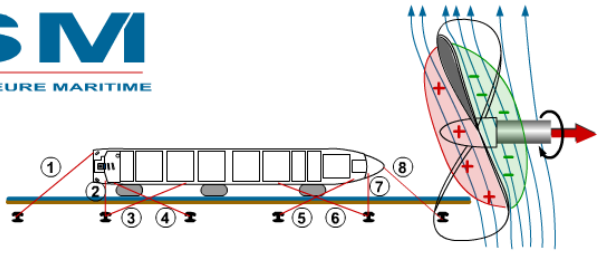
Auteur: Professeur de l'enseignement maritime H.Baudu
herve.baudu@supmaritime.fr
Version validée :
- 1.1 septembre 2016

Page 11

ENSM
ECOLE NATIONALE SUPERIEURE MARITIME




**Bibliographie:**
- Traite de manœuvre

- Principes élémentaires
- Gouvernes
- Hélices
- Apparaux de manœuvre

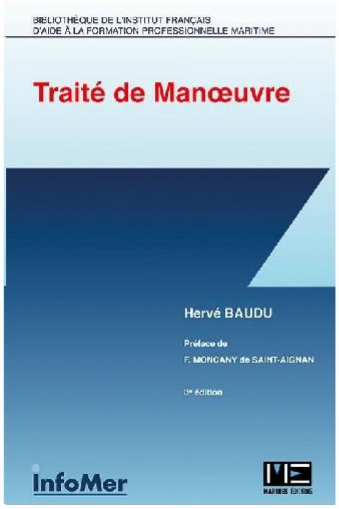
# Introduction à la manœuvre

L'auteur dégage toute responsabilité consécutive à l'utilisation incorrecte des informations et schémas des cours proposés , et ne saurait être tenu responsable ni d'éventuelles erreurs ou omissions, ni des conséquences liées à la mise en oeuvre des informations et schémas contenus dans ce cours. La diffusion de ce support est soumise à l'autorisation de l'auteur et ne doit, en aucun cas servir à des fins commerciales.

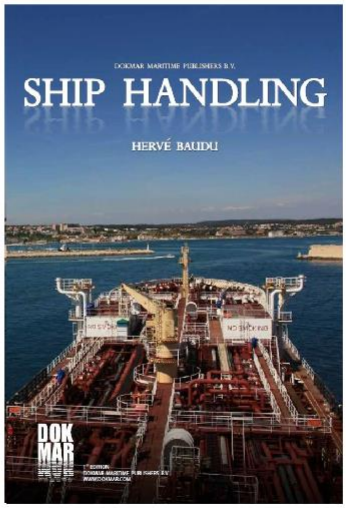
**Manœuvre**
**- Introduction**

ENSM H.Baudu

## Références




http://www.marines-editions.fr




http://www.dokmar.com

**Manœuvre**
**- Introduction**

ENSM
H.Baudu

Traité de Manœuvre
H.Baudu

Page 18

## Traité de manœuvre


- Introduction à la manœuvre

Partie 1 : Le navire

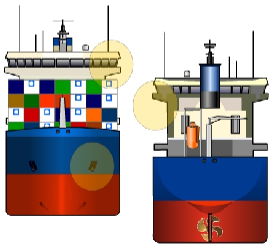
- Caractéristiques et définition du navire
- Les apparaux de manœuvre
- Le gouvernail
- L'hélice
- Les propulseurs d'étrave et d'étambot
- Les autres moyens de propulsion

Partie 2 : le navire en mouvement

- Navire en mouvement : Notions élémentaires
- Notions complémentaires sur l'hydrodynamique du navire
- Effet du vent sur les œuvres mortes
- L'influence de la houle
- La giration

Partie 3 : le navire en manœuvre

- La navigation par petits fonds
- La navigation en rivière et en chenaux
- Le mouillage en rade foraine
- Les manœuvres d'homme à la mer
- Les manœuvres d'arrêt du navire
- Remorquage
- La coopération avec les pilotes
- Pratique de manœuvres à quai
- Aide à la formation à la manœuvre: la simulation
- Réglementation

Courriel: contact@traitedemanoeuvre.fr

Quitter

http://www.traitedemanoeuvre.fr

**Manœuvre**
**- Introduction**

ENSM
H.Baudu

Page 20

Pour anticiper et maîtriser une manœuvre, il est nécessaire de connaître les forces générées par l'environnement extérieur:

- Les actions extérieures subies: la mer, le vent, le courant, le fond;
- Les actions maîtrisées par le manœuvrier: qualités intrisèques du navire (puissance, formes...), action du gouvernail, de la propulsion...

On s'attachera à développer la manœuvre dans un environnement contraignant:

- Espace réduit,
- Petits fonds,
- Vitesse peu élevée (< à 10 nœuds) dite de "manœuvre".

L'approche théorique de la "Manœuvre" atteint ses limites au moment de prendre une décision rapide et judicieuse. Il faut donc s'attacher à:

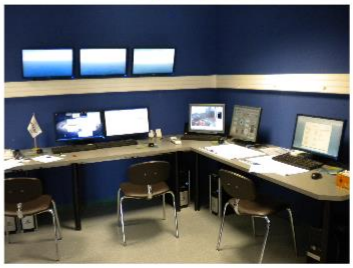
- Connaître les caractéristiques évolutives de son navire (courbe de giration, inertie, accélération...)
- Connaître les réactions du "flotteur" en fonction des forces extérieures,
- Ne pas lutter contre ces éléments mais s'en servir,
- Contraîndre éventuellement ces éléments avec des moyens auxiliaires (ancres, amarres, remorqueurs, propulseur complémentaire etc.)
- Acquérir une expérience en pratiquant et en observant.

**La Manœuvre est à la fois une science et un art!**

## Manœuvre
### - Introduction

H.Baudu

**Simulateur Manœuvre**



Poste instructeur

## Manœuvre
### - Introduction

H.Baudu

Page 20

**Préambule:**

- On se place dans le cadre de manœuvres simples sans remorqueurs.
- La "manœuvre" commence avec les phases d'approches, de chenalage et s'achève avec des manœuvres d'accostage et d'appareillage.
- Dans la progression des apprentissages pédagogiques, on cherche à illustrer isolement chaque effet, phénomènes qui se rencontrent rarement dans la réalité (effet du vent, du courant, de la propulsion etc).
- Les effets peuvent être volontairement forcés pour en mesurer l'ampleur (interactions entre navires...)
- Dans le domaine de la simulation, les réactions du navire dans une manoeuvre demeure l'interprétation d'un algorithme.

**Généralités:**

En première approche, la manœuvre consiste à maîtriser simultanément 2 facteurs:

- La direction (le cap)
- La vitesse (inertie longitudinale et en rotation)

Néanmoins, dans bien des cas, l'action sur l'un des paramètres est souvent au détriment de l'autre:

- Une allure réduite nuit à l'efficacité du gouvernail et rend l'action du vent plus influente => maîtrise de son erre mais plus d'action sur la direction,
- Une allure soutenue favorise la gouverne => maîtrise du cap d'approche mais inertie trop importante qu'il faudra réduire.

Un navire évolue au contact de 2 éléments: l'air et l'eau qui est 850 fois plus dense et 100 plus visqueuse que l'air. L'influence de l'eau sur le comportement du navire devient vite prépondérent au fur et à mesure que le navire accélère. Ces effets sont augmentés à proximité des hauts-fonds et des berges. En revanche, plus le navire ralentit, plus l'inflence du vent est grande (sauf s'il y a du courant).

## Manœuvre
### - Introduction

ENSM
H.Baudu

Page 20

**Maîtrise du cap:**

- L'inertie d'évolution (ROT) en giration
- Une vitesse minimale est nécessaire pour gouverner
- Le propulseur n'est plus très efficace au delà-de 4 noeuds
- L'effet évolutif en marche arrière pour un navire à 1 ligne d'arbre modifie le cap
- En marche arrière, la barre est inefficace, seul le propulseur est efficient.

**Maîtrise de la vitesse:**

- Un navire en deça de 5 nœuds est difficilement gouvernable avec la barre seule (autre que gouvernails spéciaux)
- La vitesse minimale d'un diesel lent en Avant Très lente est d'environ 6 nœuds
- Le lancement de cette machine en arrière n'est possible qu'avec une vitesse surface inférieure à 6 ou 7 nœuds
- La distance d'arrêt d'urgence augmente avec les petits fonds
- Le nombre de lancements alternés est limité à environ une douzaine de fois sur les machines Diesel Lent.

**Maîtrise de la giration:**

- Seul l'angle de barre fait varier efficacement le rayon de giration
- Le rayon de giration est pratiquement identique quelle que soit la vitesse d'entrée
- Une augmentation de l'allure machine en début de giration réduit le cercle de giration ("coup de fouet")
- Le rayon de giration augmente avec les petits fonds

## Manœuvre
### - Introduction

ENSM
H.Baudu

Page 20

En manœuvre, il est important de s'en tenir à quelques principes fondamentaux:

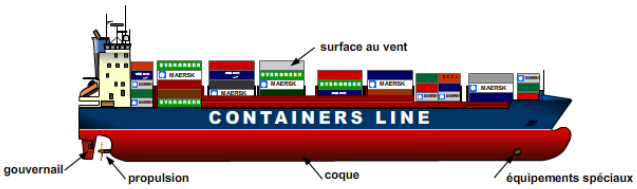
- Attendre l'effet d'une action entreprise avant d'en changer (variation trop fréquente de l'allure machine, angles de barre opposés etc.),
- N'anticiper que l'action suivante, les réactions du navire ne vont pas se faire forcément comme vous le souhaitiez, adaptez les ordres en conséquence,
- Ayez une vitesse adaptée à l'environnement (on va toujours trop vite!),
- Avoir en tête les paramètres suivants:
  - . Le "Rate of Turn"; (l'inertie de giration)
  - . La place du point pivot (lieu autour duquel le navire va tourner)
  - . La vitesse du navire (défilement des repères par le travers)
  - . La vitesse de dérive (défilement des repères sur l'avant)
  - . La position d'équilibre du navire
  - . La force des éléments extérieurs.
- L'action que vous avez sur ces paramètres:
  - . Le coup de fouet, action simultanée du gouvernail et de la machine
  - . Les capacités de la machine et du propulseur
  - . *L'utilisation de l'ancre*
  - . *L'utilisation des remorqueurs*
- La barre avec de l'erre en arrière est inéfficace voire contre-productive, elle reste à zéro.

## Manœuvre
### - principes élémentaires

ENSM
H.Baudu

Page 21

**Description du navire**




-Sa coque : longueur, largeur, tirant d'eau, assiette, coefficient de bloc (inertie), surfaces au vent (longitudinales et transversales),
-Sa propulsion : type de machine, puissance, hélice,
-Son gouvernail : type, surface,
-Ses équipements spéciaux : propulseurs transversaux, azimutaux.

## Manœuvre
### - principes élémentaires

ENSM
H.Baudu

Page 22

**Les formes du navire:**

- imposées par la nature de la marchandise transportée
- les formes rondes et renflées, favorisent les évolutions
- les formes effilées à l'avant et à l'arrière améliorent la stabilité de route.

Elles influencent:

- les capacités de giration
- l'efficience du travail du couple l'hélice / gouvernail
- la résistance à l'avancement (finesse des extrémités, bulbe)

Il en résulte un compromis entre (objectifs d'exploitation et économie d'énergie)

## Manœuvre
### - principes élémentaires

ENSM
H.Baudu

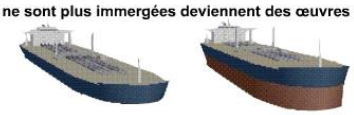
Page 23

**Ratio longueur / largeur**

- Pour une même longueur, un navire étroit aurait théoriquement un diamètre de giration plus grand qu'un navire large (5,7 pour pétrolier et 7,5 pour un PC) => optimisation de la gouverne.
- Instabilité de cap en fin de giration pour les navires larges
- Ratio actuel entre 5 et 7.

**Tirant d'eau**

- Surface verticale s'opposant à la dérive.
- Toutes les parties de la carène qui ne sont plus immergées deviennent des œuvres mortes



- Le navire lège avec un tirant d'eau faible a une évolution rapide, est sensible au vent et casse son erre facilement.
- Le navire chargé avec un tirant d'eau maximum possède une plus grande inertie d'évolution et une dérive moins importante
- Variation d'assiette (négative ou positive) modifie le comportement du navire en giration
- Hauteur d'eau disponible sous la quille (P /T.E < 1,5 ; phénomène de surenfoncement - squat).

## Manœuvre
### - principes élémentaires

ENSM
H.Baudu

Page 23

**Inertie du navire - rapport Déplacement / Puissance**

Plus le ratio déplacement sur puissance motrice (D/P) est élevé, plus le navire est difficile à manœuvrer:

- 10 Tonnes/Ch pour un gros pétrolier
- 1,5 Tonne/Ch our un grand porte-conteneurs
- 1 Tonne/Ch pour un paquebot.

**La notion d'inertie se traduit par**

- une inertie d'évolution (efficacité de la gouverne, cercle de giration)
- une inertie de vitesse (faculté de monter ou descendre en allure, arrêt d'urgence)

## Manœuvre
### - principes élémentaires

ENSM
H.Baudu

Page 26

**Différents types de propulsion**

Ensemble propulsif. L'hélice est le système le plus communément utilisé (> 20 000T).
Elle crée une force propulsive d'environ une tonne pour 100 Ch de puissance de la machine (0,6 tonne pour 100 Ch en marche arrière).
La force transversale du safran incliné représente 30% à 50% de la poussée de l'hélice.

- Moteur diesel lent / hélice à pales fixes:
  . Le meilleur rendement global de propulsion.
  . La vitesse minimale en marche avant « Très Lente » est élevée (6 à 7 nœuds). Le lancement en marche arrière difficile au-dessus de 7 nœuds (entraînement en avant de l'hélice par sillage).
  .Le nombre de lancements consécutifs limité à une douzaine de fois (capacités de réserve d'air comprimé nécessaire au lancement).
  .La commande d'injection électronique permet de réduire la vitesse minimale de rotation (vitesse avant « Très Lente » plus basse).

## Manœuvre
### - principes élémentaires

ENSM
H.Baudu

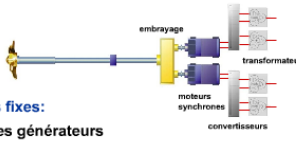
Page 27

- Moteur diesel semi-rapide / embrayage / réducteur / hélice à pales orientables:
  . La renverse de marche est assurée par l'inversion de pas de l'hélice
  . Meilleure souplesse d'utilisation
  . Marche arrière fiable
  . Avec deux lignes d'arbre et de deux safrans sont parmi les plus manœuvrant
  . Rendement propulsif est souvent inférieur, en particulier en marche arrière

- Moteur diesel semi-rapide (ou rapide) / réducteur / inverseur / hélice à pales fixes:
  . Réservé aux navires < à 5 000T
  . Renversements de marche sont rapides et illimités en manœuvre
  . Vitesse minimale en avant « Très lente » est souvent élevée.

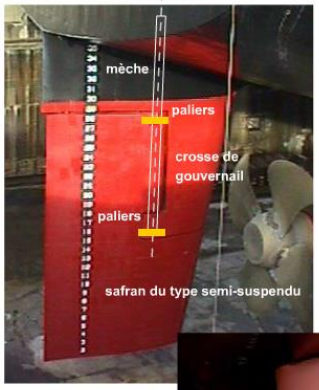
- Moteur diesel rapide (ou semi-rapide) / réducteur / propulseur orientable:
  . Un moteur diesel s'oriente sur 360° pour fournir une puissance équivalente quelle que soit l'orientation de l'hélice (remorqueur, Supply DP)

- *Chaudière à vapeur / groupe turbo réducteur / hélice à pales fixes:*
  *. Production de grandes puissances (200 000 Ch)*
  *. Rendement propulsif global médiocre*

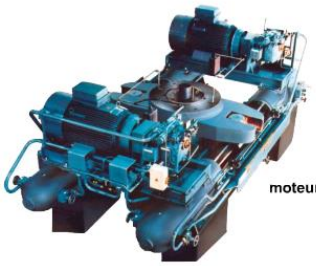



- Moteur diesel / alternateur / variateur de fréquence / moteur synchrone / hélice à pales fixes:
  . Très bon rendement propulsif grâce notamment à l'optimisation de l'utilisation des générateurs
  . Très souple, le renversement d'allure étant illimité
  . Montée en allure progressive, bonne gouverne à faible vitesse
  . En Pod, très performant en manœuvre.

## Manœuvre
### - Gouvernes



Safran suspendu



moteurs de barre

Le gouvernail permet au navire:
- de maintenir le cap demandé
- d'évoluer franchement

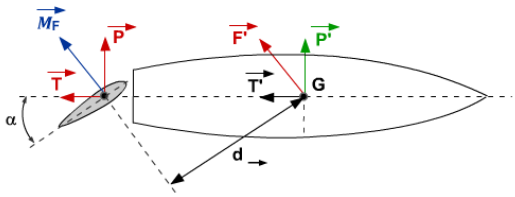
Les efforts sur le gouvernail sont très importants.
Un safran est défini par sa surface, son profil et son allongement.

Le système de gouvernail passif est composé:
- d'un safran: plan mince et profilé,
- d'une mèche: arbre de rotation,
- de paliers: supportent l'ensemble mèche / safran,
- d'un appareil à gouverner: mécanisme hydraulique et électrique de manoeuvre du safran,
- d'une commande: chaîne de transmission des informations demandées; barre / télécommande / moteurs de barre.

Page 49

## Manœuvre
### - Gouvernes

### Le gouvernail passif




Moment évolutif $\vec{M}_{F/G} = \vec{F} \times d$

$\vec{P}$ Portance
$\vec{T}$ Traînée

Pour un safran conventionnel la valeur maximale théorique de ce moment est atteinte pour un angle de 36° d'où limite d'angle de barre à 35°.

Page 49

## Manœuvre
### - Gouvernes

**Formule de Joessel:**

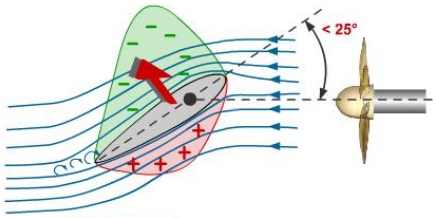
$$F = \frac{(k.S.V^2.\sin i)}{(0,2+0,3.\sin i)}$$

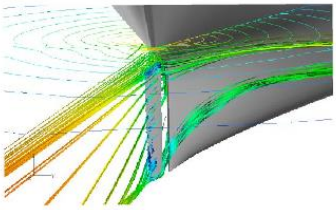
avec S = surface en m²,
V= vitesse en m/s,
k = coefficient dont la valeur dans l'eau de mer est 41,35.

ENSM H.Baudu

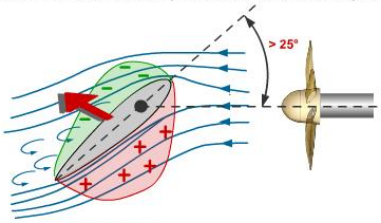
Page 53

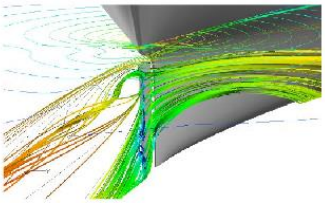
### Portance et traînée



A une incidence < à 25°, l'écoulement filets d'eau est laminaire et la portance est optimale. La zone de pression contribue pour un tiers à la force de portance et la zone de dépression pour les deux autres tiers.



A une incidence > à 25°, l'écoulement filets d'eau devient turbulent, la zone de dépression diminue et la portance chute. C'est l'angle de décrochage. La traînée engendrée par le décrochage des filets d'eau nuit à l'efficacité du gouvernail.
Pour les allures de manoeuvre, il est recherché des profils de safran qui aient une portance maximum.

## Manœuvre
### - Gouvernes

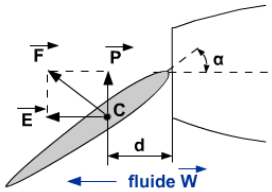
ENSM H.Baudu

Page 53

### Plan mince et Moments

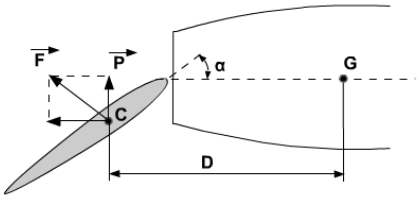
Le safran assimilé à un plan mince incliné d'un angle i par rapport à l'écoulement de l'eau subit en C, une poussée $\vec{F}$ qui se décompose en:

- $\vec{P}$: une force de portance
- $\vec{T}$: une force de trainée.




La portance $\vec{P}$ exercée sur le safran tend à:

- le ramener dans l'axe, $\vec{M}_P$ = P x d: moment de redressement, effort supporté par l'appareil à gouverner dont la valeur de i est ainsi limitée à 35°,
- faire évoluer la navire, $\vec{M}_{PG}$ = P x D: moment d'évolution.



## Manœuvre
### - Gouvernes

H.Baudu

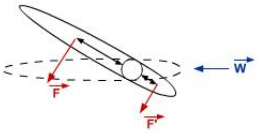
Page 57

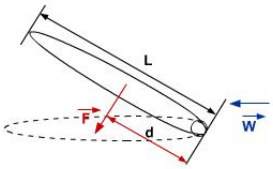
### Moment de redressement

Le moment de redressement est la valeur du couple à vaincre pour que le safran puisse conserver l'angle donné.
De façon à diminuer des efforts trop importants sur la mèche, le bras de levier d est diminué en:

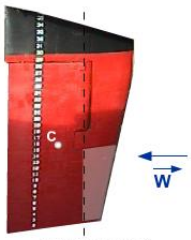
- décalant la mèche du bord d'attaque
- compensant le safran (20 à 30% de la surface en avant de la mèche)

Le moment de redressement devient: $\vec{F} \times (d - d')$.

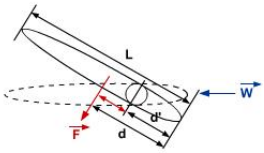



Safran non compensé




En marche avant




Safran compensé

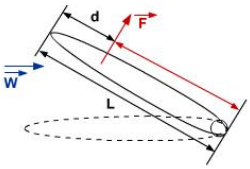
Il faut éviter que la surface compensée soit trop importante car en cas d'avarie, le safran resterait en "drapeau" perpendiculaire à la route.

## Manœuvre
### - Gouvernes

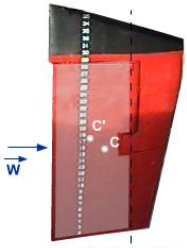
H.Baudu

Page 58

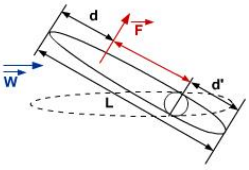
En marche arrière, C se déplace en C': pour une vitesse identique à celle en marche avant, le moment de redressement double.
=> limitation de l'angle de barre en AR.




Safran non compensé




En marche arrière




Safran compensé

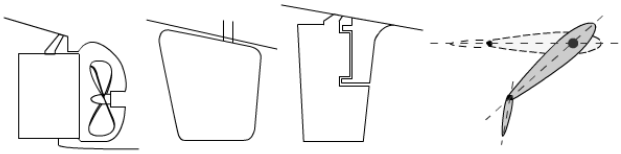
le rapport de compensation varie entre 0,2 et 0,3 afin que la résultante des pressions F reste appliquée sur l'arrière de l'axe de la mèche.

**Manœuvre**
**- Gouvernes**

ENSM
H.Baudu

Page 56

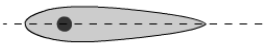
## Les profils de safran



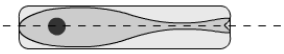
Safran simple | Safran suspendu | Safran semi-suspendu | Safran à aileron

Il existe deux familles de profils de safran:

- les profils convexes qui répondent aux normes NACA et HVSA.



- les profils concaves dit Schilling, norme IFS.



Afin d'augmenter la portance et l'angle de décrochage, de réduire le cercle de giration, de diminuer la traînée, des dispositifs permettent d'améliorer l'efficacité du safran en manœuvre. Il s'agit des:

- safrans à aileron dit Becker, "flap" articulé à l'extrémité du bord d'attaque, tuyère Kort,
- safrans profilés dit Schilling,
- safrans Vectwin schilling,
- safrans à rotor,
- gouvernes à lame Humpfree

**Manœuvre**
**- Gouvernes**

- Le gouvernail Becker

ENSM
H.Baudu

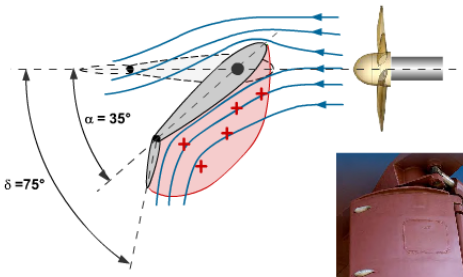
Page 59

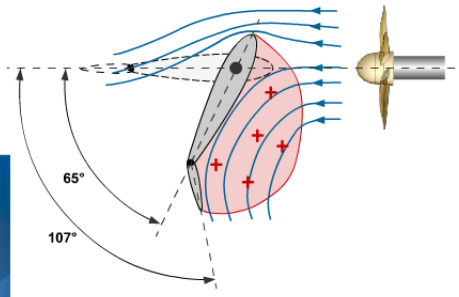
## Le gouvernail à aileron

Les safrans à ailerons Becker permettent:

- de réduire la traînée,
- d'augmenter la zone de pression, la zone de dépression reste inchangée,
- d'obtenir la même efficacité qu'un propulseur d'étambot à faible allure,

Le mécanisme d'articulation de l'aileron est mécanique et non débrayable. Leurs utilisations conviennent bien aux navires rapides et à ceux qui manœuvrent souvent. Utilisés aux angles extrêmes, ils peuvent générer une erre en avant ou en arrière.






Angles d'incidence maximum du safran et de l'aileron en dessous de 4 nœuds.

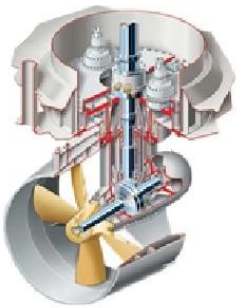
## Manœuvre
### - Gouvernes

ENSM
H.Baudu

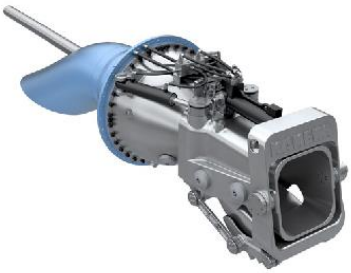
Page 69

### Gouvernail actif à hélice

Le gouvernail actif est un dispositif qui sert à la fois de propulsion et de direction. Une hélice est entraînée par un moteur diesel ou électrique. Cette hélice carénée s'oriente sur 360°, il n'est donc pas nécessaire d'avoir de safrans. Ce gouvernail actif peut être associé à une propulsion principale classique pour les transits et devient propulsion auxiliaire à des vitesses plus faibles. En raison de leur souplesse d'emploi, on retrouve ce type de configuration sur les supplies et les navires à positionnement dynamique.



### Gouvernail actif par hydrojet



Le changement de direction est obtenu par une déflexion du jet d'eau en sortie de tuyère qui peut varier de 30° de part et d'autre de la trajectoire de sortie. Le navire part en marche arrière en abaissant le « pelle » devant le jet d'eau. Les filets d'eau sont alors déviés sur l'avant.