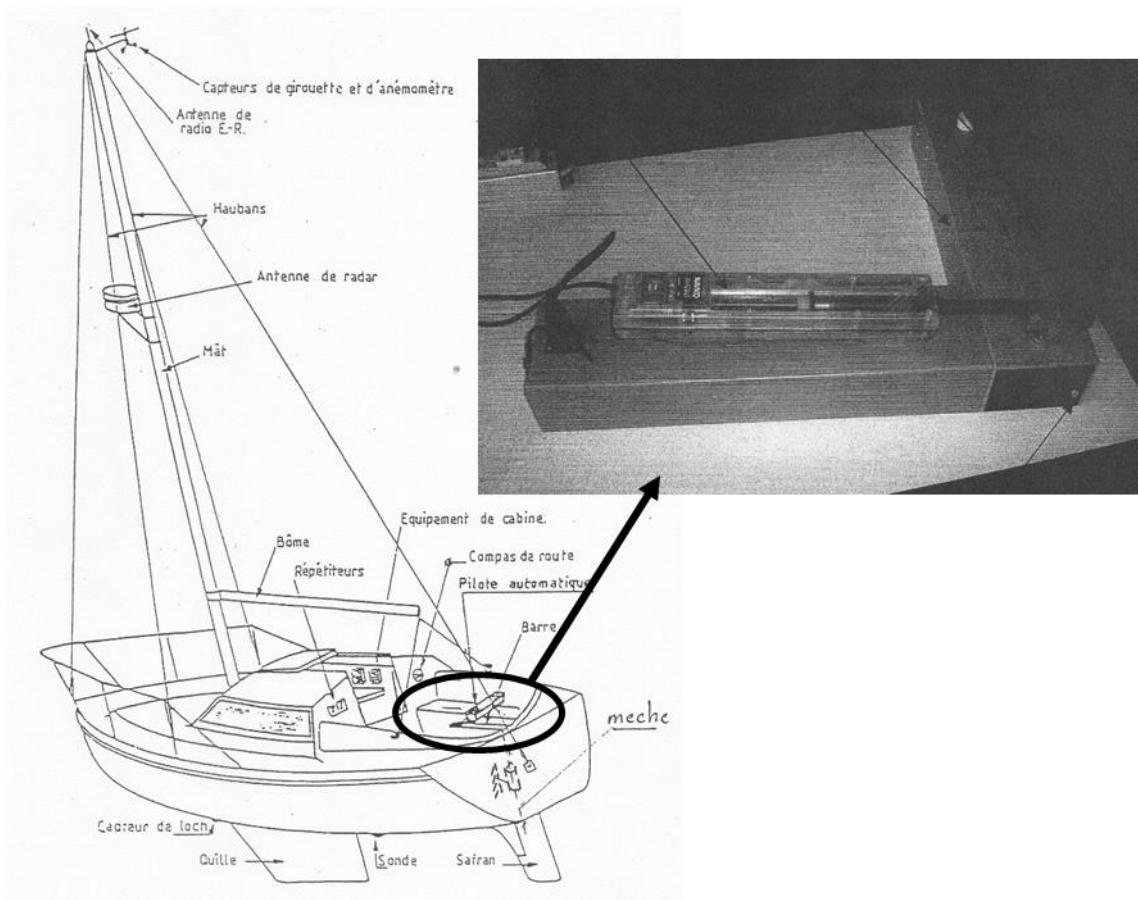


# PILOTE AUTOMATIQUE DE BATEAU

## DOSSIER RESSOURCES



## PRESENTATION DU SYSTEME



Un pilote automatique permet de :

- Ne pas être rivé à la barre pendant toute la durée de la navigation.
- Soulager le barreur fatigué par la concentration que demande le maintien d'un cap précis.
- Pouvoir libérer les mains lors de manœuvres avec un équipage réduit.

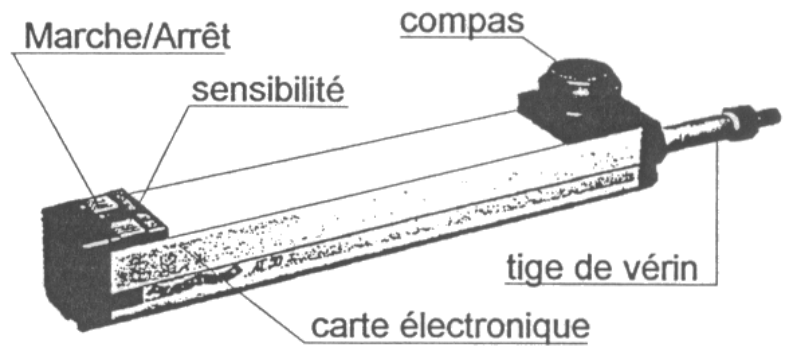
Qualités demandées à un "pilote automatique" :

- Il doit être léger, facile à installer, de maniement simple et fiable.
- Il doit pouvoir être connecté ou déconnecté rapidement de la barre pour permettre au skipper de reprendre la barre en cas d'urgence.
- Il doit résister au milieu hostile qu'est la mer.

Le pilote automatique AT50 est un pilote à compas intégré pour barre franche. Il se présente sous la forme d'un profil étanche en alliage léger laqué sur lequel sont regroupés les deux curseurs de commande magnétique.

Ce système comprend

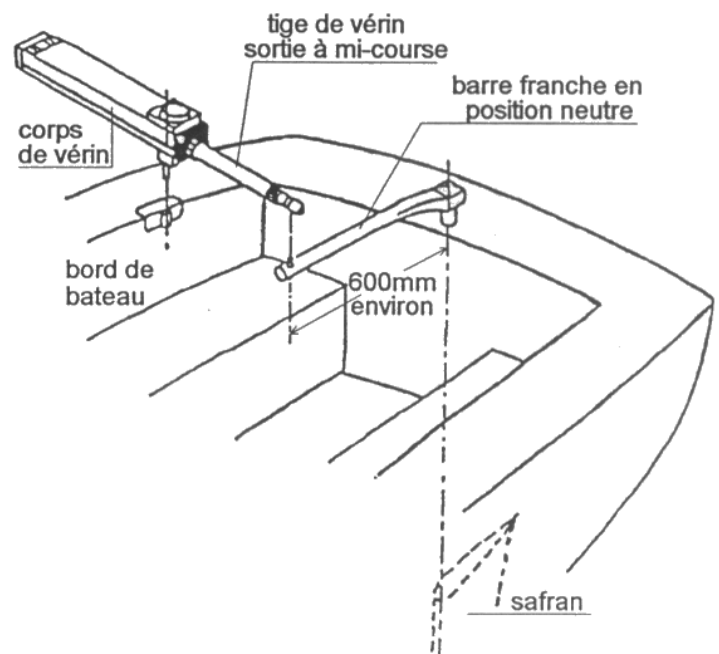
- Un vérin électrique pouvant pousser ou tirer la barre.
- Un compas mesurant l'écart de la route
- Une carte électronique gérant le fonctionnement de l'ensemble.



### MONTAGE DU PILOTE SUR LE BATEAU

Le montage s'effectue à tribord (montage à bâbord sur commande).

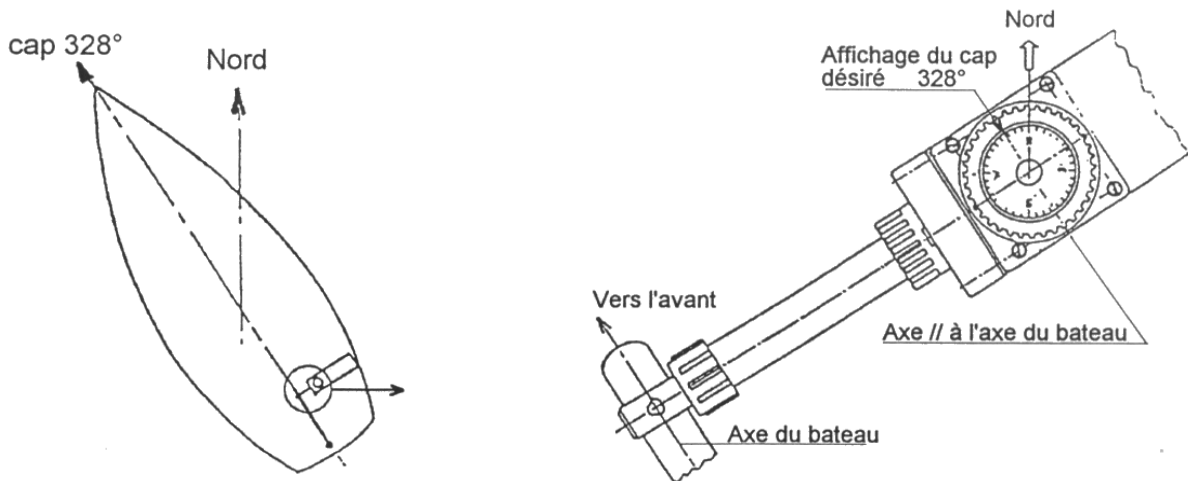
Le pilote se fixe sur le bateau grâce à une articulation réglable ce qui permet de positionner la tige à mi-course pour une position médiane du safran.



## REGLAGE DU CAP

Le réglage du cap se fait en orientant la bague du compas solidaire du pilote. La référence reste le compas de route et permet d'ajuster le cap affiché.

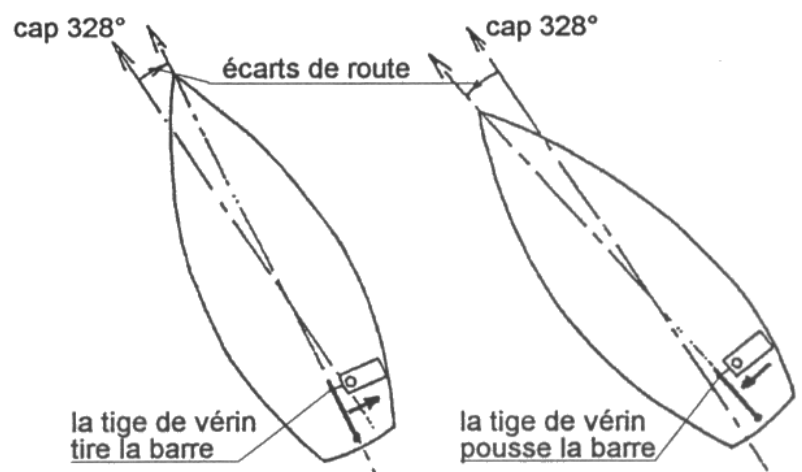
### Exemple pour un cap de 328°



## FONCTIONNEMENT DU COMPAS

Le compas intégré au pilote permet de mesurer l'écart entre le cap réel suivi par le bateau et le cap affiché.

Le compas délivre une différence de potentiel proportionnelle à l'écart de route détecté.



## CHOIX DE LA SENSIBILITE DU PILOTE

Le cap affiché est suivi avec deux niveaux de précision possible :

Position I (en cas de mer forte) : « zone morte », cap affiché avec une précision de  $\pm 4^\circ$

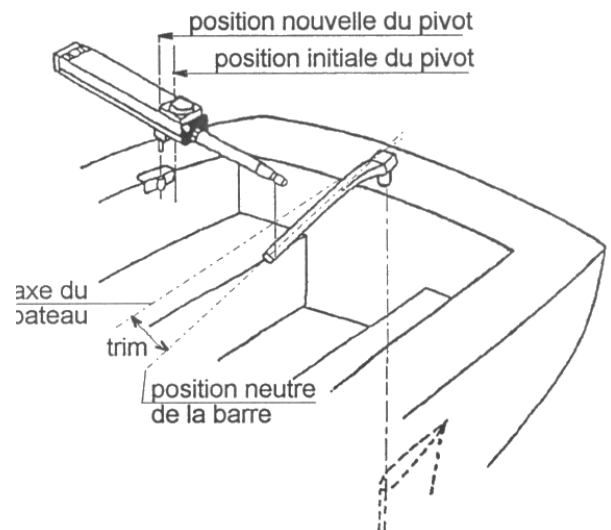
Position II (en cas de mer calme) : « zone morte », cap affiché avec une précision de  $\pm 2^\circ$

Lorsque l'axe de la barre franche se situe dans la « zone morte », aucune correction n'est apportée à la position de la barre.

### Réglage du « TRIM »

Situer la barre en position neutre diminue les efforts du pilote et sa consommation d'énergétique.

Suivant les conditions de mer, la géométrie du bateau et son chargement, la position neutre de la barre peut former un angle avec l'axe du bateau. Cet angle est appelé angle de barre ou « TRIM ».

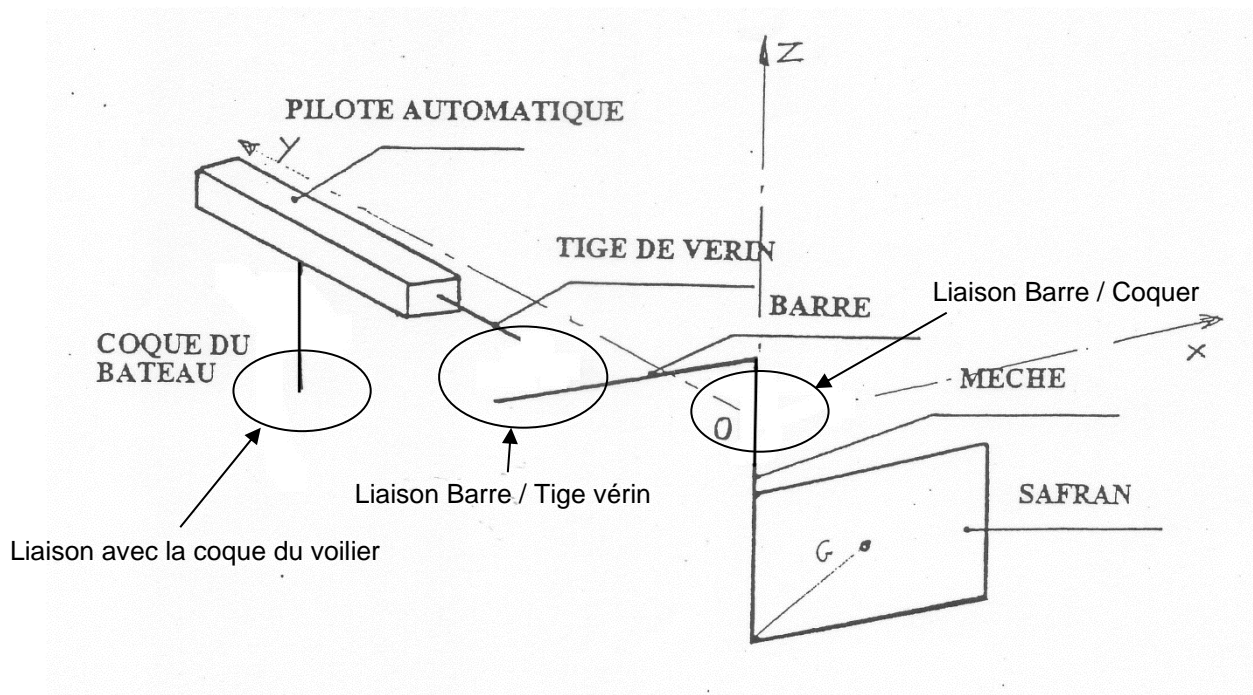


## PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

Une route a été tracée par le skipper.

Un signal GPS repère la position du voilier et transmet une information à un système électronique qui la compare à la consigne donnée par la route.

Dès que le voilier s'éloigne de sa route, une commande est envoyée à un moteur électrique commandant un vérin solidaire de la barre.

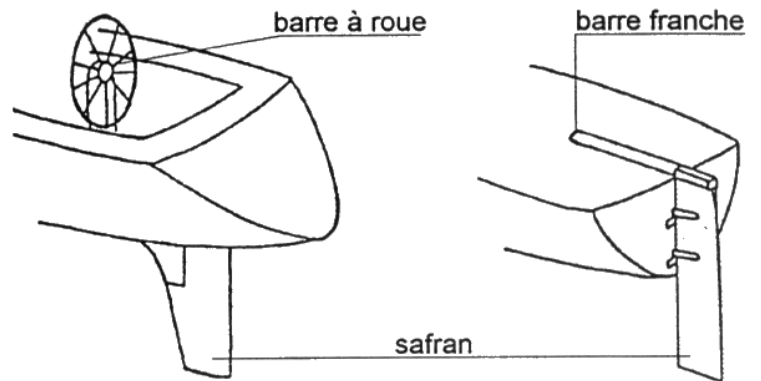




## MISE EN SITUATION

Un bateau est dirigé à l'aide d'un gouvernail constitué

- D'une barre à roue, utilisée comme volant
- Ou d'une barre franche manœuvrée en poussant ou tirant.

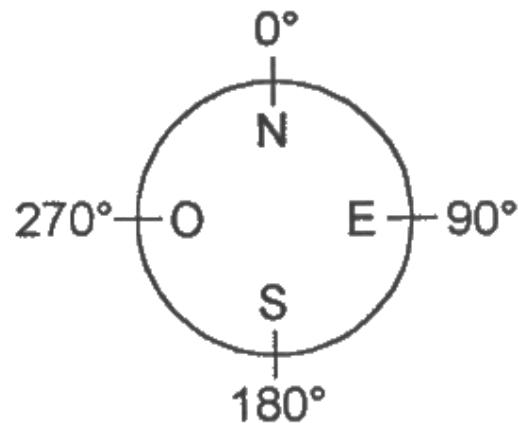


## NOTION DE ROUTE SUIVANT UN CAP

Pour aller d'un point à un autre, le barreur doit suivre sur le compas de route, un cap qu'il a auparavant mesuré sur une carte marine avec un rapporteur.

Le cap est l'angle mesuré entre la direction Nord et la route du bateau.

Par convention le Nord correspond à  $0^\circ$ , l'Est  $90^\circ$ , le sud  $180^\circ$  et l'ouest  $270^\circ$ , avec toutes les valeurs intermédiaires possibles entre  $0^\circ$  et  $360^\circ$



Sur les cartes, la direction du Nord géographique est parallèle aux méridiens.

## INTERET D'UN PILOTE AUTOMATIQUE

Un bateau et en particulier un voilier est plus difficile à diriger en ligne droite qu'une voiture car des perturbations (vagues, variation de la force du vent) le font dévier de sa route.

Donc un barreur ne peut respecter un cap à plus ou moins 5° que pendant un temps relativement court (1 à 2 heures), d'où l'intérêt sur de longues distances d'utiliser un pilote automatique monté sur la barre.

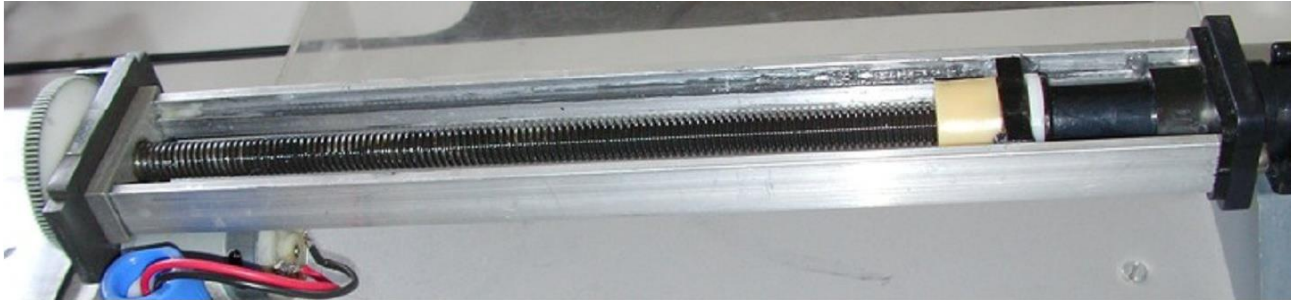
Il représente les avantages suivants :

- Libérer le barreur qui peut effectuer ainsi d'autres tâches
- Améliorer la route suivie, le pilote automatique étant plus précis qu'un barreur moyen
- Il est de plus d'un coût peu élevé (environ 500€)



## MECANISMES ET SOUS-SYSTEMES

### SYSTEME DE MESURE DE LA POSITION



La mesure de position est assurée par deux aimants fixés sur la roue dentée solidaire de la vis. Le passage des aimants devant un capteur à effet Hall permet de compter le nombre de tours (2 impulsions par tour).

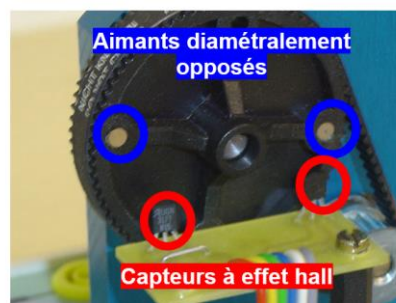
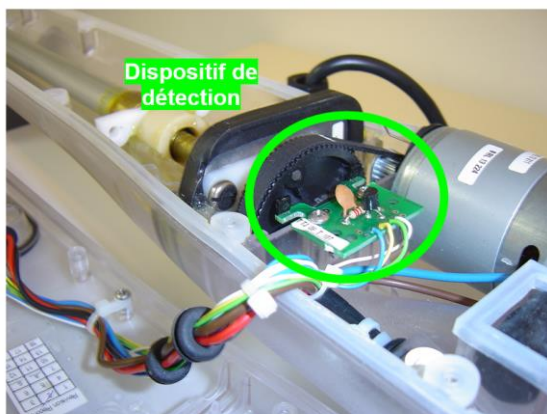
### CAPTEUR A EFFET HALL

Il est possible d'avoir accès au signal délivré par les deux capteurs à effet hall intégrés dans le pilote.

La poulie réceptrice liée à la vis est équipée de deux aimants.

Les deux aimants décrivent donc une trajectoire circulaire lorsque la poulie réceptrice tourne.

Les deux capteurs à effet hall sont situés à proximité de cette trajectoire et diamétralement opposés.



**Evolution du signal délivré par les capteurs :**

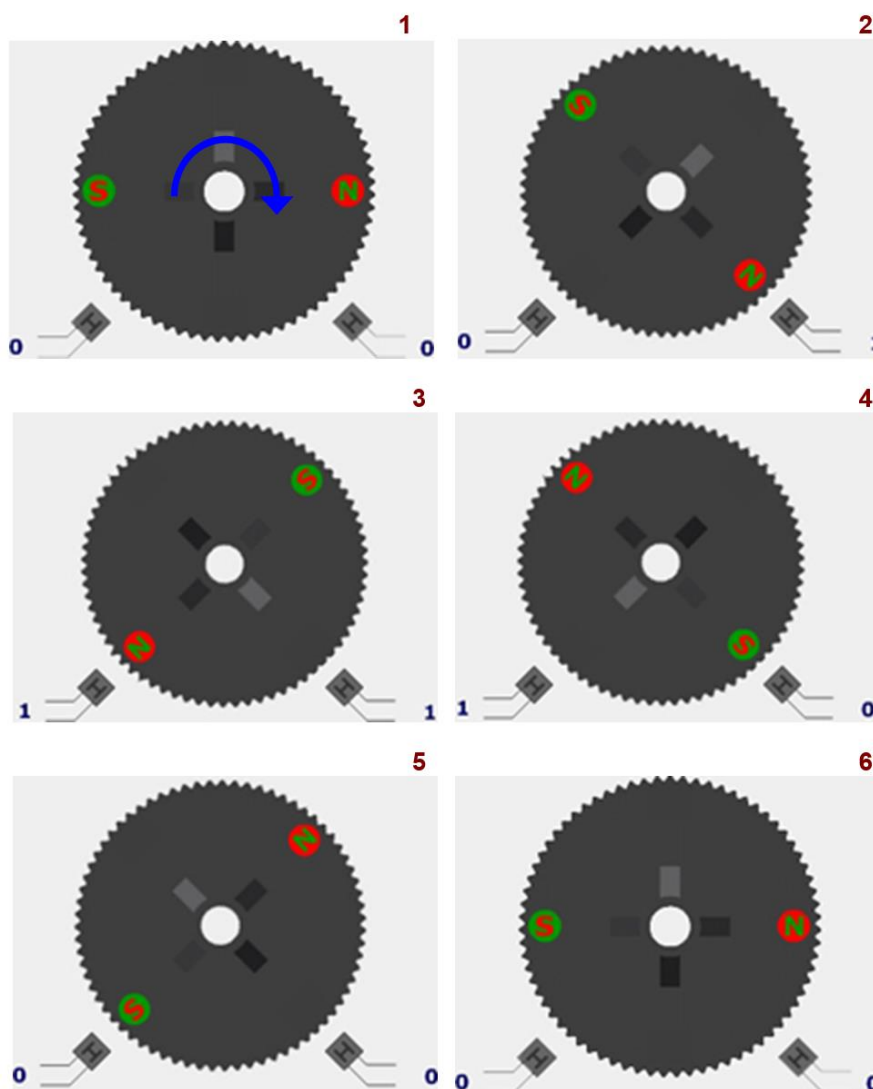
Les deux aimants sont représentés en rouge et vert sur la poulie réceptrice.

Les lettres N et S sur les aimants matérialisent les pôles magnétiques Nord et Sud.

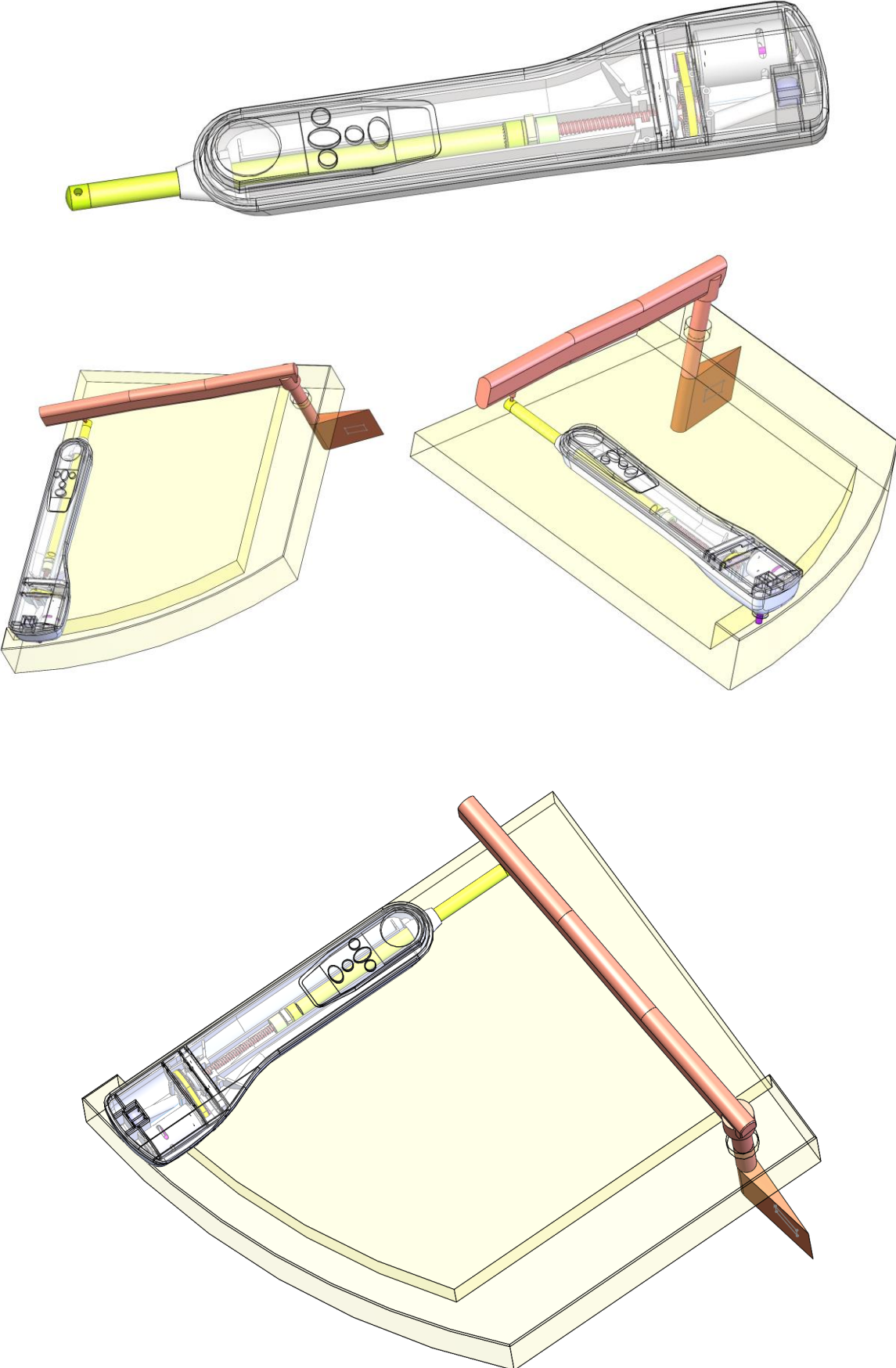
Les deux aimants sont montés dans le sens inverse l'un de l'autre.

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**.

*Représentation de l'évolution du signal logique délivré par les capteurs pour un tour de la poulie réceptrice.*

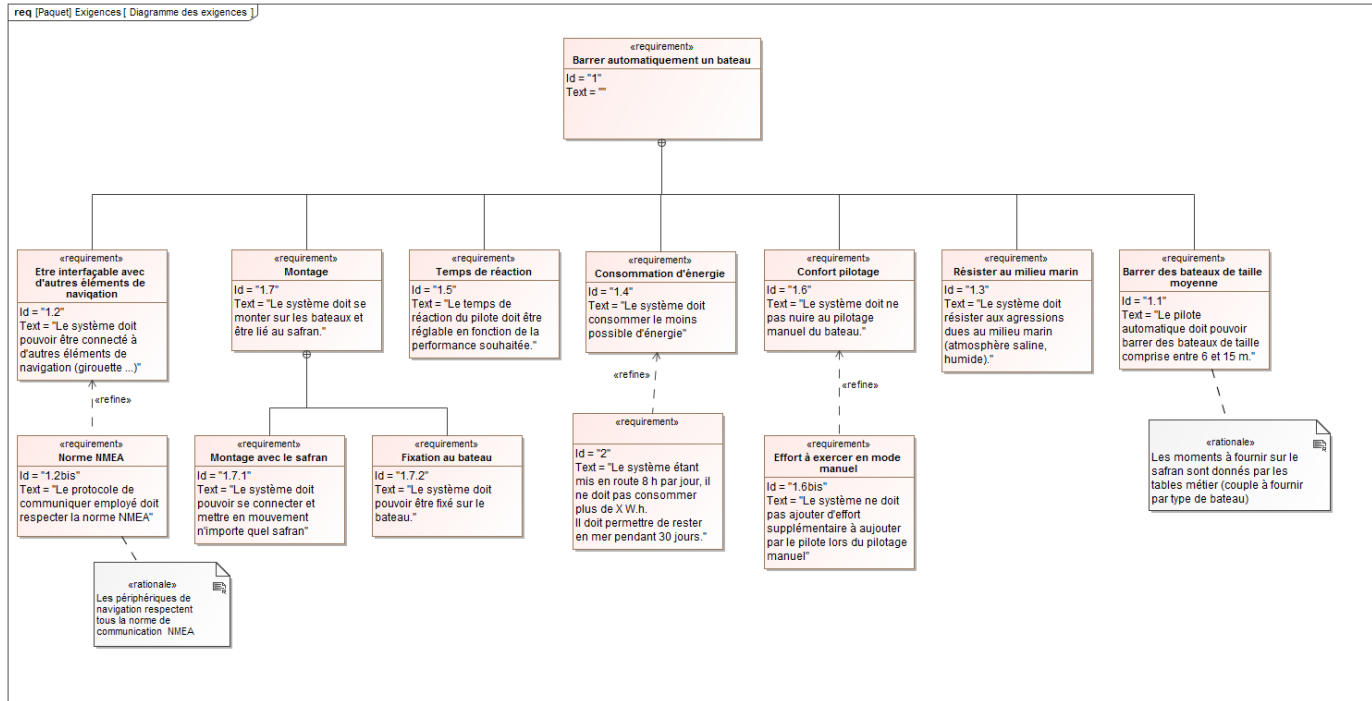


VUE 3D DU MECANISME COMPLET



# ANALYSE SYSTEME – SYSML

## DIAGRAMME DES EXIGENCES



## DIAGRAMME DE DEFINITION DE BLOC

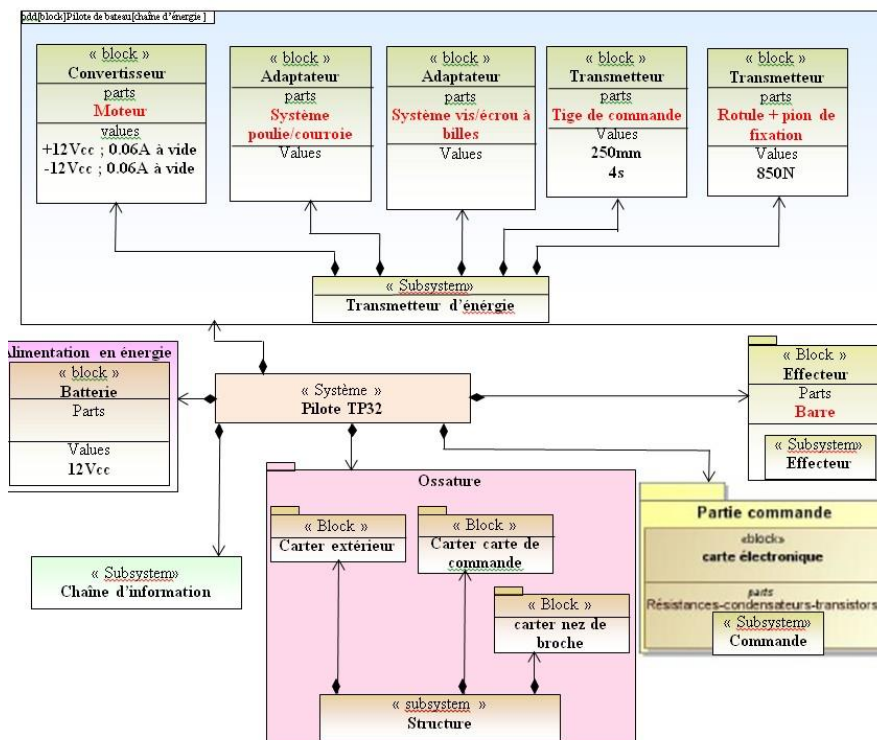


DIAGRAMME DE BLOC INTERNE

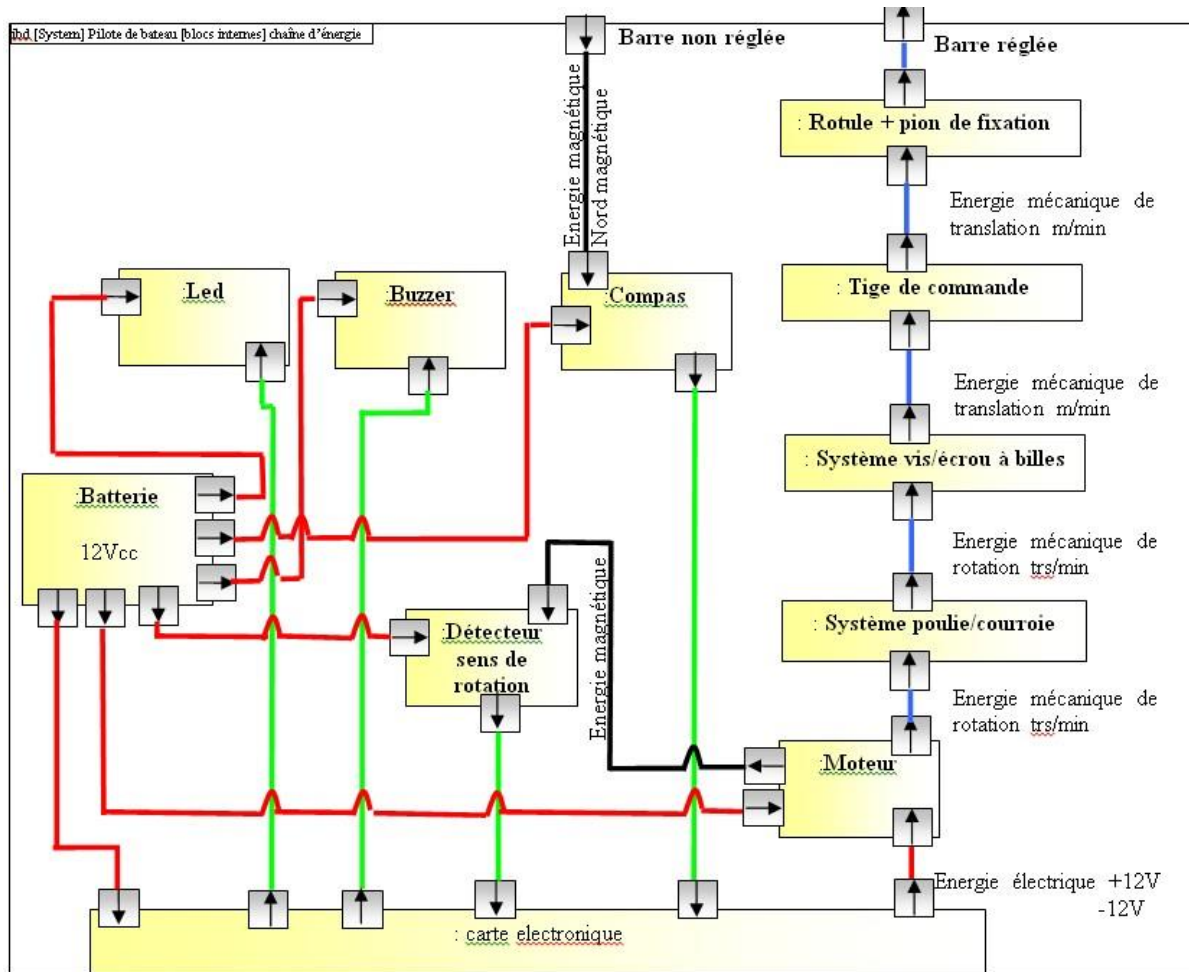
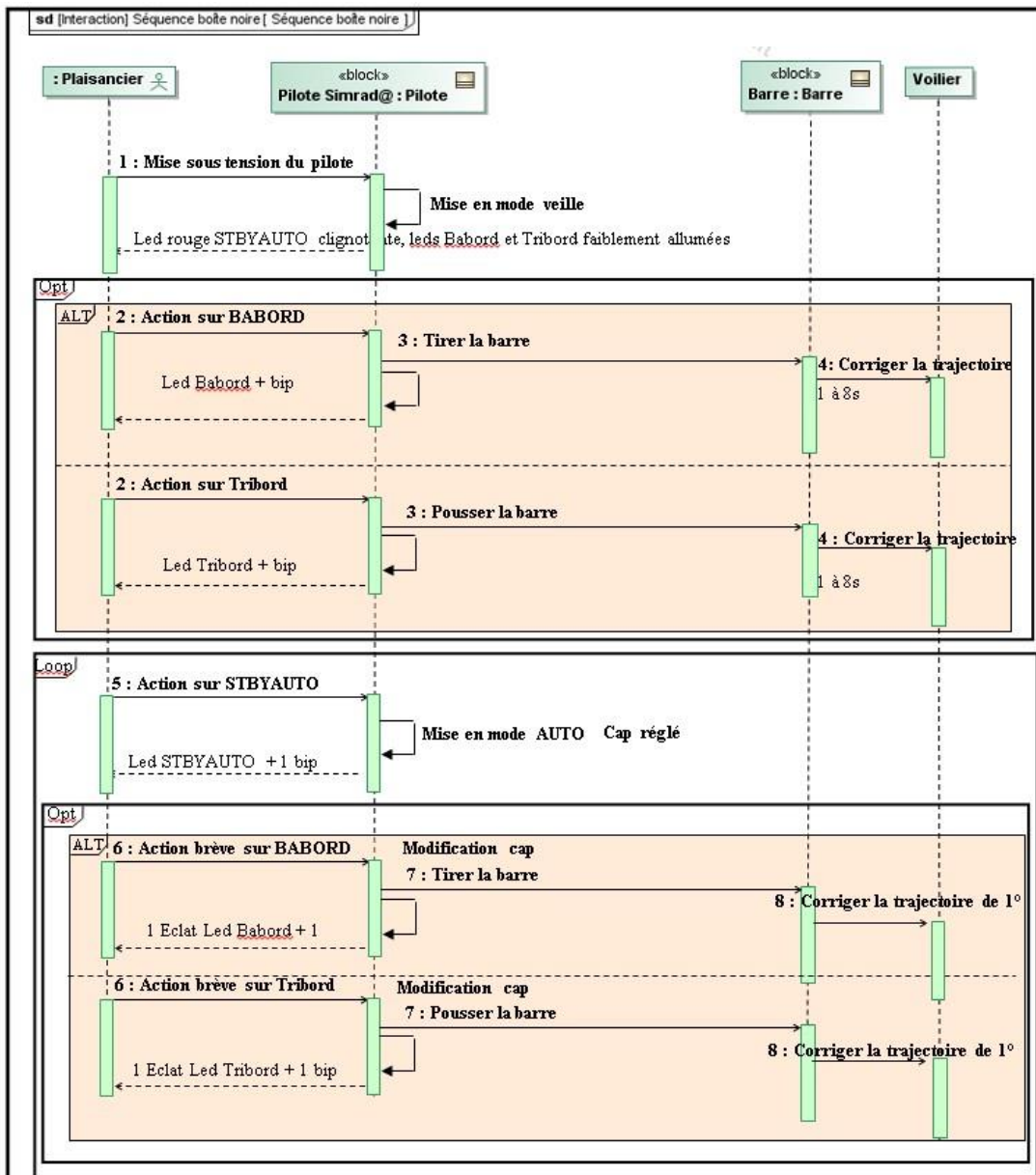
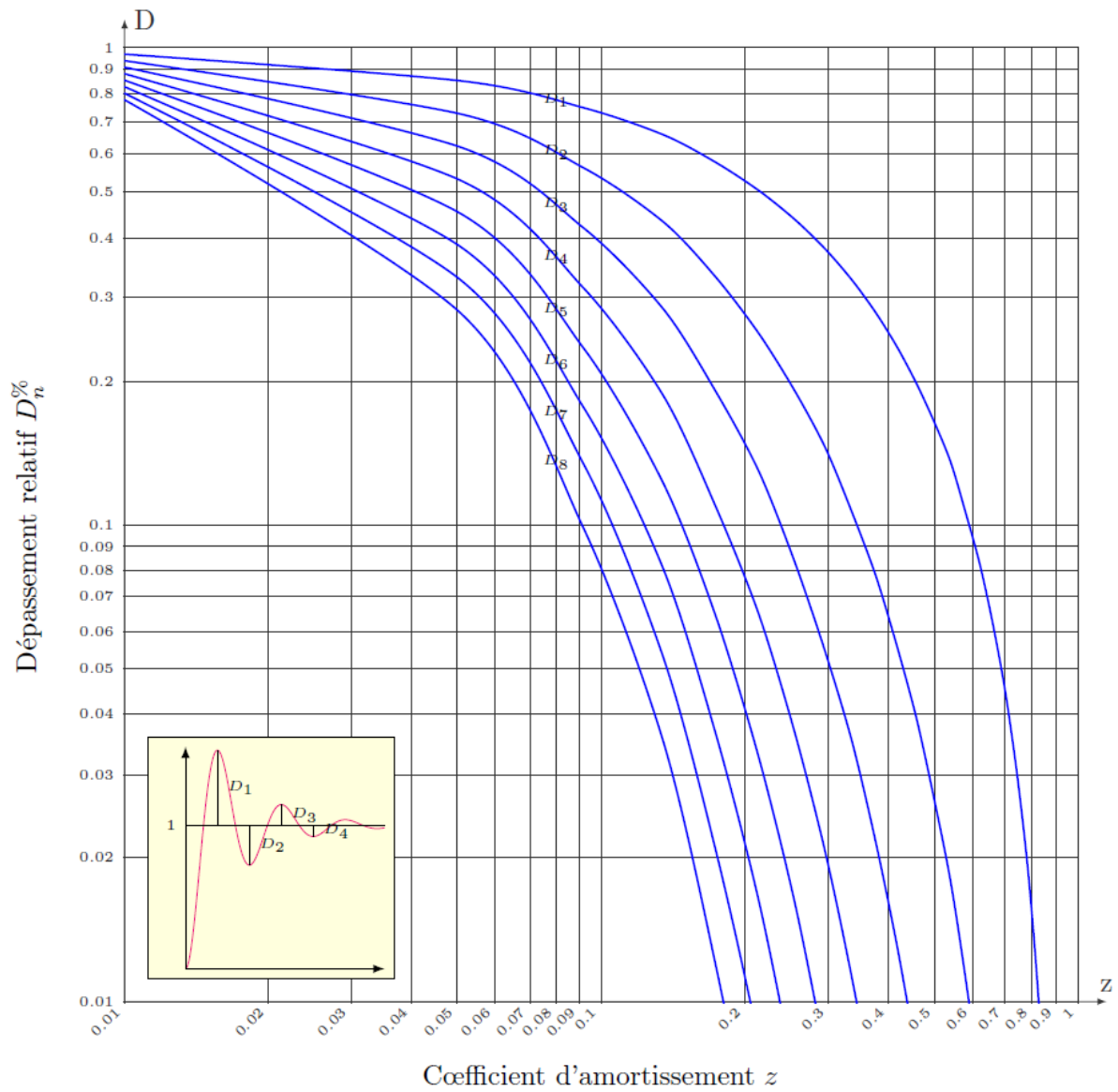




DIAGRAMME DE SEQUENCE

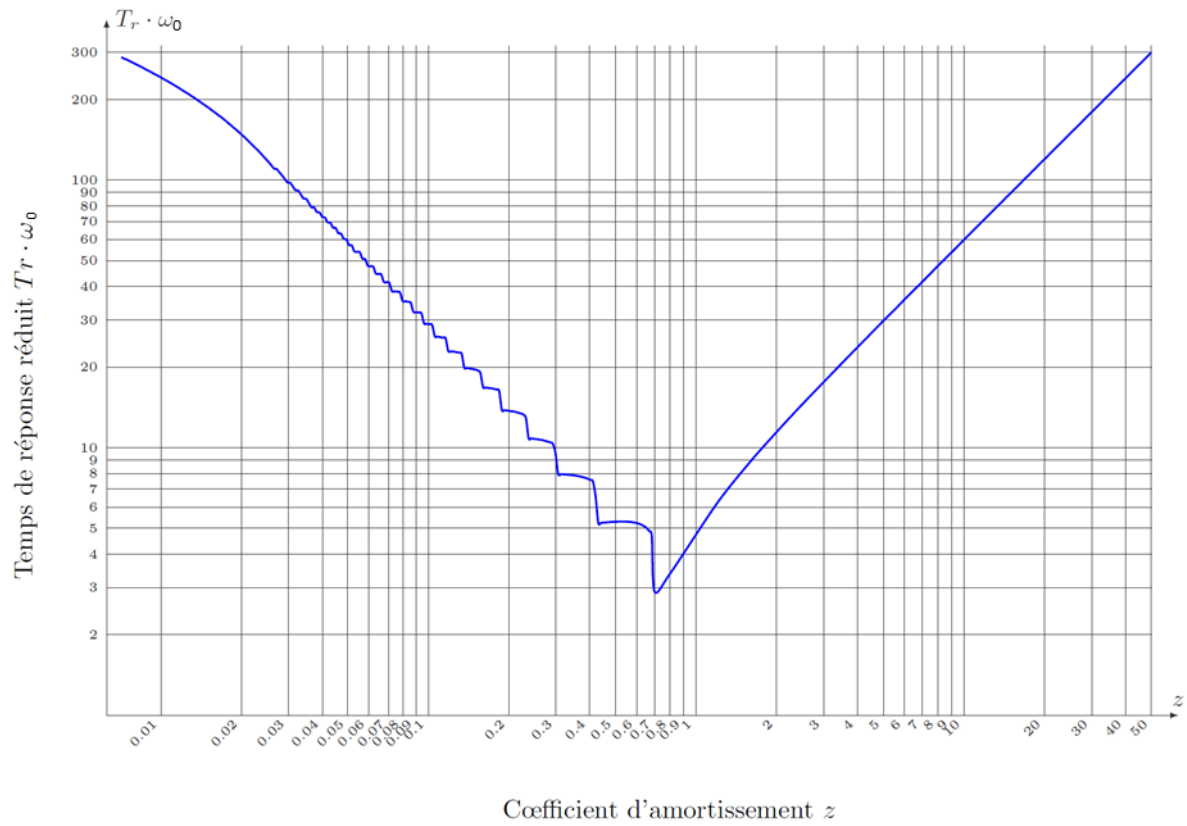


## ABAQUE DES DEPASSEMENTS





ABAQUE DU TEMPS DE REPONSE REDUIT  $t_{5\%} \cdot \omega_0$



## MODELISATION DU MOTEUR A COURANT CONTINU

### ÉQUATIONS DE FONCTIONNEMENT

Le fonctionnement d'un moteur à courant continu peut être modélisé par les équations physiques suivantes :

D'un point de vue électrique, l'induit peut être caractérisé par une résistance en série avec une inductance et une force contre-électromotrice, ce qui conduit à l'équation de maille :

$$u(t) = e(t) + R \cdot i(t) + L \cdot \frac{di(t)}{dt}$$

D'un point de vue mécanique, l'équation du rotor en rotation conduit à :

$$J \cdot \frac{d\omega_m(t)}{dt} = C_m(t) - C_r(t) - f \cdot \omega_m(t)$$

Ce type de moteur répond aux équations électromagnétiques :

$$C_m(t) = K_t \cdot i(t) \quad \text{et} \quad e(t) = K_e \cdot \omega_m(t)$$

Terme	Signification	Unité
$u(t)$	tension d'alimentation du moteur	V
$e(t)$	tension de la fem	V
$i(t)$	intensité du courant	A
$R$	résistance de l'induit	$\Omega$
$L$	inductance du bobinage	mH
$J$	inertie du rotor	kg.m <sup>2</sup>
$f$	paramètre de frottement fluide (visqueux)	N.m.s <sup>-1</sup>
$c_m(t)$	couple moteur	N.m
$c_r(t)$	couple résistant éventuel (perturbation)	N.m
$\omega(t)$	vitesse de rotation de l'arbre du moteur	rad.s <sup>-1</sup>
$K_t$	coefficient de couple	N.m.A <sup>-1</sup>
$K_e$	coefficient de vitesse	V.s.rad <sup>-1</sup>

### HYPOTHESES SIMPLIFICATRICES FREQUENTES

- Les frottements secs et visqueux sont négligés.
- L'inductance de l'induit du moteur est négligée.
- $K_t = K_e$

### REMARQUE IMPORTANTE

Dans les documents qui précisent les caractéristiques des moteurs, les constructeurs donnent  $1/K_e$  et non pas  $K_e$ . Dans ces conditions et en respectant les unités, on vérifie aisément que  $K_t = K_e$ .