

# La propulsion biphasique à dilution étagée EDE

**Robert-Jean Balquet**

Chef de la Division Navires Spéciaux, Bassin d'Essais des Carènes, STCAN, Paris

**Bertrand Lamberti**

Division Navires Spéciaux, STCAN Paris

**Michel Machabert**

Société Le Moteur Moderne, Paris

## Introduction

Une injection de gaz à grande vitesse et sous faible incidence, dans un courant d'eau à relativement faible vitesse, réalise un processus d'échange à bon rendement énergétique. L'application de ce résultat à la propulsion marine a conduit à la propulsion par réaction à émulsion dilution étagée (procédé EDE).

Deux aspects de la recherche sont développés ci-dessous :

- en premier sont abordés les résultats expérimentaux obtenus en soufflerie hydrodynamique et sont présentés les principes et caractéristiques du propulseur ;
- en second sont examinées les conditions et perspectives d'intégration du procédé.

## Principes et caractéristiques du propulseur à émulsion étagée (EDE)

### Le procédé EDE : historique

Expérimentalement deux voies ont été suivies :

- l'analyse du fonctionnement en bassin au point fixe de systèmes tuyère-éjecteur gaz liquide ou gaz émulsion (fig. 1) ;
- l'étude en soufflerie hydrodynamique de la confluence d'un jet d'air à grande vitesse et d'un jet d'eau à faible vitesse (fig. 2).

Dans le premier cas les travaux effectués ont porté sur des combinés tuyère-éjecteur munis de divers systèmes d'injection secondaire dans le but :

- d'augmenter la poussée de la tuyère,
- d'aspirer une certaine quantité d'eau par effet de trompe,
- de réaliser une émulsion aussi homogène que possible.

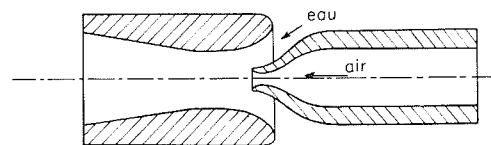


Figure 1 – Système tuyère-éjecteur gaz liquide ou gaz émulsion.

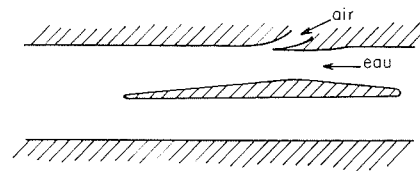


Figure 2 – Confluence d'un jet d'air à grande vitesse et d'un courant d'eau à faible vitesse.

Dans le deuxième cas, le but des travaux a été de montrer la possibilité d'échanger de l'énergie, au cours d'une détente, entre le gaz et le liquide, et ceci quand les glissements initiaux sont importants.

Ces recherches complémentaires ont montré l'intérêt de réaliser un cycle à pression et une dilution étagée.

### Le procédé EDE : principe

Le propulseur apparaît comme composé de trois étages

- un premier étage ou diffuseur d'entrée qui, par ralentissement du liquide permet l'accroissement de la pression
- un deuxième étage ou étage d'injection de gaz. La mise en vitesse du gaz est assurée par une tuyère simplement convergente
- un troisième étage ou étage de détente, dans lequel s'effectue la détente de l'émulsion.

L'originalité du procédé réside dans :

- la réalisation d'un cycle à pression,
- la mise en œuvre d'une injection sous faible incidence à grande vitesse,
- la réalisation de la détente de l'émulsion dans un étage non convergent.

Ce procédé fait l'objet du brevet 74 06639 (publié sous le numéro 2 261 926).

### Etude expérimentale

1) *Choix des conditions expérimentales* : conformément aux perspectives d'emploi du propulseur EDE, les sections d'écoulements sont rectangulaires de manière à représenter une "tranche" du propulseur.

Pour simuler des cas de fonctionnement réels, les pressions statiques dans les plans d'entrée et de sortie sont maintenues égales.

2) *Installation d'essais* : les essais ont été effectués en soufflerie hydrodynamique sur modèle de petite échelle. L'installation se compose essentiellement d'une boucle expérimentale et d'une capacité de dégazage et de tranquillisation (fig. 3). Les dimensions de la veine au niveau de l'injection de gaz, au sein du propulseur sont : hauteur de l'écoulement  $\sim 40$  mm., largeur de l'écoulement  $\sim 30$  mm

Sont mesurés : le débit d'eau traversant le propulseur, les conditions génératrices du gaz injecté, l'évolution de la pression statique le long du propulseur.

3) *Principaux résultats obtenus* : pour chaque point expérimental sont déterminés la poussée et le rendement. Le rendement a été défini comme le rapport de l'énergie récupérée, produit de la poussée par la vitesse

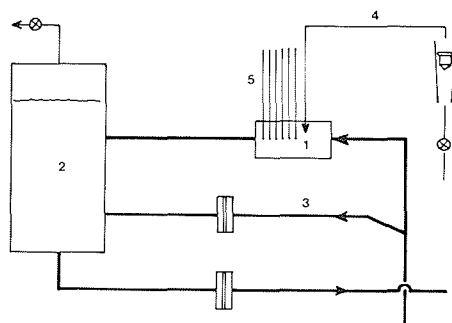


Figure 3

- 1 — maquette
- 2 — capacité de dégazage et de tranquillisation
- 3 — by-pass réglable
- 4 — amenée d'air
- 5 — mesures de pression (multimanomètre)

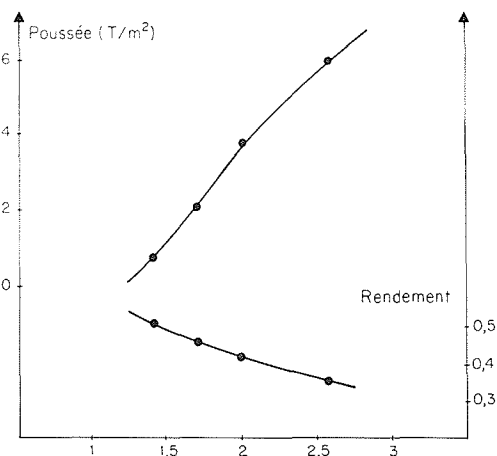


Figure 4 — Rapport de sections du diffuseur d'entrée (mq. 20, 23, 21, 26 ;  $V_0 \sim 20$  m/s).

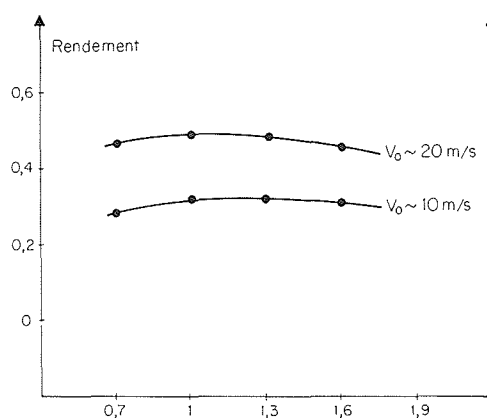


Figure 5 — Hauteur fentes d'injection de gaz (mm) (mq. 22).

de déplacement, à l'énergie introduite, énergie récupérable dans la détente isotherme du gaz.

a) *Influence du rapport de sections du diffuseur d'entrée* : à même vitesse de déplacement, la poussée est une fonction croissante du rapport de sections du diffuseur d'entrée, tous les autres paramètres géométriques du propulseur restant constants. Le rendement en est une fonction décroissante (fig. 4).

b) *Influence de la section de passage du gaz à l'injection* : il apparaît en fonction de ce paramètre un optimum de rendement. Cet optimum se déplace vers les plus faibles sections d'injection quand la vitesse du liquide croît : il existe une relation entre les vitesses des deux fluides au niveau de l'injection (fig. 5).

c) *Influence de la longueur de l'étage de détente* : il apparaît une légère augmentation du rendement global quand la longueur de l'étage de détente croît.

d) *Etude de système bi-étage* : sont définis ainsi des propulseurs dans lesquels deux étages d'injection de gaz ont été mis en œuvre, les conditions génératrices du gaz au niveau de chaque injection étant indépendantes. Les mêmes résultats concernant les paramètres déjà énoncés ont été trouvés ; il est en outre apparu : — qu'il existe, au plan du rendement, une position relative optimum des deux étages d'injection (l'un au

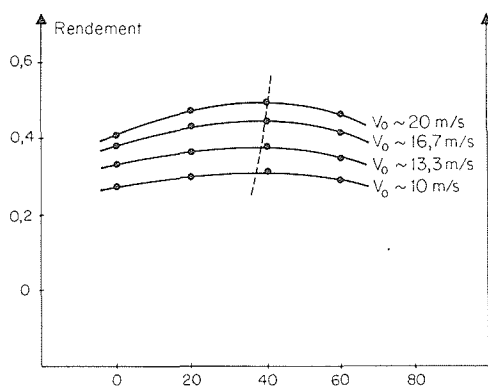


Figure 6 – Distance séparant les deux étages d'injection (mm). (mq. 9, 16, 14, 18 – étage extérieur en aval de l'étage central).

centre de l'écoulement, l'autre pariétal symétrique, fig. 6),

— que les conditions génératrices sont identiques dans les deux étages à l'optimum de rendement.

#### 4) Analyse des résultats

Le paramètre qui apparaît être le plus important sur le fonctionnement est le rapport de sections du diffuseur d'entrée. Les paramètres angle ou longueur de ce diffuseur, s'ils n'ont qu'une importance secondaire, ne sont cependant pas à négliger, ils vont déterminer les conditions d'écoulement (profil des vitesses) au niveau de l'injection de gaz, et par là agir sur l'injection elle-même. Il a été, tout au long des essais, porté l'accent sur l'analyse des interactions entre étages. Optimiser chacun des étages du propulseur ne permet pas d'optimiser le propulseur.

Les hypothèses émises sur le fonctionnement, à savoir détente adiabatique dans la tuyère d'injection de gaz, détente isotherme de l'émulsion ont pu être vérifiées avec une bonne précision. A poussée égale, le rendement isotherme croît légèrement quand la température du gaz injecté croît ; le rendement isotherme croît d'autant plus vite que les vitesses sont plus élevées : la phase adiabatique de la détente du gaz, phase de haut rendement énergétique prend une importance plus grande vers les grandes vitesses.

L'émulsion formée est homogène et stable. Des mesures locales effectuées dans le plan de sortie de la maquette ont permis de montrer un profil de vitesses relativement rectangulaire. Les effets de parois ont cependant une importance non négligeable, compte tenu des dimensions réduites de la veine expérimentale.

#### 5) Application

La figure 7 montre pour une géométrie donnée les variations de la poussée et du rendement en fonction de la vitesse de déplacement. Il apparaît sur ces courbes l'intérêt d'employer un tel procédé pour la propulsion des navires rapides.

Une adaptation convenable de la géométrie du propulseur doit permettre d'optimiser le compromis poussée rendement, pour une utilisation donnée.

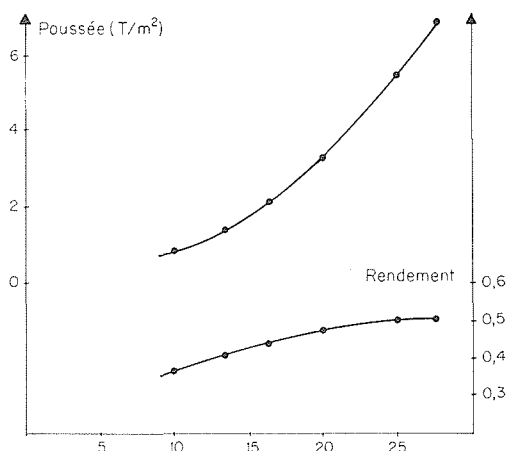


Figure 7 – Vitesse  $V_0$  (m/s). (mq. 20 CO).

## Conclusion

Les travaux effectués montrent que la réalisation d'un échange énergétique de bon rendement entre un jet de gaz à grande vitesse et un courant d'eau à faible vitesse est possible.

L'hétérogénéité de l'écoulement, tant au niveau des phases en présence que des vitesses, rend difficile l'établissement d'un modèle mathématique, le problème posé au terme de cette étude reste celui de la définition d'une similitude.

## Les conditions et perspectives d'intégration du procédé

Le développement des navires non conventionnels – dont le domaine d'utilisation est celui des grandes vitesses – exige de disposer dans le cas de bâtiments de fort tonnage (un tonnage important étant nécessaire pour maintenir des vitesses élevées sur mer formée) d'installations propulsives de puissances extrêmement élevées.

On conçoit alors que les problèmes technologiques posés par les transmissions mécaniques de puissance puissent devenir rapidement critiques.

Aussi le recours à des systèmes de propulsion diphasique s'affranchissant des contraintes liées aux transmissions mécaniques apparaît-il comme une solution a priori séduisante (l'énergie d'un gaz comprimé s'échangeant directement dans une tuyère avec celle de l'eau s'écoulant dans cette tuyère, crée une émulsion eau-gaz dont la détente fournit la poussée requise).

\*  
\*      \*

La contribution du Bassin d'Essais des Carènes de Paris à l'étude de la propulsion diphasique a porté sur les points suivants :

1) Définition d'un "créneau d'utilisation" possible et choix du type de bâtiment semblant le mieux adapté à ce genre de propulsion ;

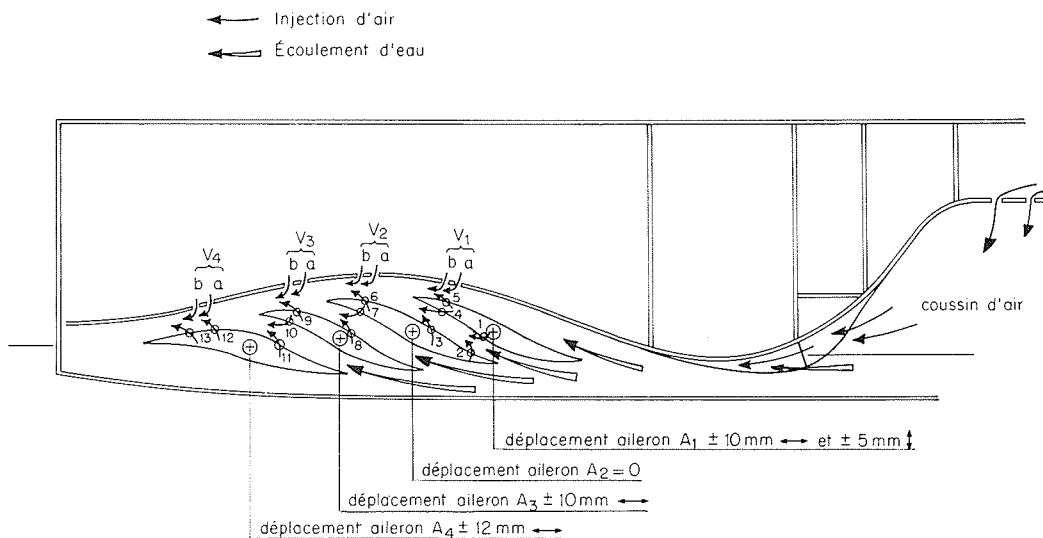


Figure 8 – Schéma de fonctionnement du propulseur.

2) Réalisation de maquettes avec propulseur diphasique intégré et essais d'autopropulsion de celles-ci ;

3) Analyse des résultats d'essais et estimation du rendement propulsif.

Cette étude, dont une partie du financement a été apportée par la Direction des Recherches et Moyens d'Essais (contrat de recherche 75/1058), fut facilitée par la collaboration également instituée sous l'égide de la D.R.M.E. entre les divers laboratoires et instituts de recherches français travaillant sur ce sujet.

### Choix d'un bâtiment et d'un type d'intégration du propulseur

Pour les raisons déjà citées, le bâtiment à retenir ne pouvait être qu'un navire "non conventionnel" rapide, c'est-à-dire un hydroptère ou un navire à effet de surface.

Le rendement d'un propulseur étant proche de l'optimum lorsque la poussée spécifique fournie est relativement modérée, une estimation rapide conduit à une valeur élevée de la surface frontale du propulseur.

A titre d'exemple pour un déplacement de 4000 t et une vitesse de 60 à 70 nœuds un NES/AQL exige une poussée de l'ordre de 200 t, ce qui, avec une poussée spécifique de 5 à 6 t/m<sup>2</sup>, implique un propulseur d'environ 40 m<sup>2</sup> de section.

Cet ordre de grandeur conduit à deux conclusions :

1) Ce procédé propulsif semble inadapté à des hydroptères de tonnage élevé (son implantation à bord entraînant une traînée supplémentaire considérable) ;

2) Il semble par contre adaptable à des NES/AQL mais impose pratiquement d'utiliser toute la largeur du bâtiment (de l'ordre de 30 à 40 m pour un déplacement de 4000 t).

Les maquettes réalisées ont donc été des maquettes de NES/AQL avec un propulseur occupant toute la largeur du bâtiment.

### Maquettes et essais

Les maquettes représentaient un NES/AQL de 4000 t (rapport longueur/largeur du coussin = 4 ; 20 % du déplacement étant assuré par les quilles latérales) à l'échelle 1/55 environ.

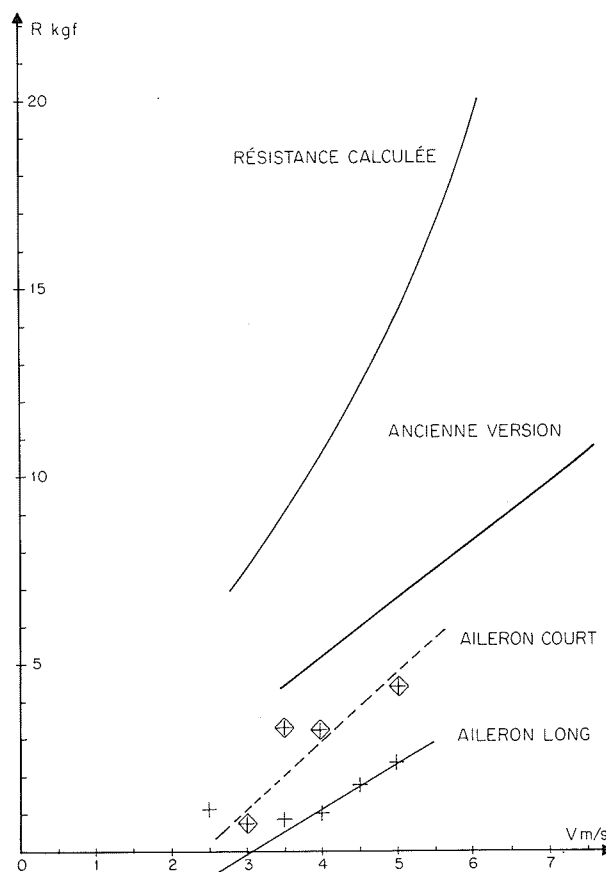


Figure 9 – Résistance à l'avancement.

Un (ou plusieurs, suivant les maquettes) aileron<sup>(1)</sup> était disposé en regard de la voûte aboutissant au tableau arrière et pouvait être mis en incidence des dispositifs placés dans les parois latérales. L'éjecteur diphasique se trouve ainsi être une tuyère constituée par la voûte et la face supérieure de l'aileron.

Ce dernier joue le rôle de prise d'eau lorsque la maquette avance et assure l'alimentation en eau de la tuyère. Des injections d'air pratiquées par des orifices situés sur l'aileron lui-même et, en regard, sur la voûte permettent de créer une émulsion eau-gaz.

L'alimentation du coussin d'air de la maquette était assurée par un ventilateur placé sur le pont supérieur et la fermeture AV du coussin par une jupe souple. La forme de la voûte était dessinée de façon à minimiser la fuite AR du coussin d'air (un "peigne émulseur" favorisant la convergence de l'air provenant de la fuite AR du coussin et de l'eau créait une première émulsion).

Ces maquettes ont été essayées en bassin de traction avec une balance permettant d'utiliser des maquettes non pesées (c'est-à-dire dont le déplacement est supérieur à celui qu'il devrait être compte tenu de l'échelle) et de corriger les résultats de mesure de traînée en fonction de l'assiette imposée en début d'essai (le poids de la maquette ne permettant pas d'opérer en assiette libre).

Les essais n'étaient pas destinés à chercher un optimum pour le propulseur mais à tester la faisabilité d'un tel type de propulsion : il s'agissait essentiellement de trouver un (ou des) réglage(s) de l'aileron pour le(s)quel(s) l'autopropulsion était réalisée et d'évaluer, dans cette configuration, le rendement propulsif au niveau maquette.

## Résultats d'essais, analyse

La première maquette essayée comportait plusieurs ailerons mis les uns derrière les autres de façon à minimiser la hauteur des prises d'eau ainsi constituées et également à tenter de déterminer les zones dans lesquelles il était préférable d'injecter de l'air (alimentations en air par la voûte et par une ou plusieurs rangées d'orifices sur chaque aileron). Le nombre d'ailerons mis en place pouvait être 1, 2, 3 ou 4 ; plus le nombre d'ailerons était grand et plus la pénalisation en traînée était importante mais le but de cette recherche systématique était de déterminer s'il y avait une limite optimale au rapport hauteur/largeur des prises d'eau et à quelle distance des extrémités de la tuyère les injections d'air étaient les plus efficaces.

(1) Dont l'envergure est égale à la largeur du bâtiment entre quilles latérales.

L'expérience a montré (et l'on pouvait a priori s'attendre à ce résultat) qu'il n'était pas possible d'utiliser simultanément plus de deux ailerons : au-delà de ce nombre la complexité des interactions entre ailerons est telle qu'un réglage correct semble difficile, sinon impossible. Il s'est également révélé qu'il était possible d'opérer avec un aileron suffisamment immergé pour que le débit d'eau de la prise unique ainsi constituée soit satisfaisant.

Des poussées représentant environ 50 à 60 % de la valeur requise pour l'autopropulsion ayant été obtenues lors de ces essais avec un nombre limité d'ailerons et dans des conditions où les injections d'air étaient loin d'être optimales (la tuyère étant alors trop courte l'émulsion n'était sans doute que partiellement détendue à l'éjection) une deuxième version de maquette a été réalisée.

Celle-ci ne comportait qu'un seul aileron, relativement long (rapport longueur/envergure  $\sim 1$ ) avec deux zones d'injection d'air au voisinage du milieu de l'aileron.

Les essais ont alors abouti à l'autopropulsion de la maquette dans le domaine de vitesses le plus étudié lors des essais : 3 à 4,5 m/s (soit au réel 45-65 nœuds).

La poussée fournie ne peut être obtenue directement : elle a été calculée à partir d'une estimation de la résistance à l'avancement (hors propulsion) de la maquette et de la résistance effectivement mesurée en essai.

Cette estimation de la poussée fournie a permis de situer l'ordre de grandeur du rendement propulsif : environ 40 à 50 %.

\*  
\* \*

Les principes retenus pour l'intégration d'un propulseur biphasique à un NES/AQL ont abouti à la réalisation de l'autopropulsion d'une maquette, avec un rendement propulsif voisin de celui obtenu avec propulseur isolé (cf. expériences du "Moteur Moderne", en particulier).

Dans l'état actuel des méthodes de calcul en écoulement biphasique il n'est pas envisageable de transposer au réel les conditions d'autopropulsion modèle ; un effort devrait être fait en ce sens ainsi qu'une recherche expérimentale d'"effet d'échelle" pour faciliter la modélisation mathématique. Et ce n'est qu'après cette nécessaire amélioration des connaissances qu'il deviendra éventuellement intéressant d'étudier un certain nombre de points critiques dépassant le cadre actuel de cette étude, comme, par exemple : le comportement sur houle, l'adaptation de l'incidence de l'aileron à la vitesse, . . . etc.

Voir la Discussion à la page suivante

## Discussion

Président : M. S. BINDEL

M. le Président remercie MM. MACHABERT et LAMBERTI pour leur exposé qui a fait connaître à une grande partie de l'auditoire un concept vraiment nouveau. Il ouvre ensuite la discussion.

Pour obtenir une meilleure évaluation du rendement propulsif global, M. VISCONTI souhaiterait avoir une estimation du rendement du compresseur qui est, ici, l'intermédiaire entre le moteur et le système de propulsion proprement dit.

Le rendement de 50 % annoncé pour la maquette, précise M. LAMBERTI, est la valeur du rapport : puissance propulsive/débit volume de gaz  $\times$  surpression correspondant aux conditions de l'injection où puissance propulsive = poussée  $\times$  vitesse. Sur la maquette, cette surpression a été mesurée au niveau des injecteurs placés sur le pont supérieur, compte tenu d'un rendement du compresseur estimé à 0,85. Finalement, le rendement propulsif du système pourrait s'établir à 42 %, tout au moins dans les conditions de l'essai que nous avons réalisé.

Nous touchons là, observe M. le Président, à une difficulté que l'on rencontre dans tous ces systèmes : la définition du rendement.

Ici, M. LAMBERTI définit le rendement propulsif global comme le rapport du produit de la poussée par la vitesse à la puissance nécessaire au compresseur qui alimente le système. C'est une définition possible, mais chacun peut proposer sa propre définition. Dans le cas d'un navire classique à hélice, on ne prend pas le produit "poussée  $\times$  vitesse" au numérateur, mais le produit "résistance  $\times$  vitesse", lequel est assez différent.

D'une certaine façon, on peut se demander si la notion de rendement est vraiment la notion importante dans le cas de ces engins. Dans la mesure où ceux-ci ne sont pas des engins commerciaux, ce n'est pas le coût du carburant qui est important ; c'est le poids de l'équipement utile, c'est-à-dire, les charges qu'on peut emporter à une certaine vitesse pour franchir une certaine distance. Un engin de rendement beaucoup plus faible, mais beaucoup plus compact, peut se révéler opérationnellement beaucoup plus intéressant.

M. PARTHIOT partage l'opinion de M. le Président en ce qui concerne l'ambiguïté qui pèse dans ce cas sur la notion de rendement. Il souligne, en outre, la nécessité de vérifier que les performances obtenues sur un modèle se maintiennent raisonnablement au cours du temps pour un engin qui doit "vivre dans l'eau".

Sur la demande de M. le Président, M. MONDIN donne le point de vue d'un spécialiste des écoulements diphasiques. Il semble, dit-il, que le rendement optimum a été obtenu au cours des essais effectués par "Le Moteur Moderne" lorsque l'émulsion est homogène et fine. L'hydrodynamique diphasique montre que la majorité des pertes provient du glissement entre les deux phases de l'émulsion lorsque la structure de celle-ci se dégrade.

M. LAMBERTI apporte sur ce point les compléments ci-après :

Nous avons procédé à la visualisation en divers endroits de la maquette pour caractériser la qualité de l'écoulement. Or, ce n'est pas quand l'émulsion paraissait la plus homogène, la plus blanche, lorsque l'air paraissait le mieux réparti et qu'il semblait s'écouler de la façon la plus unidirectionnelle possible, qu'on obtenait les meilleures poussées et les meilleures conditions de fonctionnement. Il semble que ce soit lié à la fermeture arrière du coussin telle que nous la réalisons. Mais c'est un fait surprenant du point de vue expérimental que certaines émulsions qui paraissent peu homogènes soient celles qui permettent d'obtenir le meilleur résultat.

D'autre part, je suis d'accord avec M. BINDEL, pour estimer que pour le type de navire qui nous occupe, la notion de rendement perd de son intérêt, car il n'est guère possible de considérer le bâtiment d'un côté et le propulseur de l'autre. Je n'ai parlé du rendement que pour montrer que la valeur de celui-ci, mesurée dans notre expérience d'autopropulsion intégrée d'un bâtiment, est voisine de celle calculée suivant les mêmes hypothèses dans le cas d'un propulseur entièrement isolé.

Nos études ont porté essentiellement sur l'hydraulique interne du propulseur, précise M. MACHABERT. Nous avons effectué des essais en faisant varier – jusqu'à un maximum de 300° C – la température du gaz au niveau amont de la tuyère. Nous n'avons pas constaté de modification notable du fonctionnement, ce qui tend à montrer que la détente dans la tuyère est sensiblement adiabatique, et se fait avec un rendement de l'ordre de 85 à 90 %. Après éjection par la tuyère, l'évolution du gaz suit un processus à peu près isotherme avec – au moins théoriquement – un bon rendement.

M. le Président pense que – la faisabilité du système étant plus ou moins démontrée – les promoteurs du propulseur "EDE" auraient intérêt à poursuivre leurs études en association avec des laboratoires spécialisés dans les mesures fines sur les écoulements à deux phases.

M. MACHABERT estime une telle collaboration éminemment souhaitable. Les maquettes expérimentées au Moteur Moderne étant de petite dimension, des mesures fines au sein des écoulements sont rendues difficiles. Une maquette de même type, mais de plus grande dimension, a été confiée au Service d'Etudes Energétiques du C.E.A. à Saclay, sous contrat DRME ; cette collaboration permet la mise en œuvre de mesures locales et de là une meilleure connaissance de la physique interne du procédé.

M. le Président remercie, à nouveau, les Conférenciers et conclut :

Vous nous avez présenté la problématique d'un nouveau système de propulsion, nous en apercevons toutes les difficultés, et nous ne pouvons que souhaiter que vous ayez les moyens de mener à bien la suite de ces études afin qu'elles puissent déboucher dans quelque temps sur des navires réellement opérationnels.

Il donne ensuite la parole à M. VISCONTI pour l'exposé de sa Communication.

## Abstract

### Two-phase propulsion by the EDE stagewise dilution process

Injection of high-velocity gas flow at a small incidence angle into water flowing at relatively low velocity has been found to result in an efficient energy-transfer process. The EDE stagewise emulsion-dilution process has been developed as an application of this principle to marine jet-propulsion craft.

Principles and characteristics of this type of propulsion unit form the subject of the first part of this report.

Primary energy is supplied by a gas under pressure. Original features of the process are 1) creation of a pressure cycle (water admitted to the system is recompressed by deceleration at the initial stage), 2) gas injection at a small incidence angle, and 3) expansion of the emulsion in a non-converging outlet stage.

Relevant experimental work was done on a small-scale model in a hydrodynamic tunnel, with propulsion unit intake velocities up to 30 m/sec. The tests showed the unit to be adaptable for a variety of utilization conditions, and, more precisely, emphasized its potential usefulness for high-speed applications, with thrust in the neighbourhood of 6 tons/m<sup>2</sup> and efficiency around the 0.5 mark at  $V_0 \sim 25$  m/sec.

Because of the heterogeneous flow structures at both phase and velocity levels, it is difficult to construct a complete mathematical model and determine adequate scaling relationships for this type of propulsion unit.

• In its second part, this paper analyzes the interest of such a propulsion device for high-speed ships and describes briefly some experiments on a ship-model.

The ship which has been thought as the most suitable is a large-displacement surface effect ship with sidewalls. This choice is based on the following grounds :

1) the speed has to be very high : if not, this kind of propulsion does not present advantages over the existing systems (screw-propellers or water-jet).

2) if the displacement is a large one, the propulsive power (even for non-conventional ships with a good lift-drag ratio) may be very considerable : about 200 000 hp for a 4000 T –

70 knot SES. In that case, the mechanical transmission of power is troublesome, if not unrealizable with today-technology ; and a propeller without mechanical transmission is of great interest,

3) a good efficiency occurs when the specific thrust is moderate ; then the frontal area of the propeller has to be large and the added drag resulting of the propeller position affects the performances much more for an hydrofoil craft than for a SES.

The ship model was that of an 4000 T SES (length/breadth ratio of the air cushion = 5) at the scale 1/55<sup>th</sup>. A 4000 T SES requires, at the speed of 70 knots, a thrust of about 200 T ; with a specific thrust of 5.6 T/sq meter the frontal area of the propeller is then  $\sim 40$  sqmeter. The best way to obtain such an area seems to use the entire breadth between the sidewalls. In that aim :

- 1) – the aft closing (by flexible skirts) has been suppressed
- 2) – the hullbottom, near the stern, has been modified : it has been brought narrower of the free-surface in the aft part of the air cushion (in order to minimize the leakage) and reaches the upper stern with a moderate upward slope.

An orientable wing, whose span is the breadth between the sidewalls, forms (with the sidewalls and the hullbottom) a duct ; air-injection is operated in the middle part of this duct, using injectors located on the hullbottom and the back of the wing.

- Such a propeller acts then in two different ways :
- it gives the required thrust by the mixing of air with the waterflow over the wing ;
  - it forms the aft closing of the cushion.

The aim of the experiments on this model was not to find the optimum configuration for the propeller, but rather to test the possibility of auto-propulsion. The auto-propulsion was obtained in a speed-range up to 4.5-5 m/s (corresponding to speed  $\leq 70$  knots). The propulsive efficiency was, in the experiment conditions, of about 50 % : a value very similar to that of a non-integrated propeller of the same kind.