

Thème de la problématique : Comment améliorer les performances du Pilote automatique de bateau (modèle TP32) afin de limiter sa consommation électrique et de permettre ainsi au skipper de bénéficier d'une plus grande autonomie d'énergie ?

Support de la démarche : Pilote automatique de bateau modèle TP32

Niveau : Fin PREMIERE – Début TERMINALE

Durée : Une séance de 2h



Pilote automatique TP32

Déroulé de la démarche expérimentale proposée dans le cadre de cette démarche d'amélioration de l'existant :

Durée estimée

	Expression du besoin et spécification de l'exigence attendue du nouveau cahier des charges	5 min.
	Détermination expérimentale du rendement global du pilote existant	40 min.
	Modélisation multiphysique et simulation de la chaîne de puissance du pilote existant élaborée à partir de résultats expérimentaux fournis	15 min.
	Analyse des écarts entre système réel et système modélisé et proposition de solution d'amélioration	15 min.
	Modélisation multiphysique et simulation de la proposition d'amélioration de la chaîne de puissance en prédiction des performances du futur pilote	10 min.
	Analyse des écarts de la solution d'amélioration proposée	15 min.
	Validation des prédictions de performances et conclusion	10 min.



Expression du besoin et spécification de l'exigence attendue du nouveau cahier des charges

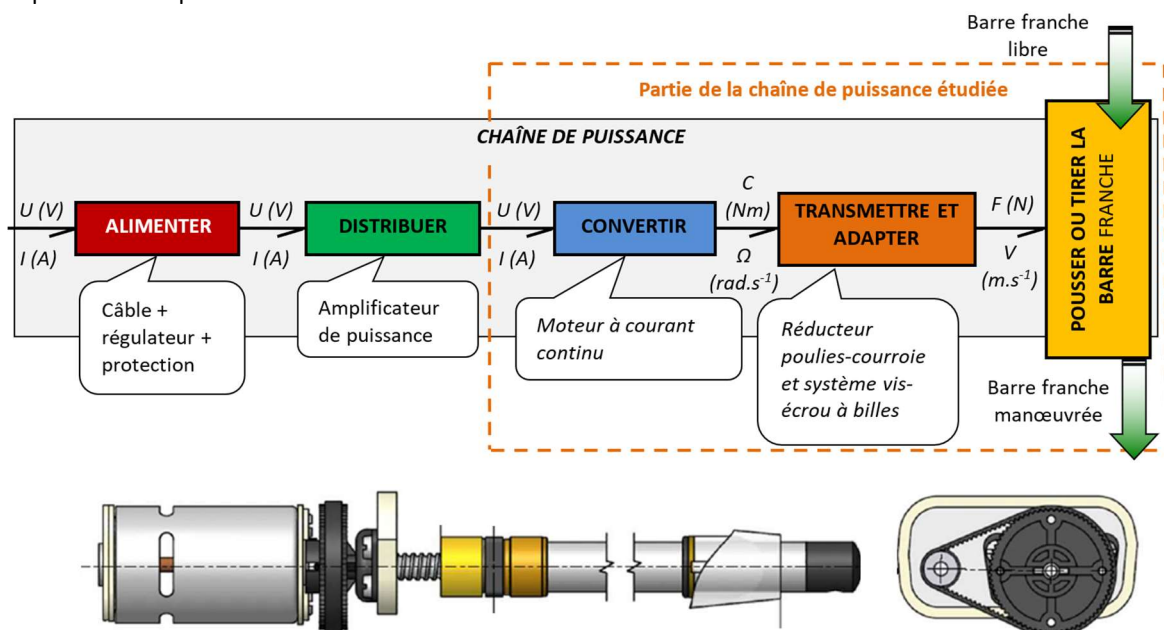
La société SIMRAD souhaite profiter du renouvellement de sa gamme de pilote automatique de bateau pour réduire de 15 %, à minima, la consommation électrique de son modèle TP32 sans nuire, pour autant, à ses autres performances.

Exigence attendue	Critère	Niveau
Barrer automatiquement un bateau en consommant le moins possible d'énergie	Effort de poussée sur la barre	Jusqu'à : $F = 850 \text{ N}$
	Course utile	$C_u = 250 \text{ mm}$
	Temps pour effectuer la course à vide	Au plus 4 s
	Temps pour effectuer la course à 20 Kg	Au plus 4,7 s
	Temps pour effectuer la course à 40 Kg	Au plus 6 s
	Temps pour effectuer la course à 50 Kg	Au plus 8 s
	Puissance moyenne absorbée	Diminution minimum de 15 % par rapport au modèle TP32 existant



Détermination expérimentale du rendement global du pilote existant.

La chaîne de puissance du pilote existant est la suivante :



Comment déterminer expérimentalement le rendement global de pilote existant lors de la montée d'une charge ?



Hypothèse simplificatrice : Les contraintes d'efforts subies par la barre et le safran associé se réduisent à un effort résultant ramené en bout de tige du vérin du pilote. Les pertes dans la poulie de renvoi du câble sont négligées.

→ Préparation de la démarche expérimentale

1- Rappeler l'expression de la puissance électrique à l'entrée de la chaîne en fonction de U_{alim} et I_{alim} en précisant les unités.

$P_{Electrique} = ? \dots$

2- Indiquer les appareils de mesure nécessaires pour déterminer $P_{Electrique}$.

3- Rappeler l'expression de la puissance mécanique en sortie de chaîne en fonction de F_{tige} et $V_{rentrée\ tige}$ en précisant les unités.

$P_{Mécanique} = ? \dots$

4- Indiquer les appareils de mesure nécessaires pour déterminer $P_{Mécanique}$.

→ Relevés de mesures APPELER LE PROFESSEUR et lui proposer oralement le protocole expérimental

Consignes d'utilisation du pilote automatique didactisé :

- Mettre l'alimentation 12VDC dédiée sous tension ;
- Appuyer sur « STBY AUTO » jusqu'à l'obtention du clignotement du voyant rouge ;
- Appuyer sur les poussoirs pour entrer ou sortir la tige.

ATTENTION : Ne pas maintenir les poussoirs enfoncés une fois la tige en butée !

5- Effectuer les mesures pour une montée de charge de 5 kg

$U_{alim} = ?$

$I_{alim} = ?$

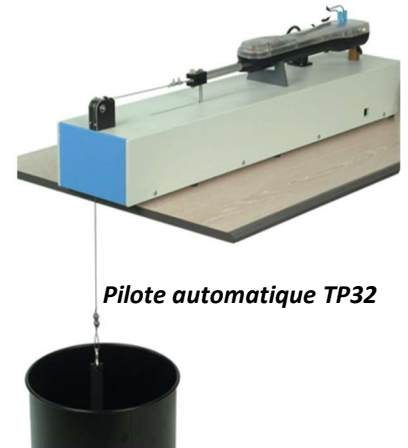
Longueur de tige = ?

Temps de montée = ?

→ Exploitation des relevés pour une montée de charge de 5 kg

6- Compléter le tableau suivant :

Masse [kg]	U_{alim} [V]	I_{alim} [A]	$P_{Electrique}$ [W]	F_{tige} [N]	V_{tige} [$m \cdot s^{-1}$]	$P_{Mécanique}$ [W]	η_{global} (%)
5							



Modélisation multiphysique et simulation de la chaîne de puissance du pilote existant élaborée à partir de résultats expérimentaux fournis

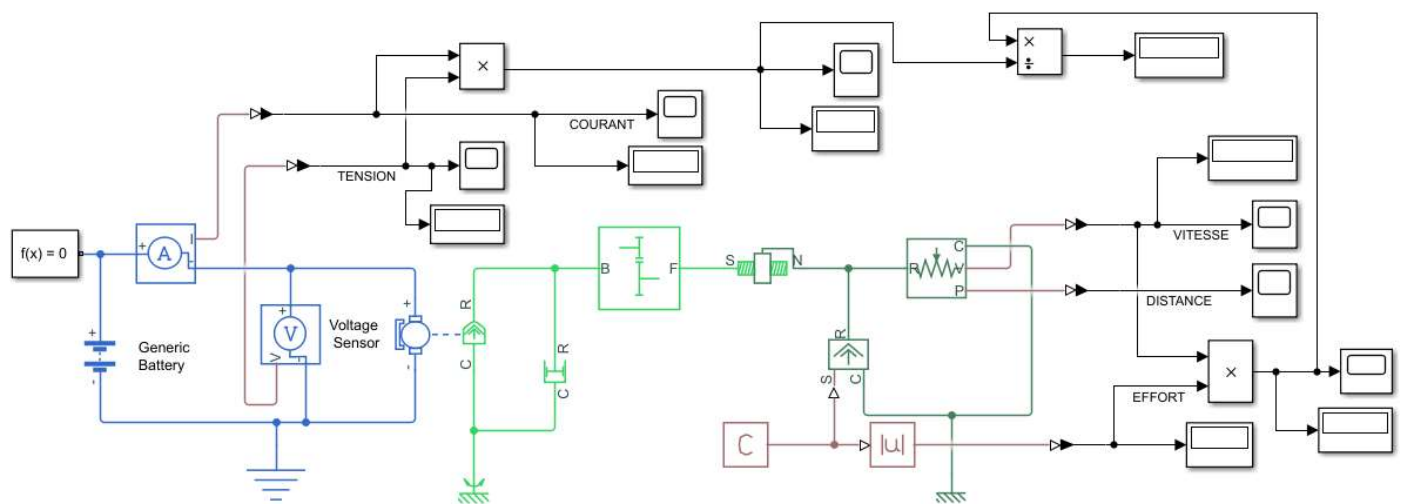
Des essais effectués sur le pilote TP32 en fonctionnement sur un voilier de taille intermédiaire (11 m) ont permis de déterminer un effort moyen appliqué par la barre franche sur la tige du pilote de $F_{moy} \# 270\ N$.

La ligne encadrée en rouge du tableau ci-après donne les relevés expérimentaux de grandeurs physiques caractéristiques obtenues sur la version didactisée du pilote lorsqu'il est soumis à cet effort moyen.

RELEVES DE REFERENCE

Masse [Kg]	Ftige [N]	Nmoteur [tr/min]	Vtige [m.s ⁻¹]	Umoteur [V]	Imoteur [A]	Pabsorbée [W] par le moteur	Psortie tige [W]	ηmoteurEttige
2.4	23.6	4430	0.062	11.2	1.5	16.8	1.5	0.09
7.4	72.6	4175	0.059	11.2	2	22.4	4.27	0.19
12.4	121.7	3920	0.055	11.1	2.4	26.6	6.72	0.252
17.4	170.7	3672	0.052	11	2.7	29.7	8.83	0.3
22.4	219.7	3415	0.048	10.9	3	32.7	10.56	0.323
27.4	268.8	3170	0.045	10.7	3.3	35.3	12	0.34
32.4	317.8	2895	0.041	10.5	3.7	38.9	12.95	0.333
37.4	366.9	2750	0.039	10.3	4.2	43.3	14.18	0.328

7- Ouvrir le fichier de MATLAB SIMULINK " PiloteRS755SH.slx " et encadrer le modèle du moteur.



→ SIMULATION de la chaine de puissance

8- Régler la charge à 270 N (affecter une valeur négative) puis lancer la simulation.

APPELER LE PROFESSEUR si besoin.



Analyse des écarts entre système réel et système modélisé et proposition de solution d'amélioration

9- Compléter le tableau suivant pour Fmoy # 270 N :

Grandeur physique	Valeur réelle mesurée	Valeur simulée	Erreur absolue (réelle – simulée)	Erreur relative (%)
Pabsorbée (W)				
Psortie tige (W)				
ηmoteurEttige				

Critère de validation d'un modèle multiphysique : Traditionnellement, un modèle est validé lorsque l'ensemble des grandeurs physiques simulées en régime établi ne s'écarte pas de plus de 5% à 10 % des grandeurs données par le constructeur ou des grandeurs issues de relevés expérimentaux.

10- Selon ce critère de validation, conclure sur la crédibilité de notre modèle pour ce point de fonctionnement.

11- A des fins de synthèse de l'analyse de l'existant et d'orientation à donner pour la proposition d'amélioration qui suit, compléter le VRAI-FAUX suivant :

Synthèse de l'existant :

Le rendement de l'association des fonctions CONVERTIR et TRANSMETTRE + ADAPTER est suffisant.	VRAI	FAUX
Avec un rendement de 90% pour chacun des constituants de la fonction « Transmettre + Adapter », le rendement résultant de ces 2 fonctions est acceptable.	VRAI	FAUX

Amélioration de l'existant proposée :

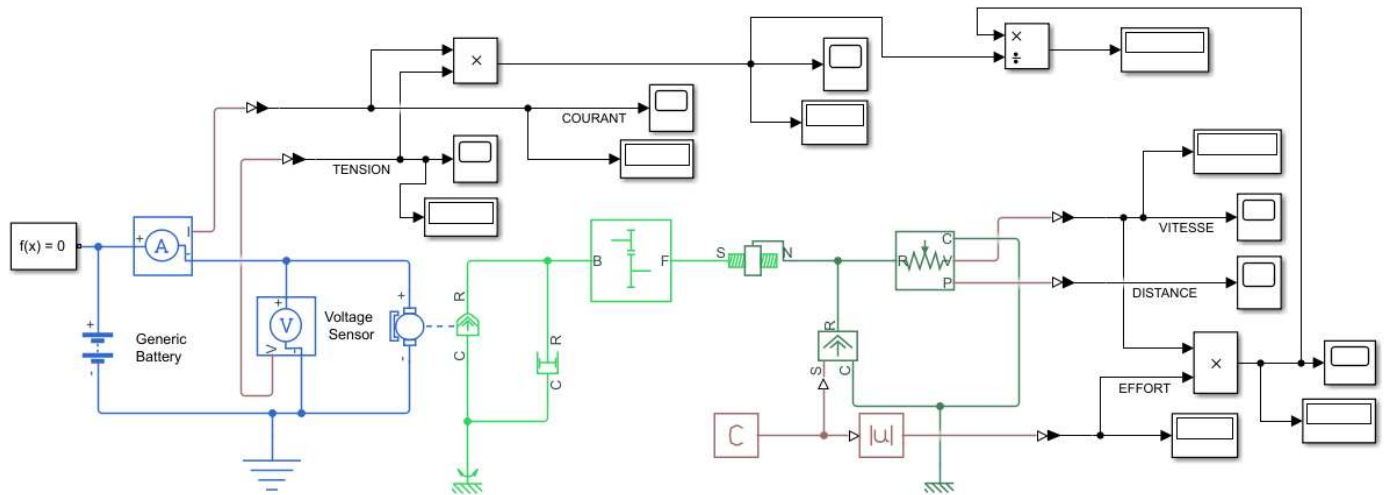
La décision de remplacer le moteur est légitime.	VRAI	FAUX
La diminution de la consommation énergétique du pilote sera alors amplement envisageable.	VRAI	FAUX



Modélisation multiphysique et simulation de la proposition d'amélioration de la chaîne de puissance en prédiction des performances du futur pilote

La proposition d'amélioration du Pilote existant cible le changement de moteur. Les prospections menées conduisent à la référence est la suivante : **Moteur MAXON DCX 26L-12V** (Voir document annexe 1)

12- Ouvrir le fichier MATLAB SIMULINK " **PiloteMAXON.slx** ".



13- Compléter le paramétrage du moteur conformément au document constructeur MAXON (cf. annexe 1)

Settings

Electrical Torque Mechanical

Field type: Permanent magnet

Model parameterization: By stall torque and no-load speed

Armature inductance: 1 mH

Stall torque: 1 mN*m

No-load speed: 1 rpm

Rated DC supply voltage: 10.7 V

Rotor damping parameterization: By no-load current

No-load current: 1 mA

DC supply voltage when measuring no-load current: 12 V

Settings

Electrical Torque Mechanical

Rotor inertia: 1 g*cm²

Initial rotor speed: 0 rpm

Settings

Parameters Variables

Damping coefficient: 1 N*m/(rad/s)

→ **SIMULATION de la chaîne de puissance du Pilote équipé du moteur MAXON**

14- Lancer la simulation pour une charge de $F_{tige} = 270$ N (affecter une valeur négative). **APPELER LE PROFESSEUR si besoin.**



Analyse des écarts de la solution d'amélioration proposée

15- Compléter le tableau récapitulatif de résultats de modélisation pour un effort moyen $F_{moy} = 270$ N et commenter les écarts entre les 2 modèles.

Grandeur physique	Avec Moteur RS 755 SH	Avec Moteur MAXON	Commentaires sur les écarts entre le modèle MAXON et la version RS 755 SH existante
U_{moteur} (V)	10.7	10.7	
I_{moteur} (A)			
$P_{absorbée}$ (W)			
F_{tige} (N)	270	270	
V_{tige} (mm/s)			
$P_{sortie tige}$ (W)			
$\eta_{moteurEtTige}$ (%)			



Validation des prédictions de performances et conclusion

Notons que la puissance absorbée par la chaîne d'information du pilote est considérée comme identique et constante quel que soit le modèle considéré.

16- Calculer (en %) la diminution de puissance absorbée qui serait obtenue avec le nouveau modèle de pilote. Cette diminution de puissance absorbée est-elle conforme à l'exigence du nouveau cahier des charges ?

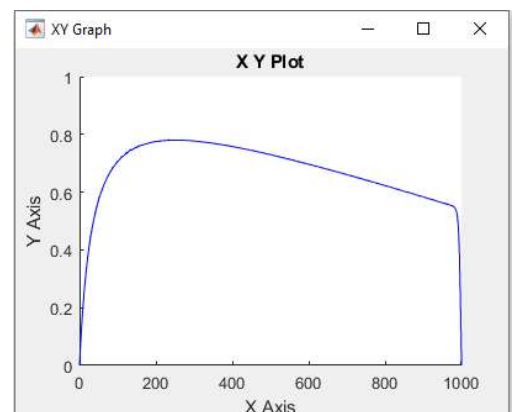
POUR ALLER PLUS LOIN DANS L'ANALYSE... (HORS TEMPS D'ACTIVITE EXPERIMENTALE)

Afin d'entériner définitivement le choix du modèle MAXON, il convient de se poser de nouvelles questions d'importance en lien, notamment, avec le régime de fonctionnement du moteur et les performances en vitesse de translation de la tige du vérin.

17- D'après les résultats de la simulation, la vitesse de translation du nouveau modèle donne-t-elle satisfaction ? Quel avantage présente une vitesse de translation plus rapide sur le plan de la consommation énergétique du bateau ?

Quelques aménagements du modèle multiphysique permettent d'observer l'évolution ci-contre de $\eta_{moteur} = f(F_{tige})$ du modèle MAXON.

18- Le régime de fonctionnement du moteur est-il proche de régime nominal ? Autrement dit, le moteur est-il bien dimensionné ?



19- Conclure sur la faisabilité de choisir le modèle MAXON.

Annexe 1 – Document constructeur du Moteur MAXON DCX 26L-12V

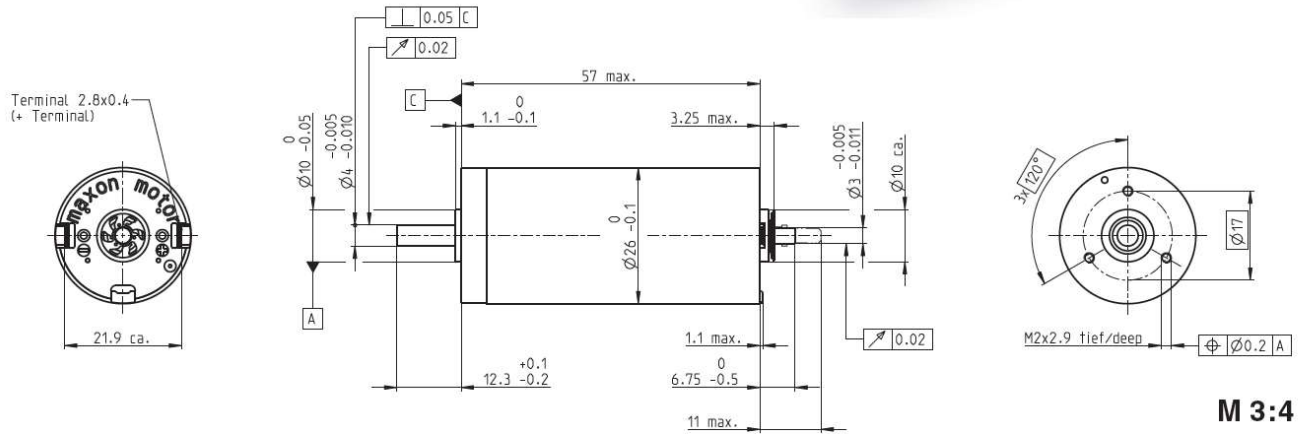
DCX 26 L Precious Metal Brushes
DC motor Ø26 mm

18/29 W 52.3 mNm 5900 rpm



NEW

maxon X drives



Moteur choisi

Motor Data		9	12	18	24	36	48	
1_	Nominal voltage	V	9	12	18	24	36	48
2_	No load speed	rpm	5530	5330	5530	5330	5430	5320
3_	No load current	mA	80.5	56.8	40.2	28.4	19.5	14.2
4_	Nominal speed	rpm	5060	4690	4770	4600	4680	4570
5_	Nominal torque (max. continuous torque)	mNm	32.9	46.1	49.8	52.3	50.8	50.3
6_	Nominal current (max. continuous current)	A	2.20	2.20	1.64	1.25	0.822	0.599
7_	Stall torque	mNm	384	384	362	384	370	355
8_	Stall current	A	24.8	17.9	11.7	8.95	5.86	4.14
9_	Max. efficiency	%	89	89	89	89	89	89
10_	Terminal resistance	Ω	0.363	0.671	1.54	2.68	6.15	11.6
11_	Terminal inductance	mH	0.067	0.129	0.268	0.514	1.11	2.06
12_	Torque constant	mNm/A	15.5	21.4	31.0	42.9	63.2	85.8
13_	Speed constant	rpm/V	616	445	308	223	151	111
14_	Speed/torque gradient	rpm/mNm	14.4	13.9	15.3	13.9	14.7	15.0
15_	Mechanical time constant	ms	3.23	3.13	3.11	3.09	3.10	3.11
16_	Rotor inertia	gcm ²	21.3	21.4	19.4	21.2	20.1	19.7
Thermal data		Operating Range						
17_	Thermal resistance housing-ambient	K/W	10.2	n [rpm]				Winding 18 V
18_	Thermal resistance winding-housing	K/W	3.01	4000				12000
19_	Thermal time constant winding	s	24	8000				16000
20_	Thermal time constant motor	s	620	20				40
21_	Ambient temperature	°C	-30...+85	60				M [mNm]
22_	Max. winding temperature	°C	100	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="width: 30%; height: 20px; background-color: red;"></div> <div style="width: 20%; height: 20px; background-color: orange;"></div> <div style="width: 50%; height: 20px; background-color: white;"></div> </div>				<ul style="list-style-type: none"> ■ Continuous operation ■ Continuous operation with reduced thermal resistance R_{th} 50% ■ Intermittent operation
Mechanical data ball bearings		maxon Modular System						
23_	Max. speed	rpm	5900	maxon gear	Stages	maxon sensor	maxon motor control	
24_	Axial play	mm	0...0.1	93_GPX 26	1-2	102_ENX 10 QUAD	378_ESCON 36/2 DC	
	Preload	N	5.5	95_GPX 32	3	103_ENX 16 EASY	379_ESCON 50/5	
25_	Radial play	mm	0.02			104_ENX 16 EASY Absolute	379_ESCON Module 50/5	
26_	Max. axial load (dynamic)	N	5.5			367_ENC 30 HEDL 5540	386_EPOS2 24/2 (DC/EC)	
27_	Max. force for press fits (static) (static, shaft supported)	N	500				386_EPOS2 Module 36/2	
28_	Max. radial load [mm from flange]	N	20.5 [5]				387_EPOS2 24/5	
Mechanical data sleeve bearings		Other specifications						
23_	Max. speed	rpm	5900	29_	Number of pole pairs	1		
24_	Axial play	mm	0...0.2	30_	Number of commutator segments	11		
	Preload	N	0	31_	Weight of motor	g 170		
25_	Radial play	mm	0.02	32_	Typical noise level	dBA 48		
26_	Max. axial load (dynamic)	N	0.1	Configuration				
27_	Max. force for press fits (static) (static, shaft supported)	N	80	Bearing: Ball bearings preloaded/sleeve bearings				
28_	Max. radial load [mm from flange]	N	5.5 [5]	Commutation: Precious metal brushes with CLL/graphite brushes				
				Flange front/back: Standard flange/configurable flange/no flange				
				Shaft front/back: Length/diameter/flat face				
				Electric connection: Terminals or cable/alignment of connection/cable length/connector type				