

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

PARIS

(11) N° de publication :

(A n'utiliser que pour les  
commandes de reproduction).

**2 522 153**

A1

**DEMANDE  
DE BREVET D'INVENTION**

(21)

**N° 82 02750**

(54) Procédé de mesure par ultrasons du rapport du volume de gaz présent dans une enceinte contenant un mélange liquide-gaz au volume total de l'enceinte.

(51) Classification internationale (Int. Cl.<sup>3</sup>). G 01 N 29/02; G 21 C 17/02.

(22) Date de dépôt..... 19 février 1982.

(33) (32) (31) Priorité revendiquée :

(41) Date de la mise à la disposition du  
public de la demande..... B.O.P.I. — « Listes » n° 34 du 26-8-1983.

(71) Déposant : FRAMATOME & CIE, société en nom collectif. — FR.

(72) Invention de : Jean Marini et Jean-Paul Heinrich.

(73) Titulaire : *Idem* (71)

(74) Mandataire : Lucien Bouget, Creusot-Loire,  
15, rue Pasquier, 75008 Paris.

L'invention concerne un procédé de mesure par ultrasons du rapport du volume de gaz présent dans une enceinte contenant un mélange diphasique liquide gaz au volume total de l'enceinte ou taux de vide, le gaz non dissout dans le liquide se présentant sous forme d'une couche surmontant 5 le liquide et/ou sous forme de bulles réparties dans le liquide.

Le circuit primaire des réacteurs nucléaires à eau sous pression renferme, lorsque le réacteur est en fonctionnement, de l'eau à une très forte pression de l'ordre de 155 bars et à une température de l'ordre de 310°C.

10 Dans le cas d'une rupture sur une canalisation du circuit primaire, la pression de cette eau tombe très rapidement et une vaporisation au moins partielle de l'eau primaire se produit. On utilise alors le circuit d'injection de sécurité du réacteur pour éviter un échauffement trop important du coeur ou des autres parties du circuit primaire.

15 Dans les instants qui suivent une rupture sur le circuit primaire, il est extrêmement important, pour évaluer l'effet des mesures de sécurité prises et en particulier l'effet de l'injection d'eau dans le circuit primaire, de mesurer la proportion de vapeur présente dans le fluide réfrigérant.

20 Il est par exemple important de connaître le rapport du volume de vapeur contenu dans une canalisation du circuit primaire au volume total de cette canalisation, après une rupture. Ce rapport, appelé taux de vide, peut bien sûr évoluer très rapidement après la rupture, en fonction de la gravité de cette rupture et de l'efficacité des mesures de sécurité déclenchées automatiquement ou mises en oeuvre par l'opérateur conduisant la centrale.

On ne connaîtait pas jusqu'ici de procédé extrêmement rapide et extrêmement sûr de détermination du taux de vide dans une partie du circuit primaire d'un réacteur nucléaire.

30 En effet, la difficulté de cette mesure est accrue par le fait que la vapeur produite dans le circuit primaire peut se présenter sous forme de bulles réparties à l'intérieur de l'eau primaire, sous forme d'une couche de vapeur surmontant l'eau non vaporisée ou encore sous les deux formes simultanément.

35 On admet généralement que si la vaporisation se poursuit dans le

circuit primaire, jusqu'à devenir totale, on rencontre au cours du temps des phases successives où la vapeur est d'abord sous forme de bulles réparties dans l'eau, puis sous forme de bulles réparties dans l'eau et sous forme d'une couche surmontant le mélange eau-bulles de vapeur, puis 5 d'une couche de vapeur de plus en plus importante surmontant l'eau ne renfermant plus de bulles de gaz.

Il est donc très difficile d'imaginer une méthode de mesure du taux de vide permettant de traiter tous ces cas différents.

De façon plus générale, lorsqu'un gaz est introduit dans une enceinte qui normalement ne renferme qu'un liquide, ce gaz étant sous forme de bulles réparties dans le liquide, sous forme d'une couche surmontant le liquide ou simultanément sous ces deux formes, il peut être extrêmement intéressant de connaître le rapport du volume de gaz au volume total de l'enceinte, pour connaître, par exemple, l'importance d'une fuite et déterminer les actions à entreprendre à la suite de cet incident. 10 15

Il est d'autre part tout-à-fait exclu de pouvoir accéder directement au fluide disposé à l'intérieur de l'enceinte, ce fluide étant généralement à très haute pression et à très haute température.

On connaît d'autre part l'utilisation des ondes ultrasonores pour 20 la détermination de différents paramètres physiques d'un fluide dans une enceinte ou une canalisation, par mesure d'atténuation ou de temps de propagation. Cependant, on ne connaît pas de procédé permettant une détermination du taux de vide à partir de mesure d'atténuation ou de temps de propagation des ultrasons.

Le but de l'invention est donc de proposer un procédé de mesure 25 par ultrasons du rapport du volume de gaz présent dans une enceinte contenant un mélange diphasique liquide-gaz au volume total de l'enceinte, ou taux de vide, le gaz non dissout dans le liquide se présentant sous forme d'une couche surmontant le liquide et/ou sous forme de bulles réparties 30 dans le liquide, ce procédé devant permettre une détermination très rapide du taux de vide quelle que soit la forme sous laquelle se présente le gaz à l'intérieur de l'enceinte.

Dans ce but :

- on provoque la propagation d'une onde ultrasonore à une première fréquence suivant un parcours peu incliné par rapport à une section verticale et traversant l'enceinte,
- on provoque la propagation d'une onde ultrasonore à une seconde fréquence suivant un parcours voisin du parcours de la première onde,

- on mesure le temps de propagation de la première et de la seconde ondes à travers le fluide remplissant l'enceinte,
  - on mesure la pression ou un paramètre physique directement lié à la pression du fluide remplissant l'enceinte,
- 5 - on compare les temps de propagation de la première onde et de la seconde,
- 10 - dans le cas où ces temps de propagation sont identiques, tout le gaz dans l'enceinte étant sous forme d'une couche surmontant le liquide et en équilibre avec celle-ci, on détermine à partir des vitesses de propagation des ultrasons dans le gaz et dans le liquide à la pression considérée, préalablement déterminées, et du temps de propagation des ondes dans le fluide stratifié remplissant l'enceinte, le taux de vide dans l'enceinte,
- 15 - dans le cas où les temps de propagation sont différents, une partie au moins du gaz étant sous forme de bulles réparties dans le liquide et en équilibre avec celle-ci :
- on détermine la présence ou l'absence d'une onde réfléchie à partir des ondes ultrasonores traversant l'enceinte,
- 20 - dans le cas où cette onde réfléchie est présente, on mesure le temps de propagation dans le gaz de cette onde réfléchie sur l'interface gaz-liquide présent dans l'enceinte et on détermine à partir de ce temps de propagation et de la vitesse des ultrasons dans le gaz à la pression considérée, déterminée préalablement, le taux de vide dû à la couche de gaz surmontant
- 25 le liquide dans l'enceinte,
- on calcule la vitesse de propagation de l'une au moins des deux ondes à fréquences différentes à travers le fluide constitué par le liquide renfermant les bulles de gaz,
  - on détermine à partir de cette vitesse, et en utilisant les relations existant entre la pression, la fréquence des ondes ultrasonores et la vitesse de propagation des ondes ultrasonores dans le liquide renfermant des bulles de gaz, déterminées préalablement, le taux de vide dû aux bulles de gaz réparties dans le liquide,
- 30 - et on détermine le taux de vide total par addition du taux de vide dû à la couche de gaz et du taux de vide dû aux bulles réparties dans le liquide,
- 35

Suivant une variante, dans le cas où les temps de propagation des ondes ultrasonores sont différents, une partie au moins du gaz étant

sous forme de bulles réparties dans le liquide et en équilibre avec celui-ci, on détermine le taux de vide sans avoir recours au captage des ondes réfléchies par l'interface gaz-liquide.

On utilise pour celà les relations existant entre la hauteur  
5 d'une couche de gaz éventuelle au-dessus du liquide renfermant les bulles de gaz, les vitesses des ondes ultrasonores dans le gaz et le mélange liquide-bulles de gaz et les temps de propagation des ondes à travers le fluide remplissant l'enceinte ainsi que la relation entre les vitesses  
10 des ondes dans le mélange liquide-bulles de gaz, pour chacune des fréquences, déterminée préalablement par étalonnage, en fonction du taux de vide dû aux bulles de gaz. A partir de ces relations, on détermine le taux de vide dû aux bulles de gaz réparties dans le liquide, la hauteur de gaz dans l'enceinte et le taux de vide dû au gaz surmontant le liquide.

On détermine ensuite le taux de vide total par addition du taux  
15 de vide dû au gaz surmontant le liquide et du taux de vide dû aux bulles de gaz réparties dans le liquide.

Suivant une autre variante du procédé suivant l'invention, dans le cas où tout le gaz est sous forme de bulles réparties dans le liquide :  
- on calcule le rapport de la différence des temps de propagation des ondes logarithmés  
20 des à des fréquences différentes, à la différence/des fréquences,  
- et on détermine le taux de vide dans l'enceinte, par comparaison du rapport obtenu avec la pente des courbes représentant les variations de la vitesse de propagation des ondes en fonction de la fréquence, suivant le taux de vide et la pression de fluide, courbes déterminées préalablement  
25 par étalonnage.

Afin de bien faire comprendre l'invention, on va maintenant décrire à titre d'exemples non limitatifs deux modes de réalisation du procédé suivant l'invention dans le cas d'une enceinte renfermant de l'eau sous pression partiellement vaporisée, la vapeur pouvant se présenter sous forme d'une couche surmontant le liquide et/ou de bulles de gaz réparties dans le liquide et dans le cas d'une canalisation renfermant de l'eau sous pression et de la vapeur sous forme de bulles de gaz réparties dans cette eau sous pression.

La figure 1 représente de façon schématique une installation permettant la détermination du taux de vide dans une enceinte.

La figure 2 est une représentation des variations de la vitesse du son dans un mélange stratifié eau-vapeur, en fonction du taux de vide, suivant la pression du mélange eau-vapeur.

La figure 3 représente, pour trois valeurs de la pression et de la température différentes de l'eau sous pression, les variations de la vitesse du son en fonction de la fréquence d'une onde ultrasonore se propageant dans de l'eau renfermant des bulles de vapeur, suivant le taux de vide.

La figure 4 représente, da façon schématique, une installation pour la mesure du taux de vide dans une canalisation renfermant de l'eau sous pression contenant des bulles de vapeur.

Sur la figure 1, on voit une enceinte 1 renfermant de l'eau et de la vapeur, celle-ci étant à la fois sous forme de bulles 2 réparties dans l'eau et sous forme d'une couche 3 surmontant l'eau non vaporisée.

Cette répartition de l'eau et de la vapeur se présente sous cette forme par exemple dans un récipient renfermant à l'origine de l'eau sous pression qui a subi une dépressurisation et une vaporisation partielles.

Ceci représente le second stade de la vaporisation.

Dans le premier stade, la vapeur est uniquement sous forme de bulles réparties à l'intérieur du liquide qui n'est surmonté par aucune couche de vapeur.

Dans un troisième stade, les bulles de vapeur réparties dans l'eau disparaissent et l'on se trouve en présence d'une certaine quantité d'eau surmontée par une couche de vapeur stratifiée. La couche de vapeur augmente jusqu'à la vaporisation complète de l'eau.

Sur l'enceinte et de part et d'autre de celle-ci suivant la direction verticale et suivant une direction voisine sont disposés des transducteurs 4, 5, 6 et 7 permettant d'émettre et de capter des ondes ultrasonores à travers le fluide remplissant l'enceinte 1. Entre les transducteurs 4 et 5, la distance rectiligne sur laquelle les ondes ultrasonores se propagent pratiquement identique à la longueur sur laquelle les ondes se propagent entre les transducteurs 6 et 7.

Les transducteurs 6 et 7 permettent l'émission et la réception d'une onde ultrasonore à basse fréquence, de l'ordre de 1 KHz. Les transducteurs 4 et 5 permettent l'émission et la réception d'ondes ultrasonores à haute fréquence de l'ordre de 1 MHz.

Le transducteur 6 permet de plus de capter au retour les ondes ultrasonores émises dans la direction verticale, après réflexion sur le niveau supérieur 8 de l'eau renfermant les bulles.

Des unités de calculs 10 et 11 permettent de déterminer le temps

de propagation dans le fluide remplissant l'enceinte, des ondes haute fréquence et des ondes basse fréquence respectivement.

Un calculateur 12 permet le calcul de la différence entre les temps de propagation des ondes basse fréquence et des ondes haute fréquence.

La vitesse de propagation des ondes ultrasonores dans un milieu homogène, tel que l'eau et la vapeur, est indépendante de la fréquence de ces ondes.

En revanche, ces vitesses sont variables en fonction de la pression du fluide dans lequel elles se propagent.

Un capteur de pression 14 à l'intérieur du récipient 1 permet de déterminer la pression d'équilibre de la vapeur et de l'eau dans ce récipient. Cette pression correspond à une valeur bien déterminée de la température du fluide dans l'enceinte 1.

Lorsqu'une onde se propage dans de l'eau renfermant des bulles de vapeur sa vitesse de propagation dépend de sa fréquence et augmente avec cette fréquence.

Si la différence des temps de propagation  $\Delta t_{BF} - \Delta t_{HF}$  est nulle on peut en conclure que la vapeur contenue dans le récipient 1 est dans son intégralité sous forme d'une couche surmontant l'eau sous pression non vaporisée.

On peut alors déterminer le taux de vide dans le récipient 1 de deux façons différentes.

A partir de la valeur de la pression mesurée par le capteur 14, des unités de calcul 15 et 16 permettent de déterminer la vitesse des ultrasons dans la vapeur et dans l'eau à la pression mesurée par le capteur 14.

A partir de ces valeurs des vitesses des ultrasons et du temps de propagation calculées par exemple par l'unité de calcul 10, on peut déterminer, grâce à une unité de calcul 18, le taux de vide dû à la vapeur surmontant l'eau dans l'enceinte 1.

En effet, la longueur du parcours des ultrasons dans la vapeur qui est reliée de façon simple au taux de vide dans l'enceinte peut être déterminée très facilement à partir du temps de propagation des ondes et des vitesses des ultrasons dans la vapeur et dans l'eau à la pression considérée.

Dans le cas où les temps de propagation à haute et basse fréquences sont égaux, le taux de vide global est égal au taux de vide dû à la

vapeur en phase stratifiée obtenu au moyen de l'unité de calcul 18.

Une seconde façon d'obtenir le taux de vide est de capter au moyen du transducteur 4 les ondes ultrasonores réfléchies par la surface 8 de l'eau, après un parcours représentant deux fois la hauteur h de 5 la couche de vapeur au-dessus de l'eau dans l'enceinte 1.

Une unité de calcul 20 permet de déterminer le temps de propagation des ondes ultrasonores dans la vapeur, la longueur du trajet de ces ondes ultrasonores étant égale à 2 h.

L'unité de calcul 21 permet de déterminer à partir du temps de propagation des ondes dans la vapeur fourni par l'unité de calcul 20 et à partir de la vitesse des ultrasons dans la vapeur à la pression considérée fournie par l'unité de calcul 15, le taux de vide dû à la vapeur en phase stratifiée au-dessus de l'eau. Cette valeur est égale à la précision de la mesure près à la valeur obtenue grâce à l'unité de calcul 18.

Sur la figure 2, on a représenté les variations de la vitesse du son dans un mélange stratifié eau-vapeur remplissant une conduite cylindrique horizontale en fonction du taux de vide et pour différentes pressions du fluide remplissant la conduite correspondant à des températures bien déterminées de ce fluide.

Dans ce cas, il suffit de connaître la vitesse de propagation des ondes ultrasonores (ou le temps de propagation dans la conduite) ainsi que la pression du fluide pour déterminer de façon certaine le taux de vide dans la conduite.

Une unité de calcul ayant en mémoire les équations des courbes telles que représentées à la figure 2 et pour un nombre de pressions suffisant pour permettre l'extrapolation conduit à la détermination immédiate du taux de vide à partir du temps de propagation des ondes ultrasonores dans la conduite renfermant de l'eau surmontée par de la vapeur.

Dans le cas où les temps de propagation des ondes à basse fréquence et des ondes à haute fréquence sont différents, on en déduit que la vapeur est au moins partiellement sous forme de bulles réparties dans de l'eau non vaporisée.

Dans ce cas, il faut déterminer si l'on se trouve en présence d'eau renfermant des bulles de vapeur surmontée par de la vapeur comme représenté à la figure 1 ou en présence d'eau renfermant des bulles occupant tout le volume de l'enceinte 1.

La présence d'un interface liquide-vapeur 8 peut être déterminée en captant l'onde réfléchie éventuellement sur la surface 8, grâce au transducteur 4.

L'unité de calcul 20 déjà décrite permet de calculer le temps de propagation des ondes dans la vapeur, suivant un parcours aller et retour entre le transducteur 4 et le niveau 8.

La connaissance de la vitesse des ultrasons dans la vapeur à la pression considérée fournie par l'unité de calcul 15 permet de déterminer la hauteur de vapeur  $h$  dans l'enceinte c'est-à-dire le taux de vide dans cette enceinte dû à la couche de vapeur surmontant l'eau non vaporisée contenant des bulles de vapeur.

Sur la figure 3, on voit un ensemble de courbes représentant les variations de la vitesse des ondes ultrasonores en fonction de la fréquence, pour différentes valeurs du taux de vide et pour différentes valeurs de la pression du fluide, dans le cas où ce fluide est constitué par de l'eau renfermant des bulles de gaz réparties dans la masse d'eau.

De telles courbes peuvent être mémorisées en grandes quantités dans une unité de calcul 24 recevant comme données d'entrée le temps de propagation des ondes à haute fréquence déterminé par l'unité de calcul 10, le temps de propagation des ondes dans la vapeur, en provenance de l'unité de calcul 20 et la pression du fluide remplissant l'enceinte 1. A partir de ces données d'entrée et des relations ou abaques mis en mémoire, l'unité de calcul 24 permet de déterminer la vitesse des ondes haute fréquence dans l'eau renfermant des bulles de vapeur et le taux de vide dû à la vapeur sous forme de bulles.

Ce taux de vide est additionné au taux de vide dû à la vapeur en phase stratifiée calculé par l'unité 21, dans un calculateur 25.

Le calculateur 25 peut alors donner la valeur du taux de vide global dans l'enceinte 1.

Le traitement par l'unité de calcul 24 est déclenché quand on détecte au niveau de l'unité de calcul 12 une différence entre les temps de propagation des ondes basse et haute fréquences.

Il est également possible de déterminer le taux de vide dû à la vapeur stratifiée et dû aux bulles de vapeur sans avoir recours à une mesure de temps de propagation d'une onde réfléchie sur la surface 8 de l'eau sous pression.

On utilise à cet effet une unité de calcul ayant en mémoire les courbes ou relations entre la vitesse de propagation des ondes et la fréquence dans un mélange d'eau et de bulles de vapeur, suivant la pression et suivant le taux de vide. De telles courbes sont représentées sur la figure 3. En effet, si  $L$  désigne la longueur du parcours des ondes dans toute

la traversée du récipient 1, on peut écrire les relations suivantes :

$$\Delta t_{BF} = \frac{h}{CV} + \frac{L-h}{C_1(BF)}$$

$$\Delta t_{HF} = \frac{h}{CV} + \frac{L-h}{C_1(HF)}$$

5

CV étant la vitesse des ondes ultrasonores dans la vapeur à la pression considérée, et  $C_1(BF)$  et  $C_1(HF)$ , les vitesses des ondes ultrasonores dans le liquide renfermant les bulles à la pression considérée, pour les ondes basse fréquence et haute fréquence, respectivement.

10 La mise en mémoire des relations ou courbes représentées à la figure 3 dans l'unité de calcul permet d'introduire une relation entre  $C_1(BF)$  et  $C_1(HF)$ .

15 Les données d'entrée dans l'unité de calcul sont les temps de propagation  $\Delta t_{BF}$  et  $\Delta t_{HF}$ , la pression et la vitesse de propagation des ultrasons dans la vapeur, ce qui permet une détermination de la valeur de la hauteur  $h$  de la couche de vapeur et du taux de vide dû aux bulles de vapeur dans l'eau.

20 Ces valeurs sont déterminées par itération en utilisant les courbes mises en mémoire.

De la connaissance de la hauteur  $h$  on déduit grâce à l'unité de calcul le taux de vide dû à la vapeur stratifiée et le taux de vide global par addition de ce taux de vide dû à la vapeur stratifiée et du taux de vide dû aux bulles de vapeur dans l'eau.

25 On préfère cependant une méthode de détermination utilisant les ondes réfléchies qui permettent une meilleure discrimination entre les différents cas et une détermination plus précise des taux de vide.

Sur la figure 4, on voit la section 30 d'une conduite de grande dimension telle qu'une conduite du circuit primaire d'un réacteur à eau sous pression à l'intérieur de laquelle s'est produit un début de vaporisation. Des bulles de vapeur 31 se sont formées dans l'eau sous pression mais aucune couche de vapeur stratifiée n'a pu encore se former.

Dans ces conditions, on peut utiliser un appareillage simplifié pour la mesure du taux de vide.

30 Cet appareillage comporte deux paires de transducteurs 32, 33 et 34, 35 disposés de façon diamétrale opposée sur la conduite 30.

La paire de transducteurs 32-33 permet l'émission et le captage d'une onde ultrasonore à une première fréquence, cependant que la paire de transducteurs 34-35 permet l'émission et le captage d'une onde ultrasonore

à une seconde fréquence.

Les temps de propagation de ces ondes ultrasonores dans le fluide remplissant la conduite 30 sont calculés par des unités de calcul 36 et 37. Une unité de calcul 38 permet de calculer le rapport  $\frac{\Delta t_1 - \Delta t_2}{\log F_1 - \log F_2}$  entre 5 la différence des temps de propagation des ondes et la différence des logarithmes des fréquences. Un capteur de pression 40 est disposé à l'intérieur de la conduite 30 pour fournir un signal représentatif de la pression du fluide remplissant la conduite 30 à une unité de calcul 42 recevant également de l'unité de calcul 38 un signal représentatif du rapport des 10 différences de temps de parcours à la différence des fréquences des ondes ultrasonores.

L'unité de calcul 42 a, enregistrées en mémoire, les relations entre vitesse des ondes ultrasonores et fréquence, suivant les différents taux de vide et suivant les différentes pressions, déterminées par étalonnage et telles que représentées, par exemple suivant la figure 3.

En fonction de la pression mesurée par le capteur 40 dans la conduite 30, l'unité de calcul 42 permet une comparaison du rapport  $\frac{\Delta t_1 - \Delta t_2}{\log F_1 - \log F_2}$  avec la pente des courbes donnant la variation de la vitesse du son en fonction de la fréquence.

20 Les fréquences  $F_1$  et  $F_2$  sont relativement proches, si bien que la comparaison des pentes et du rapport se fait au voisinage de l'une des fréquences ou d'une fréquence moyenne. Ceci permet de déterminer le taux de vide puisque, ainsi qu'il est visible sur la figure 3, les pentes des courbes varient fortement avec le taux de vide.

25 La mesure du taux de vide peut donc se faire de façon très rapide en utilisant des fréquences relativement proches pour les deux ondes ultrasonores.

Les parcours de ces ondes peuvent s'écartez fortement de la verticale et faire entre elles un angle important. En effet, la répartition 30 des bulles dans le fluide est sensiblement homogène.

Cette méthode de détermination simplifiée du taux de vide est très utile dans les premières phases suivant une rupture sur le circuit primaire d'un réacteur à eau sous pression.

En effet, la vaporisation de l'eau commence par l'apparition de 35 bulles de gaz à l'intérieur de l'eau sous pression.

C'est d'ailleurs la phase dans laquelle il est impératif de connaître le taux de vide de façon très précise et rapide pour pouvoir remédier très rapidement aux effets d'une rupture accidentelle sur le circuit

primaire.

Dans la plupart des cas, les systèmes de sécurité sont conçus de façon qu'il est tout-à-fait improbable qu'un accident puisse conduire à une vaporisation avec constitution d'une couche de vapeur stratifiée.

5 On voit que les avantages du procédé suivant l'invention sont de permettre une détermination très rapide et très précise du taux de vide dans une enceinte ou une canalisation renfermant de l'eau sous pression, quel que soit l'état sous lequel se présente la vapeur.

10 De façon plus générale, le dispositif peut permettre de déterminer la proportion de gaz dans un liquide contenu dans une enceinte ou une canalisation.

15 L'invention ne se limite pas aux modes de réalisation qui ont été décrits ; elle en comporte au contraire toutes les variantes. C'est ainsi qu'on peut utiliser les ondes réfléchies pour la mesure du taux de vide  
dû à une couche de gaz stratifiée et pour déterminer la présence d'un interface gaz-liquide dans l'enceinte ou au contraire utiliser une méthode ne faisant pas appel à l'échographie.

20 Au lieu d'une mesure de pression dans l'enceinte on peut effectuer une mesure d'un autre paramètre lié à la pression du fluide, par exemple la température.

Dans le cas où l'enceinte renferme un liquide ayant en suspension des bulles de gaz, on pourra choisir de façon quelconque les fréquences des ondes ultrasonores et les parcours de celles-ci à l'intérieur du fluide.

25 Le procédé suivant l'invention s'applique non seulement dans le cas de la détermination du taux de vide dans le circuit primaire d'un réacteur nucléaire à eau sous pression mais également dans le cas d'un liquide sous pression quelconque susceptible de se vaporiser et même dans le cas d'un liquide quelconque pouvant contenir un gaz dans une proportion variable.

REVENDICATIONS du rapport

- 1.- Procédé de mesure par ultrasons/du volume de gaz présent dans une enceinte contenant un mélange diphasique liquide-gaz au volume total de l'enceinte, le gaz non dissout dans le liquide se présentant sous forme d'une couche surmontant le liquide et/ou sous forme de bulles réparties dans le liquide,
- 5 caractérisé par le fait :
- qu'on provoque la propagation d'une onde ultrasonore à une première fréquence suivant un parcours peu incliné par rapport à une section verticale et traversant l'enceinte,
  - 10 - qu'on provoque la propagation d'une onde ultrasonore à une seconde fréquence suivant un parcours voisin du parcours de la première onde,
  - qu'on mesure le temps de propagation de la première et de la seconde ondes à travers le fluide remplissant l'enceinte,
  - 15 - qu'on mesure la pression ou un paramètre physique directement lié à la pression du fluide remplissant l'enceinte,
  - qu'on compare les temps de propagation de la première onde et de la seconde,
  - 20 - que, dans le cas où ces temps de propagation sont identiques, tout le gaz dans l'enceinte étant sous forme d'une couche surmontant le liquide et en équilibre avec celle-ci, on détermine à partir des vitesses de propagation des ultrasons dans le gaz et dans le liquide à la pression considérée, préalablement déterminées, et du temps de propagation des ondes dans le fluide stratifié remplissant l'enceinte, le taux de vide dans l'enceinte,
  - 25 - que, dans le cas où les temps de propagation sont différents, une partie au moins du gaz étant sous forme de bulles réparties dans le liquide et en équilibre avec celui-ci :
  - on détermine la présence ou l'absence d'une onde réfléchie à partir des ondes ultrasonores traversant l'enceinte,
  - 30 - dans le cas où cette onde réfléchie est présente, on mesure le temps de propagation dans le gaz de cette onde réfléchie sur l'interface gaz-liquide présent dans l'enceinte et on détermine à partir de ce temps de propagation et de la vitesse des ultrasons dans le gaz à la pression considérée, déterminée préalablement, le taux de vide dû à la couche de gaz surmontant le liquide dans l'enceinte,
  - 35 - on calcule la vitesse de propagation de l'une au moins des deux ondes à fréquences différentes à travers le fluide constitué par le liquide renfer-

mant les bulles de gaz,

- on détermine, à partir de cette vitesse, et en utilisant les relations existant entre la pression, la fréquence des ondes ultrasonores et la vitesse de propagation des ondes ultrasonores dans l'eau renfermant les bulles de gaz, déterminées préalablement, le taux de vide dû aux bulles de

5 gaz réparties dans le liquide,

- et on détermine le taux de vide total par addition du taux de vide dû à la couche de gaz et du taux de vide dû aux bulles réparties dans le liquide.

10 2.- Procédé de mesure suivant la revendication 1,

caractérisé par le fait que, dans le cas où les temps de propagation des deux ondes sont identiques, tout le gaz dans l'enceinte étant sous forme d'une couche surmontant le liquide et en équilibre avec celle-ci, on capte une onde réfléchie par l'interface gaz-liquide, on mesure le temps de propagation dans le gaz de cette onde réfléchie et on détermine, à partir de ce temps de propagation et de la vitesse des ultrasons dans le gaz à la pression considérée, déterminée préalablement, le taux de vide dans l'enceinte.

15 3.- Procédé de mesure suivant la revendication 1, dans le cas où les temps de propagation des deux ondes sont différents, une partie au moins du gaz étant sous forme de bulles réparties dans le liquide,

caractérisé par le fait qu'on détermine, à partir des relations existant entre la hauteur d'une couche de gaz éventuelle au-dessus du liquide renfermant des bulles de gaz, les vitesses des ondes ultrasonores dans le gaz et dans le mélange liquide-bulles de gaz et les temps de propagation des ondes à travers le fluide remplissant l'enceinte d'une part et d'autre part de la relation entre les vitesses des ondes dans le mélange liquide-bulles de gaz à chacune des fréquences suivant le taux de vide dû aux bulles de gaz, déterminée préalablement par étalonnage, le taux de vide dû aux bulles de gaz réparties dans le liquide, la hauteur de gaz dans l'enceinte et le taux de vide dû au gaz surmontant le liquide,

25 et on détermine le taux de vide total par addition du taux de vide dû au gaz surmontant le liquide et du taux de vide dû aux bulles de gaz réparties dans le liquide.

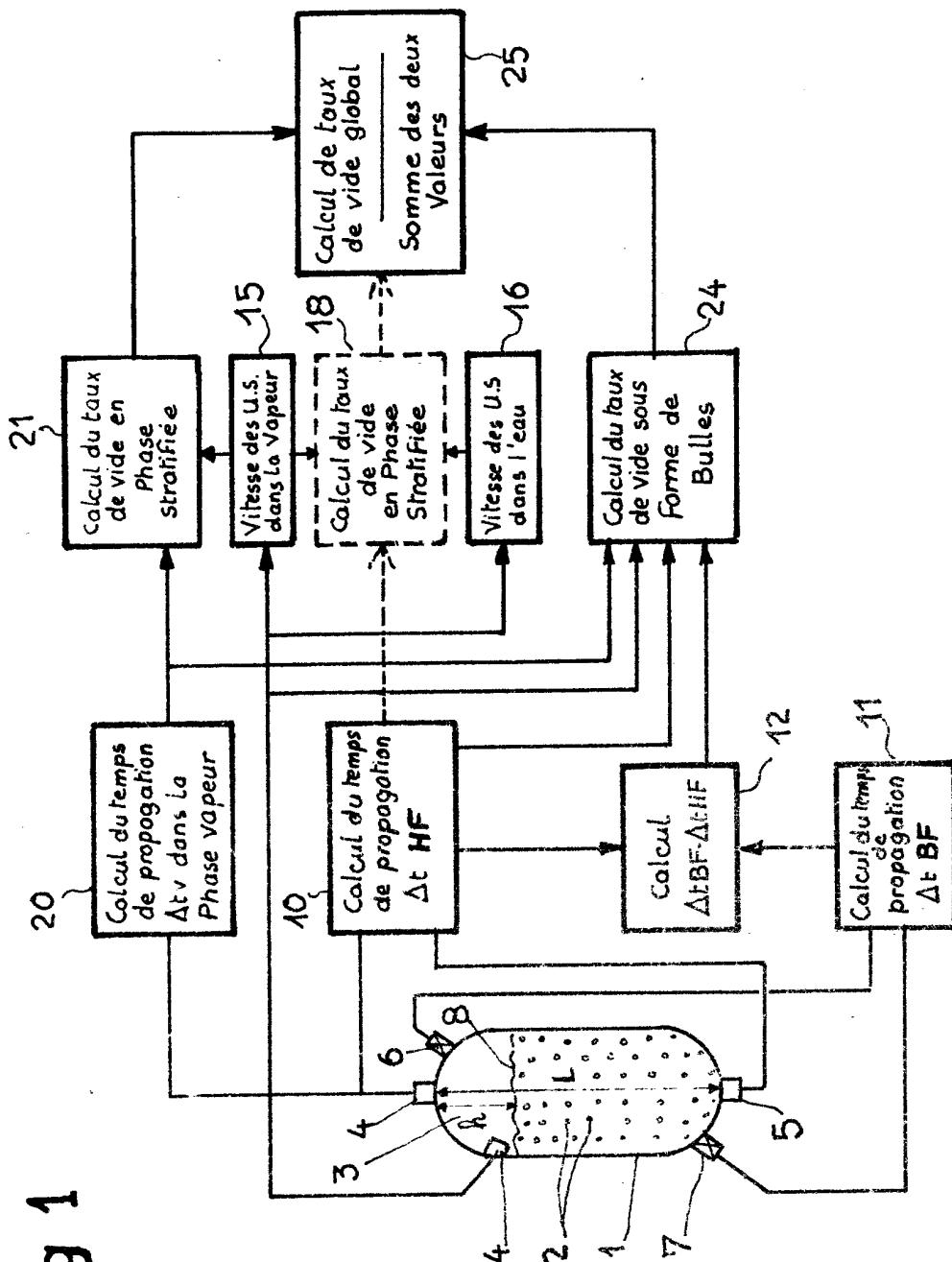
30 4.- Procédé de mesure par ultrasons du volume de gaz présent dans une enceinte au volume total de l'enceinte, ou taux de vide, le gaz se présentant sous forme de bulles réparties dans le liquide,

caractérisé par le fait :

- qu'on provoque la propagation d'une onde ultrasonore à une première fréquence suivant un parcours rectiligne traversant l'enceinte,
  - qu'on provoque la propagation d'une onde ultrasonore à une seconde fréquence suivant un second parcours traversant l'enceinte,
- 5 - qu'on mesure le temps de propagation de la première et de la seconde ondes à travers le fluide remplissant l'enceinte,
- qu'on mesure la pression ou un paramètre physique directement lié à la pression du fluide remplissant l'enceinte,
  - qu'on calcule le rapport de la différence des temps de propagation des 10 ondes à des fréquences différentes à la différence des logarithmes des fréquences,
  - et qu'on détermine le taux de vide dans l'enceinte, par comparaison du rapport obtenu avec la pente des courbes représentant les variations de la vitesse de propagation des ondes en fonction de la fréquence, suivant 15 le taux de vide et la pression du fluide, courbes déterminées préalablement par étalonnage.

5.- Application du procédé suivant l'une quelconque des revendications 1 à 4, à la mesure du taux de vide dans le circuit primaire d'un réacteur nucléaire à eau sous pression, après un accident s'accompagnant 20 d'une dépressurisation et d'une vaporisation au moins partielle de l'eau contenue dans l'enceinte, le gaz étant constitué par la vapeur d'eau se formant à partir de l'eau sous pression.

1/3



2522153

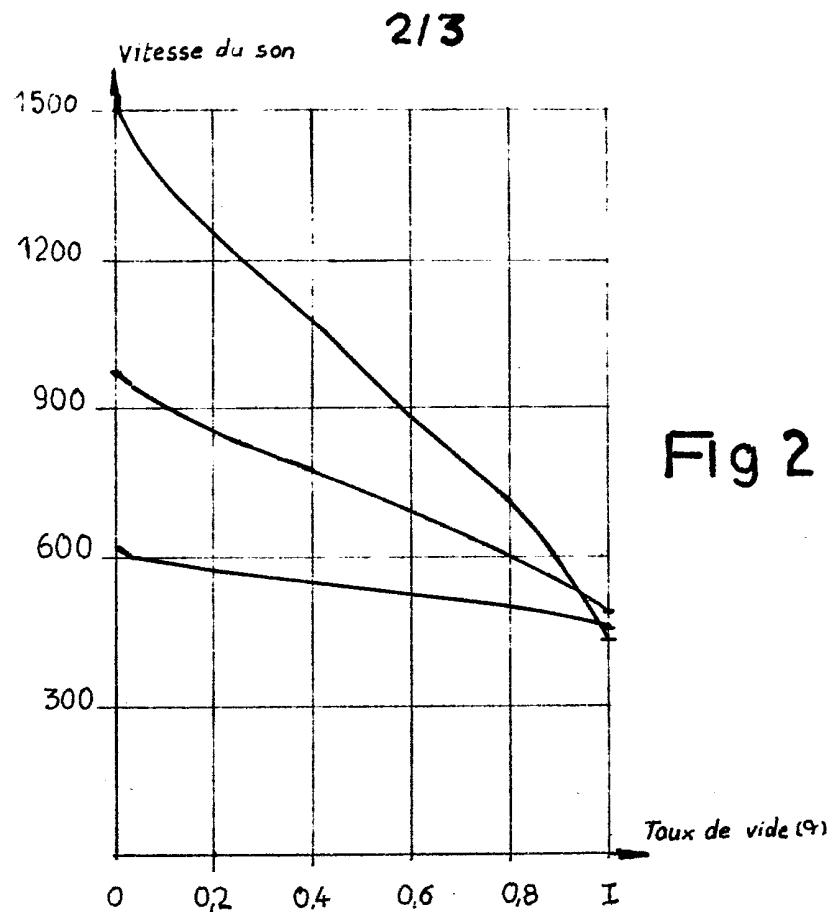


Fig 2

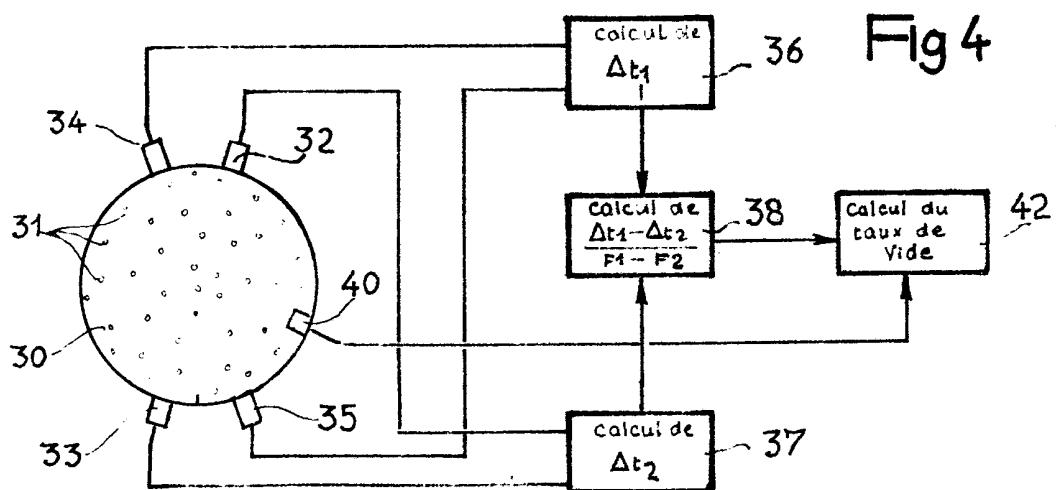


Fig 4

2522153

3/3

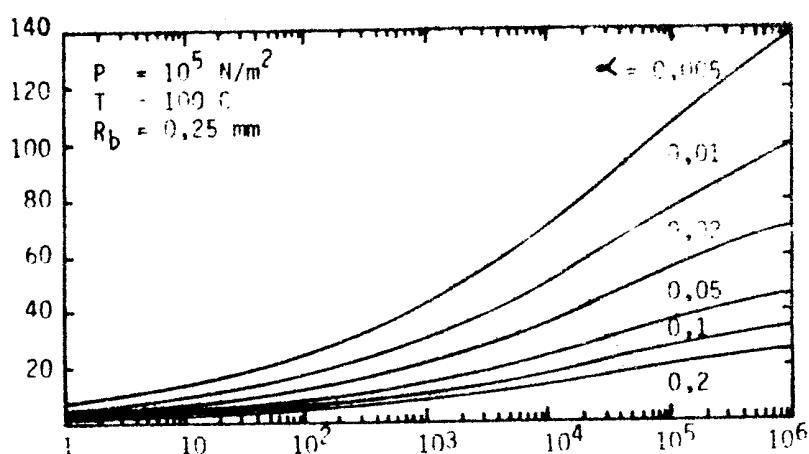


Fig 3

Fig 3a

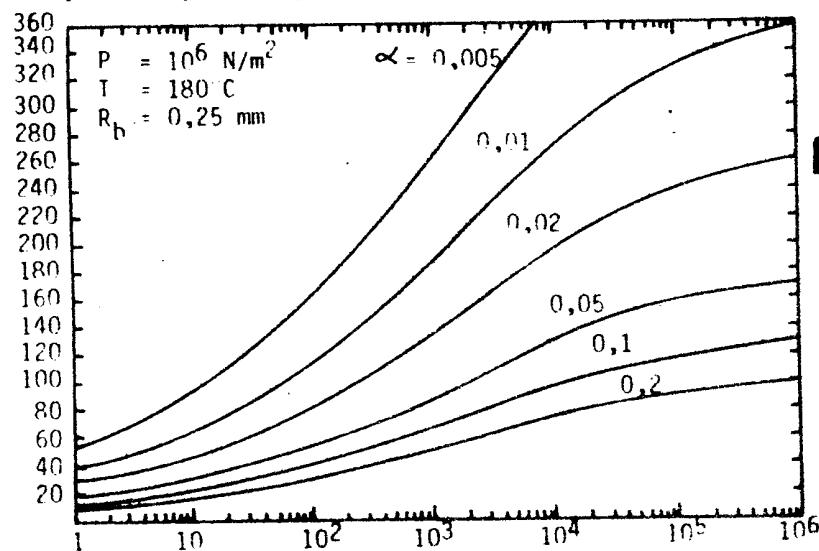


Fig 3b

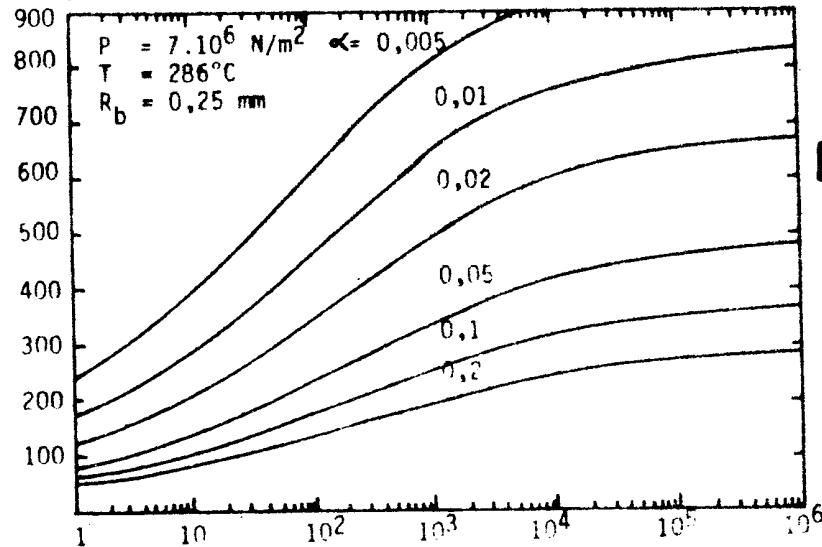


Fig 3c