

C.12. Générateurs de vapeur de Phenix- E. Cambillard France  
 Mesure de la concentration A. Lacroix  
 d'hydrogene du sodium pour J. Langlois  
 la surveillance de l'étanchéité J. Viala  
 des tubes d'eau-vapeur

RESUME :

Les circuits secondaires du réacteur Phénix sont équipés d'installations de mesure de la concentration d'hydrogène dans le sodium, permettant de détecter les fuites d'eau éventuelles dans les générateurs de vapeur. Les circuits de prélèvement d'échantillons de sodium peuvent d'autre part permettre de localiser le module en défaut.

Une chaîne de mesure est constituée : d'un capteur avec des tubes de nickel de 0,3 mm d'épaisseur, d'une pompe ionique d'un débit de 200 l/s, d'un spectromètre de masse quadripolaire et d'une fuite calibrée. La correction de température est effectuée automatiquement.

Les essais ont comporté principalement, en dehors des essais classiques : le dégazage des circuits de vide, le contrôle des spectromètres de masse à l'aide des fuites calibrées, le réglage des débits de sodium de prélèvement, la vérification du fonctionnement des sélecteurs de sodium, des injections d'hydrogène pour l'étalonnage des chaînes de mesure et la détermination des temps de réponse, en particulier aux basses températures du sodium.

Depuis que les installations sont opérationnelles (24 Octobre 1973), les mesures effectuées ont permis de déterminer les taux de diffusion d'hydrogène à travers les tubes d'échange des générateurs de vapeur.

SUMMARY :

The Phenix secondary circuits are provided with measurement systems of hydrogen concentration in sodium, that allow for the detection of possible water leaks in steam generators and the location of a faulty module.

A measurement device consists of : a detector with nickel membranes of 0,3 mm wall thickness, an ion pump with a 200 l/s flow rate, a quadrupole mass spectrometer and a calibrated hydrogen leak. The temperature correction is made automatically.

The main tests carried out on the leak detection systems are reported.

Since the first system operation (October 24, 1973), the measurements allowed us to obtain the hydrogen diffusion rates through the steam generator tube walls.

T A B L E D E S M A T I E R E S

I -	INTRODUCTION
II -	DESCRIPTION DES INSTALLATIONS DE MESURE D'HYDROGENE DANS LE SODIUM
	II-1- Circuit de sodium
	II-2- Dispositif de mesure d'hydrogène
III -	MISE EN SERVICE DES INSTALLATIONS DE MESURE D'HYDROGENE DANS LE SODIUM
	III-1- Dégazage des circuits de vide
	III-2- Etalonnage des spectromètres avec les fuites calibrées
	III-3- Réglage des débits de prélèvement de sodium
	III-4- Injections d'hydrogène pour l'étalonnage des chaînes de mesure
IV -	PRINCIPE D'EXPLOITATION DES MESURES DE CONCENTRATION D'HYDROGENE
	IV-1- Données théoriques
	IV-2- Utilisation du calculateur
V -	DIFFUSION DE L'HYDROGENE A TRAVERS LES TUBES D'EAU DES GENERATEURS DE VAPEUR
VI -	CONCLUSION
-	LISTE DES FIGURES



## I - INTRODUCTION

Dans les générateurs de vapeur du réacteur Phénix, l'eau et le sodium ne sont séparés que par une simple paroi. Il est donc important, en cas de fuite d'eau dans le sodium, de pouvoir isoler le générateur de vapeur en défaut aussi rapidement que possible afin de limiter les dégâts engendrés par la fuite et en conséquence le temps d'arrêt pour intervention.

Les générateurs de vapeur du réacteur Phénix ne possèdent ni niveau libre de sodium, ni par conséquent d'atmosphère d'argon. La détection d'éventuelles fuites d'eau a donc été prévue en mesurant la concentration dans le sodium de l'hydrogène dégagé par la réaction du sodium et de l'eau.

## II - DESCRIPTION DES INSTALLATIONS DE MESURE D'HYDROGENE DANS LE SODIUM

Chaque générateur de vapeur possède une installation de mesure d'hydrogène représentée schématiquement sur la figure 1.

### II-1- Circuit de sodium :

A la sortie de chaque module existe un piquage de prélèvement de sodium équipé d'une vanne d'isolement. Les tuyauteries de prélèvement des modules évaporateurs, surchauffeurs et resurchauffeurs forment respectivement trois groupes distincts où la température du sodium prélevé est la même. Chaque groupe de 12 tuyauteries aboutit à un sélecteur qui a pour fonction d'envoyer dans le capteur, soit une fraction du mélange des douze prélèvements de sodium (fonction détection), soit un seul prélèvement de sodium (fonction localisation). Une tuyauterie placée en dérivation sur celle du capteur permet d'obtenir un débit total de prélèvement sensiblement constant quelle que soit la position du sélecteur.

Un sélecteur comporte un ajustage tournant dont l'arbre est entraîné par un vérin pneumatique; l'étanchéité sur l'arbre est obtenue par un joint de sodium solidifié. La position habituelle d'un sélecteur correspond à la fonction détection, afin de mettre en évidence une fuite

éventuelle; un sélecteur est mis en rotation pour mesurer la concentration d'hydrogène dans le sodium des différents prélèvements en vue de localiser le module responsable de la fuite.

Le sodium qui arrive sur les capteurs de l'étage de mesure des modules évaporateurs est maintenu à une température supérieure à 300 °C à l'aide d'un réchauffeur électrique.

Les différents prélèvements de sodium sont collectés, avant d'être renvoyés au circuit secondaire à l'aide d'une pompe électromagnétique. En cas d'indisponibilité de cette pompe, par commande de deux vannes motorisées, le débit de sodium peut être dirigé vers le réservoir de stockage. D'autre part le circuit de sodium du système de mesure d'hydrogène peut être vidangé dans le réservoir de stockage indépendamment du circuit principal, en actionnant les vannes manuelles d'isolement et en utilisant l'arrivée d'argon prévue à cet effet.

Des calculs ont montré la nécessité de placer des diaphragmes en différents points pour obtenir des débits équilibrés et correspondant aux valeurs désirées; par ailleurs trois vannes de réglage manuelles permettent d'ajuster les débits entre les étages de mesure.

### II-2- Dispositif de mesure d'hydrogène :

En tête se situe le capteur : un capteur unitaire est constitué d'un faisceau de quatre tubes de nickel de 7,2 mm de diamètre extérieur et de 0,3 mm d'épaisseur, placé dans une enveloppe en acier inoxydable; l'ensemble a la forme d'un coude à 90 degrés, ce qui permet d'éviter les contraintes dues aux dilatations différentielles entre les tubes et l'enveloppe. La surface diffusante est d'environ 226 cm<sup>2</sup>.

L'étage de mesure des modules évaporateurs comporte quatre capteurs unitaires, alors que les autres étages de mesure n'en comportent qu'un seul; cette augmentation de la surface diffusante a pour but de compenser la diminution de perméabilité du nickel due à un fonctionnement à plus basse température.

On a choisi de faire circuler le sodium à l'intérieur des tubes des capteurs, car toute la surface diffusante est alors effectivement

intéressée et la vitesse du métal liquide bien connue. L'épaisseur de 0,3 mm a été retenue, après avoir déterminé expérimentalement le temps de réponse de capteurs ayant des tubes de nickel dont l'épaisseur était comprise entre 0,2 et 0,8 mm. Avec une épaisseur de 0,3 mm, les changements de concentration d'hydrogène dans le sodium à 350 °C sont vus avec un retard d'environ 45 secondes.

L'hydrogène qui diffuse à travers les tubes de nickel arrive dans un circuit qui est maintenu sous vide à l'aide d'une pompe ionique d'un débit de 200 l/s; ce débit a été choisi pour que la mesure de la pression partielle d'hydrogène ait des régimes transitoires courts lorsque le flux d'hydrogène varie rapidement.

La mesure de la pression partielle d'hydrogène est faite à l'aide d'un spectromètre de masse quadripolaire. Cet appareil comporte deux filaments, l'un en service, l'autre en secours.

Une fuite calibrée d'hydrogène est branchée sur le circuit de vide; elle utilise une petite membrane de nickel, de 0,2 mm d'épaisseur et de  $1 \text{ cm}^2$  de surface, dont la température de fonctionnement est de 400 °C; le flux connu d'hydrogène qui diffuse permet de vérifier périodiquement le fonctionnement du spectromètre et de s'assurer que la perméabilité des tubes de nickel ne s'est pas modifiée.

Une vanne à commande pneumatique permet d'isoler la pompe ionique et le spectromètre en cas de fuite de sodium sur un tube de nickel. Le signal de fermeture est donné par une électrode de détection de fuite et par la mesure de la pression partielle lorsque sa valeur dépasse un seuil donné.

### III - MISE EN SERVICE DES INSTALLATIONS DE MESURE D'HYDROGENE DANS LE SODIUM

Les essais correspondant à la mise en service se sont déroulés du mois d'Octobre 1972 au mois d'Octobre 1973.

#### III-1- Dégazage des circuits de vide :

Le dégazage des éléments des circuits de vide par chauffage entre 350 et 500 °C pendant environ 48 heures, a permis de

réduire à une valeur très faible le niveau de la concentration résiduelle d'hydrogène de chaque dispositif. (Le dégazage des pompes ioniques, des spectromètres et des vannes d'isolement a été effectué en usine; le restant des installations a été dégazé sur place). La détermination du spectre des gaz résiduel des différents dispositifs a montré qu'il ne restait pratiquement plus que de l'hydrogène. La pression partielle d'hydrogène avait donc sensiblement la même valeur que la pression totale qui était comprise entre  $4,5 \cdot 10^{-10}$  et  $6 \cdot 10^{-9}$  bar. Le courant des pompes ioniques, proportionnel à la pression totale, n'est toutefois pas utilisé comme signal de mesure, car, pour les pompes employées, il présente parfois des instabilités et la présence de courant de fuite peut entacher d'erreur les mesures aux basses valeurs de pression.

#### III-2- Etalonnage des spectromètres avec les fuites calibrées :

Pour un débit connu des fuites calibrées, le signal des spectromètres a été relevé en fonction du courant d'émission de ces appareils, en utilisant successivement les deux filaments. Les figures 2 et 3 représentent des courbes typiques obtenues. L'écart entre les courbes de la figure 2 est dû à la conception de la tête d'analyse. Ces courbes permettent d'obtenir des signaux de sortie des spectromètres identiques, quel que soit le filament utilisé, en modifiant le courant d'émission; elles permettent également de vérifier que les signaux des spectromètres restent constants dans le temps. Ainsi, environ un an après la mise en service, on a pu constater sur un dispositif une diminution de la pression partielle, attribuée à l'augmentation de vitesse de pompage de la pompe ionique, phénomène qui peut se produire lorsque le gaz pompé est de l'hydrogène.

#### III-3- Réglage des débits de prélèvement de sodium :

Pour effectuer les réglages de chaque installation, les vannes V1 et V2 ont été plus ou moins fermées, la vanne V3 restant grande ouverte; la pompe électromagnétique était en service et les sélecteurs étaient dans la position correspondant à la fonction de détection; d'autre part le débit de sodium du circuit secondaire était à sa valeur nominale.

Dans ces conditions, pour les installations des trois générateurs de vapeur, les débits indiqués par les débitmètres D1, D2 et

D3 étaient compris entre 0,83 et 0,98 m<sup>3</sup>/h, les débits globaux (débitmètres D4) étant de l'ordre de 30 m<sup>3</sup>/h. Ces débits correspondaient aux valeurs attendues.

Par ailleurs, les débits de prélèvement ont été contrôlés en faisant tourner les sélecteurs dont la pression d'air comprimé de commande des vérins a été ajustée en fonction du couple résistant dû principalement au joint de sodium solidifié. L'écart maximum relevé entre les valeurs des débits de prélèvement n'excède pas 3 %. Quand le sélecteur arrive sur la position correspondant à la fonction détection, le débit dans le capteur diminue en moyenne de 4 %.

### III-4- Injections d'hydrogène pour l'étalonnage des chaînes de mesure :

#### III-4-1- But des étalonnages :

La perméabilité des membranes de nickel varie beaucoup avec la température du sodium arrivant sur les capteurs; comme pour Phénix cette température est laissée variable, il est nécessaire d'utiliser un réseau de courbes pour connaître la concentration d'hydrogène dans le sodium à partir du signal d'un spectromètre.

L'équation de ces courbes peut être mise sous la forme :

$$s - s_0 = K (CH_2)^n e^{-\frac{b}{T}} \quad (1)$$

s : signal du spectromètre V

s<sub>0</sub> : signal résiduel lorsque la vanne d'isolement est fermée V

CH<sub>2</sub> : concentration d'hydrogène du sodium p.p.m.

T : température absolue °K

K, n, b : constantes.

Les injections de quantités connues d'hydrogène gazeux dans le sodium des circuits secondaires ont eu pour but de déterminer les constantes K, n et b. Connaissant la température et le signal du spectromètre, il est alors possible de déterminer la concentration CH<sub>2</sub>. Le calculateur du traitement des informations reçoit ces deux données pour chaque chaîne de mesure et calcule la concentration à partir de l'équation (1).

#### III-4-2- Résultats des étalonnages :

Des injections ont été faites lors de fonctionnements isothermes des circuits secondaires à 350, 400 et 450 °C; l'intérieur des tubes des générateurs de vapeur était en azote sous une pression de 7 bar; les concentrations maximales d'hydrogène ont été comprises entre 0,42 et 0,79 p.p.m. D'autres essais ont comporté des mesures à concentration d'hydrogène constante (0,16 à 0,18 ppm suivant les circuits secondaires) et température de sodium décroissant de 410 à 250 °C.

Les injections étaient précédées d'une campagne de purification du sodium avec les pièges fonctionnant à des températures de point froid voisines de 110 °C. Les pièges étaient arrêtés plusieurs heures avant le début des essais pour vérifier la stabilité de la concentration résiduelle d'hydrogène dans le sodium.

La valeur de n a été trouvée comprise entre 1,13 et 1,49 soit une valeur moyenne de 1,26. La constante b est égale au rapport de l'énergie d'activation du processus de diffusion à la constante des gaz parfaits; on a trouvé 11 400 cal/mole comme valeur moyenne pour l'énergie d'activation.

La figure 4 représente une courbe d'étalonnage typique traduisant la relation entre le signal s-s<sub>0</sub> et la concentration d'hydrogène. La concentration résiduelle d'hydrogène correspondant au fonctionnement du piège froid avant les injections est déterminée par extrapolation des courbes d'étalonnage jusqu'à la valeur nulle de s-s<sub>0</sub>. En moyenne pour des températures de point froid des pièges voisines de 110 °C, la concentration résiduelle d'hydrogène est approximativement de 0,05 ppm.

Par ailleurs la variation minimale de concentration d'hydrogène détectable est de 0,005 ppm.

Au cours des mesures d'étalonnage, on a tracé une courbe traduisant la relation entre la température de bouchage et la concentration d'hydrogène du sodium (figure 5). Cette courbe donne une indication de la variation de concentration d'hydrogène du sodium à la sortie des pièges en fonction de la température du point froid. On a ainsi approximativement une

augmentation de concentration de 0,05 ppm entre 110 et 120 °C.

### III-4-3- Réponse des installations de mesure d'hydrogène :

La figure 6 représente une réponse typique d'une installation de mesure lors d'injections d'hydrogène gazeux effectuées en amont des générateurs de vapeur à des températures de sodium supérieures à 300 °C. La durée de chaque injection était d'environ 15 minutes. On constate que la réponse de l'installation est quasi-immédiate en dehors du temps de transit du sodium dans le générateur de vapeur et les tuyauteries de prélèvement et du temps de réponse du dispositif de mesure. D'autre part pendant plusieurs heures après la fin des injections, le signal du spectromètre est resté pratiquement stable, la température du sodium étant elle-même constante à  $\pm 0,5$  °C près.

L'expérience a montré que les résultats n'étaient pas les mêmes quand les injections d'hydrogène étaient effectuées à de basses températures de sodium. Il existe deux paramètres supplémentaires qui peuvent intervenir, la vitesse de circulation du sodium secondaire, dépendant de la vitesse de rotation de la pompe principale, et le fait que le réservoir de stockage est en liaison avec le réservoir d'expansion (liaison entre les atmosphères d'argon et circulation de sodium entre les deux réservoirs). Les injections d'hydrogène gazeux ont été effectuées sur la boucle n° 3 soit en amont du générateur de vapeur soit en aval des modules surchauffeurs. Le fonctionnement des pièges froids a été identique à celui décrit au paragraphe III). Onze injections ont été effectuées pendant des fonctionnements isothermes à des températures de sodium comprises entre 150 et 250 °C; la vitesse de la pompe est restée comprise entre 100 et 800 t/mn et les réservoirs de stockage et d'expansion étaient soit en liaison soit isolés.

Les conclusions que l'on peut tirer des résultats obtenus montrent que la température du sodium est le facteur qui apparaît être prépondérant. Après l'injection d'une quantité connue d'hydrogène, la mesure de la concentration d'hydrogène dans le sodium est inférieure à la valeur attendue. Entre 150 et 160 °C, l'efficacité de l'installation de mesure (rapport de l'augmentation de la concentration mesurée à l'augmentation de la concentration calculée) serait de l'ordre de 40 %; cette

efficacité diminuerait jusqu'à environ 15 % entre 160 et 190 °C et remonterait à 60 % entre 190 et 250 °C. Par ailleurs la durée pour obtenir une concentration stable est de l'ordre de l'heure quand l'efficacité est faible et de plusieurs heures quand l'efficacité atteint 40 %. Les figures 7 et 8 illustrent ces types de réponse.

Les phénomènes qui interviennent sont complexes et il est difficile d'expliquer actuellement d'une manière claire ces résultats.

## IV - PRINCIPE D'EXPLOITATION DES MESURES DE CONCENTRATION D'HYDROGENE

### IV-1- Données théoriques :

Pour l'exposé du raisonnement, on fait l'hypothèse qu'une fuite se déclare instantanément dans un module évaporateur et que le débit de fuite reste constant dans le temps. Par ailleurs on suppose que la température du sodium à la sortie du générateur de vapeur est supérieure à 300 °C. Sur la figure 9, on a représenté l'évolution de la concentration d'hydrogène dans le sodium à la sortie du module évaporateur en défaut ( $C_{ef}$ ), à la sortie d'un module intact ( $C_{ei}$ ) et à la sortie du générateur de vapeur ( $C_o$ ). Ces évolutions supposent que le piège froid est en service normal (le débit nominal du piège est de 30 m<sup>3</sup>/h).

Une fuite est détectée quand la concentration  $C_o$  atteint un seuil dont on a estimé que la valeur pouvait être supérieure de 0,05 ppm à la concentration résiduelle  $C_{or}$ . Dans ces conditions la plus petite fuite détectable correspond à la valeur asymptotique de  $C_o$  égale à  $C_{or} + 0,05$  ppm; son débit est de 0,0035 g/s.

En estimant qu'il faut un écart de 0,05 ppm entre les concentrations  $C_{ef}$  et  $C_{ei}$  pour mettre en évidence le module en défaut, le débit minimal de fuite pour effectuer cette localisation est de 0,03 g/s au débit nominal du circuit secondaire soit 2657 t/h de sodium.

Le temps mis pour détecter une fuite est celui qui est nécessaire pour que la concentration  $C_o$  augmente de 0,05 ppm; en dehors des temps de transit, ce temps sera théoriquement nul quand la fuite sera

suffisamment importante pour que  $C_o$  augmente instantanément de 0,05 ppm; dans ce cas la fuite, dite immédiatement détectable, est de 0,33 g/s.

#### IV-2 - Utilisation du calculateur :

Pour déterminer les débits de fuite on considère que la courbe  $C_o$  représente la concentration moyenne d'hydrogène du sodium à la sortie du générateur de vapeur; par ailleurs comme l'influence du piège froid ne se fait sentir sensiblement qu'après plusieurs heures, on assimile le début de la courbe à une droite de pente  $q_f/9M$  ( $q_f$  : débit de fuite,  $M$  : masse du sodium dans le circuit secondaire).

Quand la valeur de  $C_o$  déterminée par le calculateur dépasse  $C_{or} + 0,05$  ppm, celui-ci compare la pente expérimentale obtenue à celles de droites correspondant à des fuites d'eau d'un débit donné. L'opérateur est informé de ces comparaisons et les actions qu'il doit effectuer sont les suivantes :

- information "fuite grave", débit de fuite estimé supérieur à 0,18 g/s le générateur de vapeur doit être isolé immédiatement,

- information "fuite moyenne", débit de fuite estimé supérieur à 0,05 g/s : l'opérateur dispose en principe du temps nécessaire pour faire fonctionner les sélecteurs et localiser le module en défaut; ensuite il isole le générateur de vapeur.

Au-dessous de la fuite estimée à 0,05 g/s l'opérateur suit l'évolution des concentrations.

Les actions à effectuer ont été définies en comparant les courbes représentant, en fonction des débits de fuite d'eau, d'une part les durées trouvées expérimentalement pour atteindre des dégâts d'un niveau donné dans les générateurs de vapeur, d'autre part les durées estimées pour détecter les fuites et localiser le module en défaut.

Le calculateur ne commande aucune action automatique, toutes les opérations nécessaires sont effectuées par l'opérateur.

## V - DIFFUSION DE L'HYDROGENE A TRAVERS LES TUBES D'EAU DES GENERATEURS DE VAPEUR

En fonctionnement normal les pièges froids sont en service; la concentration résiduelle d'hydrogène dans le sodium est fonction du débit et de la température de régulation des pièges froids ainsi que de la diffusion d'hydrogène à travers les tubes d'eau des générateurs de vapeur.

La détermination des taux de diffusion a été réalisée en arrêtant les pièges froids et en mesurant l'augmentation des concentrations dans des gammes comprises entre 0,05 et 0,3 ppm.

La figure 10 représente une évolution typique des concentrations d'hydrogène mesurées en fonction du temps. Il existe une parfaite similitude entre les variations des signaux des trois étages de mesure, les écarts étant dus aux incertitudes d'étalonnage. Pendant l'arrêt de la purification, les courbes sont linéaires, elles s'infléchissent immédiatement dès la remise en service du piège froid.

Deux campagnes de mesure ont été effectuées :

- à partir du 4 Juin 1974, après 51 jours de fonctionnement à la puissance nominale,

- à partir du 4 Septembre 1974, après 84 jours de fonctionnement à la puissance nominale.

Le taux moyen de diffusion d'hydrogène trouvé est de 505 mg/h pour les trois générateurs de vapeur avec des valeurs qui s'écartent au plus de 3 % de ce taux moyen.

Les modules évaporateurs sont en acier Chromesco 3<sup>x</sup> (boucles 1 et 3) et en acier 3HK5S (boucle 2).

<sup>x</sup> L'acier de marque chromesco 3 est un acier ferritique à 0,7 % de carbone, 2,25 % de chrome et 1 % de molybdène. L'acier 3HK5S est un acier à 0,1 % de carbone, 2,25 % de chrome, 1 % de molybdène et 1% de niobium.

Les installations de mesure de la concentration d'hydrogène dans le sodium secondaire du réacteur Phénix fonctionnent avec les caractéristiques prévues et permettent d'effectuer la surveillance de l'étanchéité des tubes d'échange des générateurs de vapeur.

Depuis le début de la production de vapeur cette surveillance a été continue; elle n'a pas mis en évidence d'augmentation anormale de la concentration d'hydrogène; en arrêtant les pièges froids on a déterminé un taux moyen de diffusion d'hydrogène à travers les tubes d'eau des générateurs de vapeur d'une valeur de 505 mg/h.

## LISTE DES FIGURES

- 1 - Schéma de l'installation de mesure d'hydrogène
- 2 - Générateur de vapeur 1, étage surchauffeur
- 3 - Générateur de vapeur 3, étage surchauffeur
- 4 - Signal  $s-s_0$  du spectromètre en fonction de la concentration d'hydrogène - Boucle 2 - 350 °C - Etage évaporateur
- 5 - Concentration d'hydrogène du sodium en fonction de la température de bouchage
- 6 - Evolution du signal du spectromètre lors d'injections d'hydrogène - 414 °C  $\pm$  0,5 °C - Boucle 2 - étage resurchauffeur
- 7 - Boucle 3 - injections d'hydrogène en aval du surchauffeur (efficacité 16 %)
- 8 - Boucle 3 - injection d'hydrogène en aval du surchauffeur (efficacité 40 %)
- 9 - Evolution estimée des concentrations  $C_{ei}$ ,  $C_o$  et  $C_{ef}$  pour un débit de fuite d'eau constant
- 10 - Détermination du taux de diffusion d'hydrogène - boucle 2.

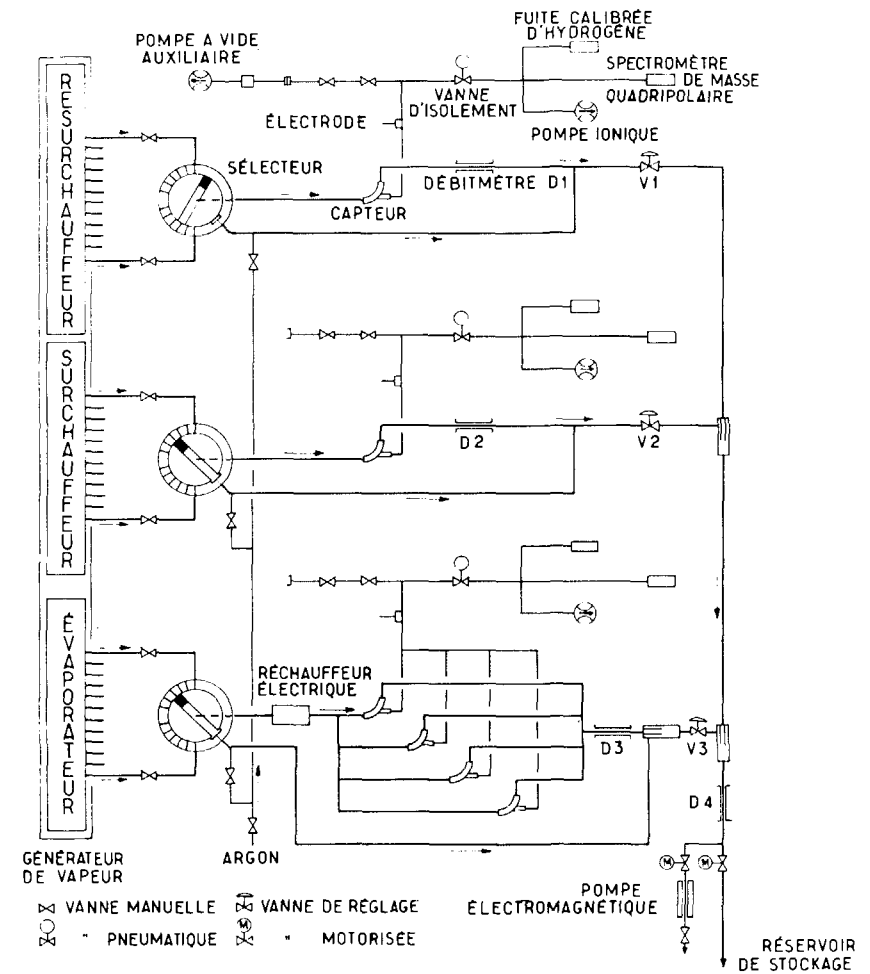


fig.1 SCHEMA DE L'INSTALLATION DE MESURE D'HYDROGENE

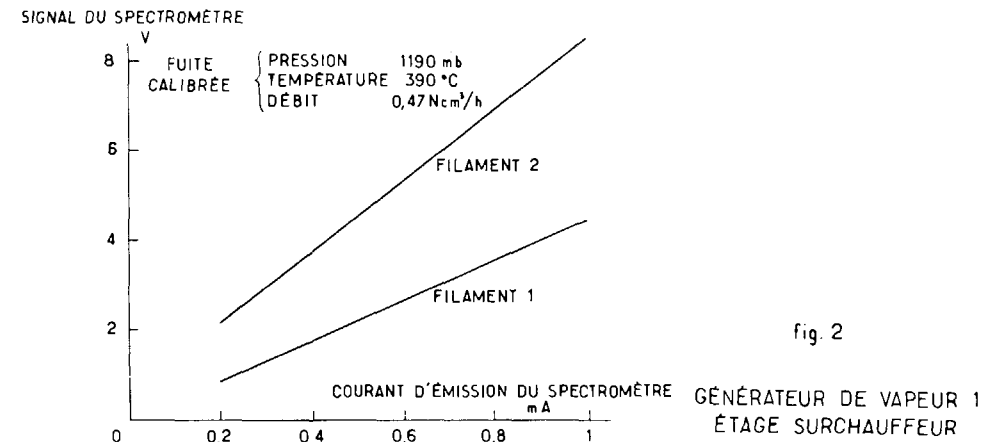


fig. 2

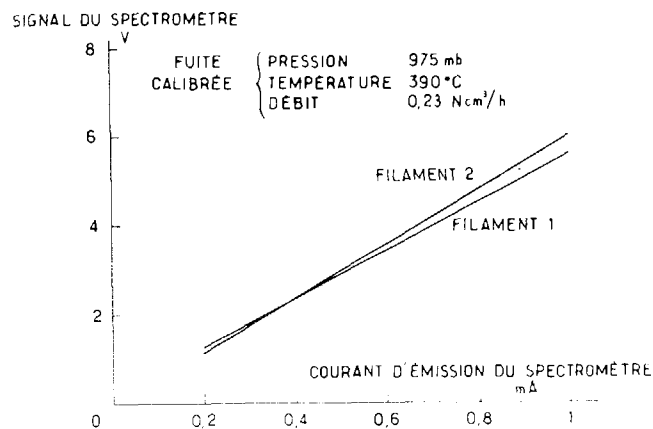


fig. 3 GÉNÉRATEUR DE VAPEUR 3 ÉTAGE SURCHAUFFEUR

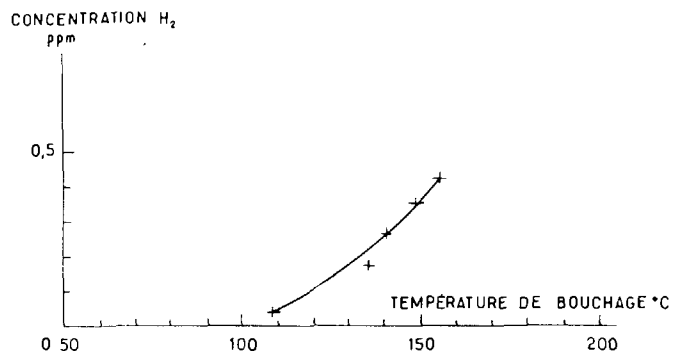


fig. 5 CONCENTRATION D'HYDROGÈNE DU SODIUM EN FONCTION DE LA TEMPÉRATURE DE BOUCHAGE

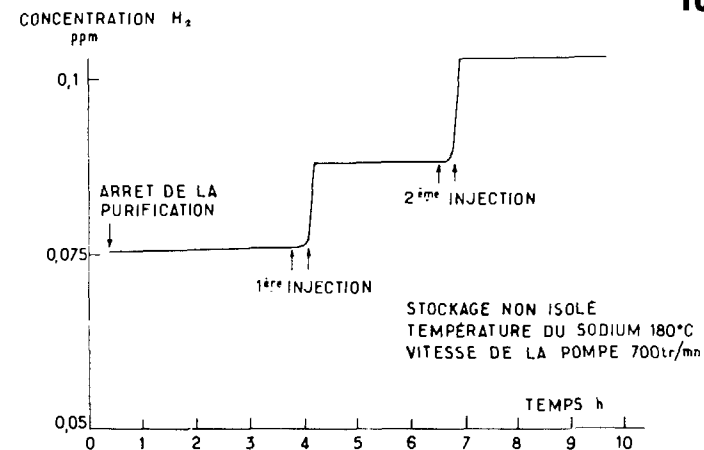


fig. 7 BOUCLE 3 INJECTIONS D'HYDROGÈNE EN AVAL DU SURCHAUFFEUR (EFFICACITÉ 16%)

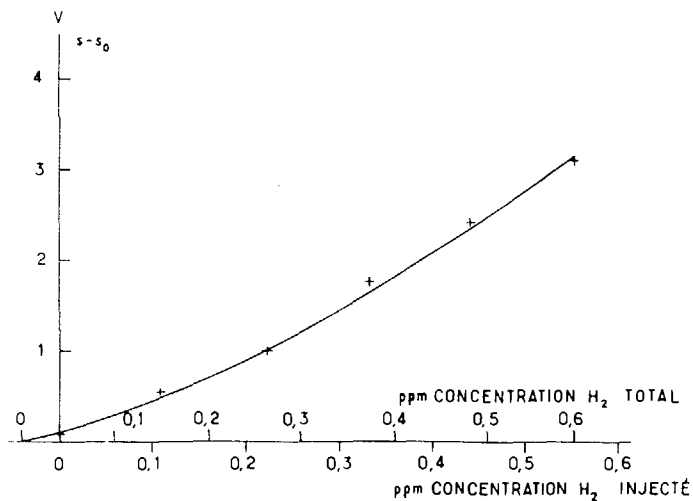


fig. 4 SIGNAL  $s - s_0$  DU SPECTROMÈTRE EN FONCTION DE LA CONCENTRATION D'HYDROGÈNE  
BOUCLE 2. 350°C ÉTAGE ÉVAPORATEUR

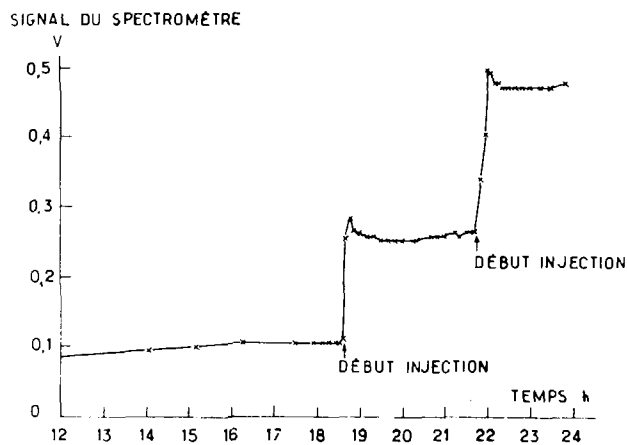


fig. 6 ÉVOLUTION DU SIGNAL DU SPECTROMÈTRE LORS D'INJECTIONS D'HYDROGÈNE - 414°C ± 0,5°C  
BOUCLE 2 ÉTAGE RESURCHAUFFEUR

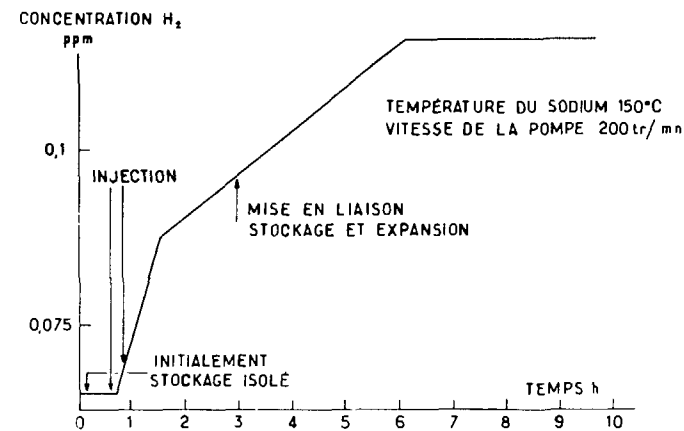


fig. 8 BOUCLE 3 INJECTION D'HYDROGÈNE EN AVAL DU SURCHAUFFEUR (EFFICACITÉ 40%)



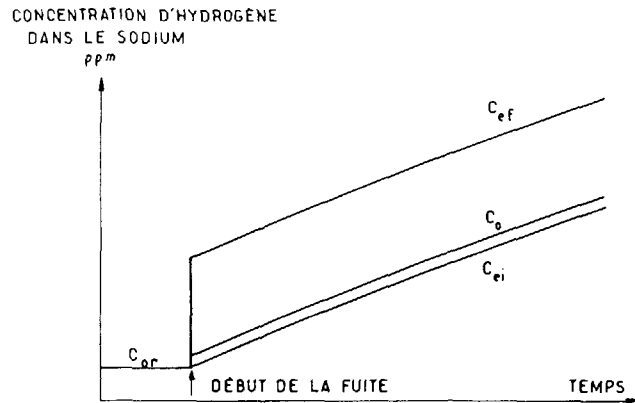


Fig. 9 ÉVOLUTION ESTIMÉE DES CONCENTRATIONS  $C_{ei}$ ,  $C_o$  et  $C_{ef}$  POUR UN DÉBIT DE FUITE D'EAU CONSTANT

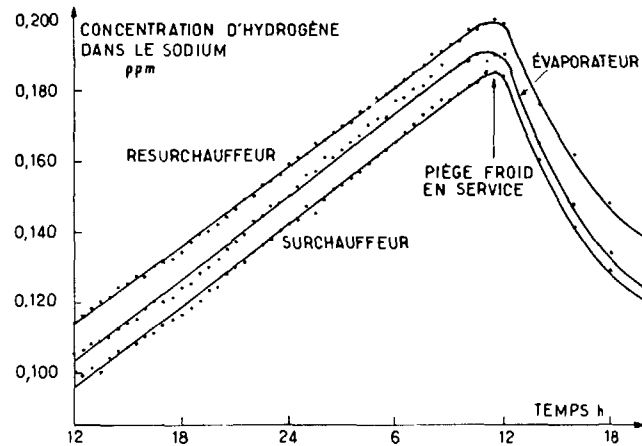


Fig. 10 DÉTERMINATION DU TAUX DE DIFFUSION D'HYDROGÈNE BOUCLE 2

C.13. Leak Detection in Steam Generators M. Hissink  
with Hydrogen Monitors Using  
Diffusion Membranes

Netherlands

SUMMARY

Large water leaks in steam-generators give rise to violent chemical reactions which can only be controlled by a pressure relief system. Smaller leaks do not pose direct safety hazards but wastage of pipes surrounding the leak should be prevented.

Leak detection is best carried out by monitors recording the hydrogen in sodium content. For large leaks the specification of these monitors causes no problems, contrary to those for the timely detection of small

leaks. Essential parameters are sensitivity and speed of response, specificity is less important.

But apart from the instrument specification, a number of factors, related to the construction and operation of the steam-generator, determine the performance of the leak detection system.

A discussion of these factors is given, with a view to the design of the SNR-300. Although the results of many theoretical studies and experimental work are available, there seems to be room for further investigations on the growths of minor leaks. Also lacking is sufficient experience concerning the level and fluctuations of the hydrogen background in the sodium.

A description is given of the hydrogen monitor developed at TNO, which is based on a combination of a nickel membrane and an ion getter pump.

The parameters of this instrument have been evaluated in a test rig.

Operational experience with the monitor is available from the 50 MW Test Facility at Hengelo.

Especially for further studies the need for a calibrated instrument has become apparent. Test are going on with a modified design of a monitor meeting this requirement.

1. INTRODUCTION

It is generally assumed that the incidence of leaks in steam generators for sodium cooled fast reactors has a high probability. Therefore adequate leak detection is needed with a view to safe and economic operation.

Large leaks, due to tube failures, etc give rise to violent chemical reactions. Detection of these leaks is relatively simple and pressure relief systems are available to contain the risks.

With smaller leaks the main object of leak detection is to prevent damage to the tubes surrounding the leak. In this way the actions necessary after an accident will be of a simple nature.

Usually plugging of the leaking tube will be sufficient.

The borderline between large and small leaks depends on a number of factors related to the design and operation of the steam generator.

In general it will be in the vicinity of 1 kg H<sub>2</sub>O per second.

Of the many candidate leak detection instruments the hydrogen in sodium monitor has now found very general acceptance. We have developed such a device and have many years experience with its use in a 50 MW Test Facility.