

## Chapter 43

# LA PROTECTION CONTRE LE VENT DES NAVIRES A QUAI

par Jacques Valensi

Professeur à la Faculté des Sciences

Directeur de l'Institut de Mécanique des Fluides

de l'Université d' Aix-Marseille

### 1ère Partie

1. Les manoeuvres d'accostage et la tenue des navires à quai peuvent soulever de très sérieuses difficultés pour les grandes unités et plus particulièrement dans le cas où le quai est exposé à l'action de vents dominants transversaux, c'est à dire dans un plan perpendiculaire au quai.

Les rafales de vent peuvent dans ce cas, d'une part gêner les manoeuvres d'accostage, au point d'interdire l'amarrage, d'autre part, pour un navire déjà amarré, les rafales peuvent engendrer dans les aussières toujours inégalement tendues des tensions instantanées capables de les casser.

Prenons l'exemple d'un navire déplaçant 30.000 tonnes avec pour longueur : 216 m , largeur 30 m, et tirant d'eau 10 m.

Un vent permanent de 120 kmh., horizontal et perpendiculaire à l'axe longitudinal du bateau, exerce sur celui-ci une poussée transversale de 250 tonnes (d'après essais en soufflerie sur modèle réduit; voir figure 1).

Mais le problème de l'amarrage est un problème essentiellement dynamique, car l'expérience montre qu'en cas de tempête le navire amarré à quai se meut constamment. Il faut donc pour examiner la possibilité de résistance d'un amarrage à

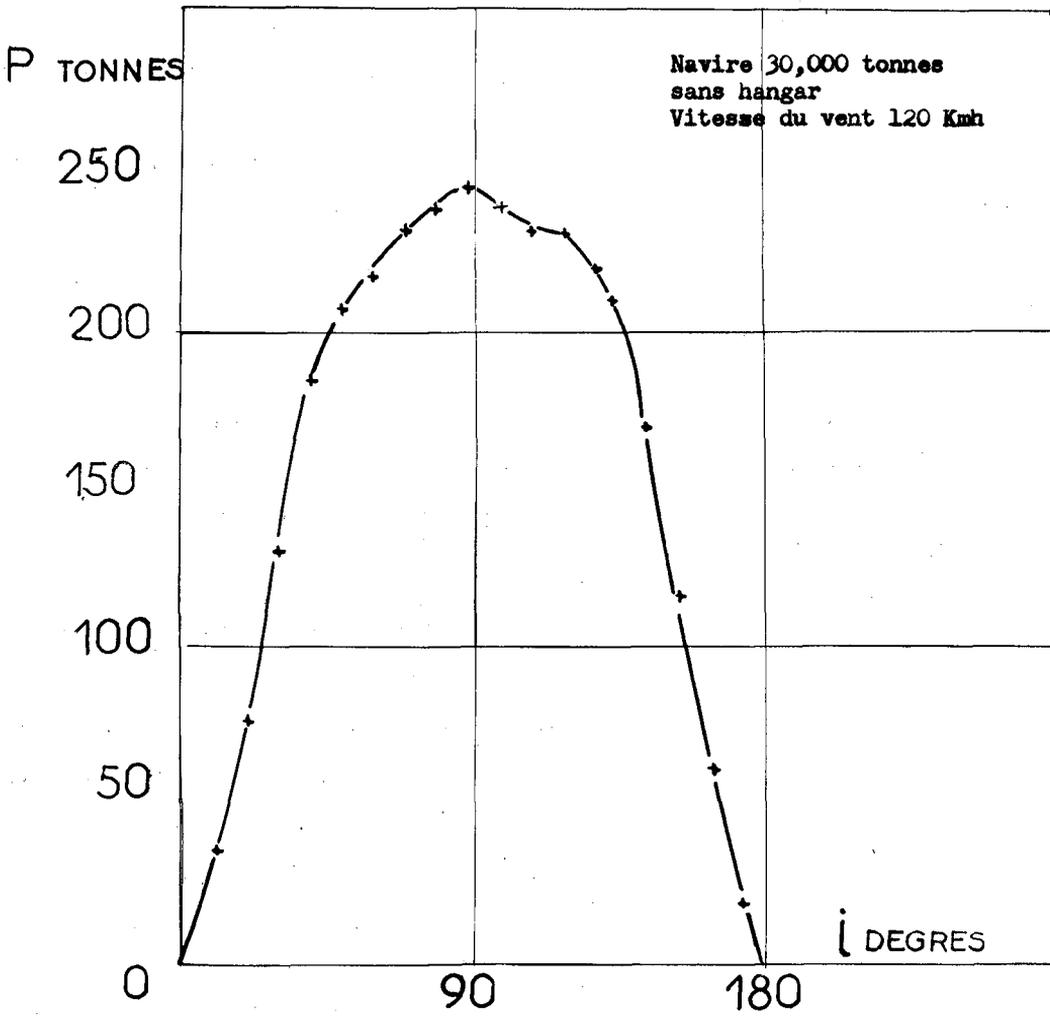


Fig. 1. Poussée transversale due au vent en fonction de l'incidence

des rafales de vent, étudier les tensions instantanées développées dans les aussières par les effets dynamiques dus aux forces engendrées par le vent, avec cette circonstance aggravante, comme je l'ai déjà dit, que les aussières ne se trouvent jamais toutes dans le même état de tension et qu'elles peuvent avoir par conséquent à subir chacune séparément la totalité des effets dynamiques.

C'est ainsi que l'on observe, dans les cas graves, la rupture des amarres une à une.

Un calcul simple, montre qu'après l'application d'un effort normal de 150 tonnes (nous verrons plus loin pourquoi je prends ce chiffre) un navire de 30.000 tonnes prend au bout de 6 secondes, une vitesse transversale de 0,20 m/s environ, (qui correspond au  $\frac{1}{4}$  de la vitesse limite et à un déplacement linéaire de 0,60 m.).

Ces chiffres ont été confirmés non seulement par des expériences sur modèle réduit, mais par des observations en vraie grandeur.

C'est dire que 6 secondes après l'application d'un effort de 150 tonnes, un navire de 30.000 tonnes peut posséder une quantité de mouvement exprimée dans le système M K S de 1 million et une énergie cinétique de 90.000 kgms.

De tels effets dynamiques peuvent engendrer dans les aussières mises brusquement en tension des efforts capables de les rompre. C'est ce que montre le calcul de la tension maximum que nous avons effectué dans un cas particulier, en admettant la propagation d'une onde d'extension dans l'aussière. Ce calcul, qui suppose l'aussière parfaitement élastique, est d'ailleurs inspiré de celui effectué par Boussinesq pour une barre soumise à un choc de compression.

Pour un effort appliqué de 50 tonnes, au bout de 6 secondes, la vitesse transversale n'est plus que 7 cm/s (environ le tiers de la vitesse limite) ce qui correspond à un déplacement de 0,20 m et à une quantité de mouvement égale à 300.000 M K S (Voir Annexe, Tableau 2).

Un tel effet dynamique peut aisément être absorbé par un amarrage du type classique.

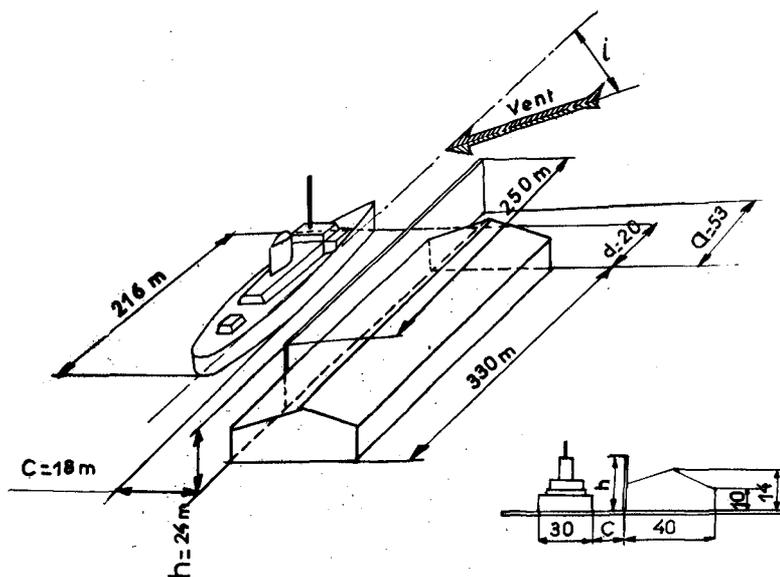


Fig. 2. Disposition du Navire par rapport au quai hangar position I (voir Fig. 3).

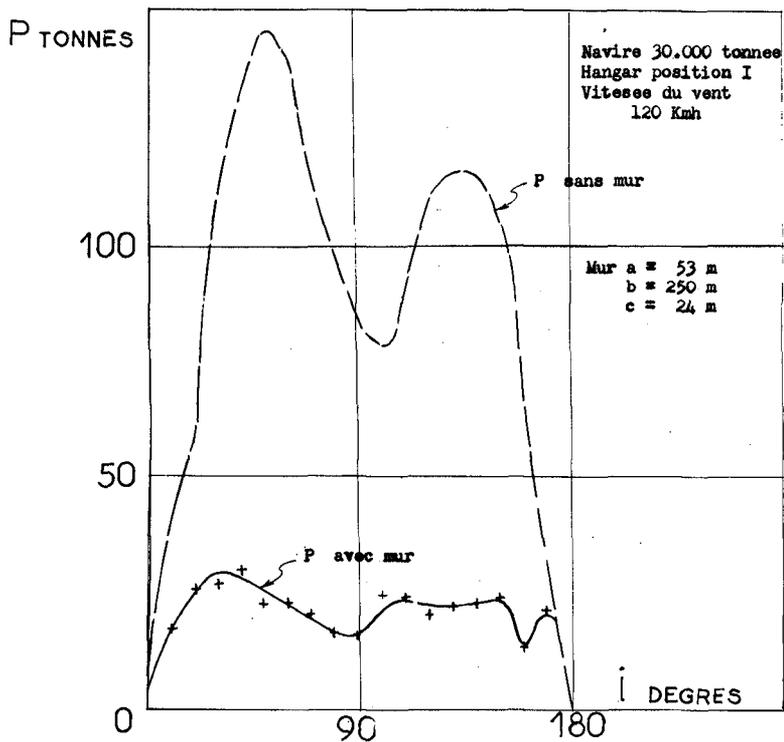


Fig. 3. Poussée transversale due au vent en fonction de l'incidence sans et avec protection, mais derrière hangar (voir Fig. 2.).

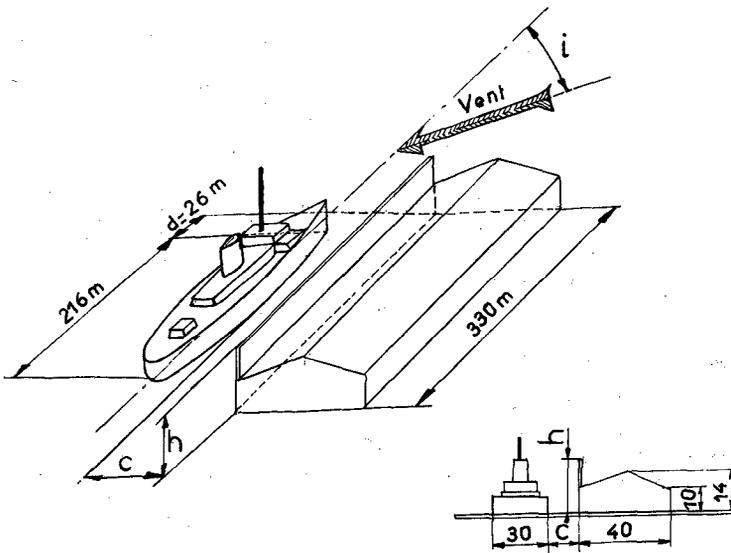


Fig. 4. Disposition du navire par rapport au quai, hangar position III (voir Fig. 5).

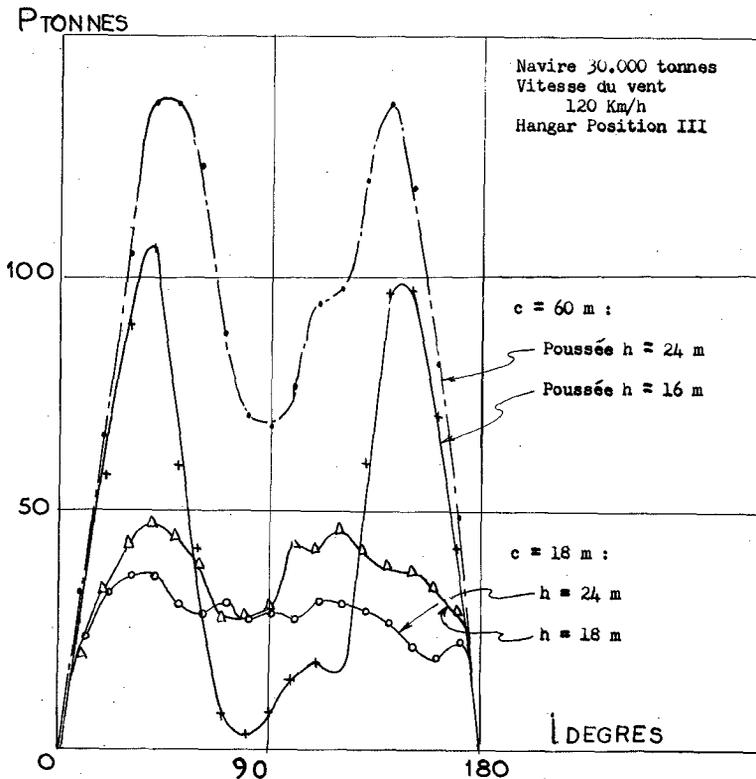


Fig. 5. Poussée transversale due au vent en fonction de l'incidence, pour diverses configurations (voir Fig. 4).

2. On peut penser pour pallier les effets dynamiques du vent, à abaisser la poussée développée par le vent sur le navire, en utilisant la protection d'un mur écran.

C'est ainsi qu'on a construit en 1947 dans le Port du Havre un mur écran de 240 m de long sur 20 m de hauteur.

La section droite du mur est semi triangulaire, la paroi convexe recevant le vent dominant étant cylindrique. De place en place de larges ouvertures ont été ménagées dans le mur, qui présente une porosité globale (surface vide sur surface totale, de 0,15 environ).

Le mur est constitué par la juxtaposition de 9 panneaux de 20 mètres de long avec entre chaque panneau une baie de 7,5 m sur 12,5 m de hauteur.

3. Le problème m'a été posé à Marseille, d'abord par Estrinne et Cie, puis par Mr. l'Ingénieur en Chef Flinois, Directeur Général des Concessions du Port de Marseille à la Chambre de Commerce, d'étudier, du point de vue aérodynamique, les caractéristiques d'un mur de protection pour l'un des quais du port de Marseille, exposé transversalement à l'action du Mistral. J'ai effectué cette étude sur modèle réduit au 1/200 dans l'une des Souffleries de l'Institut de Mécanique des Fluides de Marseille, avec l'assistance de Monsieur Rebont, Ingénieur au Centre National de la Recherche Scientifique, et en liaison d'une part avec Estrinne et Cie et d'autre part, avec la Chambre de Commerce.

Le problème se présentait de la façon suivante :

un hangar d'une longueur de 300 m environ, protège partiellement du vent les navires amarrés:

- 1°) étudier l'effet de protection du hangar ;
- 2°) voir quel dispositif il faut adjoindre au hangar pour compléter son action (voir figures 2 et 4).

L'étude sur modèle réduit a montré que la protection fournie par le hangar est relativement efficace pour un vent d'incidence 90°, l'effort normal

dû à un vent de 120 km h passant de 250 tonnes pour le bateau non protégé à 100 tonnes environ pour le navire derrière hangar (figure 3). Mais la protection est insuffisante pour une incidence de 40° correspondant sensiblement au Mistral, l'effort normal sur le navire étant dans ce cas égal à 150 tonnes, (figure 3),

Nous avons vu que les effets dynamiques consécutifs à l'application d'un tel effort pouvaient engendrer la rupture de l'amarrage.

J'ai donc proposé la constitution d'un mur régnaant au dessus de la face frontale du hangar et capable d'abaisser les efforts dus au vent sur le bateau amarré, à une limite admissible.

Le mur devait également fournir une protection du navire au cours des manoeuvres d'accostage.

Ce mur présente des caractéristiques tout à fait différentes de celles du mur écran du Havre :

- d'une part son effet protecteur complète celui d'un hangar,
- d'autre part il est constitué par une paroi poreuse verticale et mince, la porosité étant assurée par de petites perforations réparties uniformément sur toute la surface du mur.

L'expérience sur modèle réduit montre qu'une paroi perméable peut constituer une protection très efficace tandis que par rapport au mur plein elle offre de nombreux avantages :

- poussée réduite de la part du vent,
- construction plus légère,
- caractère instationnaire du sillage, moins marqué.

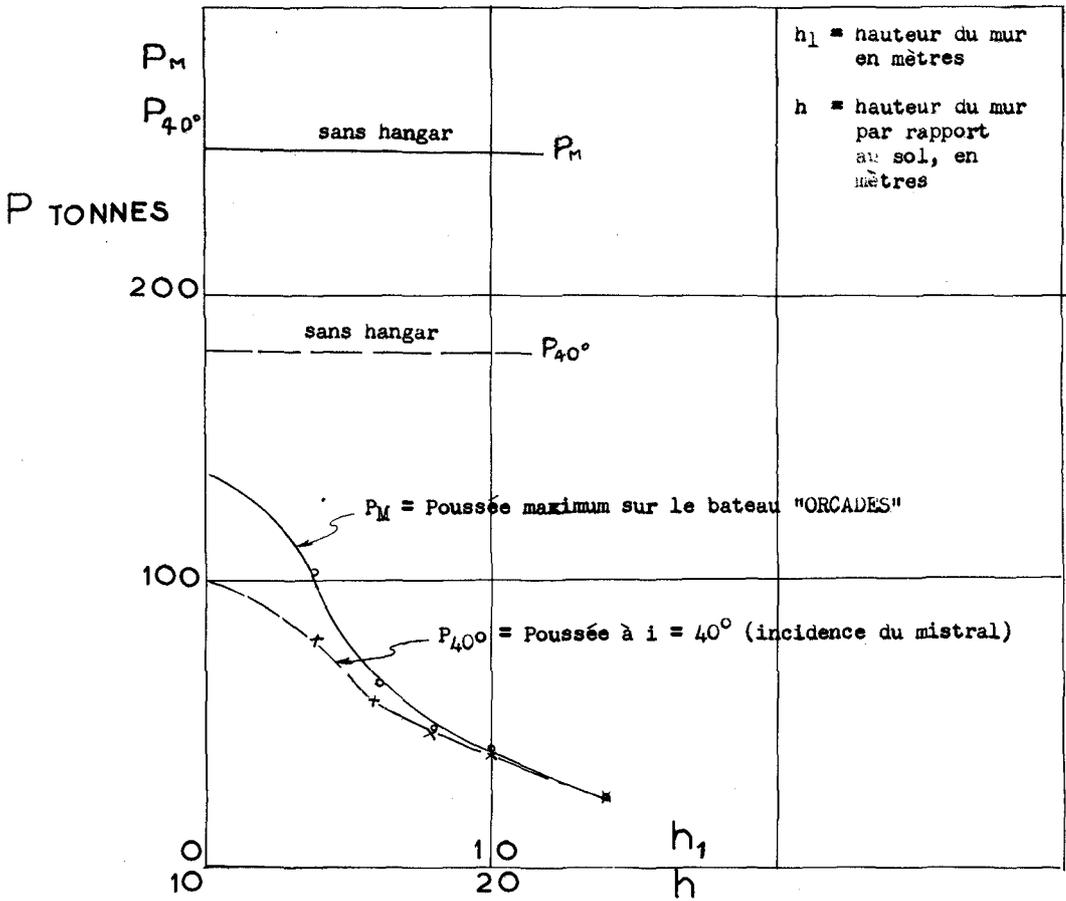


Fig. 6. Poussée transversale maximum et poussée à  $i = 40^\circ$  s'exerçant sur le navire protégé par des murs perforés de différentes hauteurs.

Les figures 1 à 6 rendent compte de quelques uns des résultats obtenus dans l'étude en Soufflerie sur modèle réduit.

Le mur est actuellement en construction. Le projet de structure en a été établi par la Direction des travaux de la Chambre de Commerce sous la supervision de Mr l'Ingénieur en Chef Flinois et de son adjoint Mr l'Ingénieur en Chef Barrillon.

Il s'agit d'un mur métallique constitué par des bandes horizontales étroites, séparées par un faible intervalle. La porosité globale du mur est 0,1

Le projet étudié par la Chambre de Commerce de Marseille utilise d'une façon très élégante la charpente métallique existante du hangar.

## 2ème Partie

1. L'étude des caractéristiques aérodynamiques du mur perforé m'a amené à entreprendre des essais systématiques pour mettre en évidence les effets du vent sur une bande poreuse indéfinie placée dans un courant uniforme normal à son plan. Au moment où cette étude était entreprise, il n'existait dans la littérature aucun renseignement à ce sujet, les études sur écran poreux ayant été toujours effectuées pour un écran occupant toute la section droite d'un conduit.

Les résultats de ces essais se trouvent maintenant intégrés dans une étude plus générale effectuée avec Mr. René de Possel, Professeur à l'Université d'Alger, avec l'appui matériel du Secrétariat d'Etat aux F.A. (Air); l'étude des parois poreuses est en effet essentiellement liée à l'étude des parachutes.

J'exposerai maintenant les points principaux de cette étude générale qui est à la fois théorique et expérimentale.

2.0. Coefficient de résistance à l'avancement d'une bande poreuse indéfinie.

Le coefficient de résistance à l'avancement est défini de la manière habituelle; il est rapporté à la surface totale de la bande par unité de longueur et à la vitesse à l'infini amont, qui est perpendiculaire au plan de la bande.

Les bandes étudiées possèdent une largeur de 15 cm.

On a essayé des bandes faites de toiles métalliques à mailles carrées de différentes porosités géométriques  $\lambda$  (rapport surface projetée des vides à la surface totale) et également des bandes faites de toiles minces perforées à trous ronds disposés en quinconce, de différentes porosités géométriques.

Pour ces deux types de bandes poreuses et dans le domaine des vitesses qui a été étudié ( $V$  compris entre 10 et 30 ms), le  $C_x$  est fonction de  $\lambda$  et de  $V$ , mais pour un  $\lambda$  donné  $C_x$  tend rapidement vers une limite quand  $V$  augmente.

À égalité de  $\lambda$  et de  $V$ , le  $C_x$  d'une toile métallique est différent de celui d'une toile perforée.

On peut cependant trouver une expression très simple pour le  $C_x$  limite, qui représente avec une très bonne approximation les résultats des expériences, et qui est valable aussi bien pour les toiles métalliques que pour les toiles perforées.

Il suffit pour cela d'introduire une nouvelle grandeur mesurable, la porosité aérodynamique  $\sigma$ , qui est définie par le rapport du débit traversant la bande, par unité de longueur, au produit de la vitesse  $V$  de l'air à l'infini par la largeur de la bande. On trouve alors pour l'expression de  $C_x$  :

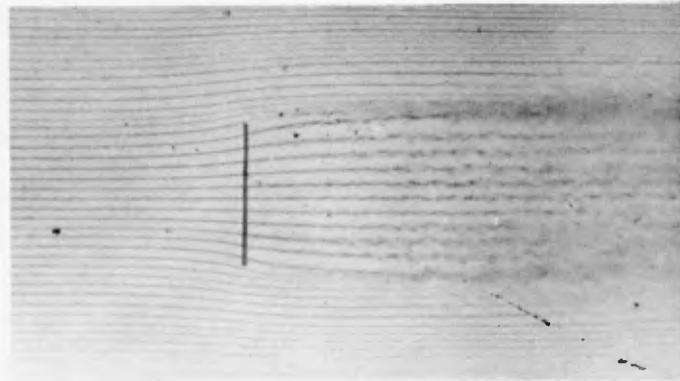
$$C_x = 2 (1 - \sigma^2)$$

Naturellement le  $\sigma$  dans cette expression est un  $\sigma$  limite mesuré à la vitesse assurant à  $C_x$  sa valeur limite.

Mais l'expérience montre que le  $\sigma$  limite d'une bande poreuse s'exprime très simplement en fonction de  $\lambda$ .

On a pour les toiles métalliques :

$$\sigma = \lambda^{1/2}$$



**Fig. 7.-** Spectre de l'écoulement à travers une bande poreuse  
(Instantané au  $10^{-6}$  seconde)

(L'écoulement est produit dans un courant d'eau circulant entre deux glaces qui enserrant la bande, une rampe distributrice de filets colorés à l'amont permet la visualisation de l'écoulement)



**Fig. 8.-** Sillage de tourbillons alternés derrière une bande poreuse. (Instantané au  $10^{-6}$  seconde)

La bande est placée dans le courant d'air d'une Soufflerie aérodynamique; le sillage est visualisé à l'aide d'un distributeur de fumée placé à l'amont de la bande.

et pour les toles perforées :  $\sigma = \lambda^{2/3}$

On en déduit :

bande de toile métallique :  $C_x = 2 ( 1 - \lambda )$

bande de tole perforée :  $C_x = 2 ( 1 - \lambda^{4/3} )$

### 2.1. Caractère du sillage à l'aval d'une bande poreuse.

V variant entre 10 ms et 30 ms pour des bandes de largeur 15 cm le caractère du sillage ne dépend que de la porosité aérodynamique de la bande.

Pour une bande très poreuse on observe un sillage quasi stationnaire analogue à celui admis par Oseen pour le sillage d'une bande pleine. L'écoulement est rotationnel dans le sillage, les lignes de courant demeurent rectilignes et parallèles à la direction de la vitesse à l'infini amont, sauf aux limites du sillage où l'on observe une couche de discontinuité enroulée (fig. 7,  $\sigma = 0,76$ )

Pour des bandes de porosité décroissante le sillage se transforme progressivement en un sillage de tourbillons alternés (fig. 8,  $\sigma = 0,43$ ).

La fréquence de détachement des tourbillons pour une vitesse donnée est une fonction croissante de la porosité, tandis que corrélativement le pas des tourbillons est une fonction décroissante de la porosité.

Ces observations ont été complétées pour une bande faite de tole perforée (  $\lambda = 0,28$  ;  $\sigma = 0,43$  ), par la détermination expérimentale de la répartition de la vitesse et des pressions statiques et totales dans le plan vertical de symétrie de la soufflerie, normal à la bande, à différentes distances à l'aval de la bande. Les mesures ont été effectuées à l'aide de sondes de pression disposées parallèlement à la direction de l'écoulement général, la détermination n'est donc qu'approximative.

On note que la pression statique, d'abord inférieure à la pression statique à l'infini amont, tend vers celle-ci, lorsqu'on s'éloigne de la bande, tandis que la hauteur protégée diminue.

Si h désignant la hauteur de la bande, et V la vitesse à l'infini amont,

la vitesse mesurée est approximativement égale à  $0,4 V$  sur une bande de hauteur  $0,75 h$  à la distance  $3,3 h$  de la bande.

A la distance  $10 h$  de l'obstacle, la vitesse mesurée est approximativement égale à  $0,7 V$  sur une bande de hauteur  $0,75 h$ .

#### RESUME

#### WINDSCREENS FOR HARBOURS.

Jacques Valensi

Big ships may sometimes be prevented from mooring when piers are not shielded against gusts from cross winds. Forces large enough to break the mooring cables can also develop.

To prevent these difficulties, a windscreen had to be built in 1947 in Le Havre harbour. It was a plain concrete wall, 240 m long and 21.5 m high, with a curved side facing the most frequent wind. Quite a few wide apertures were provided across the wall, so as to feed, in a way, the wake downstream from the wall.

The question of building a protecting screen has been raised again recently in Marseille, to provide a shield along one of the piers which is open to cross winds (Mistral). I have suggested designing a porous screen, made of a plane thin wall with numerous small holes regularly spaced, as in a perforated plate. I had reasons to believe, and it has been confirmed by experiment on small scale models, that a porous screen could provide a shield as efficiently as a plane wall. On the other hand a porous screen would offer many advantages when compared to a plain wall, as a) reduced stresses from gust effects, b) lighter and simpler structure, and c) eddies in the wake would not be as large.

Tests in the wind tunnel at I.M.F.M. on a model at  $1/200$  scale (the wall being simulated by a perforated plate), have shown that a convenient design would be the following: a porous wall 20 meters high, 150 meters long, with a porosity (free surface over the whole), of 0.16. On a ship displacing 30,000 tons, 220 meters long, the experiments have shown that the components of the aerodynamic forces in a plane normal to the longitudinal plane of the ship, would go down from 250 tons without a screen, to 40 tons with a screen, for a wind speed of 120 kmh.

It will be noticed that the direction of the dominant wind, to which these figures correspond, lies in a vertical plane at  $50^\circ$  on the plane normal to the wall. This investigation has been completed by systematic tests, in order to point out the character of flow, yet unknown, around an indefinite plane porous strip in a uniform flow normal to its plane. The results of these tests are a part of an extensive investigation carried out with Professor René de Possel.

The main conclusions of this investigation are as follows:

The aerodynamic porosity being taken as the ratio of the average velocity through the wall, over the velocity in the undisturbed stream, we find:

1) The aerodynamic porosity  $\sigma$  is a function of the structural porosity,  $\lambda$ , of the shape of the holes and of the Reynolds number. However, as the Reynolds number increases,  $\sigma$  tends rapidly toward a limiting value. For this value we have:

for a strip made of gauze:  $\sigma = \lambda^{1/2}$  ;

for a strip made of perforated plate with round holes:  $\sigma = (\lambda)^{2/3}$ .

2) The drag coefficient per unit of length is a function of  $\sigma$  only:

$$C_x = 2 (1 - \sigma^2).$$

3) When the Reynolds number referred to the width of the strip is 400.000, one can observe in the wake, for  $\lambda = 0$ , a row of alternate vortices, while for  $\lambda = 1$ , the wake is very much like the one described in the Oseen theory for a flat plain plate, with a row of weak vortices at its boundaries. When  $\lambda$  decreases from 1 toward 0, the wake transforms itself gradually into a wake of alternate vortices, their pitch being a maximum when  $\lambda = 0$ .