

2èmes JOURNEES DE L'HYDRODYNAMIQUE

13 au 15 Février 1989 - Nantes

---

**Optimisation des formes d'entrée du bassin d'essais  
des chaluts de Boulogne sur Mer**

**P. Guevel – O. Hembise – G. Barrot**

Principia Recherche Développement  
06560 VALBONNE - France

**J.F Couchouron – T. Godot**

IFREMER – Centre de Brest  
29263 PLOUZANE - France

*Résumé*

Les bassins d'essais des chaluts, comme tous les bassins d'essais à mouvement d'eau, posent aux concepteurs un très difficile problème : celui de devoir réaliser la meilleure uniformité possible du champ des vitesses dans la veine d'essais.

Lorsqu'il s'agit d'une petite installation, les résultats les plus satisfaisants sont obtenus en alimentant cette veine d'essais par l'intermédiaire d'une chambre de tranquillisation de très grandes dimensions. Mais, pour de très importantes installations, comme celle de Boulogne - sur - Mer, une telle solution devient irréaliste. Nous avons alors cherché à optimiser les formes d'entrée du bassin, en exploitant la théorie du fluide parfait. Les formes retenues ont été préalablement validées par l'exploitation de la version bidimensionnelle du code ANSWER traitant de l'écoulement des fluides réels. On a ensuite effectué des essais sur modèle réduit, lesquels ont mis en évidence des instabilités, pareillement détectées par des exploitations tridimensionnelles du code ANSWER. Celles-ci ont pu être supprimées par l'adjonction d'une grille à l'entrée de la veine d'essais.

*Abstract*

Trawl test tanks, as for every test tank with water movement, imply a very serious problem to the conceptor : to achieve the best possible homogeneity of the velocity field in the test flume. In the case of a small infrastructure, most satisfactory results are achieved by feeding the test flume through a big dimensions calming room. But for very important infrastructures as the one in Boulogne - sur - Mer, such a solution becomes unrealistic. We have thus tried to optimize the entrance shapes of the tank by exploiting the inviscid fluid theory. The discovered shapes were in first place validated by runnings of the 2D version of the ANSWER code dealing with the flow of real fluids. The next step was to perform tests on a scale model which proved instabilities, also detected by 3D-runnings of ANSWER. These were suppressed by the adding of a grid at the entrance of the test flume.

## Introduction

La ville de Boulogne a décidé de s'équiper d'un nouveau bassin des chaluts, dont la conception générale a été confiée à l'IFREMER.

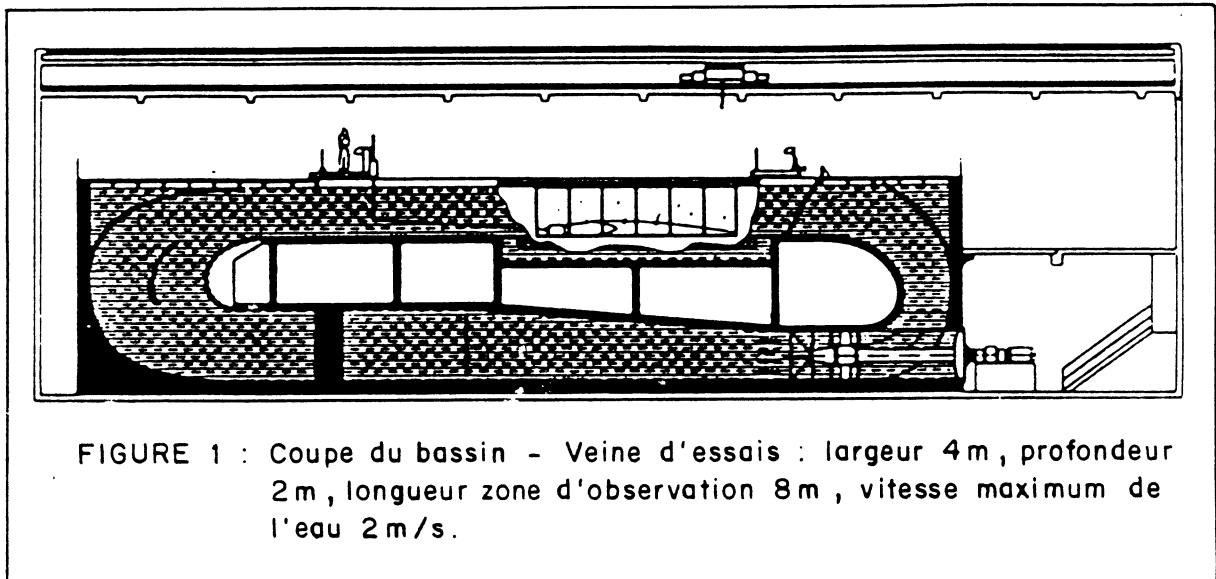
La veine d'essais aura une largeur de 4 mètres, une profondeur de 2 mètres et une longueur de 20 mètres dont une zone d'observation de 8 mètres. La vitesse de circulation sera réglable entre 0 et 2 m/s.

La polyvalence souhaitée pour cette nouvelle installation rend particulièrement aigu le problème de la stabilité et de l'homogénéité de l'écoulement dans la veine. En particulier, il a été prévu un fond mobile entraîné dans un mouvement de translation de vitesse égale à la vitesse de débit ; ceci, afin de réduire les effets de couche limite au voisinage de ce fond.

Mais un tel perfectionnement n'a sa raison d'être que dans la mesure où l'écoulement, à la sortie du dispositif d'amenée d'eau, est déjà convenablement régulier ; les travaux présentés dans ce mémoire ont été menés en vue d'atteindre cet objectif.

En raison des contraintes de coût et d'encombrement, il n'était malheureusement pas possible d'alimenter le canal par l'intermédiaire d'une cuve de tranquillisation de très grande capacité qui, bien sûr, aurait donné les meilleures garanties de succès.

La disposition générale de l'installation, pratiquement imposée par ces contraintes, est schématisée sur la coupe longitudinale présentée ci-dessous.



On a alors été confronté au délicat problème consistant à imposer au fluide un changement de direction de 180° dans un volume de dimensions aussi réduites que possible, surtout dans le sens de la hauteur ; la difficulté étant d'ailleurs aggravée du fait qu'on devait s'efforcer de ne pas introduire des directrices dans ce volume, non seulement pour des raisons d'ordre économique, mais aussi pour ne pas engendrer des sillages parasites dans la veine d'essais.

Or, il n'existe, du moins à notre connaissance, aucune méthode de calcul permettant de déterminer a priori, sans tâtonnement, les formes géométriques qu'il convient de donner à un coude de section rectangulaire pour obtenir la meilleure uniformité de vitesse à la sortie de celui-ci.

Nous avons alors choisi d'aborder le problème par une approche fondée sur l'approximation du fluide parfait. L'idée consiste à présumer que l'écoulement d'un fluide réel n'est pas fondamentalement différent de celui d'un fluide parfait si on a pu s'assurer qu'il n'existe pas au sein de ce dernier des régions pour lesquelles le champ des vitesses présente un fort gradient négatif ; restant entendu que cette présomption devra être confirmée par l'exploitation d'un programme de calcul traitant de l'écoulement de fluides réels et, dans toute la mesure du possible, par des essais sur modèle réduit réalisés à une échelle significative.

D'où, en définitive, les différentes phases de la démarche que nous avons adoptée pour définir les formes géométriques du coude d'amenée d'eau dans la veine d'essais :

### **I) Approche du problème par l'approximation du fluide parfait**

Un programme de calcul "analytique-numérique", fondé sur la théorie de la ligne de jet en fluide parfait, a été mis en oeuvre ; ce qui a permis de dégager une classe de configurations paraissant intéressantes a priori.

### **II) Exploitation du programme ANSWER dans sa version bidimensionnelle**

Il était de la plus élémentaire prudence de s'assurer que l'une au moins des formes géométriques proposées à l'issue de l'approche ci-dessus ne provoquerait pas d'intenses décollements le long de la directrice interne du coude. Pour cela, on a exploité le programme ANSWER traitant du problème de l'écoulement des fluides réels ; ce qui a permis de trouver parmi les configurations testées celle qui n'induisait pratiquement aucune zone de recirculation.

Ce premier souci étant ainsi écarté, il restait encore à savoir si l'écoulement ne présenterait pas d'instabilités résultant du fait qu'en réalité celui-ci n'est pas bidimensionnel, bien que la largeur de la section de sortie du coude soit relativement grande vis à vis de sa hauteur ( $l=4m$ ,  $h=2m$ ). Mais, ne disposant pas, à l'époque, de la version tridimensionnelle du programme ANSWER, il a été décidé de recourir à l'expérience.

### **III) Essais sur modèle réduit**

Une maquette du dispositif a été réalisée, à l'échelle 1/4 dans ses dimensions verticales et à l'échelle 1/8 dans ses dimensions horizontales.

Les essais ont mis en évidence des instabilités d'écoulement beaucoup plus importantes que celles qu'on avait imaginées ; instabilités qui se déclenchent brusquement dès lors que la vitesse de sortie est supérieure à 0,3 m/s (0,6 m/s au réel).

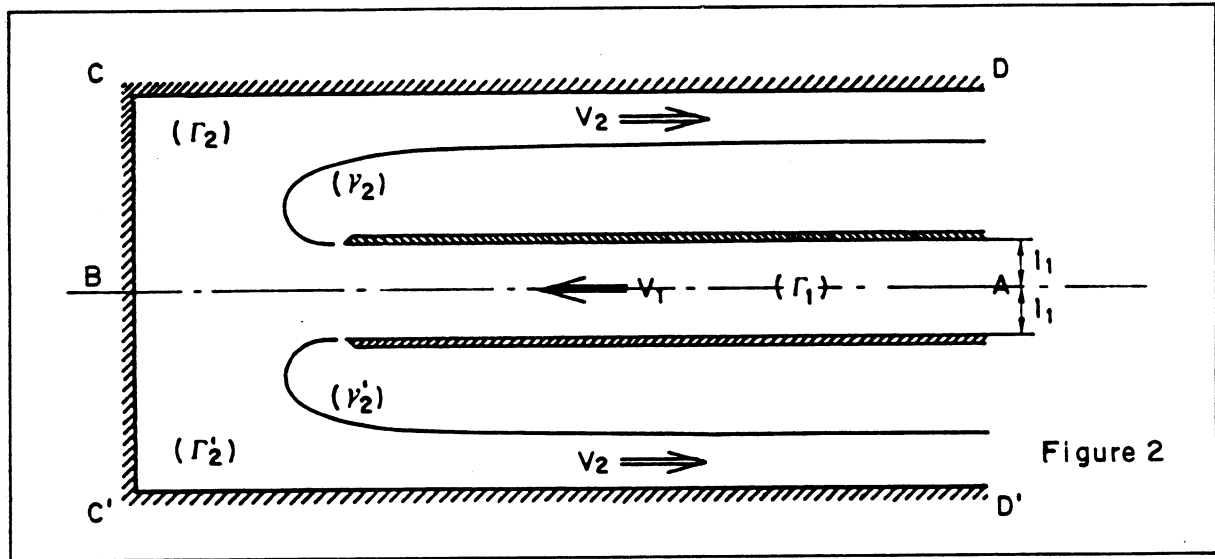
Différentes tentatives ont été effectuées pour atténuer l'ampleur de celles-ci ; dans l'état actuel d'avancement des travaux, seule la mise en place d'une grille, créant d'importantes pertes de charge à la sortie du coude, a permis d'obtenir une qualité d'écoulement acceptable.

### **IV) Retour aux calculs théoriques**

Disposant maintenant de la version tridimensionnelle du programme ANSWER, nous exploitons actuellement celle-ci dans le but de mieux comprendre les phénomènes d'instabilité auxquels on a été confrontés et, peut être, de tirer quelques enseignements utiles pour définir les caractéristiques optimales de la grille devant équiper l'installation réelle.

## I Approche du problème par l'approximation du fluide parfait

On imagine un jet, de vitesse  $V_1$ , émis par un conduit ( $\Gamma_1$ ), de largeur constante  $2l_1$ , et débouchant dans une enceinte rectangulaire CDCD' dont l'axe AB coïncide avec celui du conduit - Fig.(2).



A la sortie du conduit ( $\Gamma_1$ ), le jet se sépare selon deux nappes symétriques ( $\Gamma_2$ ), ( $\Gamma_2'$ ) qui, loin de la cloison transversale CC', sont le siège d'un écoulement uniforme de vitesse  $V_2$ , parallèle à l'axe AB. On est pratiquement assuré de réaliser un manifold convenable en matérialisant par des parois solides : d'une part l'axe AB du conduit ( $\Gamma_1$ ) et, d'autre part, la directrice ( $\gamma_2$ ) de la nappe supérieure ( $\Gamma_2$ ).

Afin de respecter les limites d'encombrement imposées en hauteur, on fixe par ailleurs la largeur du conduit ( $\Gamma_2$ ) à une valeur  $l_2$  à partir d'un point F situé à distance finie.

On se propose maintenant de déterminer l'équation de la courbe ( $\gamma_2$ ) qui est décrite à la vitesse constante  $V = V_0$ .

Dans tout ce qui suit, nous utiliserons les notations classiques de la théorie des fonctions analytiques de la variable complexe :

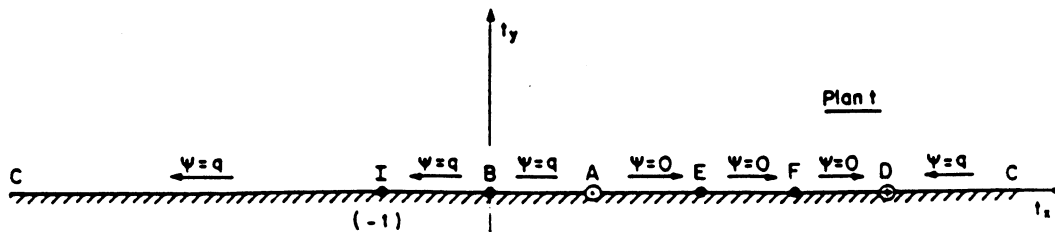
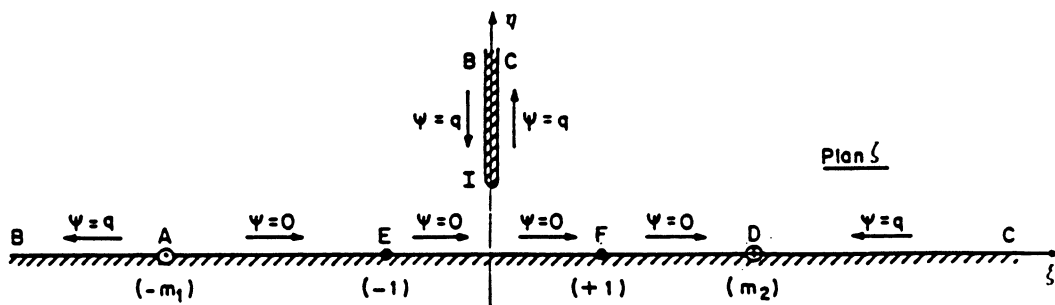
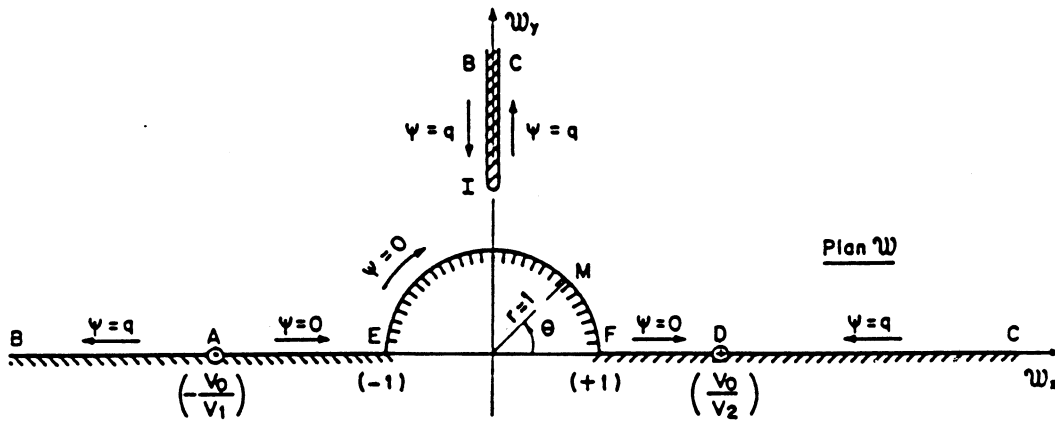
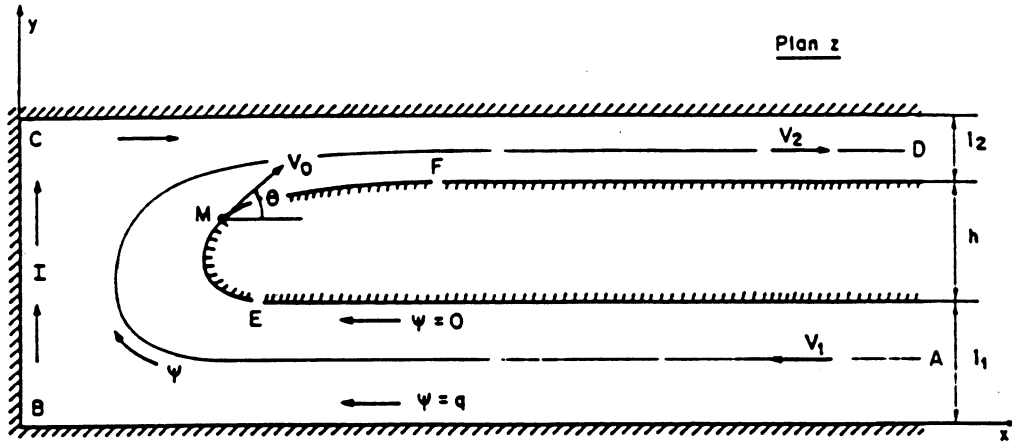
- $z = x + iy$  , l'affixe d'un point courant  $M(x, y)$  ;
- $f(z) = \varphi + i\psi$  , une fonction analytique de  $z$  ;
- $\varphi = \mathcal{R}_e f(z)$  , la fonction de potentiel ( $\Delta\varphi = 0$ ) ;
- $\psi = \mathcal{I}_m f(z)$  , la fonction de courant ( $\Delta\psi = 0$ ) ;
- $\vec{V}(u, v)$  , le vecteur vitesse  $\left( u = \frac{\partial\varphi}{\partial x} = \frac{\partial\psi}{\partial y} , v = \frac{\partial\varphi}{\partial y} = -\frac{\partial\psi}{\partial x} \right)$  ;
- $w = \frac{df}{dz} = u - iv$  , la vitesse complexe ;
- $q = \psi_B - \psi_A$  , le débit qui circule dans un tube de courant délimité par les lignes de courant  $\psi = \psi_B$  et  $\psi = \psi_A$  ;
- $\mathcal{W} = V^* \frac{dz}{df} = \frac{V^*}{V^2} (u + iv)$  , l'inverse normalisé de la vitesse complexe  
 $V^*$  étant une vitesse de référence arbitraire.

On adimensionnalisera la formulation en posant :

$$\begin{cases} Z &= z / l_2 \\ F &= f / q \end{cases}$$

Les caractéristiques essentielles de l'écoulement se produisant dans le plan physique  $z$  sont précisées sur le premier schéma de la planche (I).

PLANCHE I : Détermination de la forme du manifold  
 - Transformations conformes -



A cet écoulement, nous associerons son hodographe inverse normalisé :

$$(1) \quad \mathcal{W} = \frac{V_0}{V_2} \frac{dZ}{dF}$$

auquel nous appliquerons tout d'abord la transformation de Joukowski :

$$(2) \quad 2\zeta = \mathcal{W} + \frac{1}{\mathcal{W}}$$

Dans le plan  $\zeta$ , les points A et D ont respectivement pour abscisses  $\zeta_A = -m_1$  et  $\zeta_D = m_2$ , avec :

$$(3) \quad m_1 = \frac{1}{2} \left\{ \frac{V_0}{V_1} + \frac{V_1}{V_0} \right\} \quad \text{et} \quad m_2 = \frac{1}{2} \left\{ \frac{V_0}{V_2} + \frac{V_2}{V_0} \right\}$$

A l'écoulement du plan  $\zeta$ , nous avons ensuite appliqué la transformation de Schwarz :

$$(4) \quad \zeta = \frac{K}{2} (t^{1/2} - t^{-1/2}),$$

K étant une constante réelle positive devant être considérée comme un paramètre.

L'examen du dernier schéma de la planche (I) montre que l'écoulement du plan  $t$  résulte simplement de l'existence d'une source et d'un puits ponctuels, de même débit  $q$ , centrés respectivement sur les points A et D ; d'où, l'expression de la fonction de potentiel complexe cherchée :

$$(5) \quad F(Z) = \frac{1}{\pi} [\text{Log}(t - t_A) - \text{Log}(t - t_D)] + i,$$

de laquelle on tire immédiatement :

$$(6) \quad t = \frac{t_A + t_D e^{\pi F}}{1 + e^{\pi F}}$$

avec :

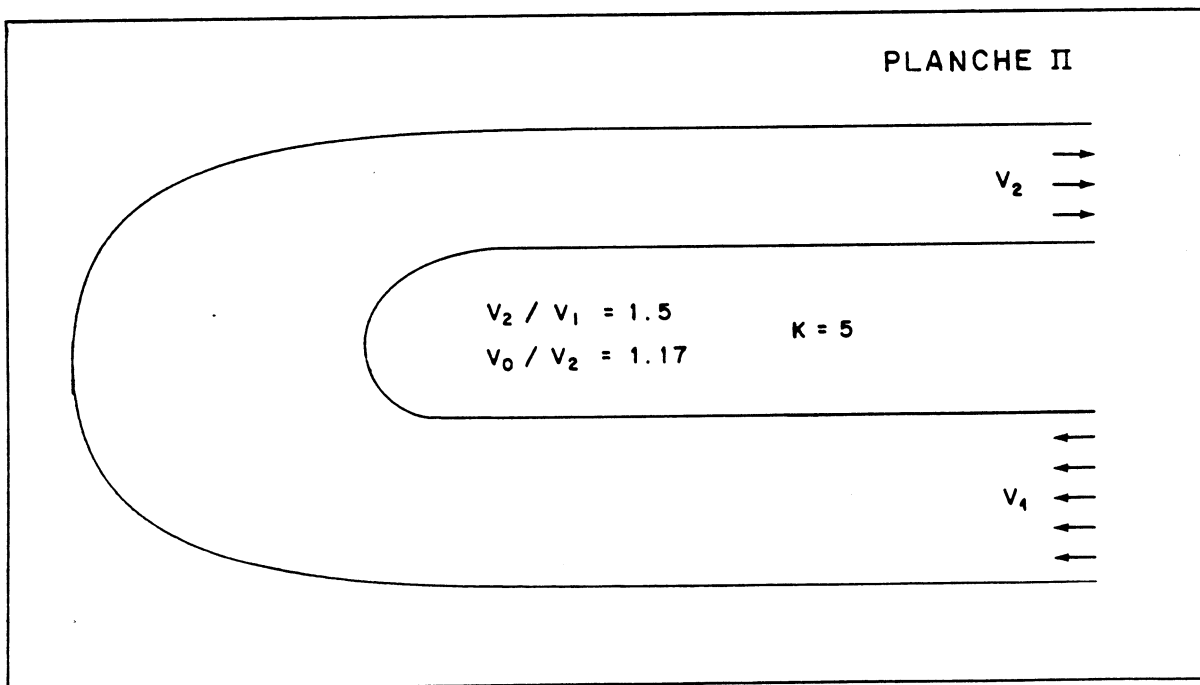
$$(7) \quad \begin{cases} t_A = \left( \sqrt{\left(\frac{m_1}{K}\right)^2 + 1} - \frac{m_1}{K} \right)^2 \\ t_D = \left( \sqrt{\left(\frac{m_2}{K}\right)^2 + 1} + \frac{m_2}{K} \right)^2 \end{cases}$$

On est alors en mesure de déterminer la fonction  $Z = Z(F)$  qui permet de tracer les lignes de courant et les lignes équipotentielles de l'écoulement du plan physique  $Z$ . On obtient en effet en remontant la filière des différentes transformations conformes :

$$\begin{cases} Z - Z_0 &= \frac{V_2}{V_0} \int_{F_0}^F \mathcal{W} dF \\ \mathcal{W} &= \frac{1 + (\frac{\zeta-1}{\zeta+1})^{1/2}}{1 - (\frac{\zeta-1}{\zeta+1})^{1/2}} \\ \zeta &= \frac{K}{2} (t^{1/2} - t^{-1/2}) \\ t &= \frac{t_A + t_D e^{\sigma F}}{1 + e^{\sigma F}} \end{cases}$$

Le coefficient de survitesse  $V_0/V_2$  permet d'ajuster l'épaisseur du massif à n'importe quelle valeur fixée à l'avance.

Afin d'éviter que l'écoulement d'un fluide réel ne soit le siège de zones d'eau morte aux extrémités de la cloison transversale BC, la paroi extérieure du manifold, constituée initialement de la ligne de courant  $\psi = q$ , sera remplacée par la ligne de courant  $\psi = (1 - \epsilon) q$ ,  $\epsilon$  étant un petit paramètre auquel on a donné ici la valeur 0.1. Les résultats de calculs, correspondant au manifold finalement retenu, sont présentés sur la planche II.



## II Exploitation du programme ANSWER dans sa version bidimensionnelle

Les configurations obtenues à l'issue de l'approche fluide parfait ont ensuite été étudiées dans le plan de symétrie longitudinal pour un fluide réel en régime turbulent.

Le code numérique utilisé pour ces simulations est le logiciel ANSWER développé par la société ACRI [1]. Il permet la résolution des équations de Navier-Stokes dans le cas d'écoulements stationnaires incompressibles, laminaires ou turbulents. Le modèle de turbulence est du type  $k - \epsilon$  à deux équations de fermeture. La résolution est itérative avec la mise en oeuvre d'un algorithme SIMPLE [2] pour le couplage vitesse- pression. Les équations différentielles sont traitées par la méthode des volumes finis. La matrice, résultant de l'ensemble des équations algébriques, est résolue à chaque incrément par une méthode implicite à directions alternées (ADI).

La géométrie du manifold a été discrétisée avec un maillage de 2162 noeuds.

Nous avons retenu les caractéristiques physiques suivantes pour modéliser le fluide :

- Masse volumique :  $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$
- Viscosité cinématique :  $\nu = 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$
- Energie turbulente à l'entrée :  $K = 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}^2$
- Longueur de turbulence à l'entrée :  $L = 1 \text{ m}$

Une information intéressante concerne le calcul des pertes de charge dans le coude. Celles-ci sont de l'ordre de 1 cm pour une vitesse à l'entrée de 0.5 m/s ; ce qui correspond à une valeur de 0.4 du paramètre K reliant la perte de charge au carré de la vitesse :  $\Delta H = K V^2/2g$ .

Les lignes de courant, obtenues pour une vitesse du courant de sortie de 2 m/s, sont présentées sur la planche III. On constate que, bien qu'une couche limite se développe et s'épaississe dès l'entrée du coude, l'écoulement ne présente pas de décollement. La comparaison des profils de vitesses obtenus, d'une part par une approche de fluide parfait et d'autre part, par la simulation d'écoulements de fluides réels, s'avère excellente jusqu'à l'entrée du coude (planche IV). Il n'en est plus de même ensuite, l'écoulement en fluide réel présentant un important déficit de vitesse près de la paroi intérieure : ce qui est particulièrement préjudiciable dans un canal trop court pour que le champ de vitesses puisse se réorganiser avant l'entrée de la veine d'essais.

Ayant alors des doutes sur la qualité de l'écoulement dans les conditions du réel, il a été décidé d'effectuer des essais sur modèle réduit ; essais qui d'ailleurs, étaient prévus pour une toute autre raison : nos craintes, a priori, qu'un phénomène d'instabilité n'apparaisse du fait que l'écoulement réel est rendu tridimensionnel par la présence des parois latérales du coude.



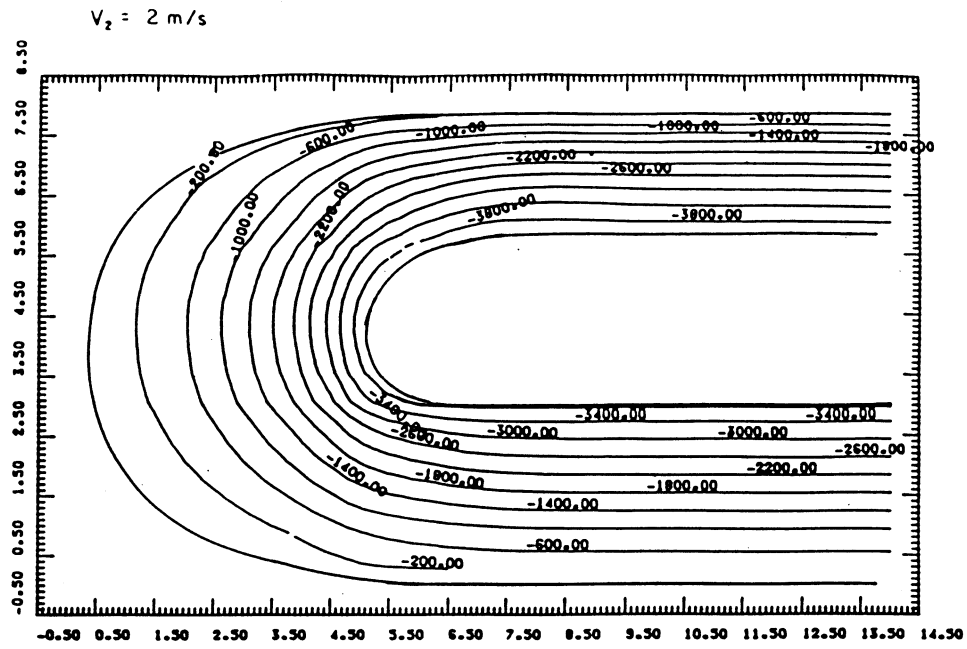


PLANCHE III : Lignes de courant

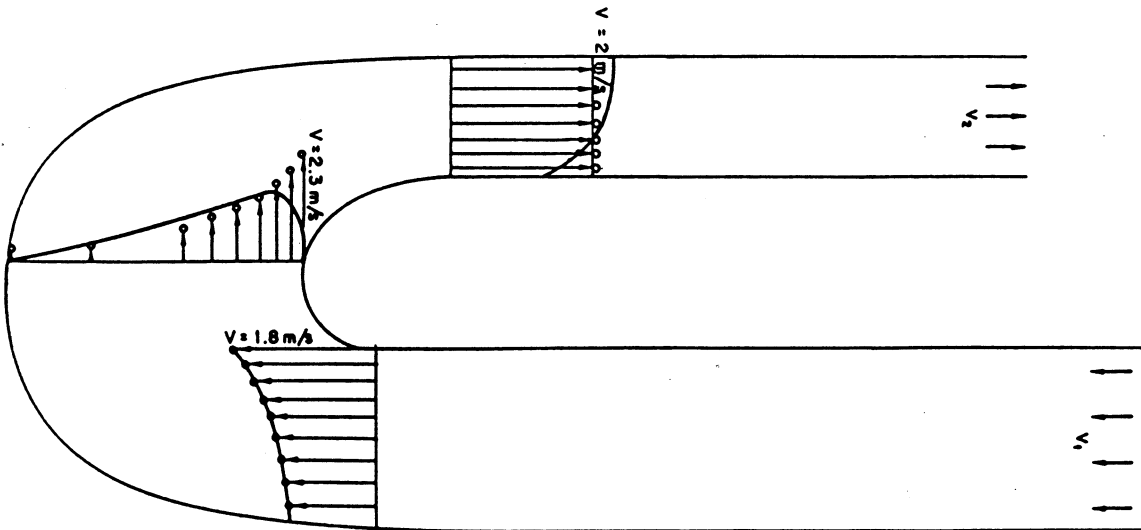


PLANCHE IV

- Fluide parfait
- Simulation ANSWER - 2D

### III Essais sur modèle réduit

La campagne d'essais s'est déroulée à IFREMER à partir de novembre 1988 sur une maquette réalisée à l'échelle 1/4 dans ses dimensions verticales et longitudinales, mais à l'échelle 1/8 dans ses dimensions transversales ; une telle maquette est déjà très importante : elle a une hauteur totale de 2,5 m et une longueur de 8,5 m. La partie supérieure du coude intérieur était munie d'un volet inclinable destiné à réaliser la meilleure transition possible entre l'écoulement en charge et l'écoulement à surface libre.

Les tous premiers essais, effectués à vitesse lente, après une mise en route très progressive, n'ont pas fait apparaître d'anomalie ; l'écoulement est stable et exempt de tout décollement.

Mais dès que la vitesse de débit à la sortie du coude atteint une valeur de l'ordre de 0,25 à 0,30 m/s, deux tourbillons d'intensités inégales, localisés le long des parois latérales du coude, prennent brusquement naissance ; désorganisant alors fondamentalement l'écoulement dans toute la demi-partie supérieure de ce coude et induisant, par suite, des désordres inacceptables dans la veine d'essais.

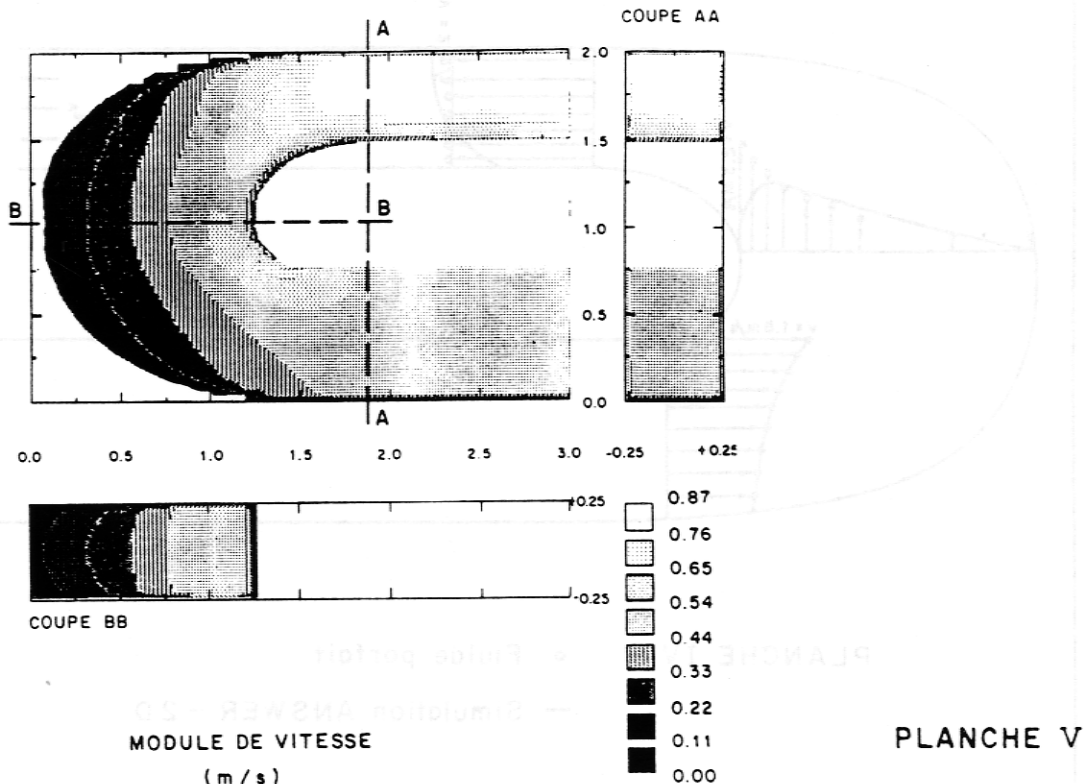
Mettant a priori cette instabilité sur le compte des imperfections constructives du modèle, on s'est tout d'abord attaché à lui apporter quelques améliorations (dédoublage des redresseurs en sortie de pompe, changement de pompe, réglage fin de l'horizontalité du modèle dans la direction transversale,...) ; ce qui n'a apporté aucun changement notable en ce qui concerne les défauts déjà observés...

Dans l'intention d'améliorer la qualité de l'écoulement au moins dans la veine de mesure, on a alors disposé un nid d'abeille à la sortie du coude ; ce qui a apporté un mieux très sensible, non seulement dans la veine d'essais, mais aussi dans le coude lui-même.

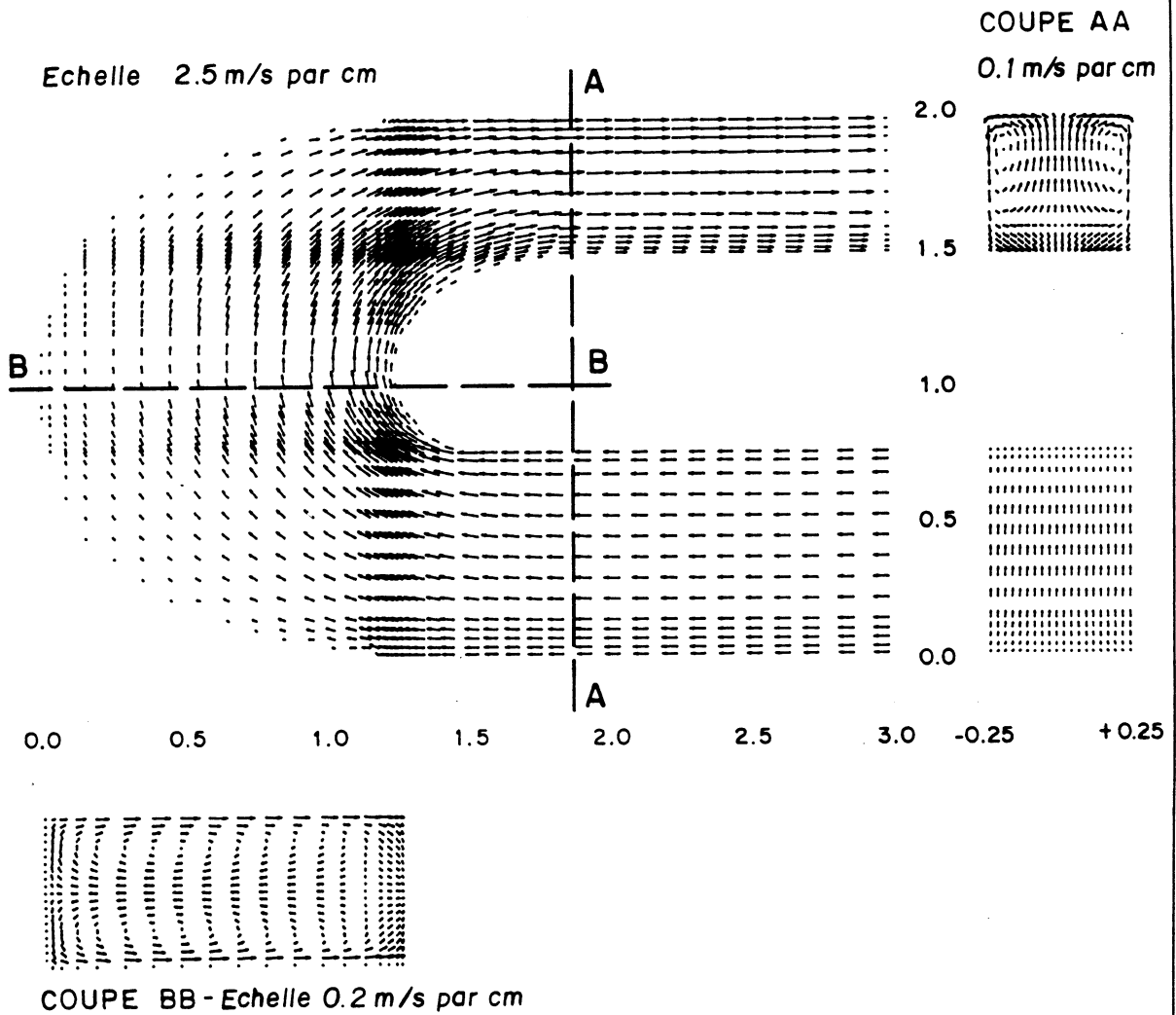
En interposant ensuite une grille devant ce nid d'abeille, on supprime totalement les fluctuations de vitesse dans le coude ; mais, malheureusement, au détriment de la qualité de l'écoulement aval. La recherche du compromis qui reste à trouver pour assurer la meilleure homogénéité des vitesses dans la veine d'essais fait l'objet de travaux en cours, menés simultanément par l'expérience et par la théorie.

### IV Retour aux calculs théoriques

Les essais sur maquette ont été simulés avec la version tridimensionnelle d'ANSWER. Les modules de vitesses, les champs de vitesses, l'énergie cinétique turbulente et la pression statique sont présentés sur les planches V à VIII, pour une vitesse à l'entrée de 0.5 m/s. On note que le modèle numérique décèle bien l'existence de deux tourbillons qui se développent au niveau du coude.



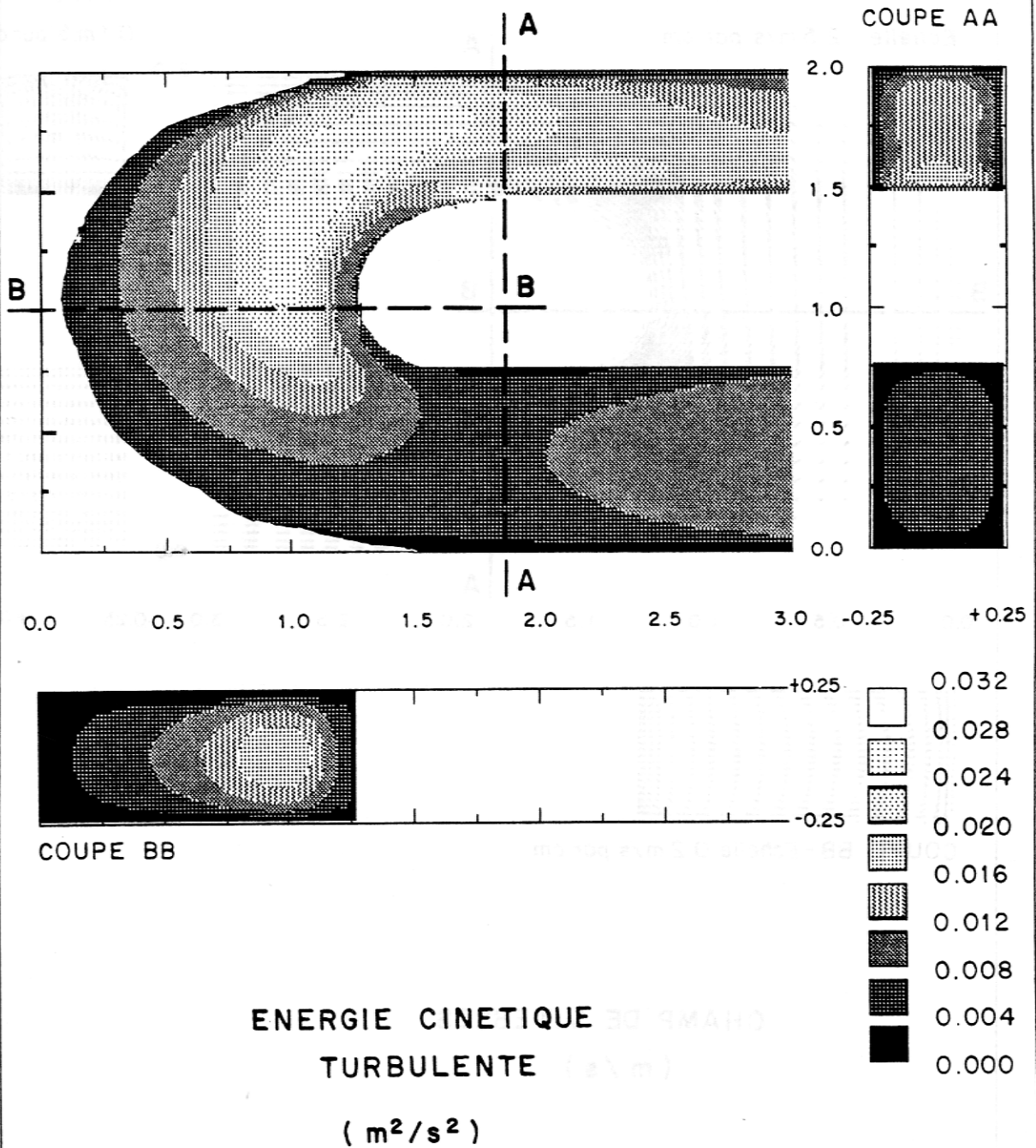
BASSIN D'ESSAIS DES CHALUTS  
SIMULATION ANSWER 3D



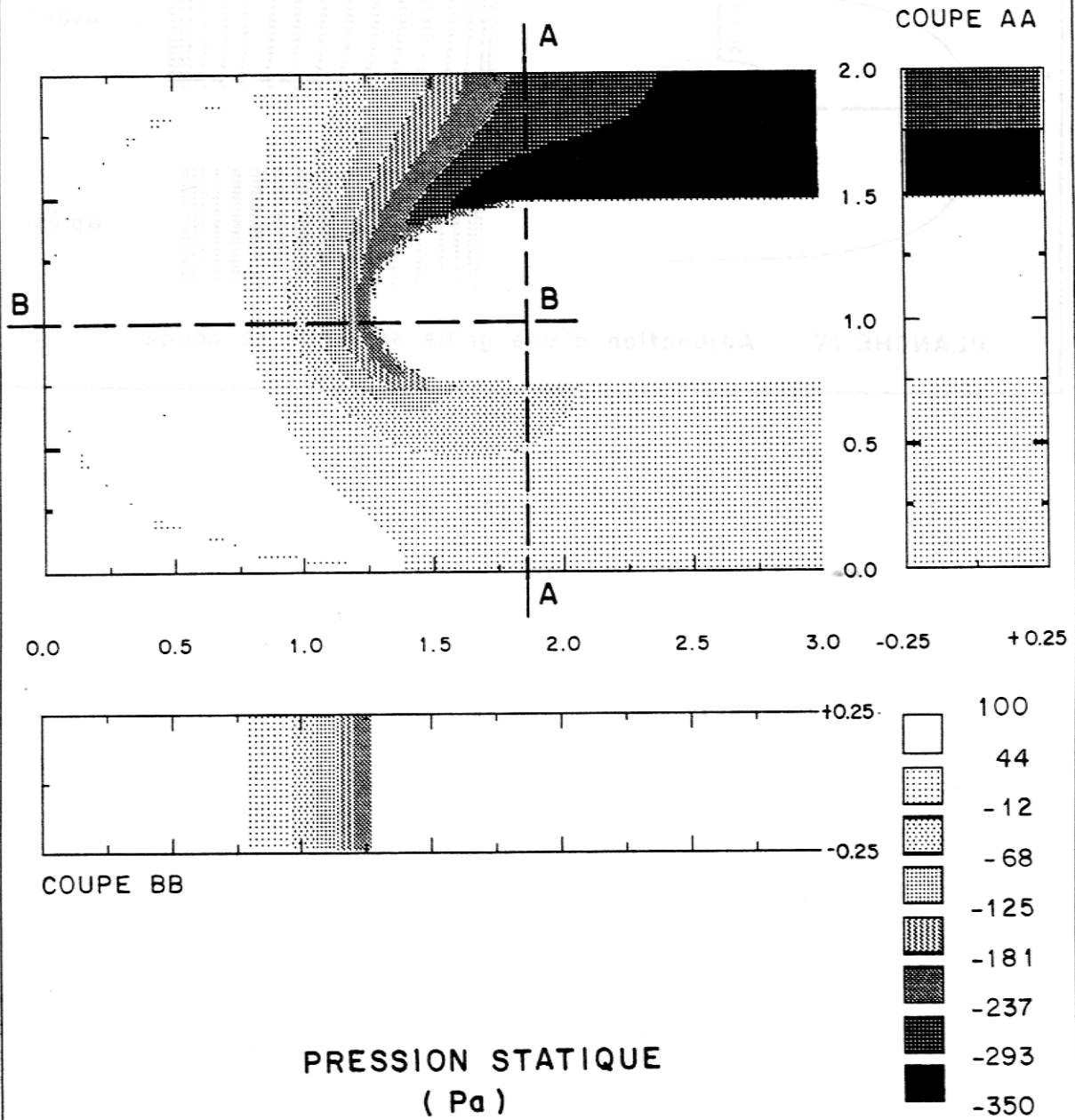
CHAMP DE VITESSES  
( m / s )

PLANCHE VI

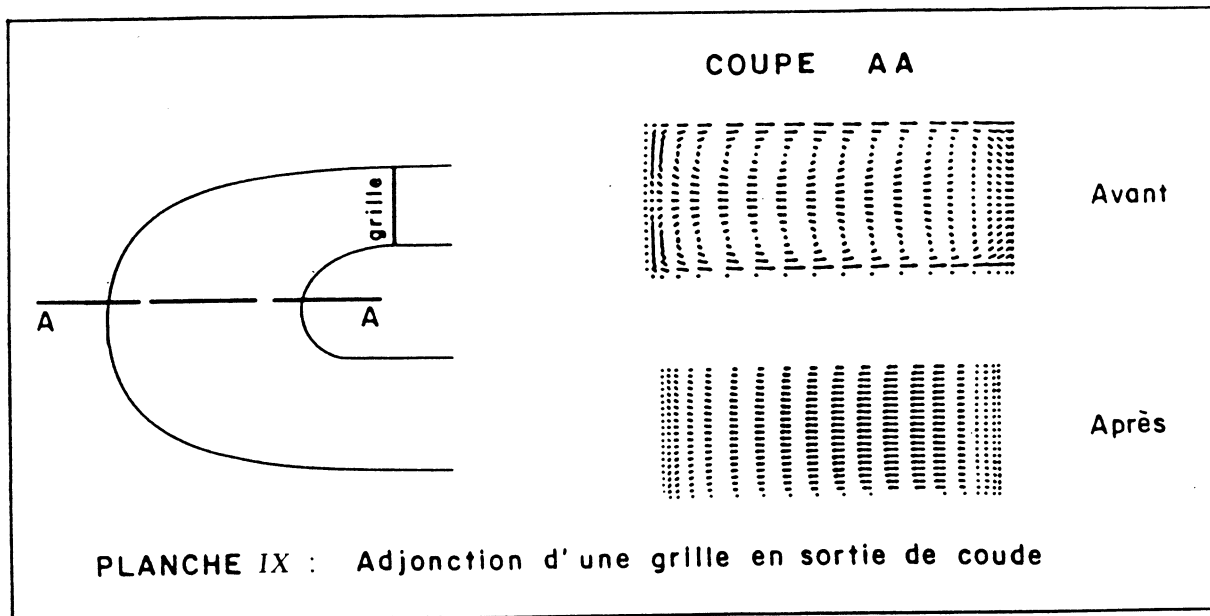
BASSIN D'ESSAIS DES CHALUTS  
 SIMULATION ANSWER 3D



BASSIN D'ESSAIS DES CHALUTS  
SIMULATION ANSWER 3D



Une nouvelle simulation numérique a été effectuée en modélisant la présence d'un nid d'abeille en sortie du coude. Pour cela, on a imposé des pertes de charges importantes dans toutes les directions autres que celle de l'écoulement principal. On constate alors la disparition des tourbillons latéraux, conformément aux observations expérimentales (planche IX).



### Conclusion

Bien qu'une solution technique ait pu être trouvée expérimentalement pour supprimer les instabilités d'écoulement dans le coude, on ne peut pas être pleinement satisfait de devoir disposer un système de grille et de nid d'abeille en sortie de coude; non pas tant à cause des pertes de charge qu'il crée, la hauteur manométrique délivrée par les pompes étant largement suffisante, mais à cause des sillages qu'il induit dans la veine d'essais.

Ayant attribué l'instabilité de l'écoulement aux frottements sur les parois latérales du coude, on est encore en droit d'espérer que l'écoulement sera moins perturbé au réel que sur le modèle réduit; rappelons, en effet, que ces parois perturbatrices sont relativement trop rapprochées sur le modèle, et cela, dans la proportion de 1 à 2.

Cependant, on poursuit actuellement nos efforts pour rendre le plus transparent possible le dispositif destiné à supprimer les instabilités qui, maintenant, nous apparaissent comme étant rédhibitoires dans le cas d'un coude à 180°, de section rectangulaire. Pour cela, on met à profit les ressources de la théorie et de l'expérience; l'exploitation du programme de calcul ANSWER, qui décèle bien les anomalies d'écoulement susceptibles d'engendrer des instabilités, devrait permettre de réduire le nombre de tâtonnements expérimentaux, lesquels ne sont guère aisés sur un modèle de grande dimension.

Notre souhait serait d'éviter de devoir associer une grille au nid d'abeille qui, lui, semble indispensable; en dehors des irrégularités d'écoulement qu'elle engendre dans la veine d'essais, cette grille est soumise à des forces de pression dynamique importantes, difficiles à reprendre du fait qu'elles s'exercent sur une très grande surface ( $4 \times 2m^2$ ).

### Remerciements

Nous remercions tout particulièrement le Docteur Aki RUNCHAL, concepteur du code ANSWER, pour sa contribution au développement de notre activité dans le domaine de la mécanique des fluides.

### Bibliographie

- [1] ACRI : Analytic and Computational Research, Inc.  
3106 Inglewood Boulevard  
West Los Angeles CA 90066  
Dr : A.K. RUNCHAL
- [2] PATANKAR, S.V : 1980 Numerical Heat Transfer and Fluid Flow  
McGraw Hill, New York - p. 126
- [3] IDELCHIK : Handbook of hydraulic resistance.