

2èmes JOURNEES DE L'HYDRODYNAMIQUE

13 au 15 Février 1989 - Nantes

PREVISION DE PERFORMANCES D'UN NES

SUR EAU CALME ET SUR HOULE

Auteur : J.F. MASSET

Organisme : IFREMER - CENTRE DE BREST
B.P. 70 - 29263 PLOUZANE

Résumé

Cette note présente un modèle de prévision des puissances de propulsion et de sustentation nécessaires sur eau calme et sur houle de face pour un navire de type catamaran sur coussin d'air (NES). On détaille les hypothèses et les formulations permettant de déterminer la position d'équilibre longitudinal et les composantes de la traînée. Les résultats, validés par des essais maquette, sont comparés aux prévisions de performances du NES 200.

Summary

This paper describe a mathematical model to be used to estimate the power requirements of Surface Effect Ships (SES) on calm water and head seas. Assumptions and formulations are outlined to describe the longitudinal equilibrium and to compute drag composants. Results are fitted on scale model tests ; they are also compared to NES 200 predicted performances.

1. INTRODUCTION

. IFREMER développe actuellement un projet de Navire à Effet de Surface pour le transport rapide de passagers : le NES 24. Celui-ci pourra atteindre 35 noeuds sur eau calme avec 150 passagers. Ce projet est maintenant dans sa phase d'études finales et de réalisation, dans le cadre d'un contrat passé entre IFREMER, les chantiers IMC et CDK composites, le cabinet d'Architecture Navale SBERN, et l'entreprise BARILLEC SA. La mise à l'eau est prévue pour l'été 1990, et sera suivie d'essais de qualification technique sous contrôle de l'IFREMER et d'une expérimentation commerciale sous contrôle de la société EFAIR, filiale du groupement de chantiers chargée de l'exploitation du prototype. (Voir photo et caractéristiques générales en planche n° 1).

. Cette formule de navire combine une architecture de type catamaran et une sustentation par coussin d'air permettant de reprendre environ 85 % du poids total. Les 15 % restants sont repris par les volumes de coques restant immergées. La présence du coussin d'air permet de réduire la traînée et d'atteindre des vitesses élevées avec des puissances installées notablement inférieures à celles d'un monocoque ou d'un catamaran classique équivalent. Le maintien de volumes de coques immergées, nécessaire pour confiner le coussin, autorise une propulsion par jets d'eau ou hélices de surface qui permet une meilleure manoeuvrabilité et une bien moindre nuisance acoustique par rapport aux aéroglisseurs amphibies.

. Dans le cadre du projet NES 24, IFREMER a développé un modèle de prévisions de performances, PERF, permettant de calculer les puissances de propulsion et de sustentation à installer, mais aussi de quantifier l'influence des principaux paramètres (longueur, largeur, masse, centrage, pressions/débit d'air, etc...) et contribuer ainsi à la conception du navire. Les essais d'une maquette au 1/15 sur eau calme et sur houle, réalisés dans le canal de traction du centre IFREMER de Brest, ont permis de valider le modèle PERF. Une comparaison est faite avec les prévisions de performance du NES 200. Ces différents points font l'objet de la présente communication.

2. PERF : MODELE DE PREVISION DE PERFORMANCES D'UN NES

Le modèle PERF permet d'une part de déterminer la position d'équilibre longitudinal d'un NES, et d'autre part de calculer les différentes composantes de la traînée. Ce modèle est général, et s'applique aussi bien au NES 24 qu'à sa maquette au 1/15.

2.1. Description du modèle

. Le modèle est constitué d'un ensemble de formulations et/ou de sous-programmes permettant de décrire complètement la configuration du NES en mode de navigation sur coussin d'air. Il comprend :

- les dimensions générales du NES, sa masse et son centrage, comme paramètres d'entrée.
- les caractéristiques hydrostatiques des 2 coques, paramétrées en fonction de la longueur de quilles, la largeur d'une coque et le creux. Ce paramétrage permet non seulement l'adaptation de PERF au NES 24 et à sa maquette au 1/15 (les trois rapports sont alors égaux à 15), mais aussi à une taille quelconque de NES dont la carène se déduirait par une affinité suivant x, y ou z de celle du NES 24.
- une description simplifiée de l'écoulement de l'eau sous le coussin d'air et le long des 2 coques. Sous le coussin d'air, on suppose que l'eau forme un plan incliné d'angle θ tel que :

$$\sin \theta = \frac{T_w}{\rho_c \times S_c} \quad (\text{Voir planche n° 2-a})$$

Cette hypothèse n'est valable que pour des nombres de Froude supérieurs à 0.8. environ.

Sur le côté extérieur de chaque coque, les essais de la maquette ont permis d'observer un écoulement suivant un angle θ_e , fonction du nombre de Froude, en arrière de la gerbe d'étrave (Voir planches 2-b et 2-c).

- Une modélisation complète du système de sustentation comprenant :
 - . les caractéristiques pression/débit et puissance absorbée des ventilateurs, en fonction du nombre de tours et du réglage de l'inclinaison (orientation des filets d'air à l'aspiration)
 - . les pertes de charges des différents circuits de distribution de l'air, vers le volume inter-jupes avant, vers le coussin d'air et vers la fermeture arrière.
 - . les caractéristiques de fonctionnement des fermetures AV et AR du coussin d'air. La fermeture AV retenue pour le projet NES 24, est constituée de deux rangées de jupes biconiques permettant un volume de transition à une pression P_j intermédiaire entre la pression P_c du coussin d'air et la pression atmosphérique à l'extérieur (Voir planche 3-a). Le fonctionnement de cette fermeture a été étudié dans un caisson d'essai équipé d'un plancher mobile (voir planche 3-b).

La fermeture AR est constituée de 3 bags, 2 bags supérieurs identiques et un bag inférieur assurant la fermeture du coussin d'air. L'ensemble se déploie avec une pression P_b légèrement supérieure à la pression P_c du coussin. Les essais préalables en caisson ont montré que le déploiement de la fermeture AR dépend

d'une part des pressions qui s'établiront dans le volume de la jupe AR et dans le coussin d'air, mais aussi de la dépression localisée au bas de la jupe et consécutive au débit de fuite. En définitive, la hauteur de déploiement de la fermeture AR est fonction de deux paramètres indépendants :

- le rapport de pression : P_b/P_c
- le débit de fuite sous la jupe AR par unité de largeur coussin Q_{ar}/B_c (Voir planche 3-c).

Cette particularité présente une conséquence importante : si pour un centrage donné du NES, on augmente le rapport de pression P_b/P_c (en augmentant les pertes de charge entre jupe AR et coussin), l'assiette du navire restera quasiment inchangée (à cause du centrage inchangé), et la fermeture AR se déploiera d'une même hauteur avec un débit de fuite arrière plus faible. Les essais maquette ont confirmé ce fonctionnement.

2.2. Détermination de la position d'équilibre longitudinal

. L'équilibre longitudinal du NES s'obtient en résolvant les équations d'équilibre des forces et du moment dans le plan longitudinal de symétrie (soit suivant \vec{Ox} , \vec{Oz} et \vec{M}).

Les paramètres en jeu dans cet équilibre comprennent :

- le poids total et son centrage,
- la pression dans le plénum et l'interjupes avant,
- la poussée sur les volumes de quilles qui restent immergées : la connaissance exacte des forces de pression hydrodynamiques, n'est pas aisée, par contre une bonne approximation consiste à calculer d'une part la poussée hydrostatique sur les coques dans leurs lignes d'eau réelles et d'autre part à estimer une poussée à l'avant qui tient compte des surpressions correspondant à la gerbe d'étrave. Cette dernière hypothèse est surtout nécessaire pour compléter l'équation du moment, à cause de l'excentricité de l'étrave, et pour déterminer correctement l'angle d'assiette.
- les composantes de la traînée
- la poussée des propulseurs.

La recherche de cet équilibre se fait de façon itérative, et converge quand simultanément les équations d'équilibre sont satisfaites et que les hauteurs de fuites sous les fermetures avant et arrière sont compatibles avec les pressions et les débits de fuite. (Voir l'organigramme général de PERF en planche N° 4).

2.3. Détermination des traînées

Les composantes de la traînée sur eau calme sont les suivantes :

- Traînée d'onde du coussin d'air
- Traînée de frottement des quilles
- Traînée d'onde des quilles
- Traînée aérodynamique
- Traînée de captation
- Traînée des fermetures AV et AR.

2.3.1. Traînée d'onde du coussin d'air

Le calcul théorique de la traînée d'onde du coussin d'air a été établi par Newman et Poole (1). Pour un coussin d'air rectangulaire, on a :

$$T_w = \frac{4}{\rho g} \cdot \rho_c^2 B_c \cdot N \left(F_c, \frac{L_c}{B_c} \right)$$

avec $F_c = \frac{V}{\sqrt{g L_c}}$

N est un coefficient sans dimension, dont les valeurs sont données sur la planche 5-a. Les mesures qui ont pu être faites ont montré une très bonne corrélation avec cette théorie pour un F_c supérieur à 0.5 (2) et (3). Pour Froude inférieure à 0.4, l'important pic théorique de traînée n'est pas réaliste, car il correspondrait à des vagues d'accompagnements instables. En appliquant une limite de cambrure aux vagues, on obtient une condition supplémentaire sur le nombre N :

$$N \leq \frac{0.05}{4} \left(\frac{L_c}{B_c} \right) \left(\frac{\rho g \sqrt{S_c}}{\rho_c} \right)^2 F_c^4 \quad (4)$$

Voir planche 5-b un exemple d'application de cette condition pour un allongement moyen $L_c/B_c = 4$

2.3.2. Traînée de frottement des quilles

La traînée de frottement s'écrit :

$$T_f = C_f \frac{1}{2} \rho S_m V^2$$

Le coefficient de frottement C_f est celui recommandé par l'International Towing Tank Conference, soit :

$$C_f = \frac{0.075}{(\log_{10} Re - 2)^2}$$

avec Re : Nombre de Reynolds

$$Re = \frac{V L_q}{\nu}$$

ν = viscosité cinématique (m^2/s) de l'eau de mer

Pour tenir compte de la rugosité de la carène, le coefficient C_f ne sera pas inférieur à celui d'un écoulement turbulent sur une plaque rugueuse, soit :

$$C_f = \left(1.89 + 1.62 \log_{10} \frac{L_q}{K_s} \right)^{-2.5} \quad (6)$$

K_s : rugosité significative pour une peinture anti-fouling autolissante (5)

La connaissance la plus précise possible de la surface mouillée S_m est également importante, d'où cette nécessité de déterminer la configuration d'équilibre du NES : assiette, tirants d'eau, position de la surface libre le long des coques.

2.3.3. Traînée d'onde des quilles

L'interaction entre le système de vagues des quilles et celui du coussin d'air n'est pas clairement établie. D'un point de vue théorique il serait souhaitable de pouvoir faire une approche globale du problème. Pour une application au dimensionnement d'un projet de NES, on se contente de négliger cette interaction ; en conséquence on ajoute à la traînée d'onde du coussin d'air étudiée en 2.3.1., une traînée des quilles comprenant deux termes :

- La traînée d'onde d'une carène mince équivalente, par la théorie de MICHELL :

$$T_m = \frac{8}{\pi} \int_0^{\pi} g \times \frac{(2B_q)^2 T_q^2}{L_q} \times R(F_q)$$

$R(F_q)$ = Nombre de MICHELL

- La traînée de "culot" des tableaux arrières tenant compte du décrochement des filets d'eau, et correspondant à la pression hydrostatique sur la surface immergée de ces tableaux (6). Là encore, une connaissance précise du tirant d'eau arrière permet de calculer correctement cette traînée.

2.3.4. Traînée aérodynamique

Cette traînée n'est pas négligeable pour des navires rapides, et en particulier pour des NES qui offrent une cross-section importante à l'écoulement de l'air. La traînée s'écrit :

$$T_a = C_a \frac{1}{2} \rho_a S_a V^2$$

avec un coefficient C_a qui peut varier de 0.3 pour une carène très profilée à 1.1 pour une carène très carré avec de nombreux appendices ou superstructures. Un C_a de 0.5 peut être retenu pour des formes correctement étudiées.

2.3.5. Traînée de captation

Cette traînée correspond à la captation de l'air ambiant pour les besoins de la sustentation. Supposant que les quantités de mouvement des débits d'air sous les fermetures AV et AR se compensent, l'application du théorème d'EULLER fournit :

$$T_{capt} = \int_a Q_v V$$

2.3.6. Traînée des fermetures AV et AR

Cette traînée apparaît comme une valeur résiduaire dans le cas d'un essai maquette. Cette valeur n'est jamais nulle, même quand les jupes AV et AR ne sont pas en contact avec l'eau. Pour son évaluation, on utilisera une formule empirique, proposée par MURAO, et calée sur des valeurs expérimentales, soit :

$$T_d = C_{sk} \cdot \frac{1}{2} \frac{\rho_c B_c}{g} V^2 \quad (2) \text{ et } (3)$$

avec $C_{sk} = 0.02$ quand les jupes ne sont pas en contact avec l'eau.

Si le NES n'est pas correctement centré, les jupes AV ou AR viennent en contact avec l'eau et la traînée augmente rapidement. Il en est de même pour un nombre de Froude compris entre 0.25 et 0.50 correspondant à la transition vers le déjaugeage. Pour tenir compte de ces cas, on adoptera un coefficient ΔC_{sk} fonction de l'immersion des jupes, dans le cas des jupes AV (Voir planche N° 7), ou fonction de la surface estimée en contact, dans le cas de la jupe AR.

2.3.7. Traînée sur houle de face

L'estimation de la traînée sur houle se fait sur la base de la méthode de la résistance ajoutée (7), adaptée au cas du NES :

$$T_h = T_c + K_{aw} (\omega_r, F_q) \times \left(\int_0^a g H^{1/2} B_q^b B_{kt}^c / L_q \right)$$

avec T_h : Traînée sur houle
 T_c : Traînée sur eau calme, à même vitesse

K_{aw} : coefficient sans dimension, fonction de

- la pulsation de rencontre adimensionnelle : ω_r

$$\omega_r = 2\pi f_r \sqrt{Lg/g}$$

- nombre de Froude quilles : F_q

a, b, c : coefficients, fonction de ω_r , tels que :

$$a + b + c = 4$$

Pour un navire classique naviguant à faible vitesse, la résistance ajoutée est approximativement proportionnelle au carré du $H^{1/3}$ ($a = 2$). Dans le cas d'un NES, les essais maquette ont montré qu'à partir d'une certaine fréquence de rencontre, correspondant à une navigation à grande vitesse sur clapot, la résistance ajoutée n'est plus proportionnelle au carré du $H^{1/3}$ mais à une valeur moindre (Voir planche 8-a).

Moyennant ces hypothèses, la fonction $K_{aw}(\omega_r, F)$ est déterminée à partir des résultats d'essais. (Voir planche 8-b). On peut remarquer un pic de traînée, pour une valeur à peu près constante de $\omega_r = 3.50$.

2.4. Calcul des puissances de propulsion et de sustentation nécessaires

Le modèle contient en sous-programmes les caractéristiques paramétrées des différents propulseurs envisageables (hydrojets ou hélices de surface) avec une formulation du type :

$$\begin{cases} \frac{P}{N_p^2} = A - B \frac{V}{N_p} \\ \frac{W}{N_p^3} = C - D \frac{V}{N_p} \end{cases}$$

$$P < P_{cavitation} = E + F V^2$$

N_p = Nb de tours

A, B, C, D, E, F, coefficients correspondant aux caractéristiques constructeurs.

Le modèle contient de même en sous-programmes les caractéristiques paramétrées des différents ventilateurs envisageables, avec une formulation du type :

$$P_v = \left[A \left(\frac{N_v}{N_{v0}} \right)^2 - B \left(Q_v - C \frac{N_v}{N_{v0}} \right)^2 \right] \frac{\rho_a}{\rho_{a0}}$$

A, B et C étant des coefficients fonction de l'angle de calage des inclineurs.

Ces sous-programmes permettent de déterminer les puissances de propulsion et de sustentation, en fonction des lois de rendement et des nombres de tours nécessaires pour assurer la poussée requise et les conditions de sustentation.

2.5. Validation du modèle

. Le modèle a été comparé aux résultats d'essais d'une maquette au 1/15 du NES 24, et validé pour Froude = 0.6 à 1.3. Tous paramètres confondus, et compte tenu d'une incertitude de 3 % sur les valeurs mesurées, les écarts maximums entre modèle et essai sont de :

± 12 % sur la traînée eau calme (voir planche 9-a)

± 15 % sur la traînée sur houle de face

± 0.6 sur l'angle d'assiette (voir planche 9-b)

± 10 % sur la pression coussin, la pression calculée étant en moyenne de 4 % supérieure à celle mesurée (voir planche 9-c).

. Le modèle représente correctement l'influence de la position du centre de gravité du navire (centrage) sur le comportement et la traînée du NES, ce qui est l'un des paramètres essentiels pour l'optimisation du projet (voir planche 9-d).

. Si le centrage est trop avant, le bas des jupes avant reste planté dans la vague d'étrave, le NES ne déjauge pas ou mal et la traînée augmente rapidement. Si le centrage est trop arrière, le coussin d'air fuit par l'avant et la pression chute, le bas de la jupe AR s'appuie sur l'eau, le tirant d'eau AR est important et la traînée augmente. Entre ces deux situations critiques, il existe un palier de centrage correspondant à un fonctionnement normal du NES déjaugé, c'est-à-dire avec les jupes AR et la jupe AR décollées de l'eau, associés à un débit de fuite à l'AV et à l'AR.

. Pour Froude < 0.6, le modèle n'est pas conçu pour représenter les interactions complexes entre le plan d'eau, le coussin d'air et les jupes AV et AR. Cependant, en ajoutant quelques hypothèses simplificatrices, on obtient des résultats indicatifs et logiques, mais non validés, en continuité de ceux obtenus pour Froude > 0.6.

. Pour Froude > 1.3, le manque de points d'essais ne permet pas de valider le modèle, mais il n'y a pas de contre-indication théorique à son utilisation.

3. PRINCIPAUX RESULTATS - COMPARAISON AVEC LE NES 200

3.1. Principaux résultats

Il est particulièrement intéressant de regarder l'évolution de chaque composante de la traînée en fonction du nombre de Froude (Voir planche 10). On constate que la traînée d'onde des quilles atteint son maximum pour Froude : 0.5, alors que la traînée d'onde du coussin d'air atteint le sien pour Froude : 0.7 à 0.8, pour un allongement du coussin d'air de 4.4. Un allongement plus faible du coussin d'air, de l'ordre de 2 à 3, rapprocherait ces deux maximums et pourrait conduire à une bosse de traînée importante. A partir de Froude : 1.3, les traînées de frottement hydrodynamiques et aérodynamiques deviennent prépondérantes.

. Les performances sur houle sont essentiellement fonction de la longueur d'onde rencontrée (Voir planche 11).

- sur houle courte (clapot), les mouvements du NES sont faibles, et la vitesse reste élevée
- sur houle intermédiaire, pour des longueurs d'onde égales à 1.25 à 2 fois la longueur des quilles, on observe un mouvement important de tangage et la vitesse sera réduite.
- sur houle longue, une vitesse élevée reste théoriquement possible mais génèrera des accélérations verticales qui pourront être gênantes pour le confort des passagers.

3.2. Comparaison avec les prévisions de performances du NES 200

Le NES 200, en cours de réalisation sous contrat de la Marine Nationale, a pour caractéristiques principales :

- longueur hors tout : 51 m
- largeur hors tout : 13 m
- longueur de la ligne de quilles : 41.94 m
- largeur coussin : 8 m
- allongement du coussin # 5.1
- vitesse : 42 noeuds eau calme

Les prévisions de performances du NES 200, présentées dans les communications de l'ATMA 88, résultent des essais maquette au Bassin des Carènes de Paris (BCP) et au David Taylor Research Center (DTRC), et des essais de MOLENES - (8) et (9). Pour la comparaison, nous avons introduit dans le modèle PERF les caractéristiques du NES 200, avec cependant deux différences notables :

- les caractéristiques hydrostatiques des quilles correspondent à une affinité, aux dimensions du NES 200, du plan de formes NES 24
- les jupes AV modélisées sont des biconiques type NES 24 ajustées au ras des quilles, alors que le NES 200 sera équipé de jupes AV type bag + doigts.

On constate un très bon accord entre les résultats de PERF et les prévisions BCP et DTRC, dans le domaine de validation de PERF ($0.6 < F < 1.30$) : à $F_q = 1.30$, PERF donne une traînée de $- 5 \%$ à $+ 11 \%$ par rapport aux prévisions BCP ou DTRC. On peut noter également la marge d'erreur que prévoit le DTRC, soit $\pm 10 \%$, à comparer aux $\pm 12 \%$ de PERF (Voir planche 12).

Pour $F_q < 0.6$, on peut noter que la bosse de déjaugeage indiquée par PERF est moins marquée que celles données par BCP ou DTRC, mais correspond à un même niveau de traînée (soit environ 50% de la traînée à $F = 1.30$).

Pour la pression et le débit du coussin d'air, on obtient également des résultats comparables :

NES 200	BCP	PERF
DME (225 t)	$P_c = 5800 \text{ Pa}$ $Q_v = 96.5 \text{ m}^3/\text{s}$	$P_c = 6030 \text{ Pa}$ $Q_v = 100.5 \text{ m}^3$
Charge maxi (250 t)	$P_c = 6600 \text{ Pa}$ $Q_v = 103 \text{ m}^3/\text{s}$	$P_c = 6740 \text{ Pa}$ $Q_v = 108 \text{ m}^3/\text{s}$

4. CONCLUSION

La prévision de la performance d'un navire à effet de surface nécessite la compilation des différentes composantes de la traînée :

- traînée d'onde du coussin d'air,
- traînée de frottement des quilles
- traînée d'onde des quilles
- traînée aérodynamique et de captation
- traînée des fermetures avant et arrière.

Le calcul de chacune de ces composantes nécessite de connaître précisément les différents paramètres de l'équilibre longitudinal du navire. Dans ce but, IFREMER a développé un modèle global, PERF,

et une méthode de calcul itératif permettant de satisfaire les équations de l'équilibre dans le plan longitudinal (suivant \vec{Ox} , \vec{Oz} et \vec{M}), les conditions d'alimentation stabilisée du coussin d'air et les paramètres de fonctionnement des ventilateurs et des propulseurs.

La méthode de la traînée additionnelle sur houle, adaptée au cas du NES, est utilisée pour estimer les performances sur houle de face.

Les essais, au bassin de traction du centre IFREMER de Brest, de la maquette au 1/15 du NES 24 sur eau calme et sur houle (730 points d'essai), ont permis de valider le modèle PERF dans une gamme du nombre de Froude allant de 0.6 à 1.3. Dans cette gamme, et tous paramètres de réglages confondus, le modèle permet d'estimer la traînée avec un écart maximum de :

± 12 % sur eau calme

± 15 % sur houle de face

ainsi que les autres paramètres de fonctionnement du NES (Assiette et tirants d'eau, pressions et débits, nombre de tours et puissances des propulseurs et ventilateurs, ...).

Une comparaison avec des résultats publiés des essais d'une maquette du NES 200 au Bassin des Carènes de Paris et au David Taylor Research center met en évidence un accord satisfaisant.

Le modèle PERF est actuellement utilisé pour optimiser la conception du NES 24, et estimer ses performances. Ces estimations seront comparées aux mesures qui seront faites fin 1990 lors des essais du prototype.

REFERENCES

- (1) Newmann, J.N. and Poole, F.A. "The Wave Resistance of a Moving Pressure Distribution in a Canal. "David Taylor Model Bassin Rept. 1619, March, 1962
- (2) MURAO, SATO, IKAME et KITAMURA "On the Performance of Sidewall Air Cushion Vehicle Propelled by Water jet" Third International Hovercraft Conference of the Hovercraft Society - November 1981.
- (3) MURAO "On the Drag for a Sidewall ACV over calm Water" Ship Research Institute Ministry of Transport-Japan.
- (4) E.G. TATTERSAL "Lecture Notes on the performance related characteristics of Hovercraft and Surface Effect Ships" High Speed and Pleasure Craft - University of GENOA - october 1985.
- (5) DUBOURG et BIANCHI "Evolution de la rugosité des carènes des navires en service - Relation rugosité - Performances" - ATMA 87.
- (6) WILSON, WELLS et HEBER "Powering prediction for Surface Effect Ships based on Model Results" J. HYDRONAUTICS - October 1979.
- (7) BHATTACHARYYA - "Dynamics of Marine Vehicles" Wiley and sons (N.Y.).
- (8) BERTRAND "Les essais hydrodynamiques sur modèles de NES 200" - ATMA 88
- (9) GOUBAULT et SALMON "Systèmes de sustentation actifs et passifs des navires à effet de surface" - ATMA 88.

SYMBOLES

Bc : Largeur du coussin d'air	Sa : Surface de la cross-section pour la traînée aérodynamique
Bht : Largeur hors tout	Sc : Surface du coussin d'air
Bq : Largeur de flottaison d'une coque	Sm : Surface mouillée des coques
Ca : Coefficient de frottement aérodynamique	Ta : Traînée aérodynamique
Csk : Coefficient de traînée des fermetures	Tcapt : Traînée de captation
Fc : Nombre de Froude du coussin d'air	Tc : Traînée totale sur eau calme
Fq : Nombre de Froude des quilles	Tf : Traînée de frottement des quilles
f_r : Fréquence de rencontre du navire sur la houle	Th : Traînée sur houle de face
g : Accélération de la pesanteur	Tj : Traînée des fermetures AV et AR
K _s : Rugosité significative de la carène	Tm : Traînée d'onde d'une carène mince équivalente par la théorie de MICHELL
Kaw : Coefficient de résistance ajoutée sur houle	Tq : Tirant d'eau d'une coque
Lc : Longueur du coussin d'air	Tw : Traînée d'onde du coussin d'air
Lq : Longueur des quilles	Twq : Traînée d'onde des quilles
Lw : Longueur d'onde de la houle	V : Vitesse du navire
N : Nombre de Newman	W : Puissance de propulsion
Np : Nombre de tours de l'appareil propulsif	ρ_a : Masse volumique de l'air
Nv : Nombre de tours du ventilateur	ρ_o : Masse volumique de l'eau de mer
P : Poussée de l'appareil propulsif	θ : Angle moyen/horizontale, de la surface de l'eau sous le coussin d'air en configuration déjaugée
Pb : Pression relative dans la jupe AR	θ_e : Angle moyen/horizontale, de la surface de l'eau sur le côté extérieur des coques
Pc : " " dans le coussin d'air	ν : Viscosité cinématique de l'eau de mer
Pj : " " dans le volume inter-jupes AV	ω_r : Pulsation adimensionnelle de rencontre du navire sur la houle
Pv : " " en sortie ventilateurs	$\omega_r = 2\pi f_r \sqrt{Lq/g} = \sqrt{2\pi(Lq/Lw)} + 2\pi(Lq/Lw) Fq$
Qar : Débit de fuite sous la jupe AR	
Qv : Débit d'air total généré par les ventilateurs	
Re : Nombre de Reynolds des quilles	

PLANCHE N° 1Caractéristiques générales du NES 24

Longueur hors tout : 24.30 m

Longueur lignes des quilles : 19.17 m

Largeur hors tout : 6.73 m

Largeur du coussin d'air : 4.00 m

Déplacement : 27 t lège
45 t en charge

Capacité : 152 passagers

Vitesse : 35 noeuds charge maxi eau calme

40 noeuds lège eau calme

Puissance de propulsion : 2 x 1000 cv

Puissance de sustentation : 2 x 175 cv

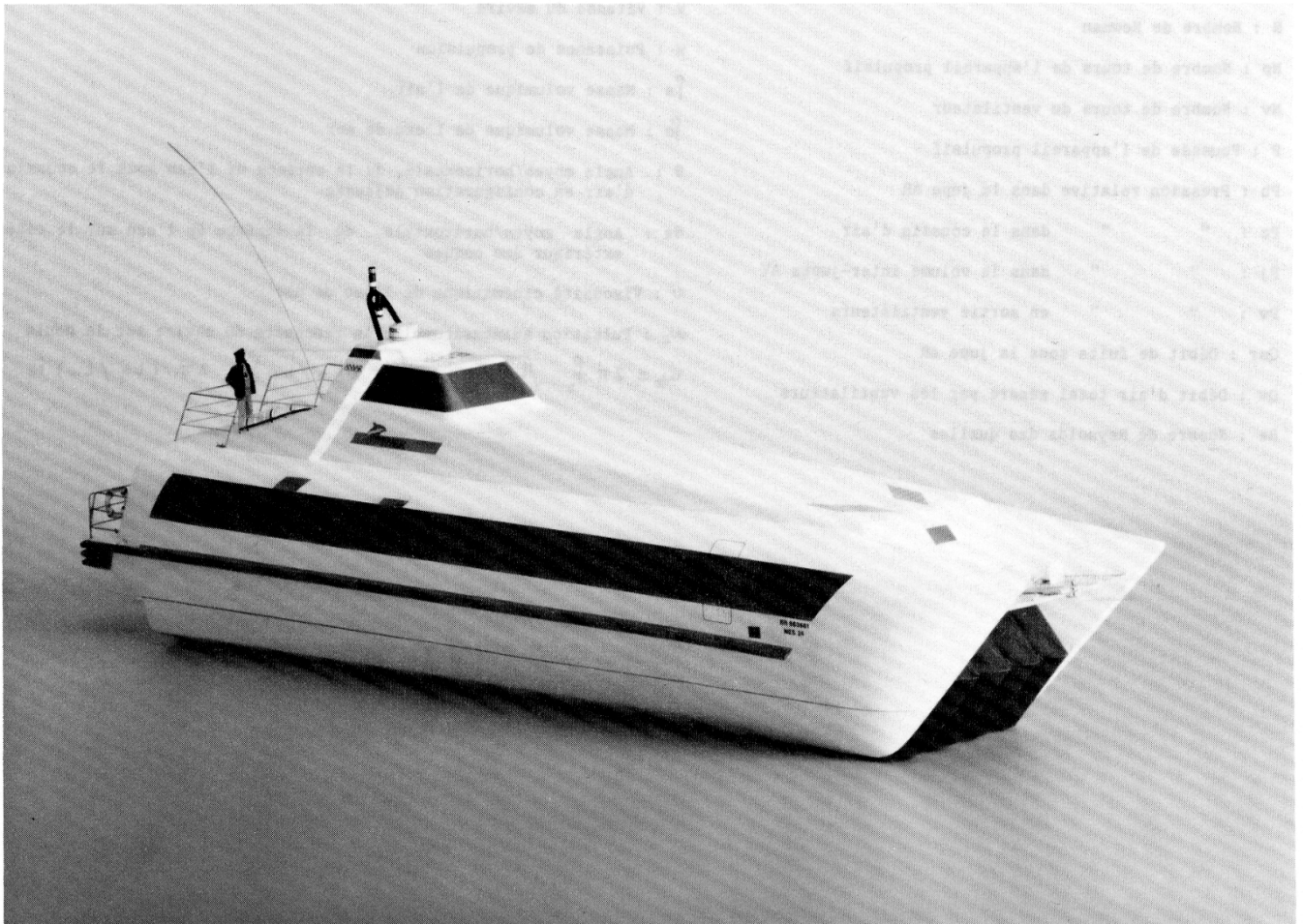
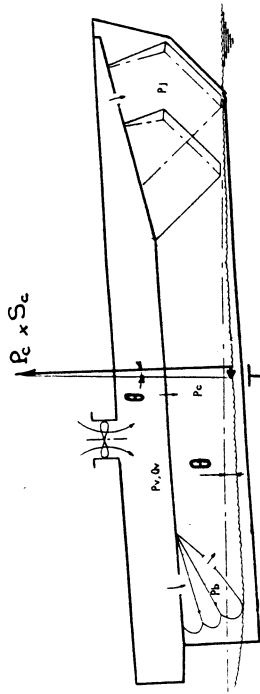
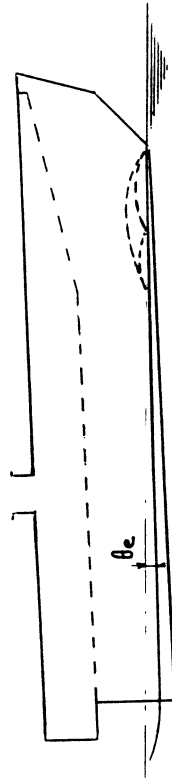


PLANCHE N° 3

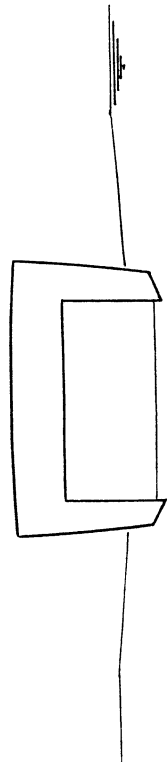
PLANCHE N° 2 : Hypothèses sur la position de l'eau le long des coques



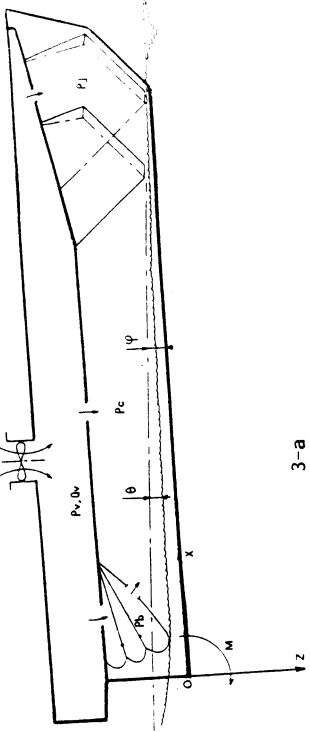
2-a



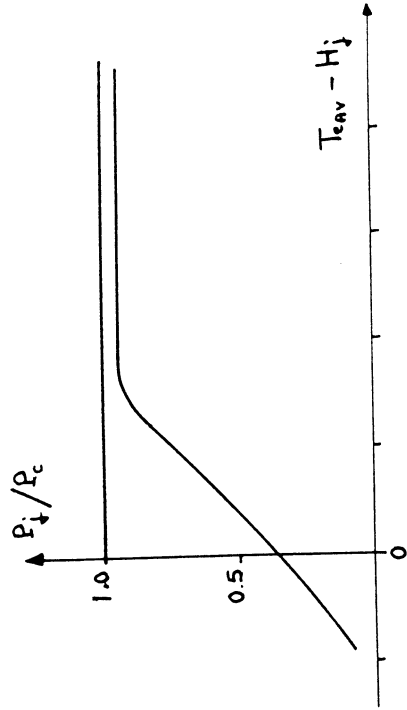
2-b



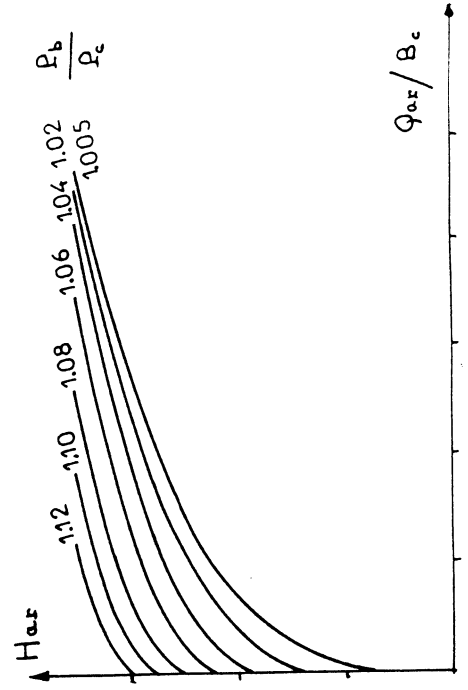
2-c



3-a



3-b Caractéristique de fonctionnement de la fermeture AV



3-c Caractéristique de fonctionnement de la fermeture AR

PLANCHE 4

ORGANIGRAMME GENERAL DE PERF

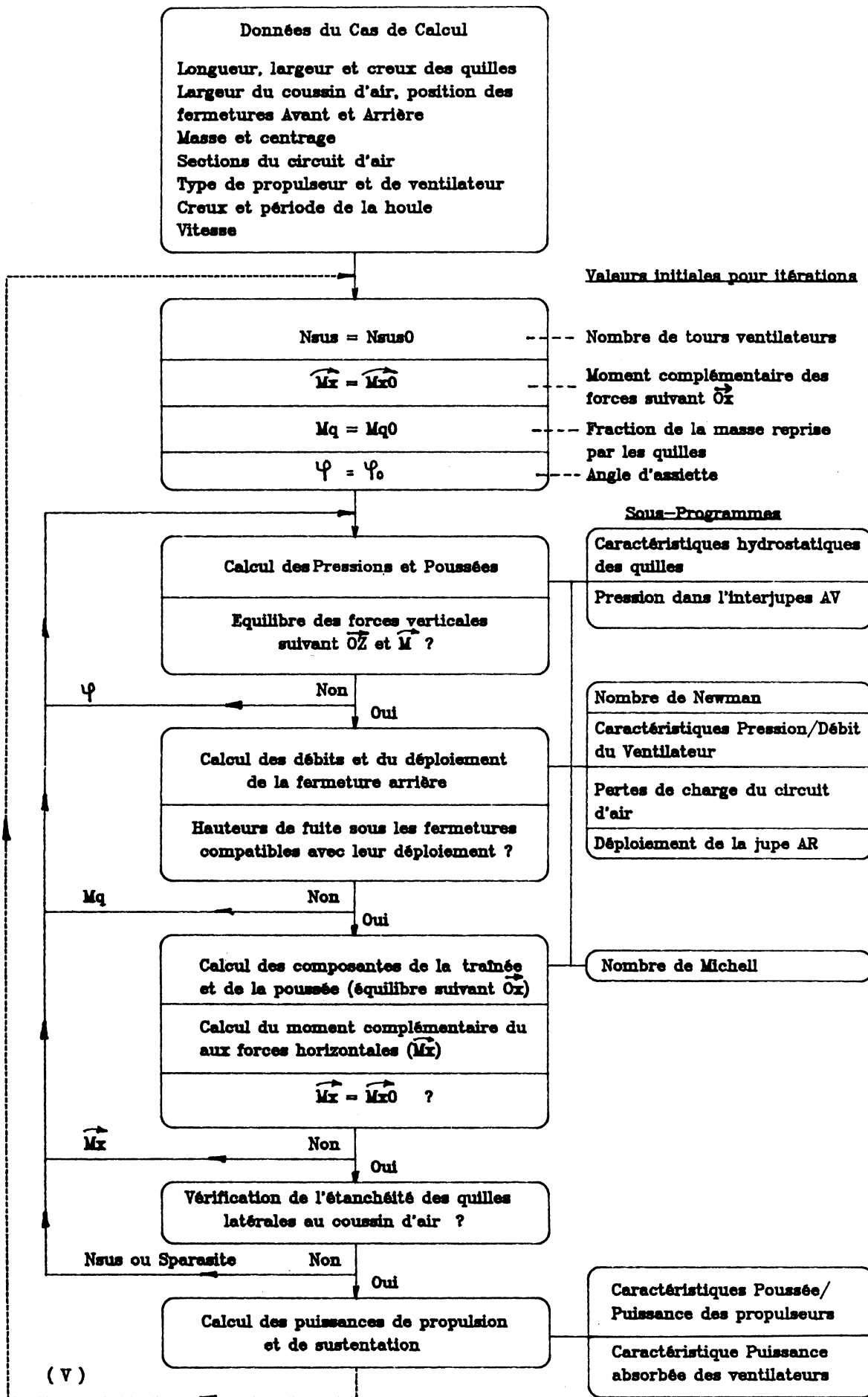
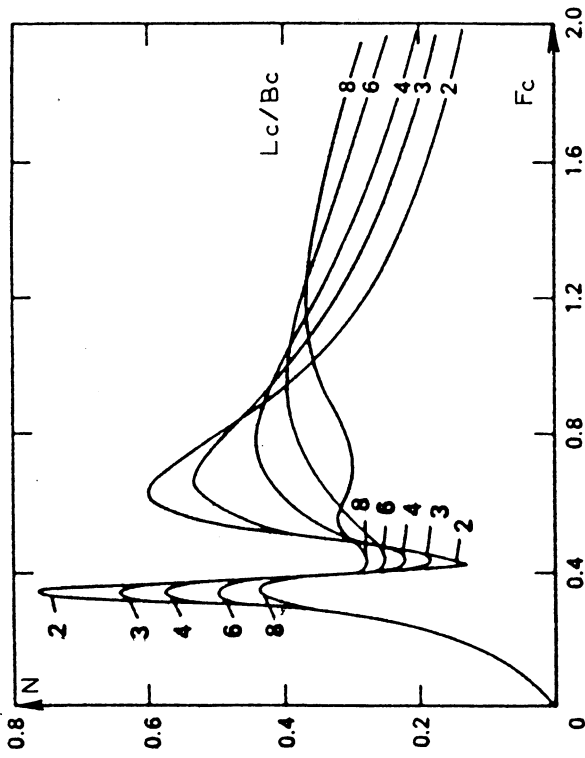
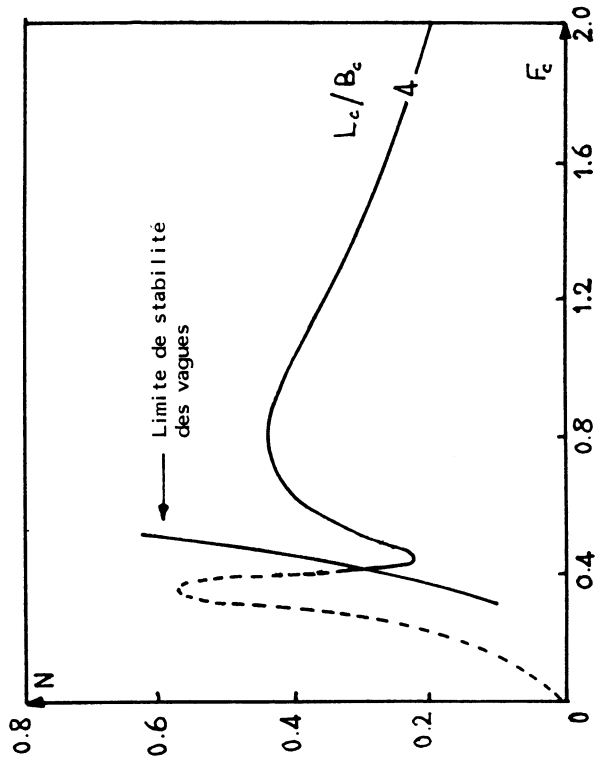


PLANCHE N° 5



5-a Coefficient de Newman et Poole



5-b Coefficient corrigé

PLANCHE N° 6
COEFFICIENT DE FROTTEMENT

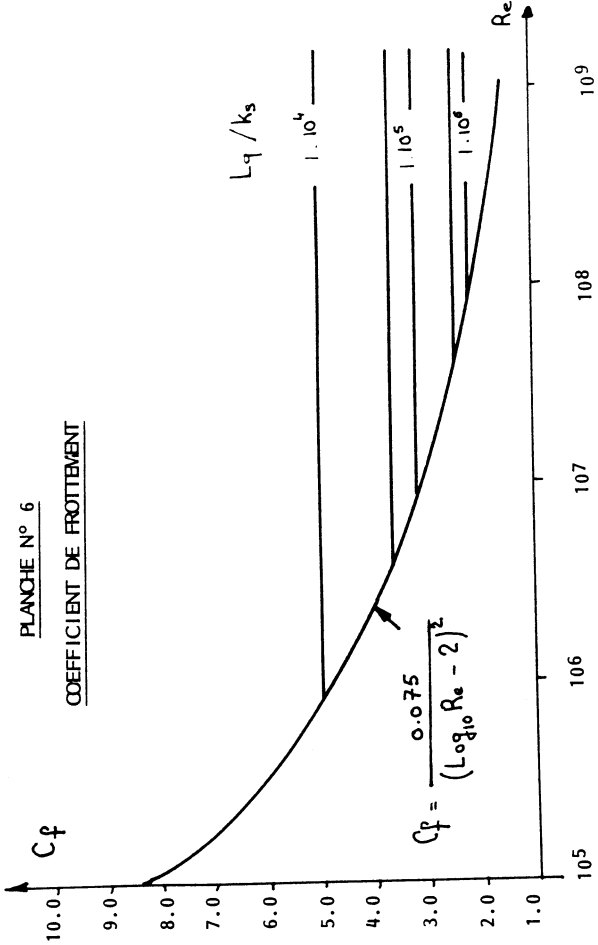


PLANCHE N° 7

COEFFICIENT DE TRAINÉE DES JUPES AV

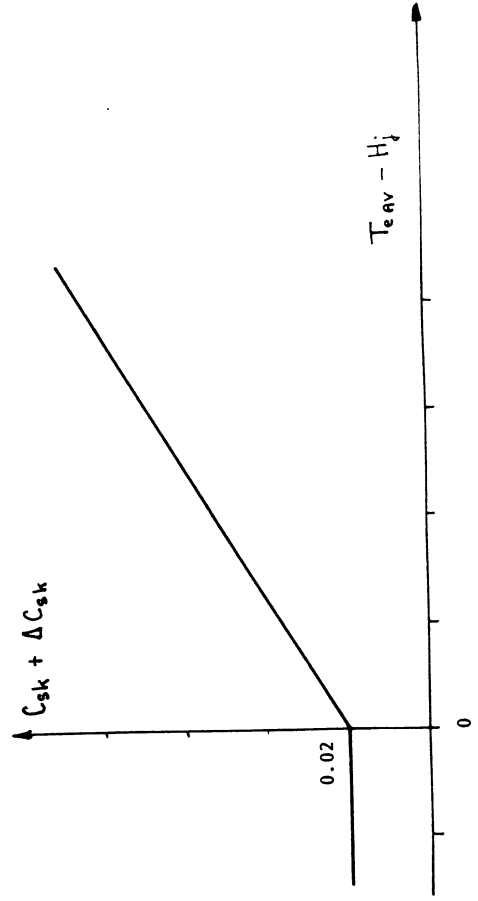
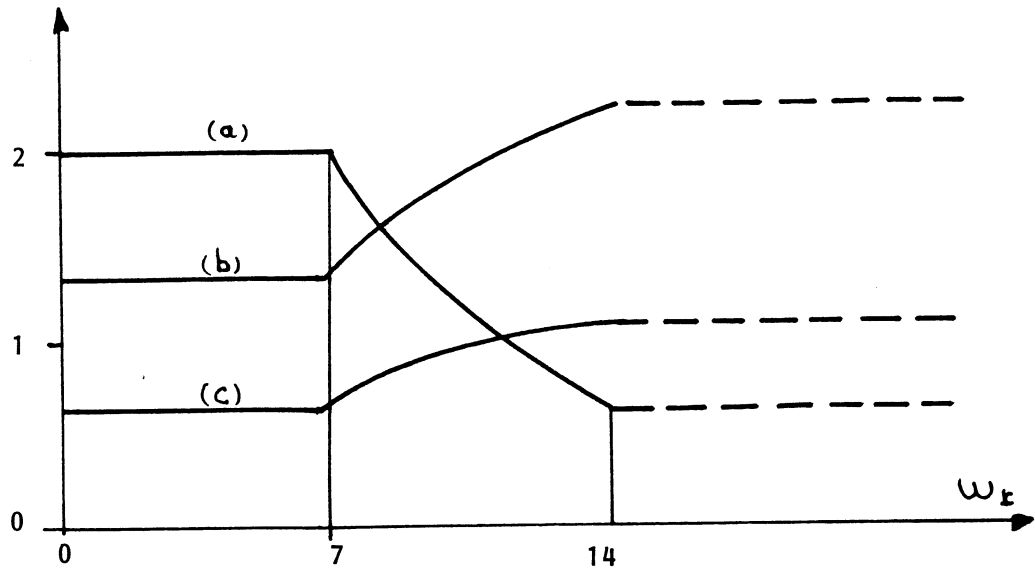
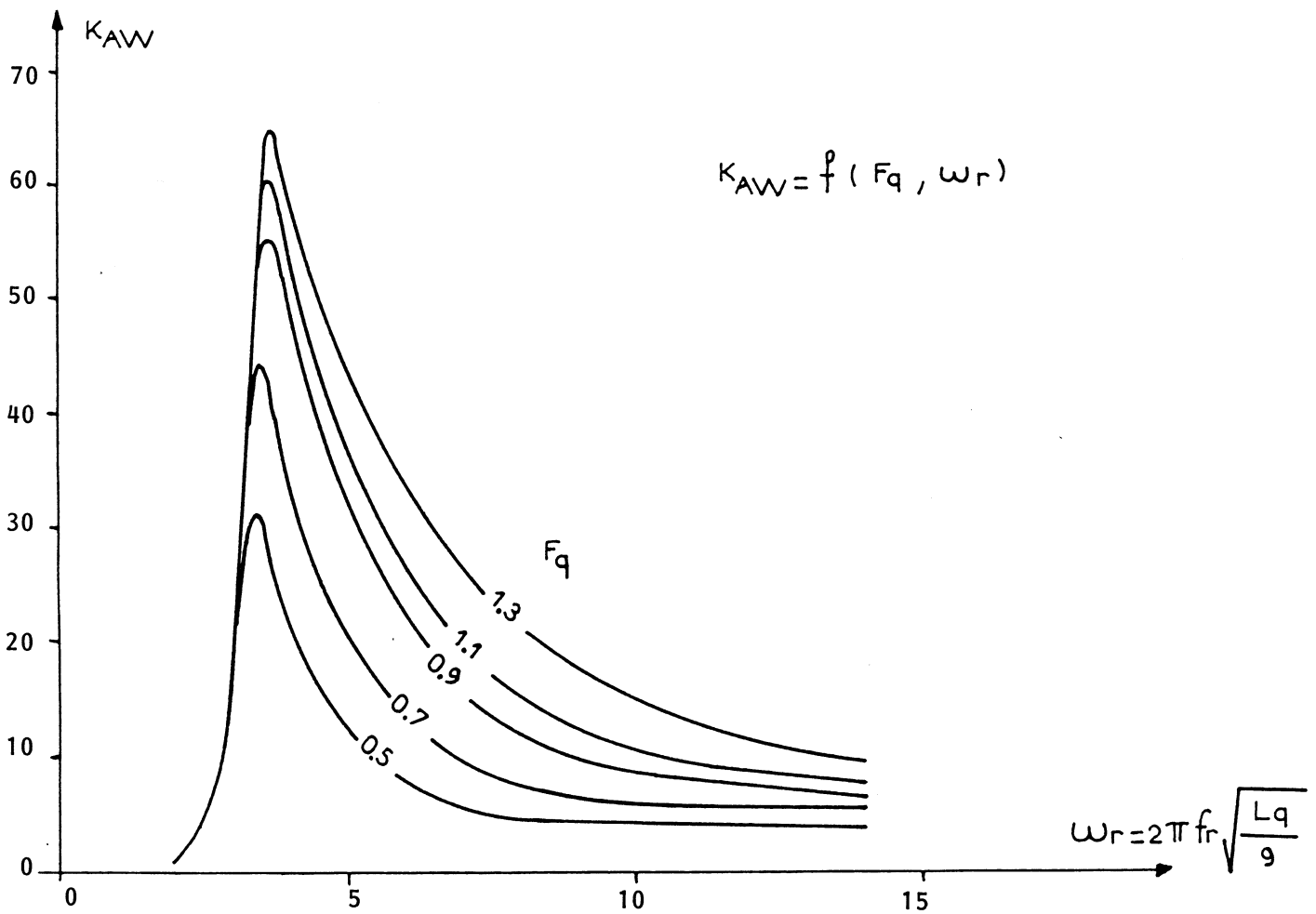


PLANCHE N° 8

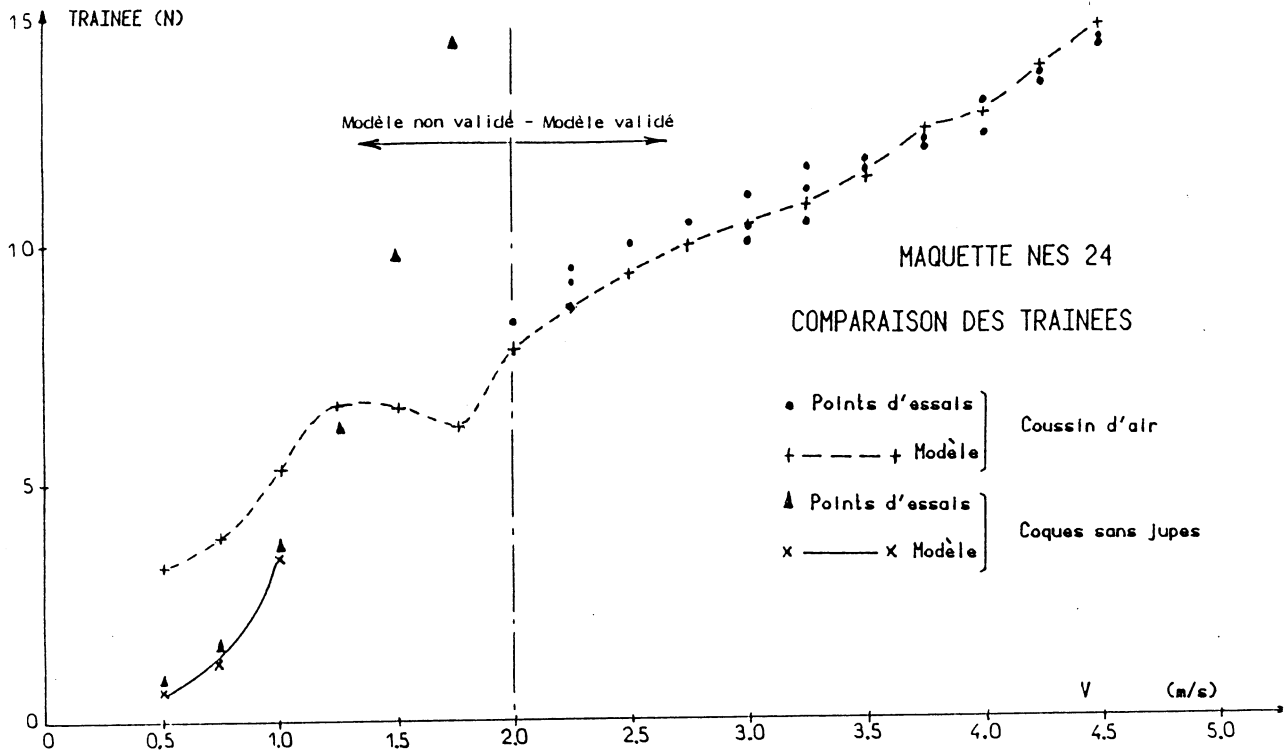


8-a Coefficients a, b, c

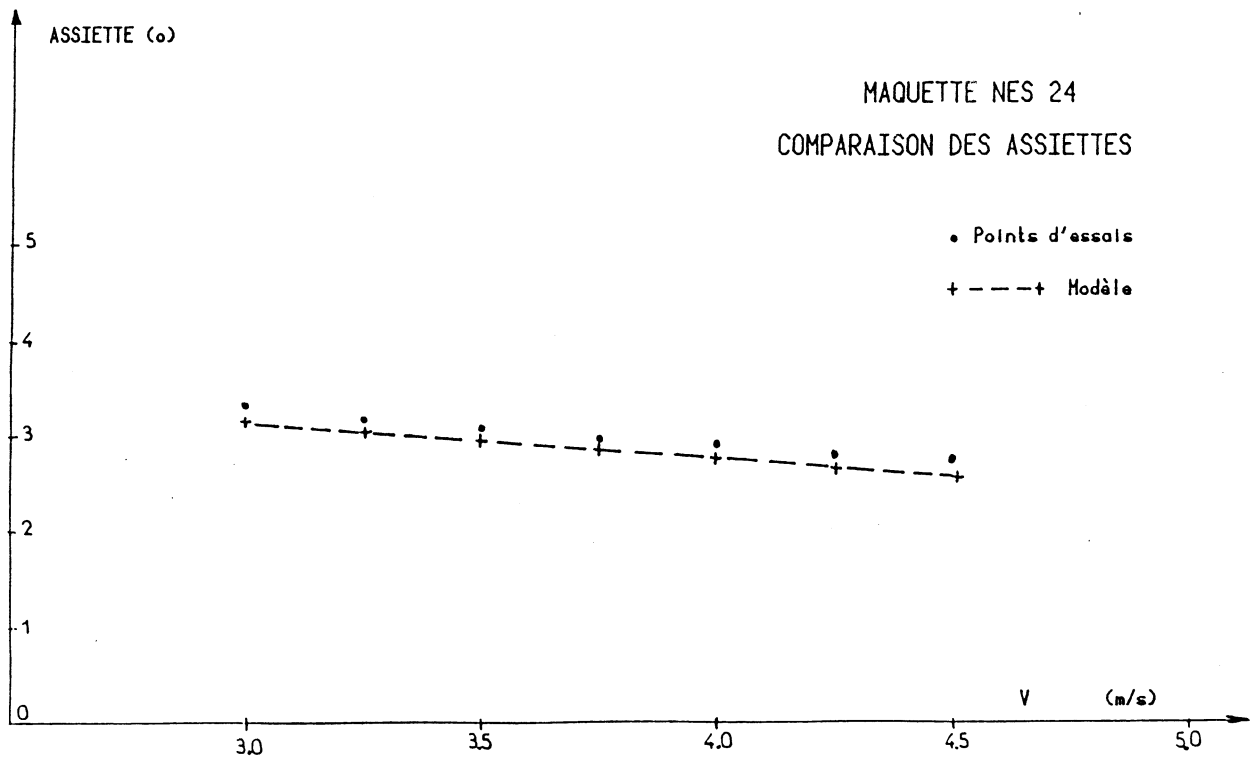


8-b Coefficient Kaw

PLANCHE N° 9

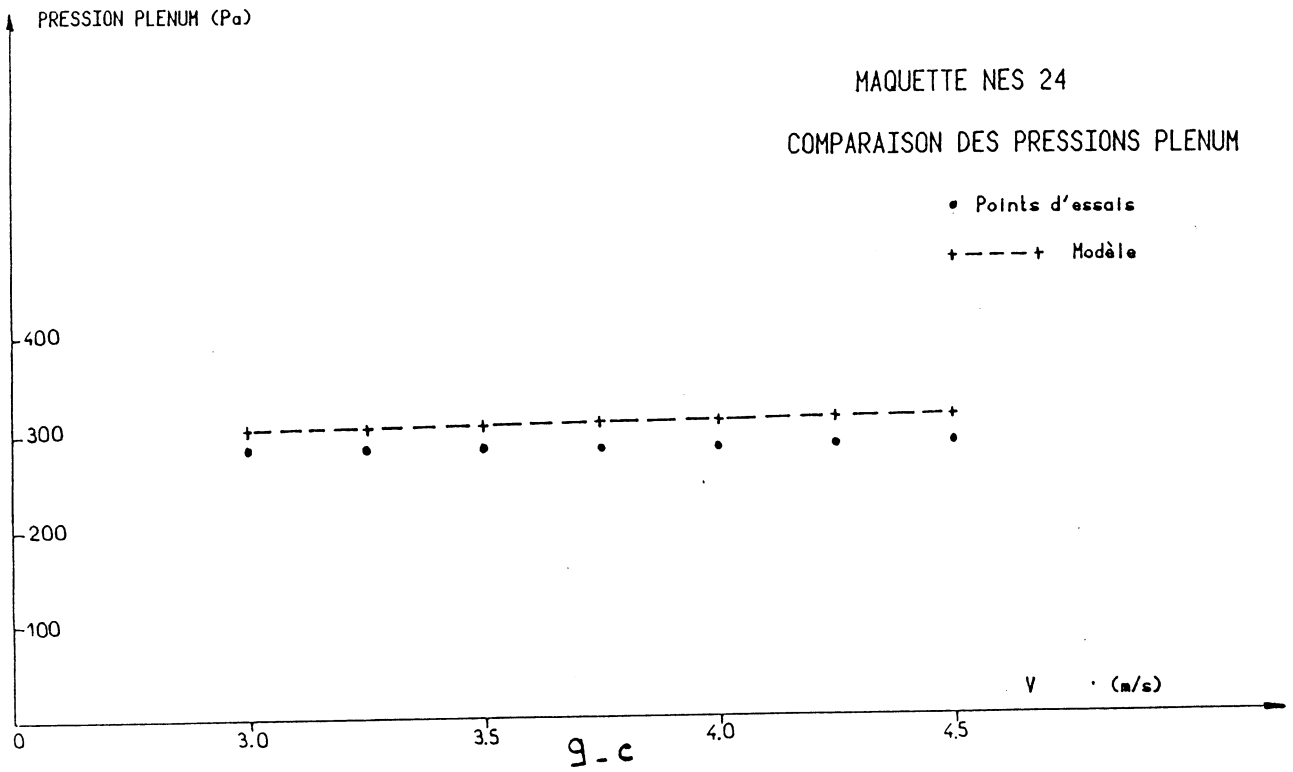


9-a

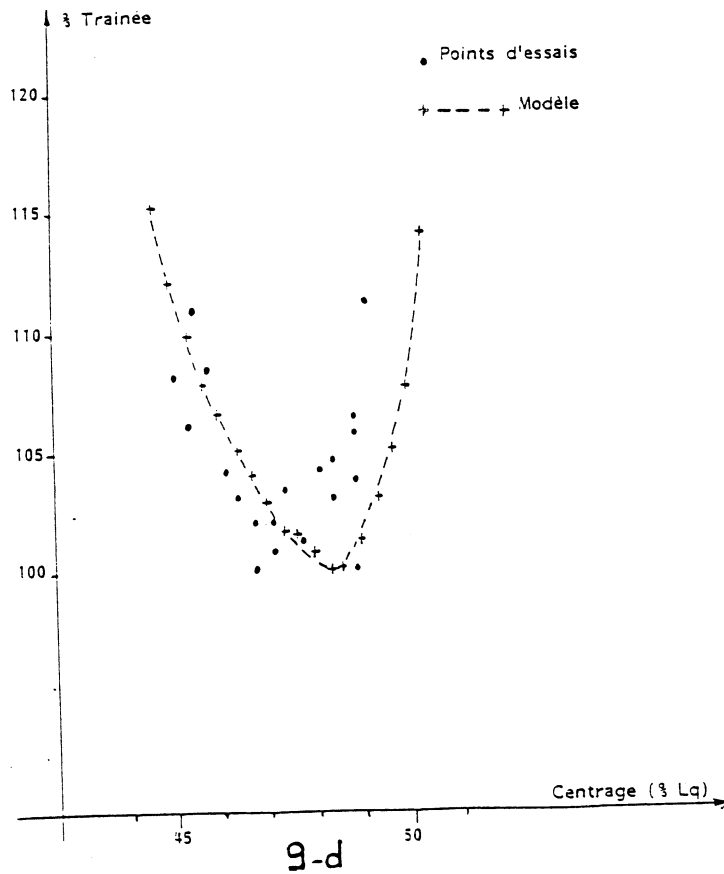


9-b

PLANCHE 9 (SUIITE)



INFLUENCE DU CENTRAGE



COMPOSANTES DE LA TRAINEE DU NES 24

Proude V (Noeuds)	0.3 8.0	0.5 13.3	0.7 18.7	0.9 24.0	1.1 29.3	1.3 34.7	1.5 40.0
Trainée d'onde du coussin d'air	54.2 %	31.8 %	54.0 %	47.2 %	39.3 %	34.2 %	27.0 %
Trainée de frottement des quilles	13.7 %	13.9 %	13.5 %	20.0 %	26.3 %	31.6 %	36.7 %
Trainée d'onde des quilles	14.6 %	42.6 %	22.9 %	17.0 %	12.5 %	9.2 %	6.9 %
Trainée aéro- dynamique	1.3 %	1.6 %	2.8 %	4.2 %	5.6 %	7.3 %	8.6 %
Trainée de captation	1.1 %	0.7 %	0.9 %	1.0 %	1.1 %	1.2 %	1.2 %
Trainée des jupes AV et AR	15.1 %	9.4 %	6.0 %	10.6 %	15.2 %	16.3 %	19.6 %

PLANCHE N° 12

TRAINEE SUR EAU CALME
NES 200/ Δ = 225 t (DME)

--- BCP
DTRC
● IREMER (PERF)

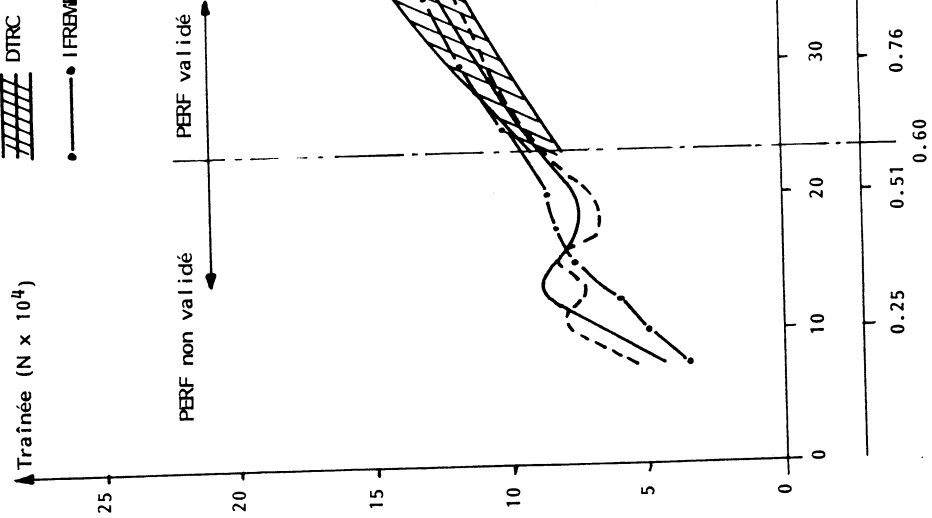


PLANCHE N° 11

NES 24 DOMAINE DE VOL
HUILLE DE FACE

