

# EPREUVE DE TIPE- PARTIE D

TITRE: La propulsion électrique de secours

Temps de préparation : 2 h 15

Temps de présentation devant le jury : 10 minutes

Entretien avec le jury : 10 minutes

## **GUIDE POUR LE CANDIDAT :**

Le dossier ci-joint comporte :21 pages

### **Travail suggéré au candidat:**

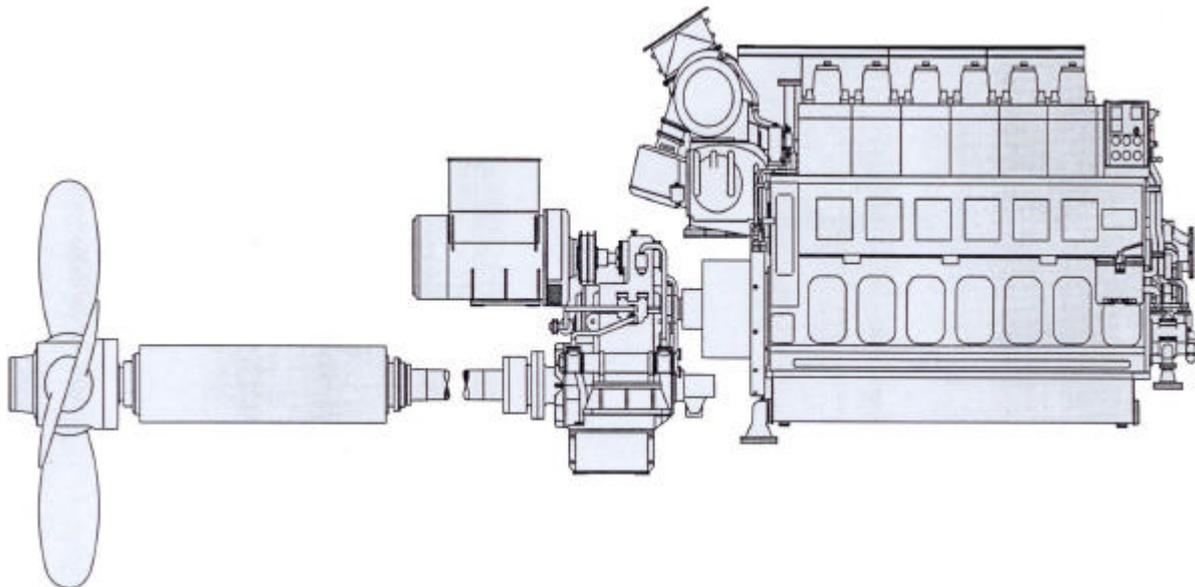
A partir de l'étude du dossier, vous pourrez par exemple :

- Décrire le principe de fonctionnement du système.
- Proposer une évaluation de la fiabilité des différentes fonctions du système pour en dégager ses avantages et ses inconvénients.

### **CONSEILS GENERAUX POUR LA PREPARATION DE L'EPREUVE :**

- Lisez le dossier en entier dans un temps raisonnable
- Réservez du temps pour préparer l'exposé devant le jury.
  - Vous pouvez écrire sur le présent dossier, le surligner, le découper ... mais tout sera à remettre au jury en fin d'oral.
  - En fin de préparation, rassemblez et ordonnez soigneusement TOUS les documents (transparents, etc.) dont vous comptez vous servir pendant l'oral, ainsi que le dossier, les transparents et les brouillons utilisés pendant la préparation. En entrant dans la salle d'oral, vous devez être prêts à débiter votre exposé.
  - A la fin de l'oral, vous devez remettre au jury le présent dossier, les transparents et les brouillons utilisés pour cette partie de l'oral, ainsi que TOUS les transparents et autres documents présentés pendant votre prestation.

# LA PROPULSION ELECTRIQUE DE SECOURS



# La propulsion électrique de secours

---

## INTRODUCTION

La Marine Marchande dans son ensemble et les armateurs de pétroliers en particulier souhaitent une optimisation de la fiabilité et de la sécurité des navires.

La propulsion doit en effet correspondre au premier critère de fiabilité et de sécurité d'un navire, et c'est dans ce but que les armateurs s'attachent actuellement à rendre plus sûr et plus sécurisé le système propulsif de leurs navires.

La tendance actuelle est à la redondance des systèmes ; deux moteurs principaux, deux lignes d'arbre, deux gouvernails et deux hélices pour le système de base, l'idéal étant de disposer ces arrangements dans deux compartiments Machine complètement séparés, indépendants et autonomes.

Mon mémoire ne traitera pas de cette redondance mais d'un système auxiliaire de propulsion choisi par quelques armateurs précurseurs : **la Propulsion Electrique de Secours.**

La propulsion électrique de secours a pour but de permettre à un navire de rallier un port, à vitesse réduite, dans le cas d'une avarie sur le moteur diesel de propulsion principale.

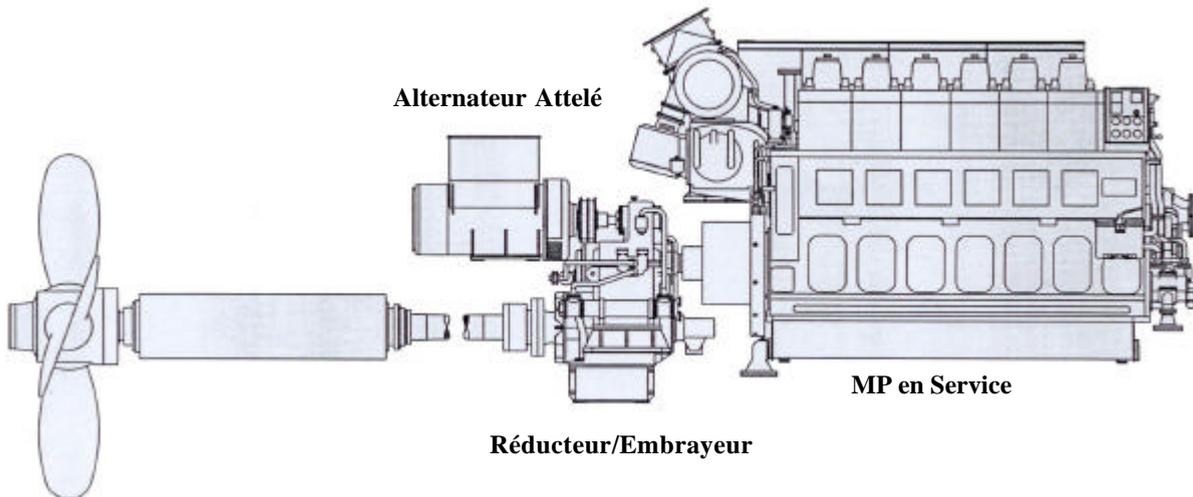
Ce moteur électrique de secours a également l'avantage de permettre la maintenance programmée du moteur principal en mer ou au port, selon la notation de la société de classification du navire, sans pour cela stopper l'exploitation de ce dernier.

Dans la première partie de ce mémoire, je vais tout d'abord présenter le principe d'un tel système puis les spécifications techniques et enfin la réglementation qui en découle. Ensuite, je m'attacherai à présenter les différentes applications et avantages de ce système.

# 1. LE PRINCIPE

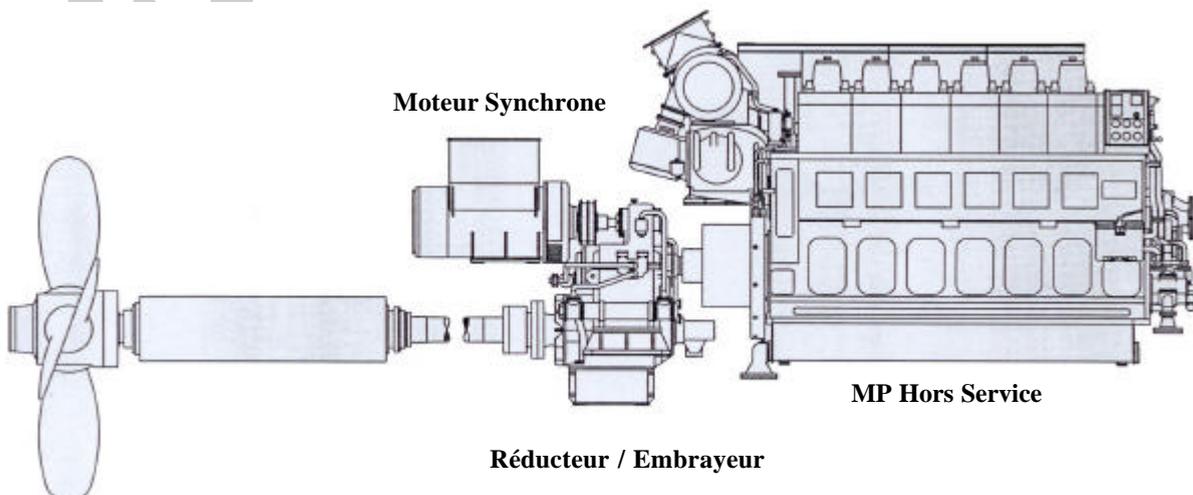
## 1.1 Mode de propulsion normale

En exploitation normale, la propulsion est assurée par une hélice fixe ou à pas variable, un réducteur et un moteur diesel semi rapide ou lent de propulsion. Attelé au moteur principal, on trouve un alternateur qui permet de fournir l'énergie nécessaire au bord lorsque le navire est à la mer.



## 1.2 Mode de propulsion de secours

En propulsion de secours, la propulsion est assurée par la machine synchrone qui tourne alors en moteur. Le moteur électrique est alors alimenté par les générateurs auxiliaires. Il transmet alors sa puissance mécanique à l'hélice via le réducteur / embrayeur. Le moteur diesel est alors désaccouplé et il n'y a plus aucune liaison mécanique entre le moteur principal et la ligne d'arbre porte hélice.



## **2. LES SPECIFICATIONS TECHNIQUES**

Comme nous allons le voir dans ce chapitre, les constructeurs proposent des solutions, parfois différentes, aux différents problèmes posés.

### **2.1 Alternateur Attelé et Moteur Synchrone**

La machine synchrone utilisée est une machine réversible. Elle est en effet capable d'absorber de l'énergie mécanique et de fournir alors de l'énergie électrique, elle est appelée « Alternateur Attelé ». A l'inverse, elle est capable d'absorber de l'énergie électrique et de fournir de l'énergie mécanique, elle est dans ce cas appelée « Moteur Electrique ».

#### **2.1.1 Alternateur Attelé**

Un alternateur est une machine tournante qui transforme l'énergie mécanique fournie par un moteur d'entraînement en énergie électrique disponible sous forme de courant alternatif.

La puissance disponible est généralement suffisante pour subvenir aux besoins du bord en navigation normale.

Au port, lorsque le navire a une très grosse demande électrique, l'arbre d'hélice peut être débrayé et l'alternateur attelé peut fournir une puissance électrique supplémentaire. La solution idéale étant que l'alternateur attelé puisse être couplé aux autres générateurs (ce qui n'est pas le cas de tous les navires).

#### **2.1.2 Moteur Synchrone**

Comme nous allons le voir lors du chapitre consacré à la réglementation, le moteur synchrone devra fournir une puissance mécanique suffisante pour permettre au navire d'atteindre une vitesse minimale de 7 nœuds. Cette vitesse minimale permettra, d'un point de vue réglementaire, de considérer le moteur électrique comme moyen de propulsion autonome et donc comme système de propulsion de secours.

### **2.2 Réducteur, Embrayeur, Accouplement**

A la sortie du moteur principal, plusieurs cas sont à étudier, suivant que le moteur utilisé soit un moteur semi rapide (600 t/mn) ou lent (120 t/mn).

Dans tous les cas, une prise de force [PTI (*Power Take In*) / PTO (*Power Take Off*)] débrayable, devra être envisagée pour l'utilisation de la machine synchrone en alternateur ou en moteur. D'autre part, le moteur principal devra être débrayable pour pouvoir utiliser le moteur électrique de secours sans entraîner la masse inerte du moteur principal et sans causer d'avaries supplémentaires à ce dernier.

### 2.2.1 Moteur lent

Nous savons que la vitesse de rotation de la machine synchrone est fonction de la fréquence statorique (fréquence du réseau, 50 Hz ou 60 Hz) et du nombre de paires de pôles.

La vitesse du moteur principal correspond à la vitesse de l'hélice. Pour pouvoir utiliser l'alternateur, deux solutions sont envisageables :

- on augmente la vitesse de l'alternateur à l'aide d'un engrenage multiplicateur de vitesse.
- on augmente le nombre de paires de pôles de l'alternateur (solution plus coûteuse et donc moins retenue).

### 2.2.2 Moteur semi rapide

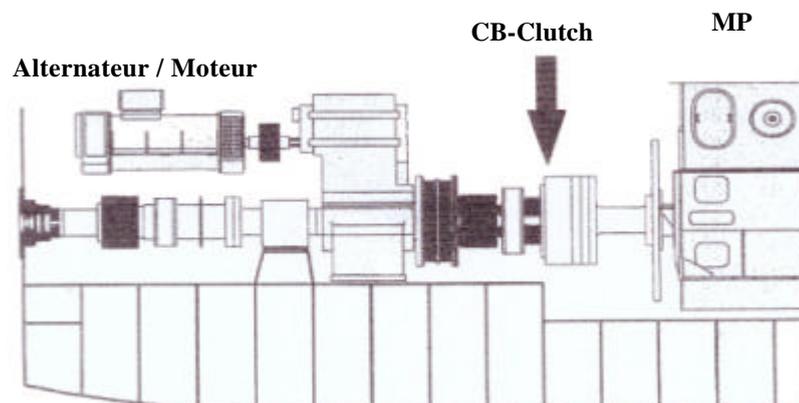
La vitesse du moteur principal étant supérieure à la vitesse de l'hélice, un réducteur sera installé entre les deux. Le réducteur permettra de disposer d'une prise de force multiplicatrice pour la machine synchrone.

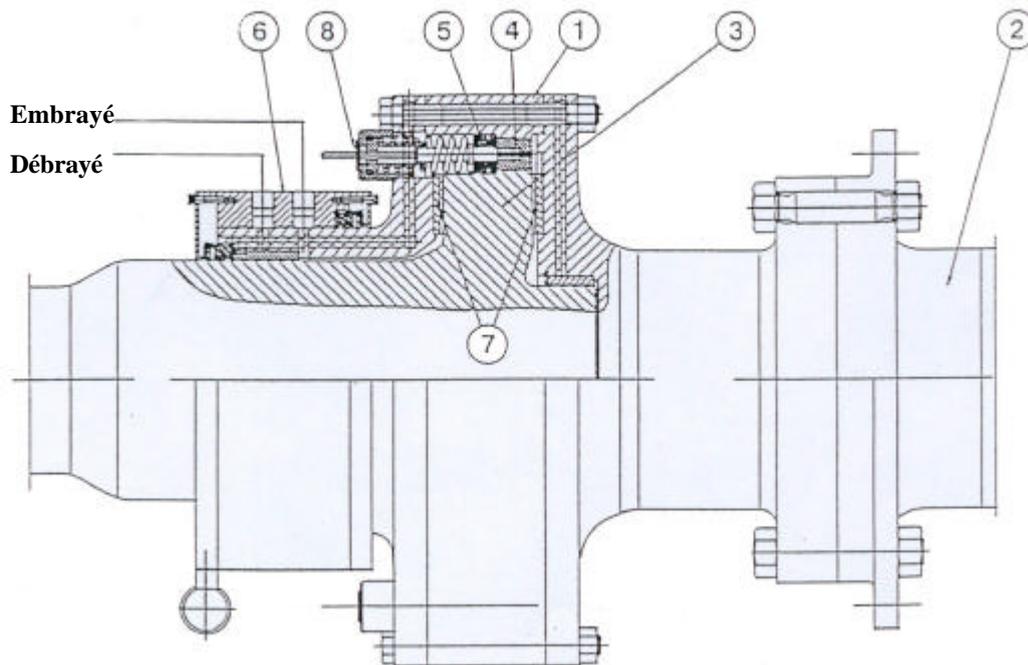
### 2.2.3 Embrayage du Moteur principal

Cet embrayage parfois intégré au réducteur pour les moteurs semi-rapides, va permettre de débrayer le moteur principal de l'arbre porte-hélice lorsque le moteur principal est en avarie et que l'on souhaite utiliser la propulsion de secours.

Moteur lent Deux Temps :

Le CB-Clutch de MAN-B&W :





L'embrayeur est constitué d'une partie externe (1) solidaire de l'arbre manivelle (2) et d'une partie interne (3) solidaire de l'arbre porte-hélice. Les parties internes et externes peuvent être embrayés/débrayés à l'aide de boulons coniques (4), disposés radialement, solidaires de pistons actionnés par un système hydraulique. Les pistons peuvent se déplacer longitudinalement à l'aide d'une pression d'huile contrôlée via le distributeur d'huile (6).

#### Mode Normal : Embrayé

Le couple moteur sera transmis par la partie externe via les boulons coniques à la partie interne et donc à l'hélice. La poussée de l'hélice sera transmise au palier de butée (7) intégré dans le CB-Clutch.

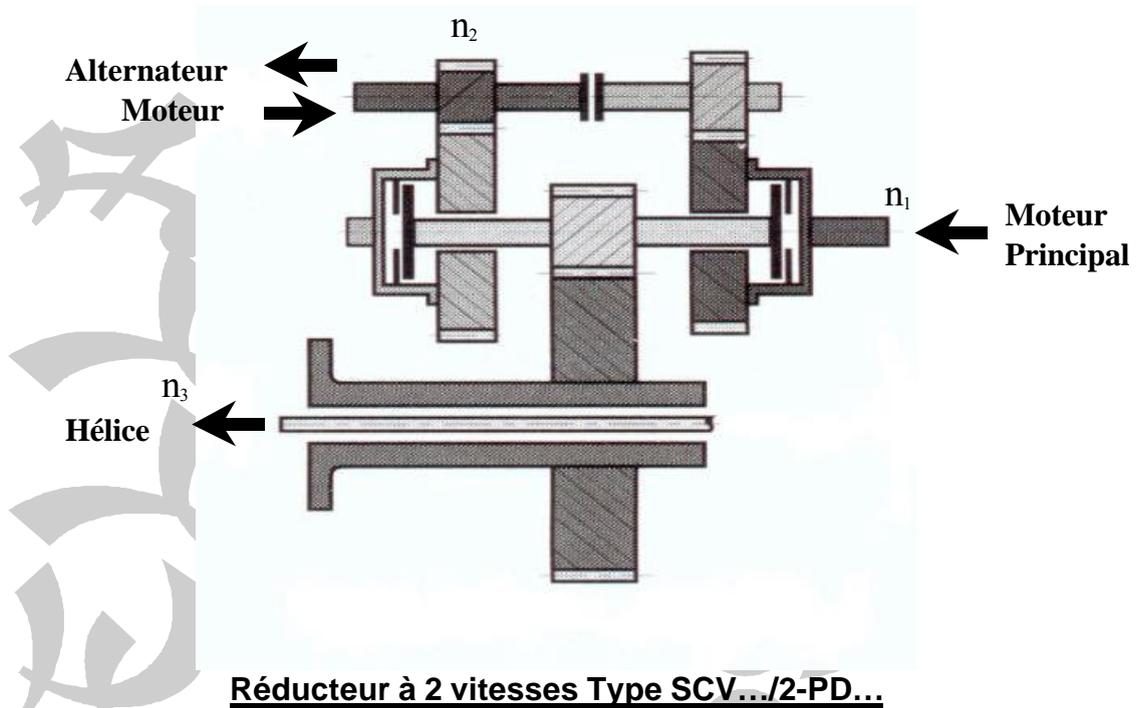
#### Mode Propulsion de Secours : Débrayé

La pression d'huile de débrayage pousse les pistons vers l'arrière (vers la gauche sur le dessin). Dans le cas d'une avarie sur le système hydraulique, un système mécanique de maintien (non illustré sur le dessin) permettra de garder les boulons coniques dans cette position.

### 2.2.4 Réducteur à deux vitesses

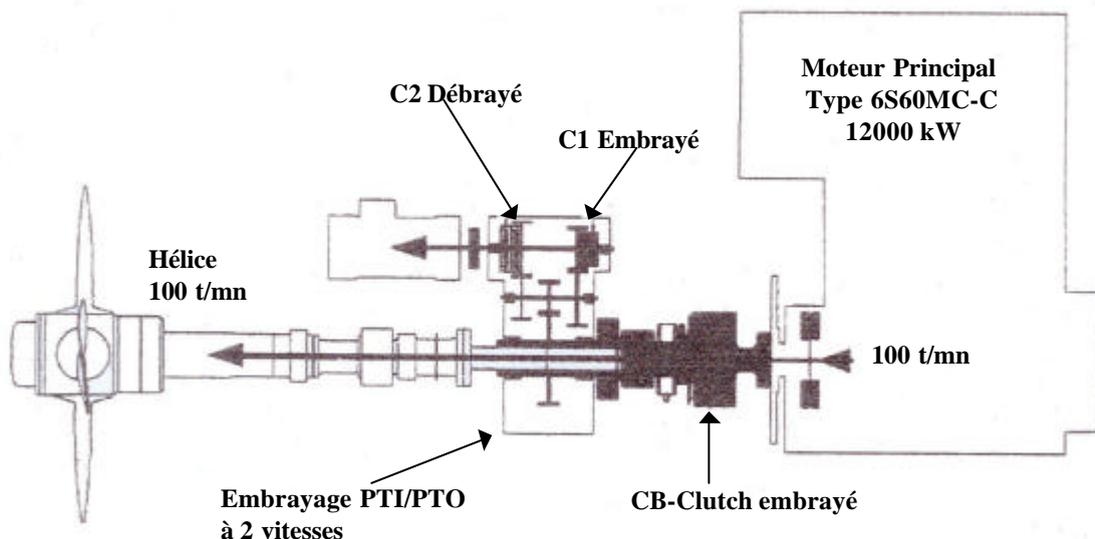
Lorsque l'armateur décide, lors de la construction d'un navire, d'installer un système de propulsion électrique de secours le choix de l'installation d'un réducteur à deux vitesses est très important. En effet, le navire devra atteindre une vitesse de 7 nœuds et l'utilisation de ce réducteur devra permettre d'utiliser l'hélice à son efficacité maximale.

Les caractéristiques de l'hélice (qui ont été calculées pour la propulsion normale au « design draft ») ne pouvant être changées, il faudra adapter la vitesse de rotation de l'hélice à la puissance que le moteur est capable de fournir pour atteindre la vitesse de 7 nœds.

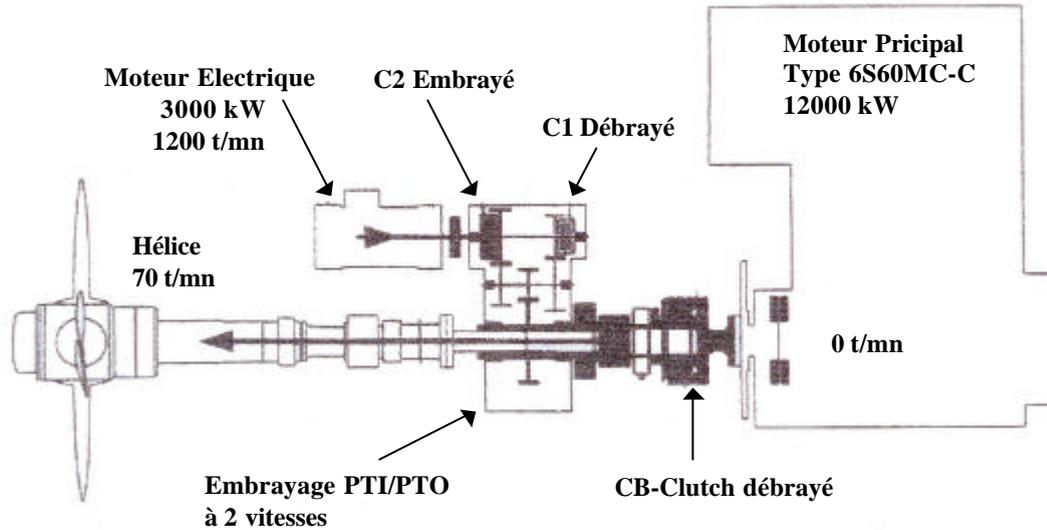


**Exemple d'utilisation d'un engrenage à 2 vitesses**

*Mode Normal d'utilisation : Power Take Off Mode*



### Mode Propulsion de Secours : Power Take In Mode



### **2.3 Hélice à Pales Fixes et Hélice à Pas Variable**

Il est d'usage d'associer les hélices à pales fixes aux moteurs lents et les hélices à pas variable aux moteurs semi rapides.

Sur les gros moteurs lents, les hélices fixes sont calculées par le constructeur pour avoir un très bon rendement sur le « design draft » qui est le tirant d'eau le plus proche des conditions d'exploitation du navire en charge et sur ballast.

Les moteurs lents sont généralement prévus pour fonctionner en allure de manœuvre jusqu'en avant très lente (la turbo étant souvent remplacée par des soufflantes électriques délivrant l'air de suralimentation indépendamment de la vitesse du moteur).

Ces conditions permettent d'éviter une hélice à pas variable qui peut être une source d'avarie sur des grosses puissances qui, dans tous les cas aurait un moins bon rendement qu'une hélice à pales fixes.

Il faut malgré tout observer, dans le cas qui nous intéresse, que l'alternateur attelé sera principalement utilisé en route libre, lorsque le moteur principal aura atteint sa vitesse nominale.

A l'inverse, les hélices à pas variable présentent de gros avantages pour les moteurs semi rapides : le moteur pourra rester à vitesse constante, la vitesse du navire, y compris en manœuvre, variera en fonction du pas d'hélice choisi par le Commandant. La charge du moteur pourra être optimisée en faisant varier le pas suivant que le navire est chargé ou sur ballast et suivant les éléments extérieurs (conditions météo).

Par contre, le rendement de l'hélice sera moins bon (d'environ 2%) qu'une hélice à pales fixes judicieusement calculée et particulièrement lorsque l'on s'écarte du pas optimal et notamment en vitesse réduite (intérêt du réducteur à deux vitesses pour la propulsion de secours).

## **2.4 Utilisation de la machine synchrone**

Les systèmes utilisés pour faire fonctionner la machine synchrone seront différents suivant que l'on utilise une hélice à pas variable ou une hélice à pales fixes.

### **2.4.1 En alternateur attelé**

#### **Problème de la variation de vitesse du moteur principal**

##### **Hélice à pales fixes**

#### **Utilisation d'un convertisseur statique de fréquence : L'oduteur autosynchrone**

Pour une plus grande plage d'utilisation, on peut envisager d'installer un alternateur asservi à un convertisseur statique de fréquence. Dans ce cas, la plage d'utilisation pourra être comprise entre 70 et 100 % de la vitesse nominale du moteur, ce qui correspond à une variation de puissance de 30 à 100 % selon la loi de l'hélice.

Jusqu'à atteindre un régime de rotation correspondant à 70% de la vitesse nominale, l'autonomie électrique du navire est assurée par les groupes auxiliaires ; au delà de cette vitesse, l'alternateur attelé peut fournir la puissance électrique du bord. De 70% à 100% du régime de rotation nominal, l'énergie fournie par l'alternateur à fréquence variable est convertie en énergie à fréquence constante à travers le pont Machine PM qui fonctionne en redresseur et qui alimente en courant continu le pont Réseau PR ; ce deuxième pont le convertit en courant alternatif à tension et fréquence constantes utilisables par le réseau.

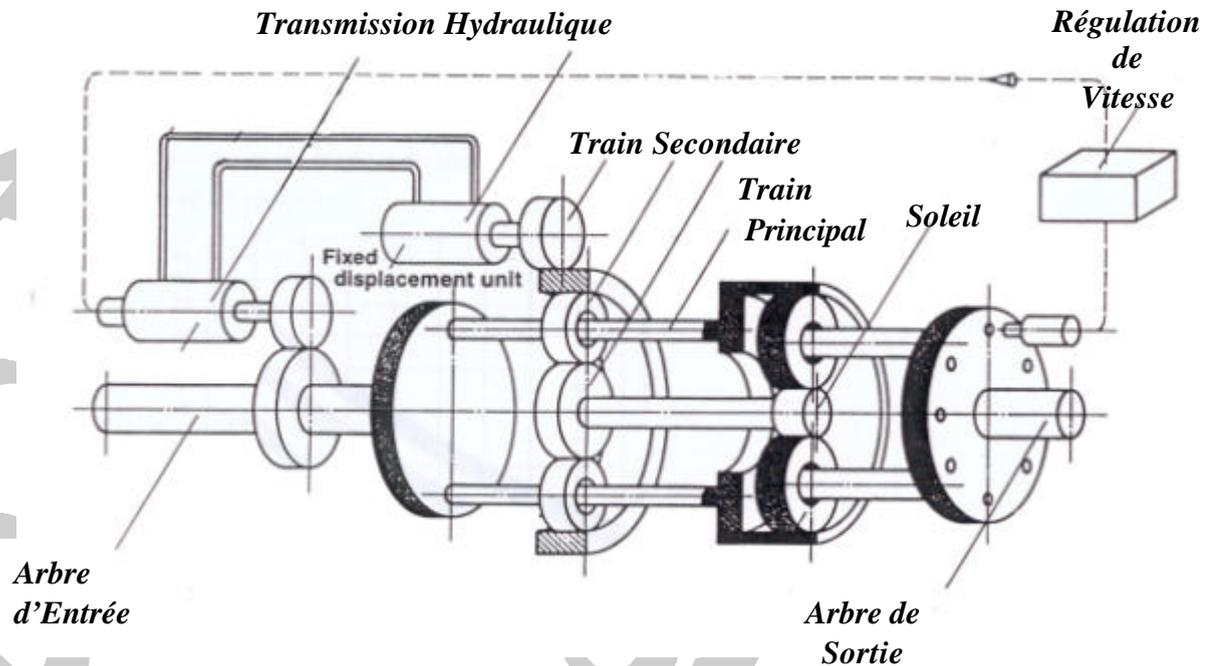
Le problème de ce dispositif est qu'il ne délivre pas de puissance réactive au réseau. En effet, seule la puissance active ne passe par la boucle de courant continu reliant les deux convertisseurs. Dès lors, on doit fournir de la puissance réactive au réseau et l'on utilise l'alternateur d'un groupe auxiliaire en compensateur synchrone.

D'autre part, si la vitesse de l'alternateur attelé tombe en dessous de 70% de la vitesse nominale, le groupe auxiliaire est automatiquement relancé, embrayé sur l'alternateur qui fonctionnait en compensateur synchrone.

#### **Utilisation d'un réducteur épicycloïdal : Le système CON-SPEED**

On peut également envisager sur un alternateur à vitesse fixe d'augmenter la plage d'utilisation par le biais d'une transmission hydrostatique associée à un réducteur épicycloïdal qui maintiendra une

vitesse constante à l'entrée de l'alternateur pour une variation de la vitesse de rotation du moteur entre 75 et 104 % de sa vitesse nominale. Cette solution a été développée par SULZER sous le nom de Con-speed.



Dans ce système, la plus grande partie du couple est transmise par l'intermédiaire du train principal et il faut considérer le soleil comme apparemment fixe. La couronne du train secondaire est commandée par un moteur hydraulique lui-même commandé par le régulateur de vitesse. La rotation de cette couronne permet d'entraîner le soleil du train secondaire puis celui du train principal. C'est la rotation du soleil du train primaire qui modifiera la vitesse du porte-satellites du train primaire et donc de l'alternateur.

#### Hélice à pas variable

Dans ce cas, le régime du moteur principal étant constant, le problème ne se pose pas et l'alternateur attelé pourra rester en service à tout moment, y compris en manœuvre.

#### 2.4.2 En moteur électrique de secours

##### A) Problème du démarrage

Pour faire démarrer un moteur synchrone, il n'est pas possible de connecter directement son stator sur le réseau alors que le rotor est immobile.

Le champ statorique, tournant à  $N_s$  produirait sur le rotor un couple s'exerçant tantôt dans un sens, tantôt dans l'autre, c'est-à-dire de valeur moyenne nulle. Le rotor ne se mettrait pas à tourner.

Dans cette application, il faut au surplus produire un couple important au démarrage pour entraîner (à vide) l'arbre porte hélice et l'hélice.

Pour réussir le démarrage trois systèmes sont utilisés:

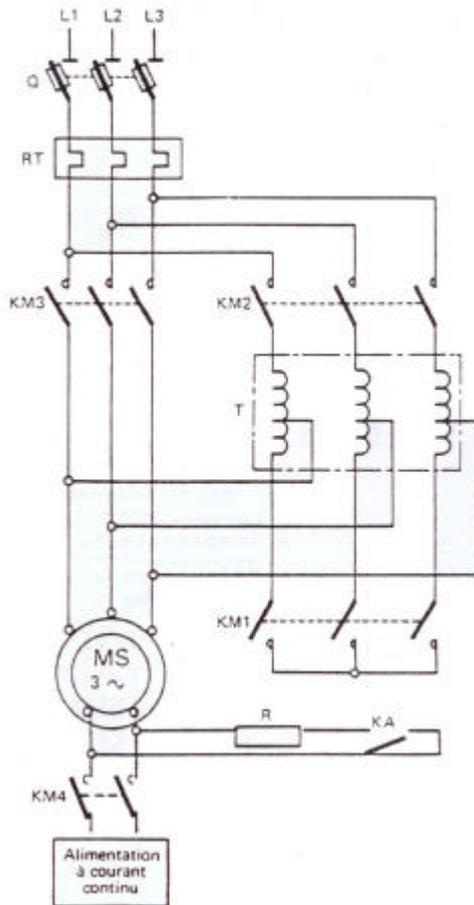
#### Utilisation d'un lanceur : le Pony Motor

Ce système de démarrage nécessite une machine d'entraînement supplémentaire. Grâce à cette machine, on entraîne le moteur à une vitesse proche du synchronisme et on couple comme un alternateur. Puis, on débraye la machine d'entraînement et on charge le moteur.

#### Hélice à pas variable

#### Démarrage du moteur en asynchrone par auto-transformateur

On court-circuite l'inducteur sur lui-même et on applique un système de tensions réduites sur le stator. Le champ statorique obtenu induit des courants dans l'inducteur et il en résulte un couple sur le rotor, l'entraînant dans le sens du champ. Lorsque la vitesse de rotation  $N$  est voisine de  $N_s$ , on fait passer le courant  $i$  dans l'inducteur. Le rotor s'accroche alors au champ tournant et l'on a désormais  $N = N_s$ .



**1<sup>er</sup> Temps** : KM<sub>1</sub>, KM<sub>2</sub> sont fermés  
 KM<sub>3</sub> est ouvert  
 KM<sub>4</sub> est ouvert

L'autotransformateur est branché en étoile et alimente le moteur sous tension réduite.

**2<sup>ème</sup> Temps** : KM<sub>1</sub>, KM<sub>3</sub> sont ouverts  
 KM<sub>2</sub> est fermé  
 KM<sub>4</sub> est ouvert

Les enroulements de l'autotransformateur deviennent des inductances qui abaissent la tension d'alimentation.

**3<sup>ème</sup> Temps** : KM<sub>1</sub>, KM<sub>2</sub> sont ouverts  
 KM<sub>3</sub> est fermé

Le moteur est directement alimenté sous la tension du réseau. Lorsque la vitesse est suffisamment voisine du synchronisme, on ferme KM<sub>4</sub>.

Le moteur tourne alors à la vitesse de synchronisme et l'on peut dès lors augmenter la charge du moteur, c'est à dire donner du pas et ainsi monter en allure.

On utilise un auto-transformateur triphasé de rapport  $m < 1$ . Il est donc abaisseur de tension, et élévateur de courant :  $V_1 = m \cdot V_{\text{réseau}}$  et  $I_1 = 1/m \cdot I_{\text{réseau}}$ .

Par rapport à l'alimentation directe, la tension appliquée est multipliée par  $m$ , donc le couple  $T_d$  est multipliée par  $m^2$  (si  $m = 0,6$  le couple est réduit dans le rapport 0,36).

Le courant  $J_1 = J_d$  absorbé et donc le courant en ligne  $I_1 = I_d$  sont multipliés par  $m$ . Comme  $I_{\text{réseau}} = m \cdot I_1$ , le courant demandé au réseau est multiplié par  $m^2$ , c'est-à-dire réduit dans le rapport 0,36 si  $m = 0,6$ .

Autrement dit, la pointe de courant au démarrage est réduite dans le même rapport que le couple. D'autre part, le démarrage peut se faire en deux ou trois temps sans coupure de courant.

Par ce système de démarrage, on va donc pouvoir choisir le rapport de transformation pour permettre :

- un couple de démarrage suffisant
- une intensité pas trop élevée

Lors de ce démarrage, l'hélice devra être au pas zéro pour diminuer le couple résistant au démarrage au minimum.

## Hélice à pales fixes

### L'Onduleur Autosynchrone

- Le stator de la machine est alimenté par un système redresseur-onduleur comprenant :
  - Un convertisseur côté Réseau, recevant l'énergie sous forme de courants alternatifs du réseau, et la fournissant sous forme de courant continu à la boucle intermédiaire.
  - Un convertisseur côté Machine, recevant l'énergie sous forme de courant continu de la boucle intermédiaire et la fournissant sous formes de courants alternatifs, de fréquence variable, à la machine synchrone.
  - Une boucle reliant les deux convertisseurs et comprenant une inductance de lissage.
  - Un dispositif codeur d'angles, monté sur l'arbre de la machine et susceptible de donner à tout instant la position angulaire du rotor.
- Le rotor de la machine est excité par un pont d'excitation réglable.

### Le mode cadencé

A l'arrêt, et à faible vitesse, la machine synchrone est incapable de fournir les tensions nécessaires à la commutation du courant. La commutation naturelle n'est possible que si la f.e.m Machine dépasse un seuil minimal. Les thyristors de PM sont alors commutés grâce à un artifice.

Le codeur angulaire, qui donne la position de l'axe polaire par rapport aux bobines du stator, définit les thyristors de PM à allumer, pour créer le champs statorique qui fera tourner le rotor dans le sens désiré.

Lorsque le rotor aura tourner d'un certain angle, d'autres polarités devront être établies (c'est-à-dire qu'il faudra éteindre les thyristors qui conduisaient, et allumer les nouveaux thyristors convenables) pour que le champ statorique progresse et que le rotor suive.

Or, l'extinction ne peut pas se faire naturellement car la machine n'a pas encore de f.e.m suffisante pour assurer la commutation. Cette extinction est provoquée en annulant le courant I dans la boucle par action sur PR. Après blocage des thyristors et allumage des suivants le courant I est rétabli.

Le codeur d'angles continue de définir les nouvelles commutations de thyristors jusqu'à ce que la machine ait une f.e.m suffisante pour assurer les commutations et permettre le fonctionnement en onduleur autosynchrone.

A ce seuil de f.e.m, donc de vitesse, le passage en mode synchrone se fera automatiquement.

B) Montée en allure

Hélice à pas variable

Dans ce cas, le moteur tournera à vitesse constante, à la vitesse de synchronisme de 1800 t/mn ou 1500 t/mn pour un moteur à deux paires de pôles.

La puissance électrique absorbée par le moteur sera fonction du pas de l'hélice.

Hélice à pales fixes

Utilisation de l'Onduleur Autosynchrone

L'onduleur autosynchrone va permettre d'alimenter la machine synchrone à fréquence variable donc à vitesse variable. On alimente le stator de 0 à  $f_{max}$ .

**Le mode synchrone**

Dès que la f.e.m de la machine synchrone est suffisante, c'est-à-dire au-delà de 8% de la vitesse maximale, le PM fonctionne à commutations naturelles par la machine.

C) Renversement de marche et réversibilité

Hélice à pales fixes

Utilisation de l'Onduleur Autosynchrone

L'inversion du sens de marche est obtenu en inversant, au niveau de l'électronique de contrôle, la succession d'allumage des thyristors du pont Machine PM. Le champ tournera en sens inverse. On peut donc fournir un couple et une vitesse dans les deux sens, sans adjonction d'éléments de puissance.

Hélice à pas variable

Le renversement de marche sera facilité avec une hélice à pas variable puisqu'on ne jouera sur la réversibilité du moteur mais sur le pas de l'hélice pour permettre le renversement de marche.



Vitesse de l'hélice en propulsion de secours : 110 t / min

Alternateur Attelé de 750 kW à 1500 t / min

Groupes Auxiliaires : Yanmar S165L-SN de 3 x 250 kW / 350 kVA

Alternateur de Secours : Yanmar de 100 kW / 125 kVA

NB : Cet alternateur de secours est utilisé pour fournir l'énergie électrique du bord lorsque le navire est en mode de propulsion électrique de secours.

Ce navire, le Bell Pioneer, a la possibilité de naviguer à différentes vitesses, suivant son exploitation, grâce à un réducteur à deux vitesses.

- Vitesse normale d'exploitation de 14,5 nœuds à 85% de la puissance maximale. On utilise alors le premier étage du réducteur en faisant tourner l'hélice à 155 t / min. L'alternateur attelé est en service et la consommation de HFO est de 14,5 t / jour.
- Vitesse économique de 12 nœuds à 50% de la puissance maximale. Cette vitesse est utilisée dans le cas où une attente est prévue avant l'entrée au port. On utilise alors le deuxième étage du réducteur en faisant tourner l'hélice à 110 t / min ; l'alternateur attelé est en service. La consommation de HFO est de 6,5 t / jour, représentant une économie sur le prix du combustible par mille de 22%.
- Vitesse maximale de 16,5 nœuds à 100% de la puissance maximale, on utilise dans ce cas le premier étage du réducteur et l'hélice tourne alors à 155 t / min. L'alternateur attelé est alors débrayé et la consommation de HFO est de 16,5 t / jour.
- Propulsion électrique de secours nécessitant une puissance de 750 kW fournie par les groupes. Les services essentiels sont alimentés par le groupe de secours. On utilise le deuxième étage du réducteur, faisant tourner l'hélice à 110 t / min.

### **3. LA REGLEMENTATION**

#### **3.1 BUREAU VERITAS**

Si l'armateur a l'intention d'utiliser le système de propulsion auxiliaire dans d'autres cas que ceux de propulsion de secours, le suffixe NS doit être ajouté aux marques et mentions attribuées par la société de classification.

#### **ALTERNATIVE PROPULSION SYSTEM (AVM-APS)**

La marque AVM-APS est attribuée aux navires qui répondent aux critères suivants :

- Vitesse supérieure à 7 nœuds.
- Autonomie de 1000 milles nautiques ou une autonomie inférieure mais correspondant à la moitié de l'autonomie normale avec la totalité du combustible.
- Complète capacité de manœuvre
- Disponibilité des systèmes de sécurité (système de lutte incendie, pompe de cale, feux de navigation, système de communication, moyens de sauvetage).
- Conditions d'habitabilité (éclairage minimum, ventilation, cuisine, provisions réfrigérées, eau potable).
- Préservation de la cargaison si le suffixe NS est attribué.

Les navires qui ont la marque AVM-APS ne sont pas tenus, en propulsion électrique de secours, de devoir alimenter :

- Les appareils de manutention de la cargaison.
- Le système de ballastage pour la manutention de la cargaison.
- Les propulseurs d'étrave
- Les autres systèmes non essentiels (stabilisateurs...).

#### **3.2 RINA**

Pour la société de classification Rina, il existe deux types de propulsion auxiliaire selon l'utilisation que l'armateur souhaite en faire :

### TAKE HOME SYSTEM (THS):

La propulsion auxiliaire doit permettre au navire de rallier le port le plus proche, tout en garantissant les services essentiels à la navigation, la disponibilité des systèmes de sécurité et des conditions minimales d'habitabilité.

### ALTERNATIVE PROPULSION SYSTEM (APS):

Dans ce cas, la propulsion auxiliaire doit permettre au navire de maintenir ses conditions d'exploitation inchangées (sécurité, habitabilité, préservation de la cargaison) à l'exception de la vitesse qui, dans tous les cas, ne devra pas être inférieure à 7 nœuds.

## **4. LES APPLICATIONS**

En cas d'avarie du moteur principal, la propulsion électrique peut être disposée en un minimum de temps (environ 3 minutes). Le commandant disposera alors d'un moyen sûr et rapide en cas d'avarie du moteur principal.

### **4.1 Avarie en relation avec le combustible**

Deux cas se présentent, suivant que les groupes auxiliaires utilisent du DO ou du FO.

#### **4.1.1 Groupes auxiliaires utilisant du DO**

Dans ce cas, le combustible utilisé par le Moteur Principal et le combustible utilisé par les groupes auxiliaires sont différents. La propulsion électrique de secours pourra alors être utilisée sans aucune difficulté. Le circuit FO du Moteur Principal sera alors vérifié, purgé et la contamination ou la pollution pourra être trouvée.

#### **4.1.2 Groupes auxiliaires utilisant du FO**

Les groupes auxiliaires et le moteur principal utilisant le même combustible, on comprend que les caisses à combustible devront être séparées et indépendantes dans le but d'éviter une avarie commune.

#### **4.2 Gestion de la puissance propulsive**

Il est possible d'utiliser le moteur synchrone en même temps que le moteur principal via le réducteur. Leur puissance respective seront alors additionnées et le couple fourni à l'hélice sera de ce fait augmenté. Cette augmentation de la puissance nominale peut s'avérer utile et indispensable lors d'une navigation dans les glaces ou pour un remorquage.

##### **4.2.1 Vitesse maximale**

Toute la puissance propulsive du moteur principal peut être utilisée pour obtenir la vitesse maximale du navire. Dans ce cas, l'alternateur attelé ne sera pas utilisé et les générateurs auxiliaires fourniront alors l'électricité du bord.

##### **4.2.2 Vitesse réduite**

Nous savons que la propulsion électrique de secours permet d'atteindre une vitesse de 7 nœuds. D'autre part, et dans de nombreux cas, le Commandant est amené à réduire l'allure car il sait que son navire ne sera pas pris en chargement ou déchargement dès son arrivée s'il maintient sa vitesse normale (pas de travail le week-end, pas d'entrée la nuit, poste occupé...). Une allure réduite maintenue pendant une longue période est néfaste au bon fonctionnement du moteur principal (encrassement de la turbo, remontée d'huile, températures faibles...) et dans ce cas la propulsion électrique peut devenir la propulsion normale du navire. Les groupes auxiliaires tourneront alors à leur régime nominal.

## **5. L'INVESTISSEMENT**

Il s'agit d'un investissement de faible importance lorsqu'il est prévu dès l'origine à la construction du navire.

Il y a toutefois deux impératifs à respecter :

### **5.1 Matériel standard**

Le constructeur devra rechercher à adapter du matériel standard développé dans des applications marines.

C'est tout l'intérêt de la prise de force multiplicatrice en sortie du réducteur pour entraîner l'alternateur attelé que l'on devra chercher à faire tourner à 1500 ou 1800 t/mn suivant la fréquence du réseau du bord.

Dans ces vitesses de rotation on trouve des machines construites en grandes séries à des prix compétitifs.

La solution qui consisterait à adapter l'alternateur / moteur électrique à la vitesse du moteur principal en jouant sur le nombre de paires de pôles (5 ou 6) n'est pas financièrement valable.

## **5.2 Limites**

Pour envisager d'utiliser l'alternateur attelé en moteur électrique de secours, il faut que la puissance nécessaire au besoin du bord (alternateur attelé) soit proche de la puissance nécessaire pour que le navire puisse atteindre une vitesse de 7 nœuds (moteur électrique de secours).

Une trop grande différence de ces valeurs renchérit considérablement l'investissement.

En fonction de ce critère, je pense pouvoir dire que l'investissement reste intéressant sans surcoût excessif jusqu'à des navires de 40 000 T. de déplacement.

## **5.3 Coût de l'investissement**

Il faut en fait parler de surcoût car on doit partir du principe que l'armateur a déjà prévu l'alternateur attelé. Le surcoût portera donc uniquement sur les dispositions spéciales du réducteur et sur la transformation de l'alternateur en moteur électrique.

Sur les tailles de navires retenus, le surcoût semble être compris entre 800 000 et 1 500 000 F. On peut résumer ce surcoût à une valeur comprise entre 1 et 2 % de la valeur du navire suivant la taille et le type de navire dont il s'agit.

## **6. LES AVANTAGES**

### **6.1 Maintenance et Entretien**

#### **6.1.1 A la mer**

Une partie de la puissance du moteur principal est utilisée pour entraîner l'alternateur, fournissant ainsi l'électricité du bord à un coût plus faible que si elle était produite par les générateurs auxiliaires (le KW produit est moins cher de 8 à 10 %).

L'entretien des générateurs auxiliaires peut se faire sans difficulté et cela permet en outre une diminution notable de leurs heures de fonctionnement.

#### **6.1.2 Au port**

Les ports pétroliers interdisent d'effectuer la moindre opération d'entretien sur le moteur principal lorsque le navire est à quai, au cas où un incendie se déclarerait. En effet, le navire doit être capable de quitter le quai où il se trouve dans les plus brefs délais durant toute la durée de son escale. Actuellement, les Capitaines de Port acceptent de plus en plus souvent l'entretien du moteur principal lorsque le navire est équipé d'une propulsion de secours. Dans ce cas, le moteur électrique devra être prêt à être utilisé pendant toute l'escale, et la machine devra être disposée en conséquence.

#### **6.1.3 En attente**

La majorité des navires sont sous le régime de la classification continue machine. C'est à dire que tous les organes des différents moteurs et appareils de la machine devront être montrés à un expert de la société de classification dans un délai de 5 ans entre chaque visite. De nombreux Chefs Mécaniciens sont agréés par les sociétés de classification pour procéder eux-mêmes à ces visites sans qu'il soit besoin de faire déplacer l'expert.

Lorsque le navire arrive sur rade dans sa fourchette de chargement, le Commandant présente sa notice aux chargeurs et aux affréteurs. Il peut arriver que les postes de chargement soient occupés sans que le Commandant sache exactement la date à laquelle il pourra aller à quai.

Dans le cas d'un navire classique, la machine doit rester opérationnelle pour pouvoir aller à quai dès que l'ordre en sera donné. Avec une propulsion électrique de secours, des travaux de maintenance voire de visites à valoir sur la classification continue peuvent être faites.

#### 6.1.4 Avantages indirects

Une telle installation confortera l'image de marque de l'armateur. On peut espérer que les affréteurs seront sensibles à ce critère supplémentaire concourant au renforcement de la sécurité maritime. Ainsi, lorsque deux navires sont en concurrence d'affrètement, celui qui dispose d'une propulsion électrique de secours devrait se voir attribuer une préférence (particulièrement les pétroliers).

De même, les armateurs peuvent attendre une ristourne sur les primes d'assurance qu'ils payent.

Par manque de statistiques précises, je n'ai pas pu recenser les cas typiques de navires en avaries graves de moteur principal de propulsion (pollution du combustible, rupture de l'arbre manivelle ou de l'arbre à cames, etc...).

Indéniablement, ces différents cas existent et les navires ont dû faire appel à des remorqueurs dans le cadre d'un contrat d'assistance dont le coût pour les assureurs est toujours très important.

## **7. CONCLUSION**

La propulsion électrique de secours concourt en premier à l'amélioration de la sécurité maritime.

Si l'on considère les avantages développés ci-avant, le retour sur investissement est rapide et les armateurs ont tout intérêt à envisager ce système dès la construction du navire.

La propulsion électrique de secours a été imaginée il y a près de vingt ans sans connaître un réel succès.

L'application à la marine des progrès technologiques réalisés dans l'industrie rend aujourd'hui le système fiable, économique et performant.

Les contraintes d'exploitation des navires étant de plus en plus difficiles, il ne fait pas de doute que **la propulsion électrique de secours est promise à un bel avenir.**