

## 2èmes JOURNEES DE L'HYDRODYNAMIQUE

13 au 15 Février 1989 - Nantes

---

### CREATION DU LABORATOIRE D'HYDRODYNAMIQUE DE L'ECOLE NAVALE

F. GROSJEAN — J.Y. BILLARD — P. CERRUTTI

LABORATOIRE d'Hydrodynamique de l'Ecole Navale  
ECOLE NAVALE — 29240 BREST NAVAL

**RESUME :** Un laboratoire d'Hydrodynamique a été créé à l'Ecole Navale en 1987, le domaine de recherches choisi est l'étude de la cavitation. Les premiers travaux portent sur l'étude d'une bulle de cavitation placée dans une zone de dépression avec superposition d'un champ de pression fluctuant. Les résultats numériques montrent que la bulle peut s'effondrer ou croître de façon asymptotique pour des pressions supérieures à la pression critique. Une boucle hydrodynamique doit permettre la confrontation expérimentale. D'autre part, un tunnel de cavitation et son instrumentation associée sont en cours d'installation.

**SUMMARY :** A hydrodynamical laboratory has been created since 1987 at the French Naval Academy. The research is about cavitation. The effect of a step pressure pulse with a superimposed periodic pressure wave on the growth and collapse of cavitation bubbles have been investigated. Numerical results show that bubble can either grow asymptotically or collapse, even if the pressure is much larger than the critical pressure. The experimental confrontation is in progress with a simple hydrodynamical machinery. Also a cavitation tunnel has been installed with the convenient instrumentation.

## 1. INTRODUCTION

L'Ecole Navale a créé depuis peu un laboratoire de recherches en hydrodynamique afin de permettre une continuelle mise à jour des enseignements dans ce domaine, pour stimuler les élèves de l'école et enfin pour apporter une contribution dans l'étude d'un phénomène qui intéresse particulièrement la Marine Nationale : la cavitation, liée en particulier à la discrétion acoustique des bâtiments.

Ce laboratoire a débuté ses travaux en 1987 par des études numériques sur la dynamique des bulles et la mise au point d'un tunnel de cavitation et de son instrumentation associée.

## 2. RECHERCHES ENTREPRISES

### 2.1. Position du Problème

L'étude du comportement d'une bulle soumise à un créneau de dépression a fait l'objet de nombreux travaux [1] à [5]. Ce créneau de dépression simule le passage d'une bulle convectée par l'écoulement dans une zone de dépression créée par exemple par un profil portant. Mais dans de nombreuses situations pratiques, il est nécessaire de tenir compte des fluctuations de pression de faible amplitude qui se superposent à la dépression moyenne [6]. Ces fluctuations de pression peuvent être causées par la turbulence de paroi, par les oscillations mécaniques du profil ou par les oscillations hydroélastiques d'une paroi solide ou enfin par une perturbation d'origine acoustique liée à la présence d'une émission sonar.

### 2.2. Le modèle numérique

Nous choisissons d'appliquer une perturbation sinusoïdale à un créneau de pression suivant la loi :

$$P_{\infty}(t) = P_m + \Delta P \cos \omega t$$

avec :

$P_{\infty}(t)$	la pression dans le liquide
$P_m$	la pression moyenne
$\Delta P$	l'amplitude de la perturbation
$\omega$	la pulsation de la perturbation.

L'évolution du rayon  $r$  de la bulle est donnée par l'équation de Rayleigh-Plesset, modèle simple dans une première approche, qui néglige la compressibilité du fluide et l'on adopte une loi de comportement de gaz parfait en évolution isotherme pour le mélange contenu dans la bulle.

$$\rho \left[ r \frac{d^2 r}{dt^2} + \frac{3}{2} \left( \frac{dr}{dt} \right)^2 \right] + 4 \frac{\mu}{r} \frac{dr}{dt} = P_g + P_v - P_{\infty}(t) - \frac{2\sigma}{r}$$

$\rho$  est la masse volumique du liquide,

$\mu$  sa viscosité dynamique,  $P_g$  la pression partielle du gaz,  $P_v$  la pression de vapeur et  $\sigma$  la tension superficielle.

Cette équation est intégrée par la méthode de RUNGE-KUTTA.

### 2.3. Le saut de pression

Dans le cas du saut de pression les résultats sont identiques à ceux obtenus par Darrozes et Chahine [2], pour différentes tailles de bulles  $r_0$  variant de 1/100 à 1 mm et pour des pressions moyennes variant de 2337 à 0 Pascal.

En admettant l'hypothèse de l'équilibre quasi-statique, la pression critique  $P_{cr}$  d'un germe est donnée par

$$P_{cr} = P_v - \frac{4}{3} \frac{\sigma}{r_{cr}}$$

avec

$$r_{cr} = r_0 \sqrt{3 \left( \frac{Th}{W_0} + 1 \right)} \quad \text{et} \quad Th = \frac{P_0 - P_v}{r_0^2}, \quad W_0 = \frac{2}{r_0^3}$$

L'évolution du rayon se présente alors sous deux formes différentes selon que la pression appliquée est supérieure ou inférieure à la pression critique. Dans le premier cas la bulle oscille avant d'atteindre son rayon critique, dans le second elle croît asymptotiquement.

#### 2.4. Essai en présence de la perturbation

##### 2.4.1. Choix de la pulsation

L'évolution du rayon du germe dépend de la pulsation choisie et en définissant la fréquence propre  $\omega_p$  à partir du comportement oscillatoire dans le cas du créneau de pression, nous distinguons trois cas possibles :

soit la pulsation  $\omega$  est d'ordre très supérieur à celui de  $\omega_p$  et la bulle par effet d'inertie n'a pas le temps de réagir (fig. 1).

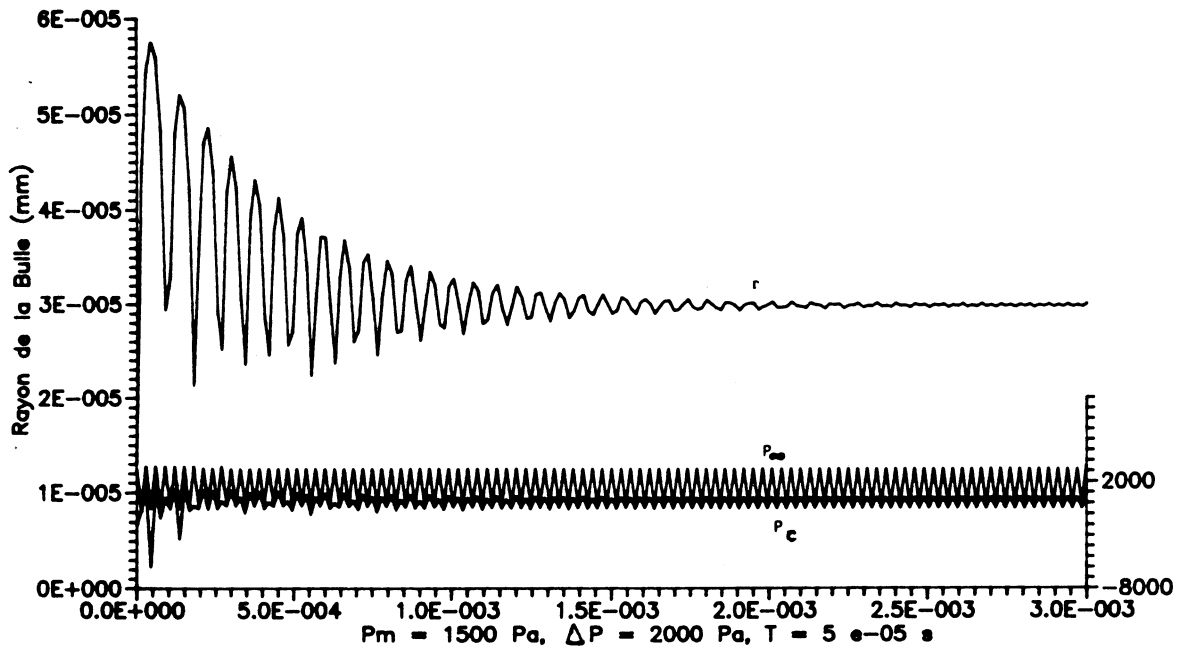


Figure 1

soit la pulsation  $\omega$  est d'ordre très inférieur à celui de  $\omega_p$ , le comportement de la bulle est alors principalement guidé par la pression moyenne avec une faible fluctuation due à l'application quasi-statique de la perturbation (fig. 2).

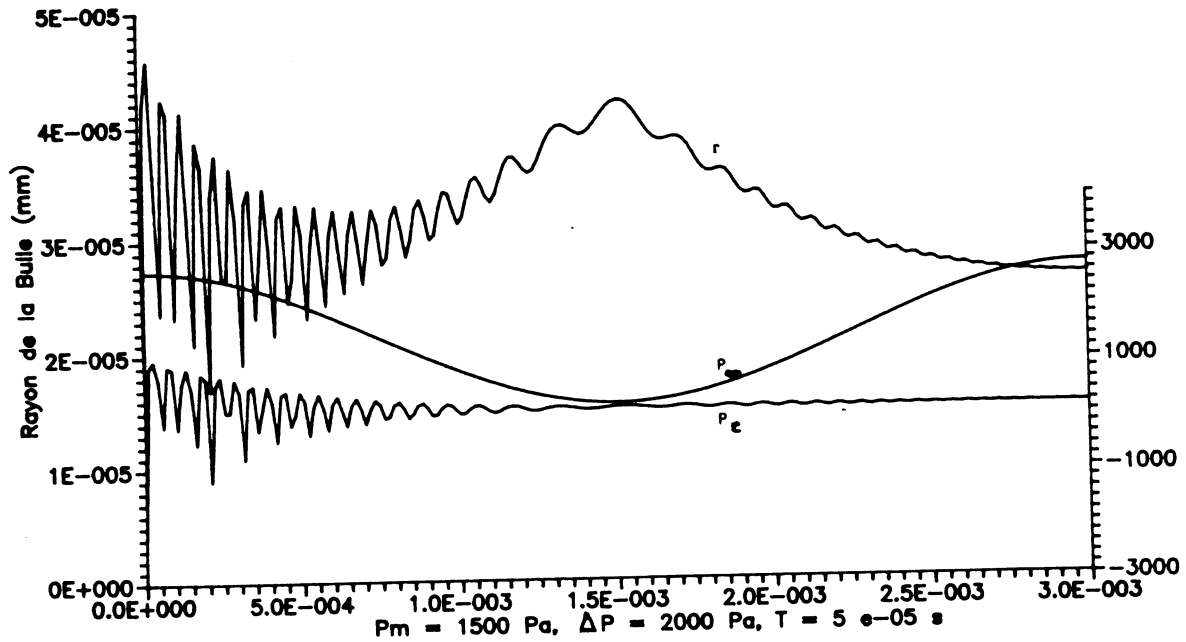


Figure 2

soit la pulsation  $\omega$  est du même ordre de grandeur que celui de  $\omega_p$  et l'influence de la perturbation se fera de différentes façons que nous allons étudier.

#### 2.4.2. Résultats

Pour un rayon de bulle donnée, choisissons  $r_0 = 1/100 \text{ mm}$ , nous faisons varier  $P_m$ ,  $\Delta P$  et  $\omega$ . Nous rencontrons alors trois types de comportement :

a - le rayon fluctue de façon quasi-périodique (fig. 3)

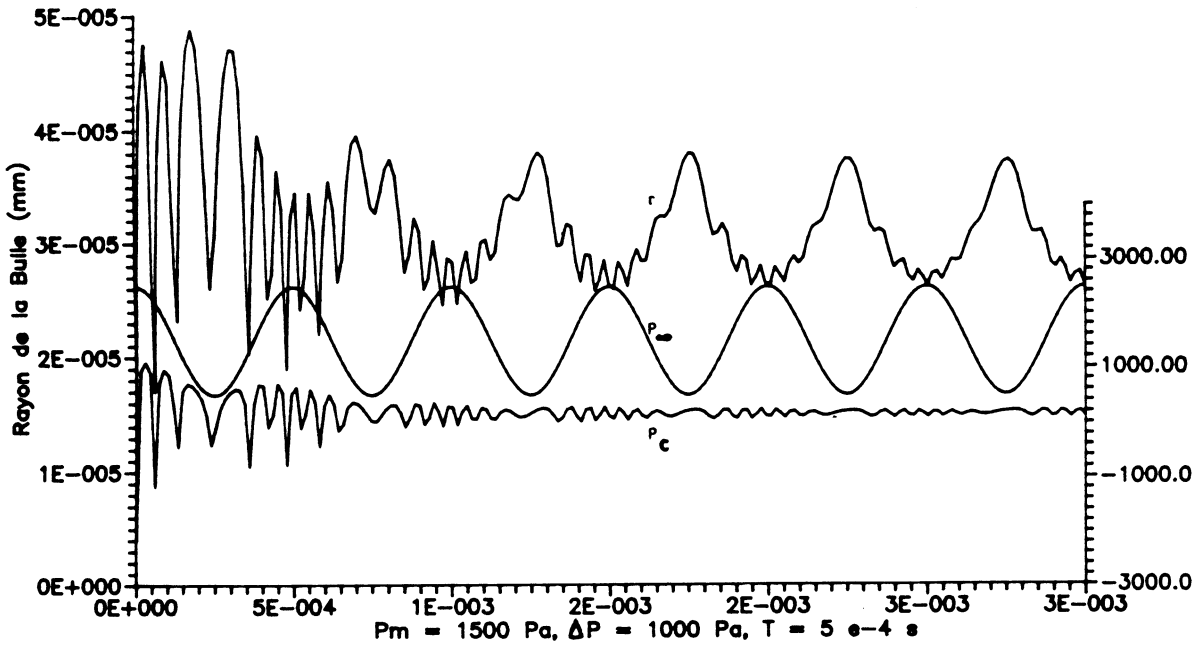


Figure 3

b - le rayon croit asymptotiquement (fig. 4)

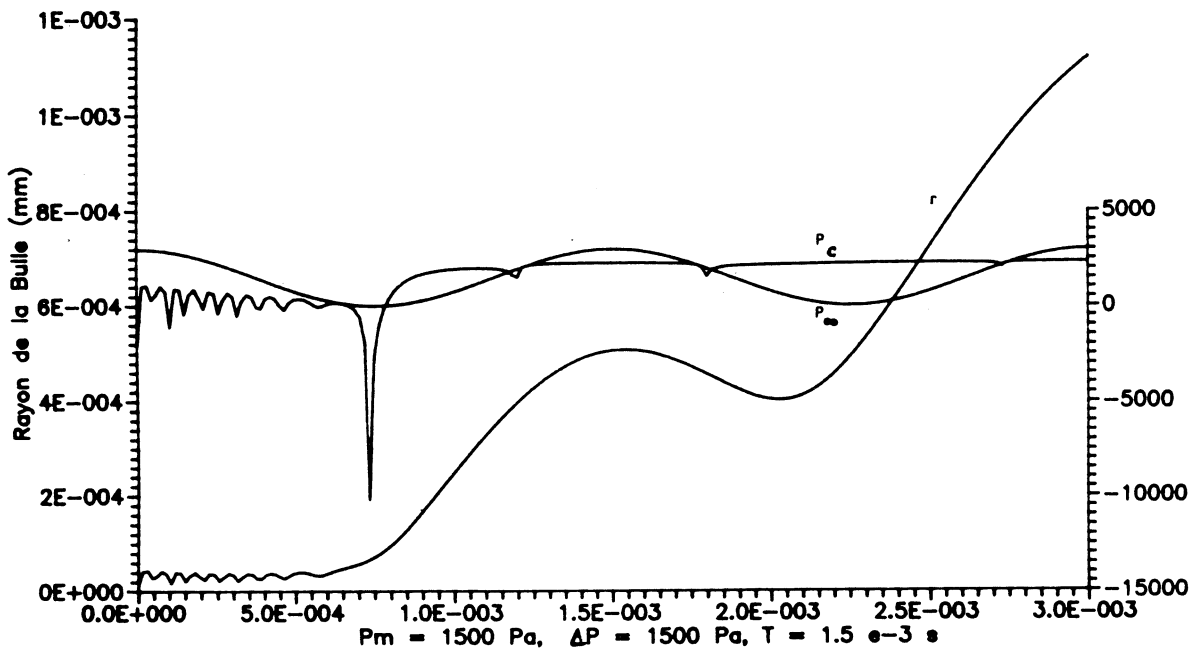


Figure 4

c — le rayon tend vers zéro après avoir oscillé, la bulle collapse (fig. 5).

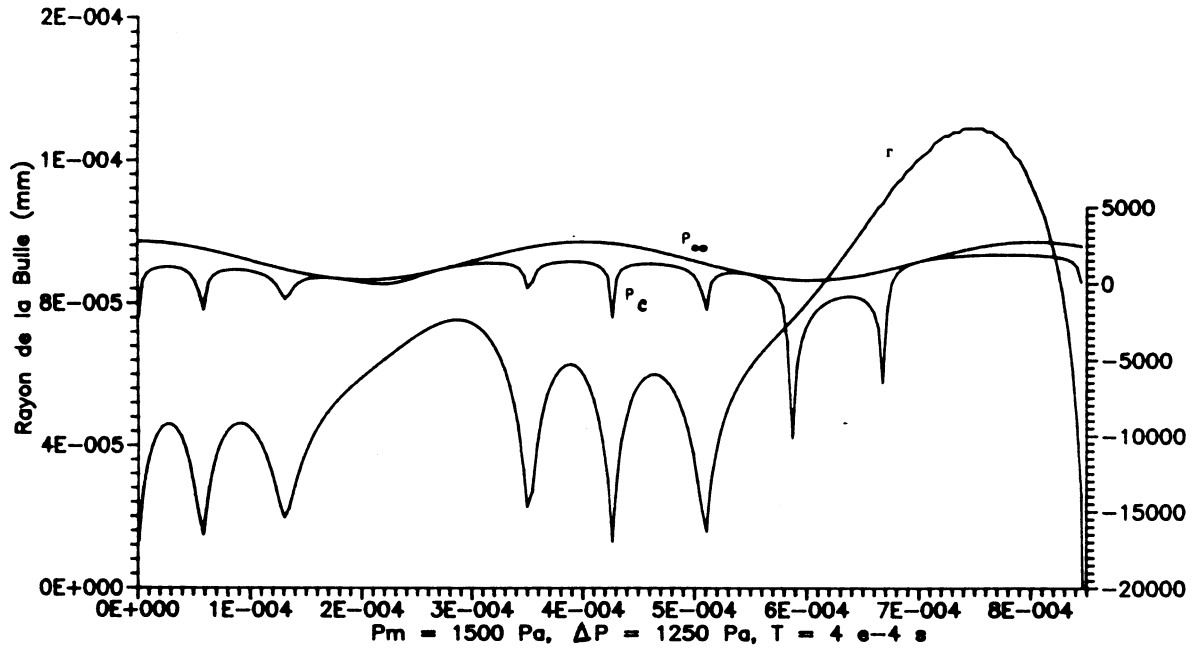


Figure 5

Et pour une valeur donnée  $P_m = 1500 \text{ Pa}$ , dans le plan défini par  $\Delta P \times \omega$ , nous rencontrons les trois types de comportements (fig. 6).

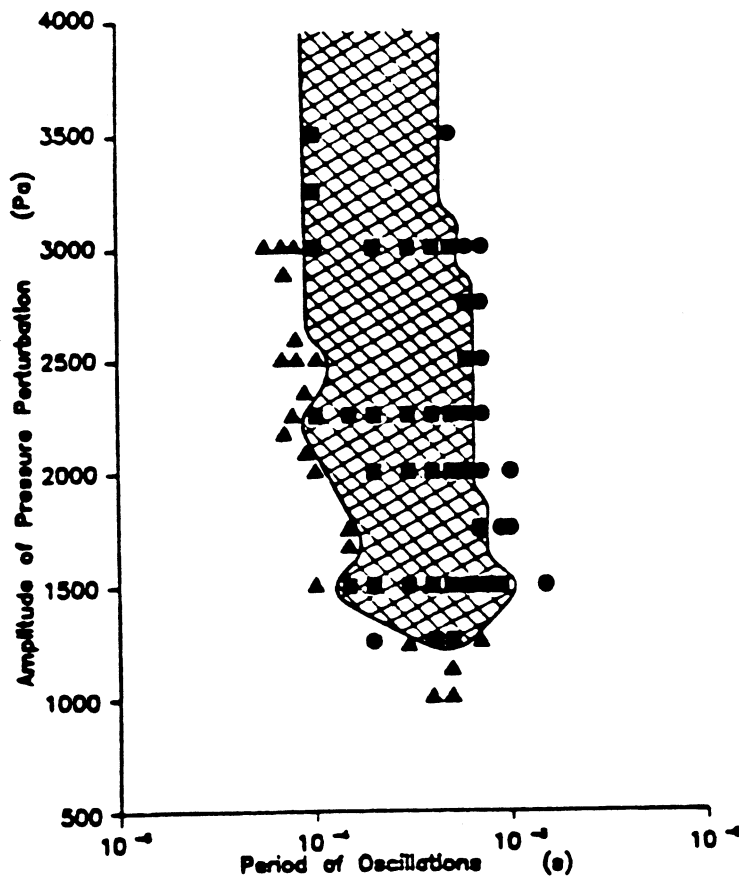


Figure 6: Region of occurrence of premature collapses as a fonction of  $\Delta P$  and  $\omega$  for  $P_m = 1500 \text{ Pa}$  and  $r_0 = 10^{-5} \text{ m}$

Or nous pouvons observer deux phénomènes nouveaux :

Il peut se produire un effondrement sans que la pression moyenne augmente et le rayon peut croître asymptotiquement sans que la pression ne devienne jamais inférieure à la pression critique.

Nous parlerons donc de effondrement prématuré et de grossissement asymptotique prématuré.

2.4.3. Critère de stabilité

Afin de prévoir les deux comportements nouveaux que nous venons d'observer, nous définissons la pression critique instantanée à partir du rayon instantané par les relations :

$$P_c(t) = P_v - \frac{4}{3} r_c \quad \text{avec} \quad r_c(t) = r(t) \sqrt{3 \left( \frac{Th_i}{We_i} + 1 \right)}$$

et  $Th_i = \frac{P_\infty(t) - P_v}{r^2(t)}$        $We_i = \frac{2}{r^3(t)}$

Nous traçons ensuite les courbes représentant le sup de  $P_\infty(t)$  et de  $P_c(t)$  pour les figures 4 et 5.

Nous constatons alors que le grossissement asymptotique se produit lorsque  $P_c(t) > P_\infty(t)$  et que par contre le effondrement a lieu après un grossissement asymptotique si  $P_c(t)$  reste inférieur à  $P_\infty(t)$  pendant un temps suffisamment long.

Ce critère encore assez grossier se révèle fiable, il permet de prédire fidèlement les deux comportements nouveaux observés [6].

Dans le cas du créneau de dépression, nous avons été également amenés à remettre en cause le critère de stabilité quasi-statique adopté.

Nous avons tout d'abord tracé la courbe donnant la pression critique en fonction de  $r_0$  dans le cas de l'hypothèse quasi-statique : courbe 1 de la figure 7 [2].

Puis numériquement, nous avons obtenu la courbe 2 qui représente la pression critique en tenant compte l'inertie de la bulle courbe 2 de la figure 7.

Les courbes 1 et 2 tendent asymptotiquement vers  $P_v$  quand  $r_0$  croît, mais l'écart pour  $r_0 = 1/100$  mm est d'environ 650 Pa. Le germe est instable pour des pressions nettement plus élevées si l'on tient compte de l'inertie. Enfin la courbe 3 confondue avec la courbe 2 est obtenue analytiquement en négligeant la viscosité.

## 2.5. Conclusion

Ce travail se poursuit principalement dans deux directions. Tout d'abord, le critère de stabilité doit être affiné et prendre en compte la loi d'état du mélange gazeux contenu dans la bulle.

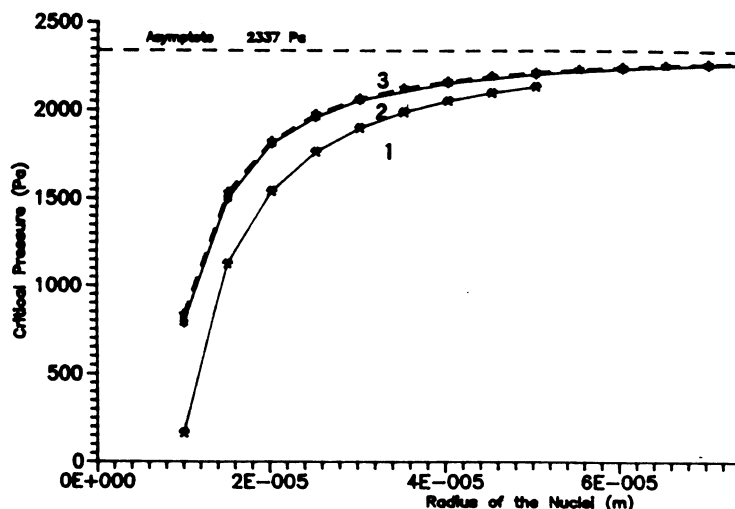


Figure 7

Ensuite, la confrontation avec des résultats expérimentaux nécessite la réalisation d'une boucle hydrodynamique en cours de fabrication au laboratoire.

Le créneau de dépression sera obtenu à l'intérieur d'un venturi dans lequel nous superposerons une fluctuation de pression de faible amplitude et de période variable.

Cette étude, menée en collaboration avec D.H. FRUMAN de l'ENSTA, doit se poursuivre grâce à un contrat DRET.

## 3. LE TUNNEL HYDRODYNAMIQUE

### 3.1. Caractéristiques essentielles

Afin de répondre à la demande de l'Ecole Navale, les Ateliers et Chantiers de Bretagne (A.C.B.) ont présenté dès 1986 un premier projet. Mais pour pouvoir mieux confronter les expériences et permettre une coopération, le choix essentiel a été de concevoir ce tunnel comme une réduction au 1/6 de la veine fermée du Grand Tunnel Hydrodynamique (G.T.H.) du VAUDREUIL. De plus ce projet a bénéficié des améliorations étudiées par les A.C.B. pour le G.T.H.

Le tunnel comporte une veine fermée fonctionnant en charge, et de dimensions 0,192 x 0,192 m de section soit 0,037 m<sup>2</sup> et d'une longueur de 1 m. La vitesse maximale de l'eau en absence de maquette est de 15 m/s.

La pression peut varier dans la veine de 0,05 à 3 bar absolus.

La valeur minimale du nombre de THOMA sera atteinte sur l'axe de la veine, à mi-longueur de celle-ci pour la vitesse maximale et devra être de 0,1 en dehors de toute trace de cavitation.

La conception de l'installation a été conduite essentiellement dans le but de répondre aux aspects suivants :

- a — une très bonne qualité d'écoulement, avec un faible taux de turbulence et une grande régularité de la vitesse moyenne,
- b — une bonne maîtrise des conditions de pression et de cavitation,
- c — une bonne qualité acoustique, un faible bruit de fond et un très faible niveau de vibrations.



### 3.2. Description de l'installation

L'architecture générale est conforme à celle du G.T.H. Elle comprend une boucle fermée, pressurisable, développée en hauteur et regroupe le tunnel proprement dit et la veine d'essai, les appareils auxiliaires et les systèmes périphériques.

#### 3.2.1. Le tunnel

Il comprend la cuve aval verticale (fig. 8) permettant le grossissement des bulles d'air et leur décantation, le point haut de la cuve permet d'assurer la régulation de niveau et la pressurisation de l'ensemble. Le ballon résorbeur suit le diffuseur de pompe. Un conduit vertical dirige le fluide vers le coude à ailettes puis vers le nid d'abeille. Le convergent d'un rapport de 1/9 introduit l'écoulement dans la veine, écoulement qui ensuite rejoint la cuve aval par un divergent.

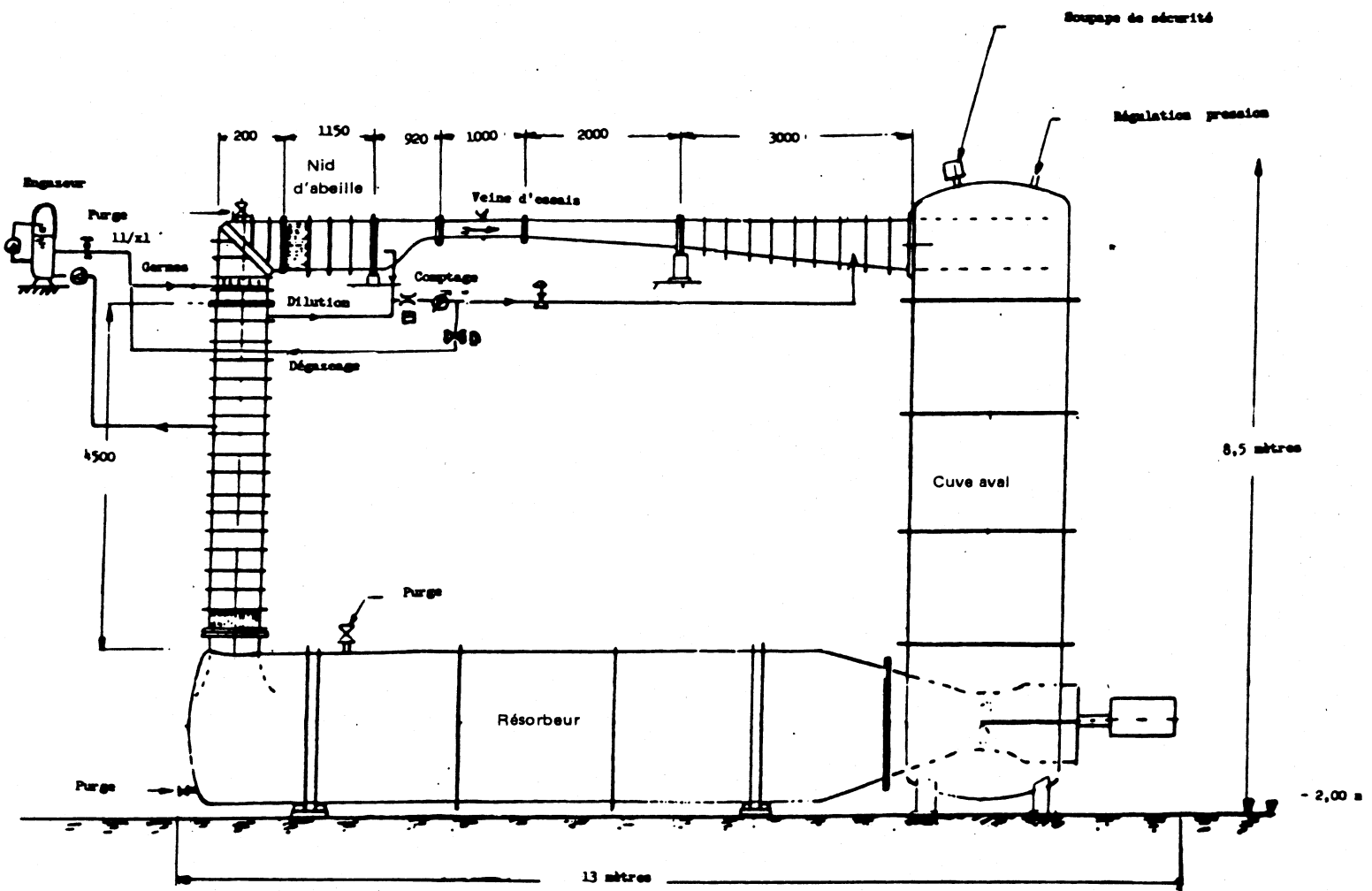


Figure 8

Le convergent et le prédivergent sont en altuglass et permettent de visualiser l'écoulement sur une longueur de 1,750 m autour de la veine (fig. 9) . La cuve aval et le résorbeur sont en acier noir recouverts d'un revêtement époxy, tous les autres éléments sont en acier inoxydable.

### 3.2.2. La pompe principale

Elle est à axe horizontal et à pales fixes. Ces caractéristiques nominales sont :

débit : 553 l/s , NPSH : 7 m , vitesse de rotation 713 tr/mn et la puissance maximale est de 21,4 KW.

Le moteur a courant continu possède un variateur de vitesse.

### 3.2.3. Le contrôle de la germination

Branché sur le conduit vertical, nous trouvons un dispositif de contrôle de la germination. Le comportement des écoulements cavitants étant fortement influencé par la teneur en germes des liquides, il est de la plus grande importance de maîtriser ce paramètre [ 7 ] .

Il comporte un réservoir appelé bidon d'engagement qui permet la dissolution de l'air par barbotage sous forte pression, une pompe haute pression pour prélever l'eau du tunnel puis la réinjecter et un ensemble d'injecteurs pour calibrer les germes. Un appareillage de mesure de la teneur en germes de cavitation de l'eau du tunnel complète ce dispositif.

### 3.2.4. Les dispositifs périphériques

Nous disposons pour le pilotage de l'installation d'un micro ordinateur qui assure la régulation et permet l'affichage des différentes informations en provenance des capteurs — capteur de température, capteur de pression absolue et différentielle, mesure du taux d'oxygène dissout — .

## 3.3. Instrumentation

Le moyen de mesure principal est un vélocimètre laser DANTEC permettant la détermination de deux composantes de la vitesse pour trois déplacements du point de mesure. Le traitement automatique des données complète cette installation (fig. 9) .

Une balance hydrodynamique à trois composantes traînée, portance et couple de renversement doit compléter l'appareillage de mesure. La phase de conception s'achevant, la phase de réalisation devrait bientôt commencer.

## 3.4. Expérimentations projetées

Les premiers essais sur ce tunnel comportent la recette de l'installation et la connaissance de ses performances réelles. Dès sa mise en service, une série d'expérimentations concernant la réduction du tourbillon marginal par injection de polymères [ 8 ] doit permettre une confrontation avec les résultats obtenus à l'ENSTA.

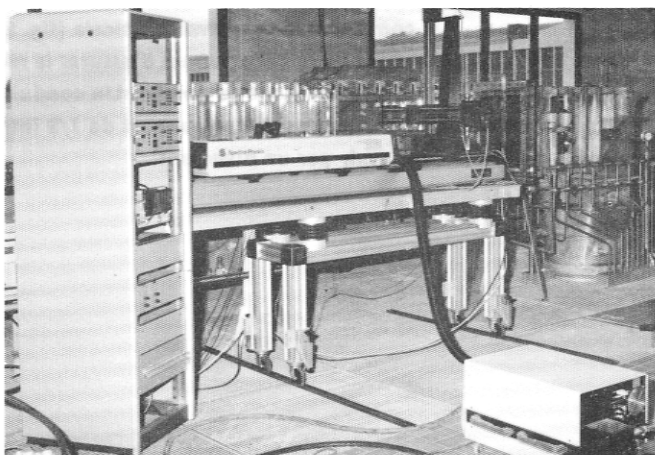


Figure 9

#### 4. CONCLUSION

La naissance du Laboratoire d'Hydrodynamique de l'Ecole Navale se déroule dans de bonnes conditions grâce aux nombreux contacts que nous avons avec d'autres organismes de recherches, grâce également au concours des collectivités locales qui ont financé une part importante de cet outil de recherche particulièrement intéressant.

BIBLIOGRAPHIE

- [ 1 ] G.L. CHAHINE  
 « Etude locale du phénomène de cavitation »  
 Thèse de doctorat d'état Univ. PARIS VI 1979.
- [ 2 ] J.S. DARROZES , G.L. CHAHINE  
 « Les recherches sur le phénomène de  
 cavitation effectuées à l'Ecole Supérieure de Techniques Avancées »  
 Sciences et Techniques de l'Armement  
 1er fascicule 1983.
- [ 3 ] R.T. KNAPP , J.W. DAILY , F.G. HAMMITT  
 « Cavitation »  
 Mc. Graw Hill Book Company , N.Y. 1970 .
- [ 4 ] E.A. NEPPIRAS , B.E. NOLTINGK  
 « Cavitation Produced by Ultrasonics »  
 Proc. Phys. Soc. B , 63 , p 674 1950 .
- [ 5 ] E.A. NEPPIRAS , B.E. NOLTINGK  
 « Cavitation Produced by Ultrasonics  
 Theoretical Conditions for the Onset of Cavitation »  
 Proc. Phys. Soc. B , 63 , p 1032 1951.
- [ 6 ] J.Y. BILLARD , F. GROSJEAN , D. FRUMAN  
 « Effect of a Step Pressure Pulse with a Superimposed  
 Periodic Pressure Wave on the Growth and Collapse  
 of Cavitation Bubbles »  
 Cavitation and Multiphase Flow Forum, Cincinnati, 1988.
- [ 7 ] J.P. LE GOFF , Y. LECOFFRE  
 « Nuclei and Cavitation »  
 14<sup>th</sup> Symposium on Naval Hydrodynamics, Ann Arbor, 1982.
- [ 8 ] D.H. FRUMAN  
 « Tip Vortex Cavitation in Polyner Solutions »  
 Cavitation and Multiphase Flow Forum, Cincinnati, 1988.