	966	878	766	613	493	394	320	253	194	155	125
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
6	Courant à vide	mA	245	124	93	77	69	60	45	34	27	22	17	13	10	8
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	0.193
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
9	Vitesse limite	tr / min	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
11	Couple permanent max.	mNm	77.7	107	113	111	111	110	111	112	111	110	109	108	108	107
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
13	Rendement max.	%	81	84	86	85	85	84	83	82	80	79	77	74	72	69
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
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
16	Constante de temps mécanique	ms	6	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	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
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
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
21	Constante de temps thermique du bobinage	s	27	27	29	27	27	26	26	26	25	25	24	24	24	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
- Température ambiante -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.

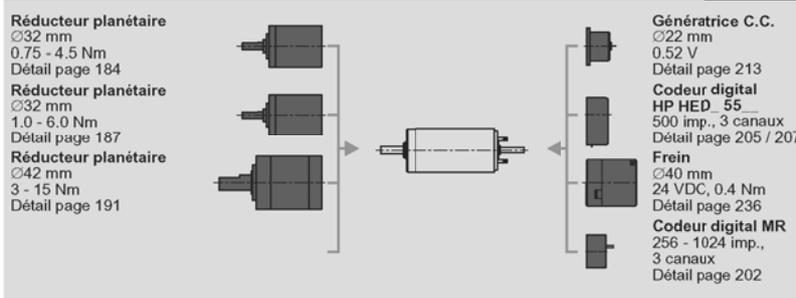
Plages d'utilisation



Légende

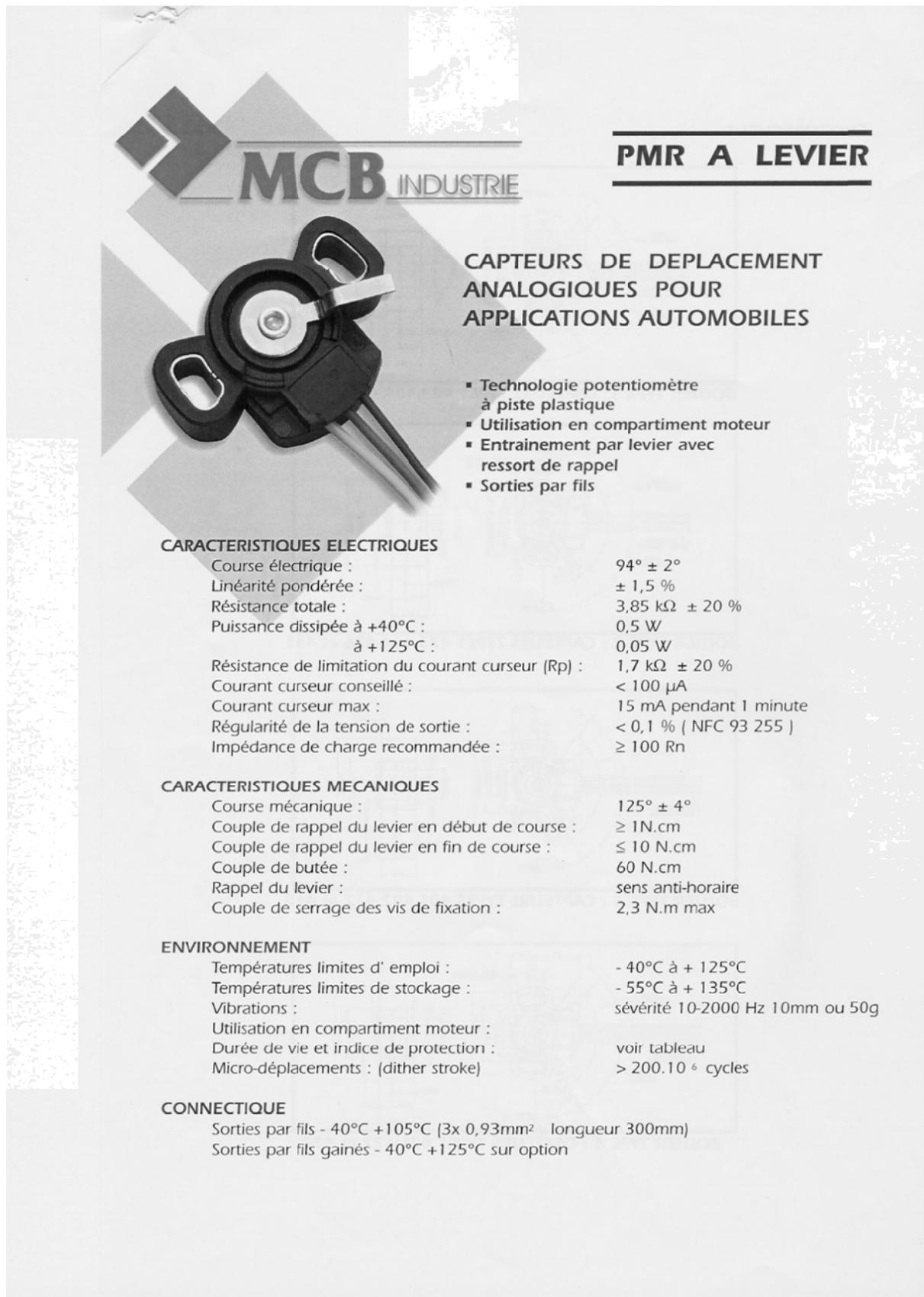
- Plage de puissance conseillée
 - Plage de fonctionnement permanent
Compte tenu des résistances thermiques (lignes 19 et 20) et de la température ambiante à 25°C, la température max. du rotor sera atteinte = Limite thermique.
 - Fonctionnement intermittent
La surcharge doit être de courte durée.
- 118783 Moteur avec bobinage à haute résistance
118776 Moteur avec bobinage à basse résistance

Construction modulaire maxon



- Option: trou passant dans l'axe en version spéciale.

Annexe 6 : Caractéristiques potentiomètre de mesure de position du bras



MCB INDUSTRIE

PMR A LEVIER

CAPTEURS DE DEPLACEMENT ANALOGIQUES POUR APPLICATIONS AUTOMOBILES

- Technologie potentiomètre à piste plastique
- Utilisation en compartiment moteur
- Entraînement par levier avec ressort de rappel
- Sorties par fils

CARACTERISTIQUES ELECTRIQUES

Course électrique :	$94^\circ \pm 2^\circ$
Linéarité pondérée :	$\pm 1,5 \%$
Résistance totale :	$3,85 \text{ k}\Omega \pm 20 \%$
Puissance dissipée à $+40^\circ\text{C}$:	0,5 W
à $+125^\circ\text{C}$:	0,05 W
Résistance de limitation du courant curseur (Rp) :	$1,7 \text{ k}\Omega \pm 20 \%$
Courant curseur conseillé :	$< 100 \mu\text{A}$
Courant curseur max :	15 mA pendant 1 minute
Régularité de la tension de sortie :	$< 0,1 \%$ (NFC 93 255)
Impédance de charge recommandée :	$\geq 100 \text{ Rn}$

CARACTERISTIQUES MECANIQUES

Course mécanique :	$125^\circ \pm 4^\circ$
Couple de rappel du levier en début de course :	$\geq 1 \text{ N.cm}$
Couple de rappel du levier en fin de course :	$\leq 10 \text{ N.cm}$
Couple de butée :	60 N.cm
Rappel du levier :	sens anti-horaire
Couple de serrage des vis de fixation :	2,3 N.m max

ENVIRONNEMENT

Températures limites d'emploi :	-40°C à $+125^\circ\text{C}$
Températures limites de stockage :	-55°C à $+135^\circ\text{C}$
Vibrations :	sévérité 10-2000 Hz 10mm ou 50g
Utilisation en compartiment moteur :	
Durée de vie et indice de protection :	voir tableau
Micro-déplacements : (dither stroke)	$> 200 \cdot 10^6$ cycles

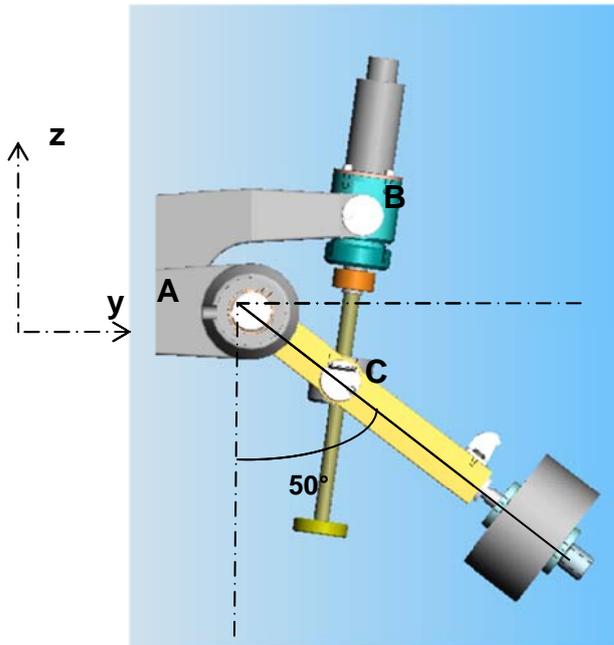
CONNECTIQUE

Sorties par fils - -40°C $+105^\circ\text{C}$ (3x 0,93mm² longueur 300mm)
 Sorties par fils gainés - -40°C $+125^\circ\text{C}$ sur option

Annexe 7 : Aide Méca3D/Solidworks

La maquette Maxpid est accessible dans le répertoire maquette/Maxpid sur le bureau (assemblage « Maxpid candidat »).

La position initiale du bras sur la maquette est telle que l'angle entre le bras et la verticale (axe -z) est de 50°.



Vous accédez à Méca3D par l'onglet .

Les pièces, liaisons et efforts sont créés.

Plusieurs types d'études sont possibles : **géométrique**, **cinématique** et/ou **statique** et **dynamique**. Pour une analyse statique ou une analyse dynamique, les efforts extérieurs doivent être préalablement définis.

1 - Pour visualiser les efforts déjà créés : Clic droit sur l'effort, « Propriété »

Pour créer un nouvel effort (analyses statique et dynamique) :

- Pour un couple moteur : clic droit sur « mécanisme », « efforts », « ajouter » et choisir le type d'effort (par exemple « Moteur » puis sélectionner la liaison pivot sur laquelle vient s'ajouter le couple moteur, puis la valeur du couple en N.m.



- Pour un torseur connu, sélectionner « Constant fixe », sélectionner la pièce sur laquelle s'applique l'action, cliquer le point d'application et les coordonnées du torseur (par défaut le repère est le repère du document d'assemblage).
- Pour l'accélération de pesanteur :
Clic droit sur « effort », « accélération de pesanteur ». Par défaut, le vecteur d'accélération de la pesanteur est défini dans le repère du document d'assemblage, donc l'accélération à définir est selon $-z$: $(0, 0, -9.81)$

2 - Pour lancer une analyse :

Clic droit sur « Analyse », « calcul mécanique », « suite », afin d'ouvrir la fenêtre « choix des paramètres de calcul ». Plusieurs types d'études sont possibles : cinématique et/ou statique et dynamique.

Pour obtenir l'évolution des paramètres cinématiques connaissant les efforts extérieurs ou l'évolution des efforts extérieurs à partir d'une loi de mouvement connue : étude dynamique

Etude dynamique (Question 5 et Question 7) :

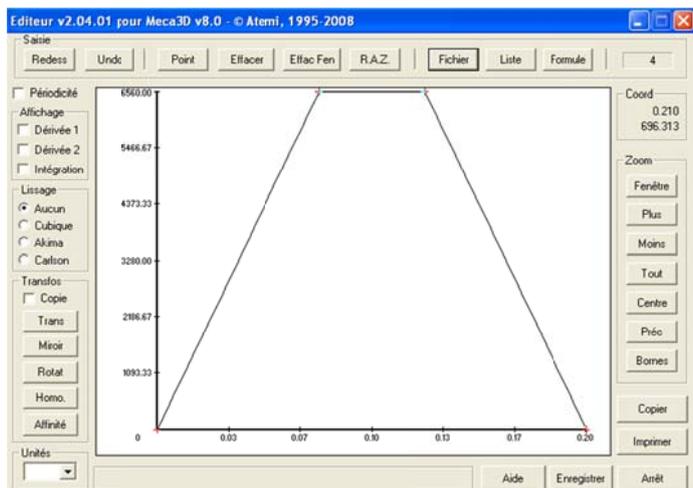
Sélectionner :

- la liaison d'entrée,
- le type de mouvement : Uniforme, Position variable ou vitesse variable (Question 7), si la loi de mouvement est connue, libre si elle est inconnue (Question 5) et à déterminer,
- la vitesse (en tr/min) si le type de mouvement est uniforme.
- le nombre de positions (1000) et la durée du mouvement.

Pour définir un type de mouvement à vitesse variable (par exemple à la Question 7), il faut sélectionner le fichier courbe contenant cette loi de vitesse, qu'il faut établir au préalable avec l'éditeur de courbe : fichier « loi trapèze.crb ». Pour cela :

Utilisation de l'éditeur de courbes :

Dans le menu **méca3D**, « Courbes », « Définition » afin d'appeler l'éditeur de courbes, « point » puis rentrer les coordonnées (t, ω) de chaque point (en secondes et en tr/min) : Pour saisir les coordonnées d'un point, clic droit sur la fenêtre graphique.



Enregistrer sous le nom « loi trapèze.crb ».

Analyse des résultats :**Simulation :**

Clic droit sur « résultats », « Simulation... » : Observer et vérifier le mouvement du mécanisme.

Courbes : les différentes courbes nécessaires ont été créées. Pour les visualiser, clic droit sur la courbe et « afficher ». Les courbes créées sont les suivantes :

Fonction de plusieurs paramètres (Question 5) :

Courbe multiple « C_m/Jw' » représente $C_m/(d^2\beta/dt^2)$ en fonction du temps.

Courbe simple « theta » représente l'angle de rotation du bras en fonction du temps.

Effort extérieur (Question 7) :

Courbe simple « C_m » en fonction du temps.

Annexe 8 Aide Excel (Question 8)

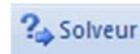
Ouvrir le fichier Excel : « mesure R et Ke-fichier candidat » :

	A	B	C	D	E	F
1						
2	échelon	U(V)	I(A)	Wm (rad/s)	$(U-RI-KeWm)^2$	
3	20				0	
4	30				0	
5	40				0	
6	50				0	
7	60				0	
8					somme des carrés	
9					0	
10	R	Ke=Kt				
11	0	0				

Compléter manuellement la zone en jaune à partir des résultats des mesures.

Le solveur permet de déterminer R et Ke par la méthode des moindres carrés*.

Sélectionner la case bleue et appeler le solveur (« Données », « Solveur ») :



Les cellules variables sont les cellules contenant les valeurs de R et Ke à définir (initialement =0).

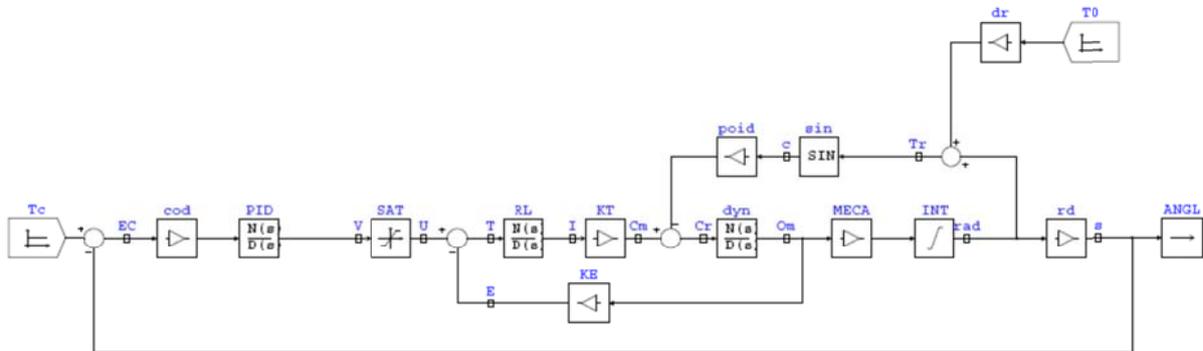
Cliquer sur « Résoudre » afin de déterminer les valeurs optimales de R et Ke.

* la méthode des moindres carrés consiste à déterminer la fonction $f(x;\theta)$ qui minimise la somme quadratique des déviations des mesures aux prédictions de $f(x, \theta)$. Si par exemple, nous disposons de N mesures, $(y_i)_{i=1, N}$ les paramètres θ « optimaux » au sens de la méthode des moindres carrés sont ceux qui minimisent la quantité : $S(\theta) = \sum_{i=1}^N (y_i - f(x_i, \theta))^2 = \sum_{i=1}^N r_i^2(\theta)$ où les $r_i(\theta)$ sont les résidus au modèle, i.e. les écarts entre les points de mesure y_i et le modèle $f(x;\theta)$. $S(\theta)$ peut être considéré comme une mesure de la distance entre les données expérimentales et le modèle théorique qui prédit ces données. La prescription des moindres carrés commande que cette distance soit minimale.

Annexe 9 : Aide Did'Acasyde

Définition du schéma bloc : (Question 12)

Le fichier « Maxpid1 » contient le schéma bloc suivant :



En double-cliquant sur chacun des différents blocs, on peut définir leurs différents paramètres :

schéma	nom	Grandeur caractéristique à définir
 $Y(s) = K \cdot X(s)$	GAIN	Coefficient K
 $Y(s) = \frac{N(s)}{D(s)} X(s)$	TRANSMITTANCE	$H(s) = K \cdot \frac{N(s)}{D(s)} = K \cdot \frac{b_m, b_{m-1}, \dots, b_0}{a_n, a_{n-1}, \dots, a_0}$ a _i et b _i , coefficients des polynômes N(s) et D(s), sont définis par ordre de puissance décroissante. Par exemple : pour $H(p) = 4,2 \cdot \frac{1}{p \cdot (0,5p+1)}$ on écrira : $H(s) = 4,2 \cdot \frac{1}{s \cdot (0,5s+1)}$
 Si $X > X_{sat}$, $Y = Y_{sat}$ Si $X < -X_{sat}$, $Y = -Y_{sat}$ Si $-X_{sat} < X < X_{sat}$, $Y = \frac{Y_{sat}}{X_{sat}} \cdot X$	SATURATION	Abscisse : X_{max} Ordonnée : Y_{max}
 $Y = \sin(X)$	SINUS	Aucun
 $y(t) = K \int x(t) dt$	INTEGRAL	Coefficient K

Pour une analyse temporelle : (Question 13)

« Analyse », « Réponse temporelle »

Variable(s) de sortie pour la simulation : ↵(Entrée) pour accepter la variable de sortie (par exemple ANGL) ou donner la(les) variable(s) de sortie désirée(s) (par exemple : Cm,ANGL).

Définition des paramètres formels (s'il en existe ; par exemple kp) : entrer directement la(les) valeur(s) numérique(s) (1, 10 si on souhaite faire une simulation pour ces deux valeurs de kp).

Horizon temporel : durée du mouvement (en s)

Pas de calcul : pas entre 2 positions successives calculées (en s) ; (prévoir environ 1000 positions réparties sur tout l'horizon temporel)

Modification du pas : ↵(Entrée) pour accepter « NON », O ou OUI pour répondre « OUI »

Sélectionner la ou les courbes à visualiser puis « Visualisation ».
On quittera la fenêtre graphique en cliquant sur « FIN ».

Pour une analyse fréquentielle : (Question 16)

« Analyse », « Réponse fréquentielle »

Variable d'entrée : EC pour une analyse en boucle ouverte

Variable(s) de sortie : ↵(Entrée) pour accepter la variable de sortie ANGL.

Définition des paramètres formels (ici kp) : entrer directement la(les) valeur(s) numérique(s) (1, 10 si on souhaite faire une simulation pour ces deux valeurs de kp).

Domaine fréquentielle (w_{\min}, w_{\max}) : plage de pulsation (en rad/s) : 1E-2, 1E5

Nombre de points à visualiser : 1000

Sélectionner la ou les courbes à visualiser puis « Visualisation ».
On quittera la fenêtre graphique en cliquant sur « FIN ».

Exploitation des résultats

La fenêtre d'affichage graphique comporte à droite une colonne de menu.

La commande **CURSEUR** permet d'afficher les coordonnées des points d'une courbe. Pour cela il faut cliquer sur **CURSEUR** puis sélectionner un cadre. Ensuite, il faut cliquer en haut à droite sur le nom de la courbe que l'on veut étudier, puis valider en cliquant sur **OK**. Pour sortir du mode **CURSEUR**, il faut cliquer en bas à droite sur **OK**.

Pour revenir au schéma fonctionnel, il faut cliquer sur **FIN** en bas à droite de l'écran.

Annexe 10 : Aide Logiciel Maxpid

Acquérir et afficher les résultats d'une expérience

Pour lancer le logiciel, double-cliquer sur l'icône « Maxpid »

Pour envoyer des consignes et acquérir des signaux, sélectionner la case (en haut à droite de la page d'accueil au lancement du logiciel).



- Sélectionner ensuite « Réponse à une sollicitation »
- La **fenêtre centrale** permet de choisir les signaux à visualiser
- La zone « **Réglage acquisition** » permet de choisir la durée de l'acquisition. Le choix du plan d'évolution et des masses n'a pas d'influence sur la mesure.



- La zone consigne permet de choisir l'amplitude de l'échelon de consigne



- La zone sollicitation permet de choisir le type de consigne.



- Le bouton  permet de modifier les paramètres du régulateur et les paramètres du pilotage de Maxpid par une consigne en trapèze :



modifier

