

# Des TP pour garder le cap en SI

FRANCIS CHATAIGNER, DANIEL CORRE, JEAN-PIERRE SIMONOT, DAVID YERLE<sup>[1]</sup>

*Voici un ensemble d'activités pratiques destiné aux élèves de lycée en sciences de l'ingénieur. Le système étudié, un pilote automatique de bateau du commerce, met en évidence les concepts de chaîne d'information et de chaîne d'énergie ainsi que leurs interactions. L'appareil n'a subi que de très petites modifications : quelques points de mesure électrique ont été sortis et protégés contre les courts-circuits et surtensions. Les mesures se font directement sur l'appareil entier en fonctionnement, sans que l'on ait à démonter de sous-ensemble ou à utiliser une maquette extraite du système. Une approche qui permet d'acquérir plus facilement les notions de rendement énergétique, de puissances mécanique et électrique, de réversibilité d'une chaîne d'énergie et de réseau de communication.*

## Le produit

Les pilotes automatiques de bateau sont de plus en plus présents dans le monde du nautisme. Apparus à la suite de la première guerre mondiale, ils n'ont cessé d'évoluer.

En compétition, les périodes de repos sont primordiales. Un concurrent seul ne peut laisser son bateau aller librement au gré des éléments. À l'aide d'une consigne sur le cap à suivre, le pilote automatique assure le rôle d'un équipier. De même, lors de manœuvres de changement de bord et de voiles, cet outil est un complément très apprécié.

Le monde de la plaisance, lui-même en expansion, utilise également les pilotes automatiques de bateau dans un souci de confort et de sécurité. Ils assurent un ensemble de fonctions essentielles à la navigation.

Aujourd'hui, la plupart d'entre eux intègrent des fonctions complexes, par exemple le réglage du gain, c'est-à-dire l'amplitude de la réaction à une déviation du bateau par rapport au cap fixé. Il est également possible de définir un retard à cette réaction afin d'éviter des manœuvres trop fréquentes. Le pilote peut de plus être associé à divers instruments de navigation, GPS ou répéteur de cap, girouette électronique, etc., via un bus de communication Simnet dérivé du bus CAN.

Les évolutions actuelles portent sur le design, la consommation électrique, la finesse des réglages et

[1] Respectivement : agrégé de mécanique au lycée Joubert d'Anacenis (44) ; certifié d'électrotechnique au lycée Charles-de-Gaulle de Poissy (78) ; certifié d'électronique au lycée Jules-Ferry de Versailles (78) ; agrégé de mécanique à l'ENI de Tarbes (65).



1 Le pilote automatique TP32

surtout sur les possibilités de communication avec les autres instruments.

Muni d'un capot transparent, le système que nous présentons ici, le pilote TP32 de Simrad (Navico) laisse voir sa constitution, permettant aux élèves d'enrichir leur culture technologique 1.

## Quelques activités possibles

Les exemples d'activités que nous allons vous proposer sont basés sur le modèle de Créa Technologie 2. Ils permettent d'aborder les points importants du programme de SI autour de l'étude pratique du pilote.

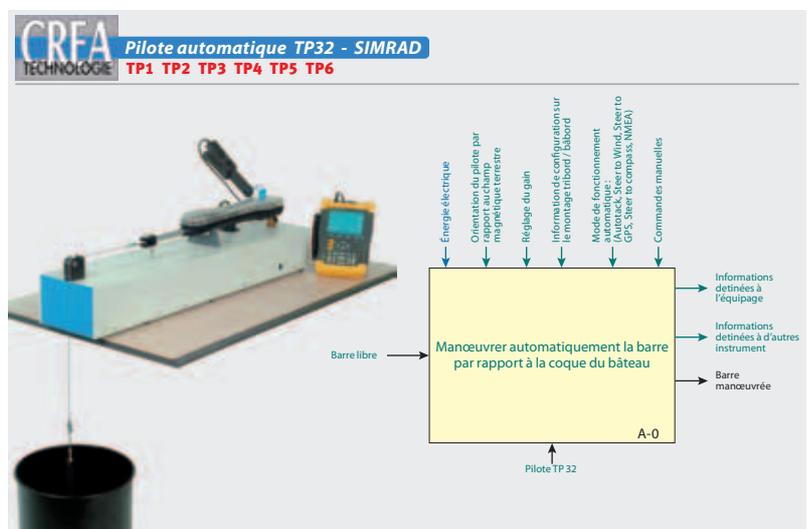
## L'analyse fonctionnelle et la schématisation du pilote

→ Niveau 1<sup>re</sup> – CI 1 et 2

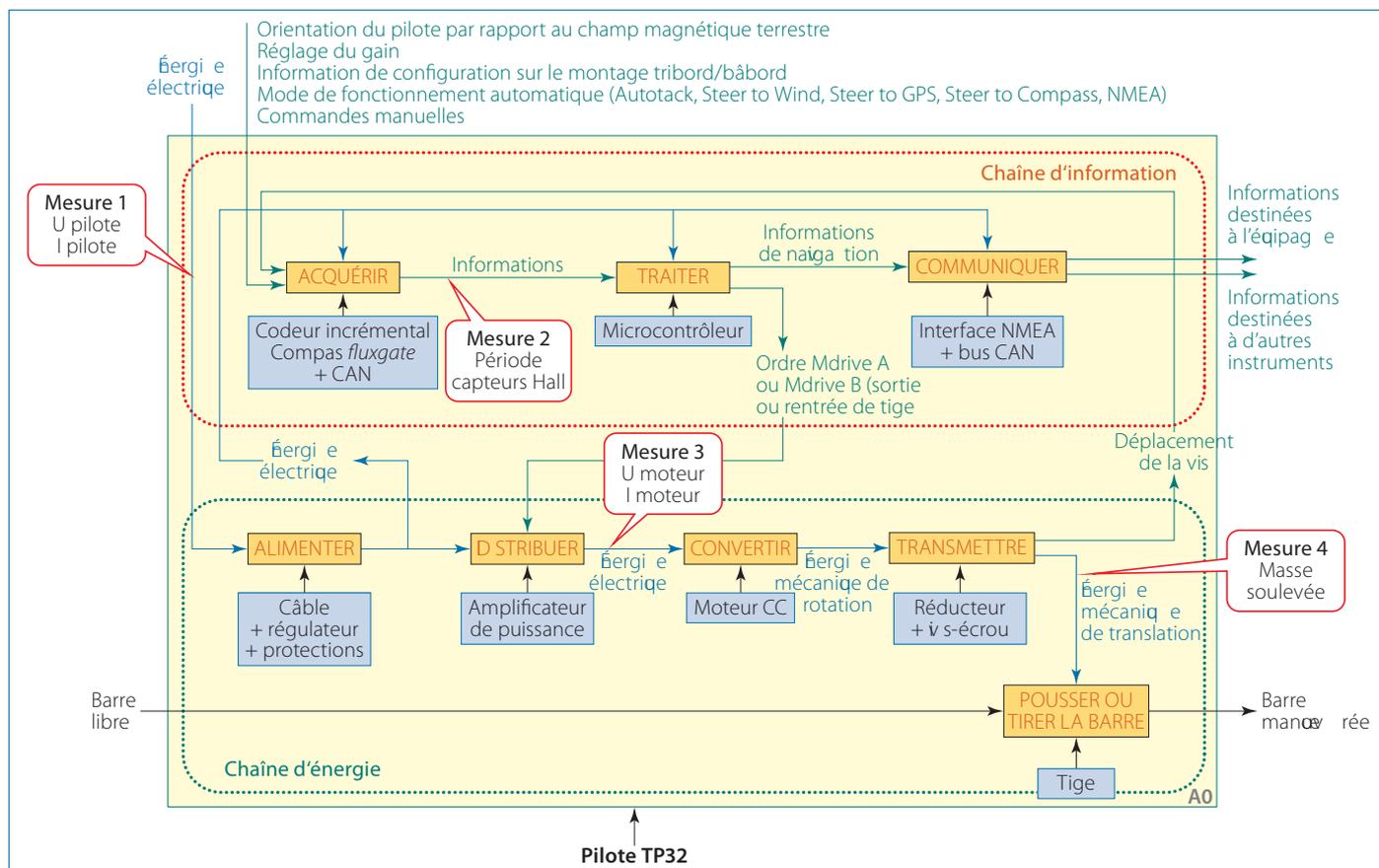
Cette activité est une découverte du pilote et de son environnement à travers des outils d'analyse et de représentation fonctionnelle 3. L'élève doit s'appro-

## Mots-clés

analyse fonctionnelle, équipement didactique, énergie, travaux pratiques



2 L'interface HTML de Créa Technologie



**3 L'actigramme A0**

prier les fonctions du système, son architecture ainsi que les grandeurs d'entrée et de sortie des chaînes d'information et d'énergie.

Il identifie la nature (logique, analogique ou numérique) des informations échangées entre les blocs fonctionnels (entrée moteur, entrée/sortie capteurs) après avoir mesuré leur grandeur directement sur le système.

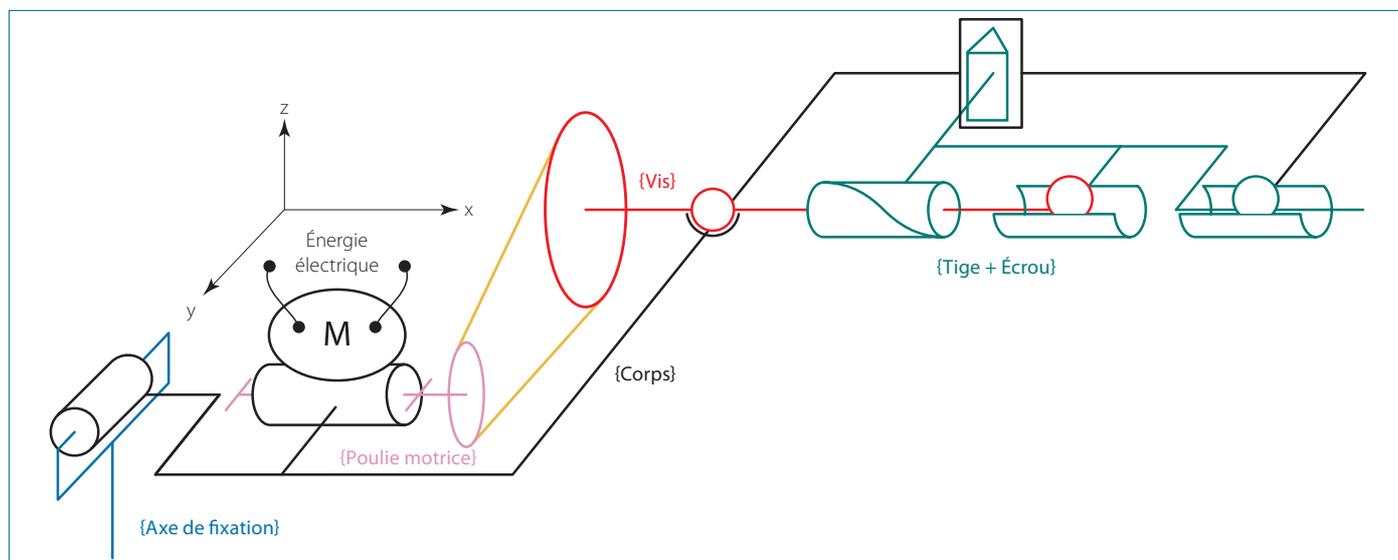
Enfin, il complète le schéma cinématique du mécanisme **4**.

**La mesure de la vitesse de la tige**

→ Niveau 1<sup>re</sup> – CI 5 et 9

Il existe sur le système réel trois solutions différentes pour réaliser cette mesure **5**:

- 1 On mesure directement la vitesse de translation de la tige à l'aide d'un tachymètre; c'est la méthode la plus directe.
- 2 On mesure la vitesse de rotation de la poulie motrice à l'aide d'un tachymètre, et, connaissant les caractéris-



**4 Le schéma cinématique**

tiques de la chaîne cinématique, on calcule la vitesse de translation de la tige.

③ Le système est équipé d'un codeur incrémental constitué de deux aimants montés sur la poulie réceptrice et de deux capteurs à effet Hall solidaires du corps et disposés à proximité de la trajectoire décrite par les aimants. Il est possible de relever directement sur le système en fonctionnement les signaux issus de ces capteurs. Ils renvoient simultanément les images de la vitesse de rotation, mais aussi du sens de rotation de la vis vers le microcontrôleur ⑥ ⑦.

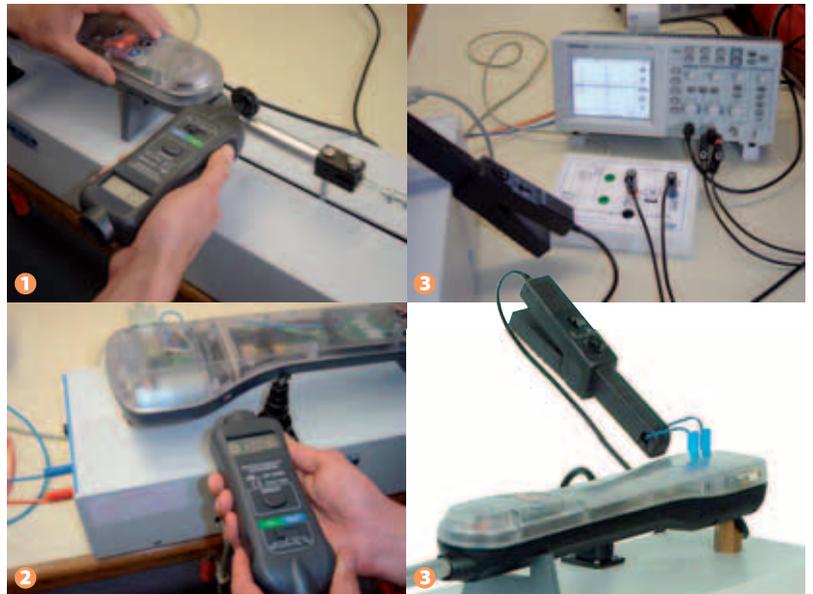
L'élève réalisera ces différentes mesures et donnera les relations cinématiques permettant de passer d'une mesure à l'autre, ou encore établira la relation qui existe entre la fréquence de rotation de la vis à bille, la fréquence des signaux et la vitesse de translation ou la position de la tige.

Il pourra constater que le microcontrôleur utilise la période de ces signaux pour détecter le blocage de la tige en fin de course ou lors d'une surcharge mécanique de l'appareil, que cette charge maximale admissible est variable en fonction de la tension d'alimentation du système, et en conséquence appréhender le principe de mise en sécurité de celui-ci. Il lui sera également possible de vérifier ces relevés par une simulation sur le modèle 3D du pilote.

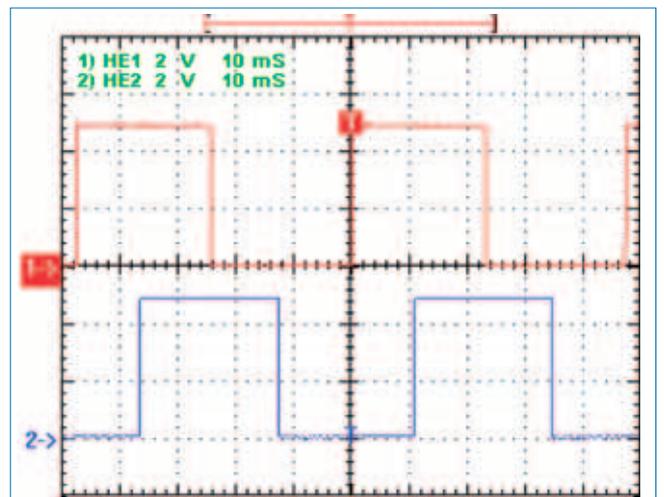
**Le rendement global maximal**

→ Niveau terminale – CI 1, 3, 5 et 7

Pour tester les performances du pilote, on simule l'effort résistant ou moteur sur la tige par l'intermédiaire d'un câble, d'une poulie et de masses à soulever ⑧.



⑤ Les différentes méthodes de mesure sur le système



⑥ Les oscillogrammes

Les deux aimants sont représentés par les points verts N et S sur la poulie réceptrice.

Les lettres N et S sur les aimants matérialisent les pôles magnétiques Nord et Sud. Les deux aimants sont montés dans le sens inverse l'un de l'autre. On constate que le passage d'un pôle Nord à proximité d'un capteur met sa sortie à 1, tandis que le passage d'un pôle Sud la met à 0.

Dispositif de détection

Aimants diamétralement opposés

Capteurs à effet Hall

⑦ L'animation Flash permettant de visualiser l'état logique des capteurs en fonction de la position des aimants



**8** La méthode de test



L'objectif de cette activité est de déterminer les conditions de fonctionnement où le rendement est optimal.

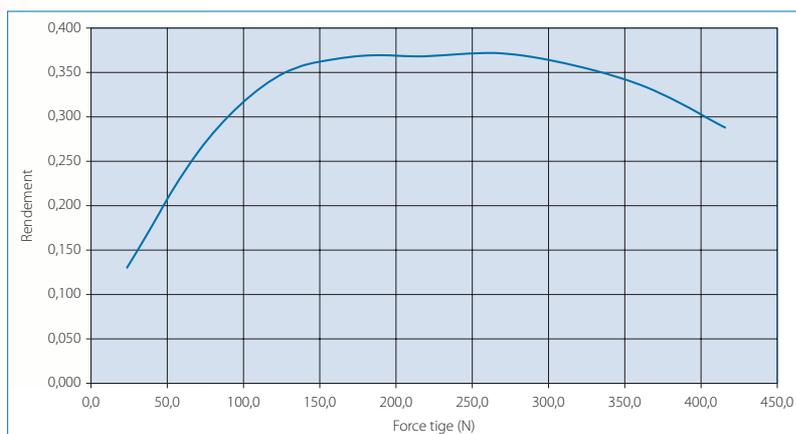
Une simulation mécanique 3D permet à l'élève de déterminer une relation linéaire entre l'effort exercé par l'eau sur le safran et l'effort induit sur la tige du pilote (effort tige/barre), quelle que soit la position de la barre **9**.

La détermination de la puissance consommée par le moteur à courant continu nécessite de mesurer le courant consommé à l'aide d'une pince ampèremétrique associée soit à un oscilloscope soit à un voltmètre ainsi que la tension d'alimentation à l'aide d'un oscilloscope ou d'un voltmètre.

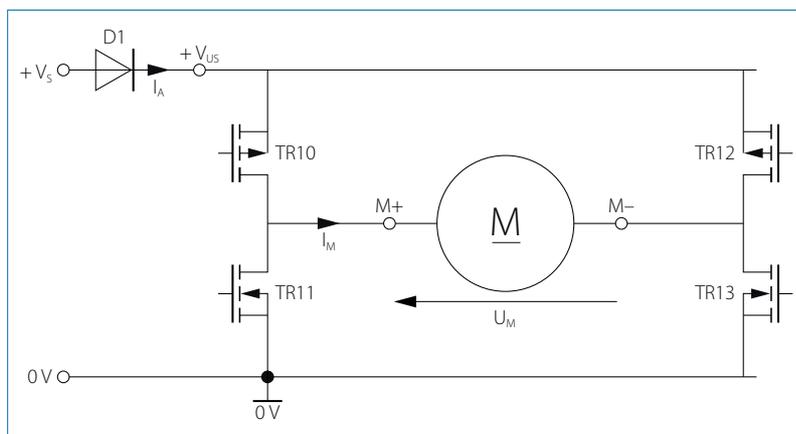
La mesure de la vitesse de translation de la tige (abordée lors de l'activité précédente) et le calcul du poids correspondant aux masses soulevées permettent de déterminer la puissance mécanique au niveau de la tige.

L'élève doit déterminer et tracer la courbe du rendement en effectuant une série de mesures sur le banc de test **10**.

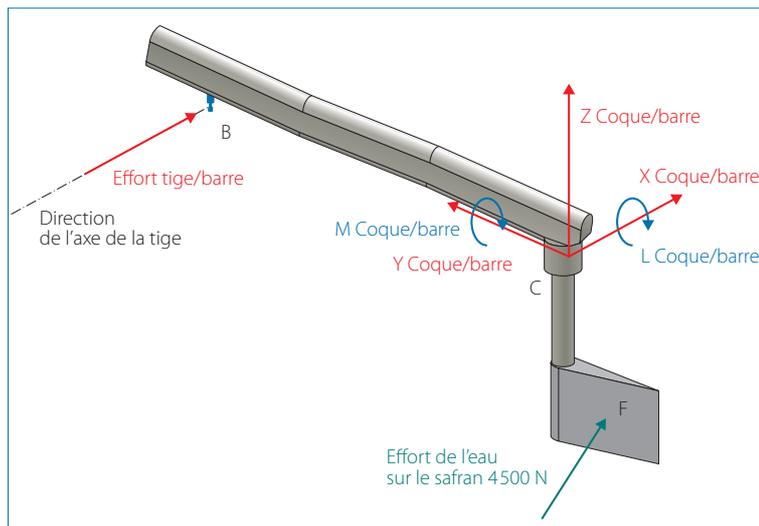
Il peut alors déterminer la valeur de l'effort exercé par l'eau sur le safran correspondant au point de fonctionnement où le pilote est à son rendement maximal.



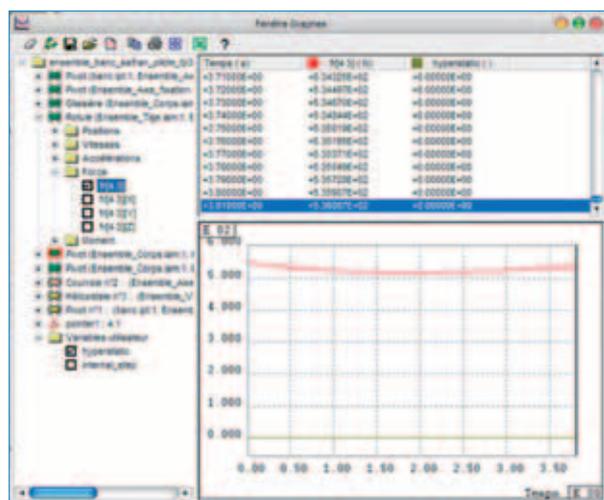
**10** La courbe du rendement

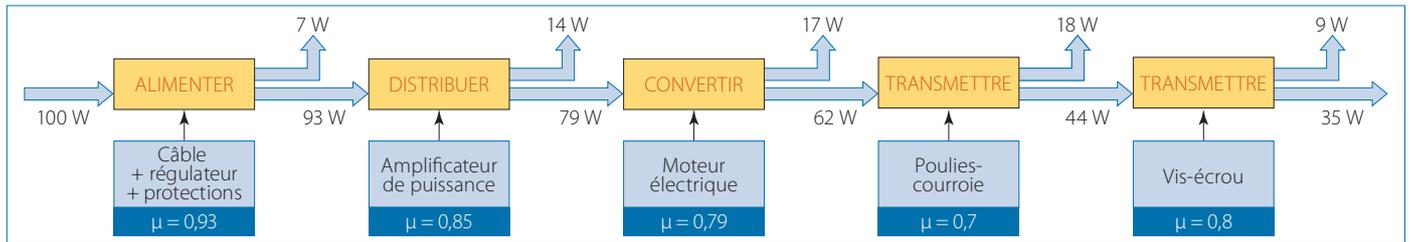


**11** L'alimentation du moteur



**9** La simulation mécanique 3D





**12 Les rendements moyens de la chaîne d'énergie**

**La détermination du rendement des constituants**

→ Niveau terminale – CI 1, 2, 3, 5 et 7

Le relevé des tensions et intensités aux points de mesure 1 et 3 et l'étude du schéma électrique permettent de déterminer les puissances à l'entrée de chacun des blocs fonctionnels de la chaîne d'énergie :

Puissance entrée « alimenter » =  $U_{pilote} \cdot I_{pilote}$   
 Puissance entrée « distribuer » =  $U_{pilote} \cdot I_{moteur} = + V_S \cdot I_M$   
 Puissance entrée « convertir » =  $U_{moteur} \cdot I_{moteur}$   
 Puissance entrée « transmettre » =  $(U_{moteur} - R \cdot I_{moteur}) \cdot I_{moteur}$

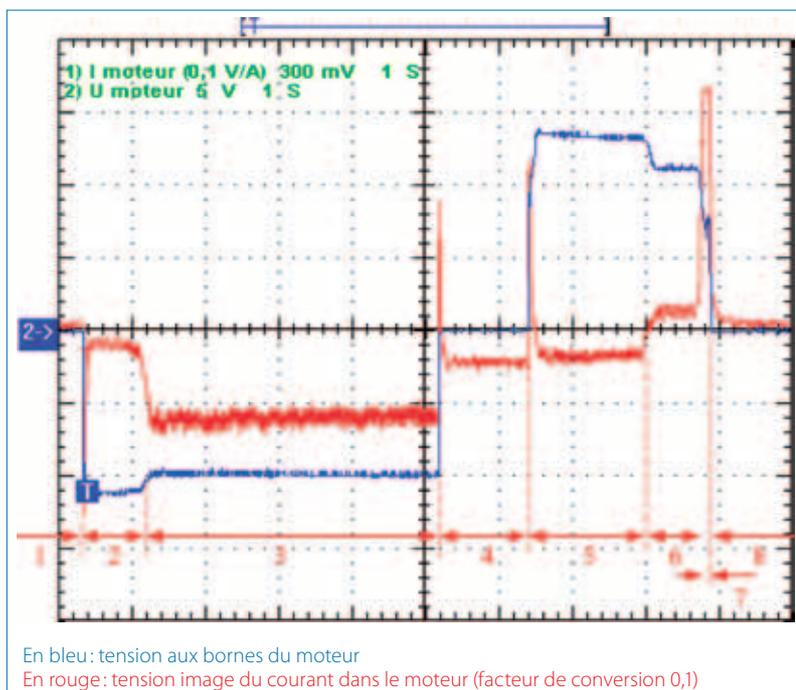
L'élève peut alors déterminer et hiérarchiser la consommation d'énergie de chaque sous-ensemble à vide et en charge.

Une étude théorique est ensuite menée sur la fonction « transmettre » afin de vérifier la réversibilité du système vis-écrou, du moteur électrique à courant continu et de son amplificateur de puissance.

**L'étude de la réversibilité**

→ Niveau terminale – CI 1, 3, 5 et 7

Cette activité permet de mettre en évidence la réversibilité d'une partie de la chaîne d'énergie



**13 U(t) et I(t) aux bornes du moteur sur un cycle**

L'élève est amené à mesurer et à s'interroger sur le sens dans lequel se fait le transfert d'énergie dans les deux cas : rentrée (cas noté 1 ci-après) et sortie de tige (2).

**Du point de vue mécanique**

1 La puissance fournie par la charge est négative, le travail de l'effort  $P_{charge}$  est résistant, et le transfert d'énergie (ou de puissance) se fait de la tige vers la charge (le pilote lève la charge).

2 La puissance fournie par la charge est positive, le travail de l'effort  $P_{charge}$  est moteur, et le transfert d'énergie (ou de puissance) se fait de la charge vers la tige (le pilote « descend » la charge).

**Du point de vue électrique**

L'oscillogramme de la tension et de l'intensité aux bornes du moteur sur un cycle est donné en 13.

1  $U_{moteur} < 0$  et  $I_{moteur} < 0$

La puissance est positive. C'est l'alimentation électrique qui fournit l'énergie à l'ensemble du système.

2  $U_{moteur} > 0$  et  $I_{moteur} < 0$

La puissance est négative. C'est la charge mécanique qui fournit l'énergie à l'ensemble du système, le moteur la convertissant en énergie électrique.

**Du point de vue global**

1  $P_{élec} > P_{méca} > 0$

Les puissances sont positives, c'est donc l'alimentation qui fournit l'énergie, ce qui est confirmé par la valeur de la puissance en entrée du moteur, plus grande que celle reçue par la masse.

2  $P_{méca} < P_{élec} < 0$

Les puissances sont négatives, c'est donc la masse qui entraîne le pilote, ce qui est confirmé par la valeur de la puissance restituée par la masse, plus grande que celle transformée par le moteur en énergie électrique.

La tension aux bornes du moteur est de  $-13,6$  V, donc supérieure en valeur absolue à la tension d'alimentation du pilote ( $12,5$  V) : c'est bien le moteur qui la produit. La tension produite est redressée par le pont de diodes constitué par les diodes de structure des transistors MOS, utilisées ici comme diodes de roue libre.

Au vue de la puissance électrique consommée par le pilote ( $U_{pilote} \cdot I_{pilote}$ ) dans le 2<sup>nd</sup> cas, on montre que

la fonction «alimenter» n'est pas réversible. L'alimentation ne fournit que la puissance nécessaire au fonctionnement de la chaîne d'information.

### Pour aller plus loin

Un oscilloscope à mémoire, équipé d'une sortie de communication avec un ordinateur pourvu d'un logiciel de communication capable de transcrire les mesures dans un format compatible avec un tableur, et une sonde de courant à effet Hall pour oscilloscope permettent de tracer les oscillogrammes de la tension aux bornes du moteur et de la tension image du courant dans le moteur.

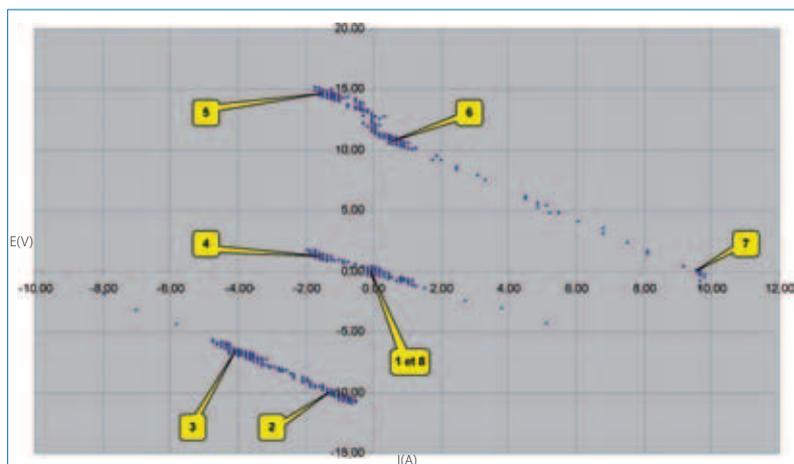
L'étude de ces oscillogrammes sur un cycle complet rentrée-sortie de la tige du pilote permet d'identifier jusqu'à 8 phases de fonctionnement distinctes en régime établi du pilote et de son moteur.

Il est intéressant de reporter ces points de fonctionnement sur le graphe des quatre quadrants du moteur CC **14**.

### L'étude de la transmission des efforts maximaux

→ Niveau terminale – CI 2, 4 et 6

Le constructeur annonce une charge maximale de 85 kg. L'objectif de cette étude est de déterminer le couple

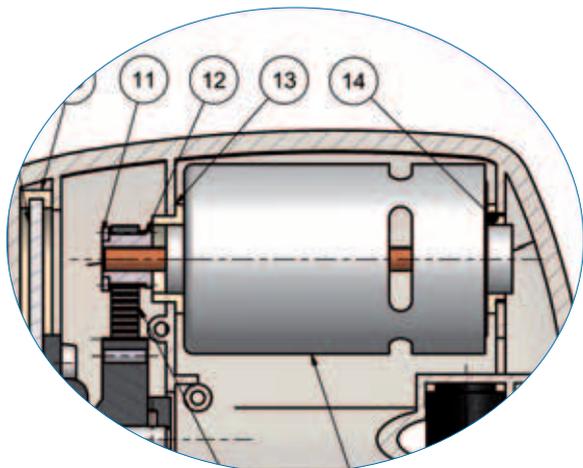


**14** Les quadrants de fonctionnements du moteur

moteur correspondant et de dimensionner la liaison arbre moteur - poulie motrice par goupille **15**.

La solution est représentée sur le modèleur volumique.

On peut aussi étudier le comportement du pilote à la limite de ses possibilités. À partir de 40 kg environ lorsque le pilote est alimenté sous 12 V, la maquette effectue quelques oscillations (marche avant/marche arrière).



15 La liaison poulie - axe moteur

Une étude est alors menée pour déterminer le courant consommé par le moteur.

### Communiquer l'information sur le réseau CAN

→ Niveau terminale – CI 12

Le bus CAN (*Controller Area Network*), initialement développé par Bosch pour l'industrie automobile, connaît un réel succès en raison de sa fiabilité. Il permet de relier les différents organes (capteurs ou actionneurs) par un bus série à haut débit. Le protocole, ainsi que les paramètres électriques de la ligne de transmission, sont fixés par la norme Iso 11898. La transmission physique peut s'effectuer sur une paire filaire torsadée, par liaison infrarouge ou hertzienne, ou par fibre optique.

Simrad a développé un réseau nommé Simnet, utilisant le protocole CAN, permettant une interconnexion facile et l'échange de données entre les instruments, les appareils de navigation et les pilotes automatiques Simrad. Tous les appareils sont interconnectés et alimentés par un câble standard unique 16.

Le TP « Communiquer l'information » propose à l'élève d'étudier de quelle manière l'information « cap », mesurée par le compas *fluxgate* intégré au pilote, est transmise sur le réseau.

La première partie du TP consiste à visualiser les signaux CANH et CANL du bus, et notamment le début de la trame comportant le bit de *start* et les 29 bits d'identification (ici la trame identifiée 09F11200 transportant l'information « cap ») 17. L'élève mesure les niveaux de tension et la durée d'un bit ; il en déduit le type de bus (*high speed*) et le débit de la transmission (250 Kbits/s). Une maquette comportant des fiches BNC permet de connecter directement l'oscilloscope sur ces signaux.

La deuxième partie du TP consiste à exploiter ces chronogrammes en retrouvant les valeurs binaires associées à ces signaux puis le code hexadécimal complet de l'identificateur de trame.

### L'observation des trames à l'oscilloscope

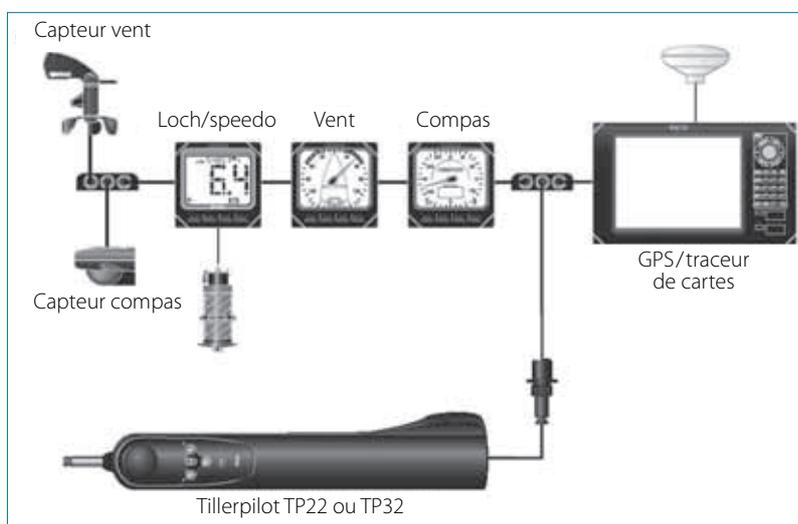
On propose ensuite à l'élève de connecter un analyseur de trames CAN permettant d'observer le contenu de toutes les trames circulant sur le réseau 18.

Un instrument indicateur de cap réel de type IS12 ou bien un instrument virtuel affiche le cap mesuré par le compas *fluxgate*.

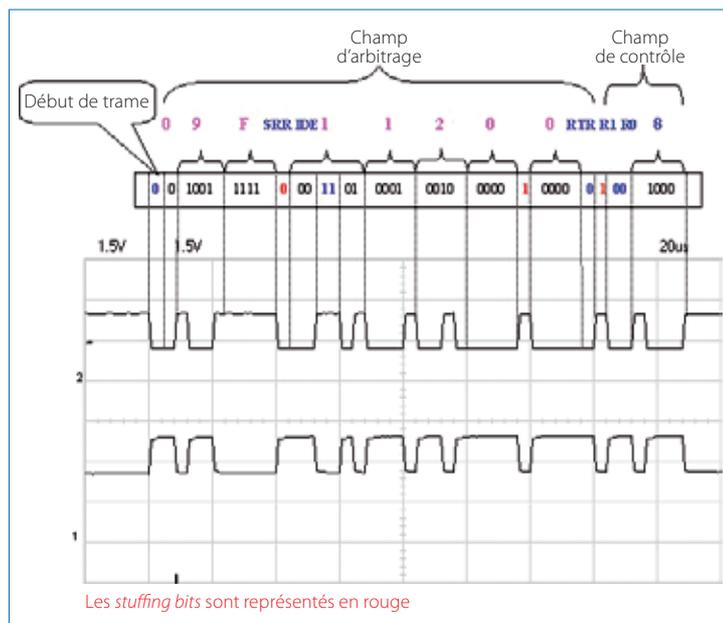
En faisant pivoter le pilote sur 360°, l'élève peut alors établir la correspondance entre les données véhiculées par la trame identifiée 09F11200 et la valeur affichée sur l'instrument.

À l'aide d'une boussole, il peut vérifier la position physique du pilote lorsque celui-ci est orienté de manière à indiquer le nord et justifier cette position par rapport au montage du pilote sur le bateau.

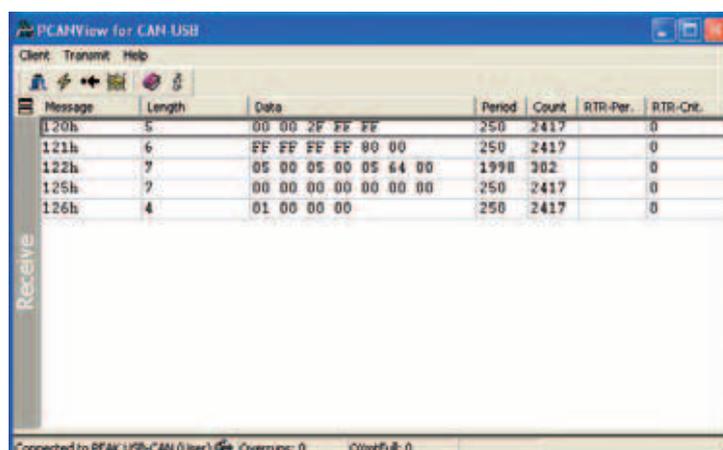
Ce TP permet de mettre en évidence la grandeur essentielle qui doit être communiquée au pilote, l'orientation du bateau par rapport au nord magnétique, de manière à agir sur la barre pour conserver le cap choisi par le navigateur.



16 Le réseau d'interconnexion des instruments



#### 17 Le début de la trame: le bit de *start* et les 29 bits d'identification



#### 18 L'observation des trames sur PC via une liaison USB

La visualisation du cap mesuré par le compas permettra également d'envisager des mesures de déplacement de la tige en fonction de l'écart entre le cap réel et le cap choisi et d'observer l'influence du réglage de gain.

#### En conclusion...

Le pilote automatique TP32 est un produit qui permet d'aborder en TP sur un système réel des points du programme de SI tels que les notions de rendement, de réversibilité et de communication, qui ne sont souvent abordés que théoriquement, et de ce fait difficilement assimilés par nos élèves. ➔