RÉALISATION D'UN ÉCRAN HYDRAULIQUE SUR UN BASSIN CONTENANT DES ÉLÉMENTS RADIOACTIFS

Communication
présentée au Comité technique
de la Société Hydrotechnique de France
le 22 novembre 1968

PAR J. DOLLFUS *,
R. GUILLOTEAU ** ET
P. JACOVIAK ***

Introduction Rôle de l'écran hydraulique

Le retraitement chimique des combustibles nucléaires irradiés met en jeu un certain nombre d'opérations préalables de stockage, de manutention et de préparation mécanique de ces éléments. Pour des raisons bien compréhensibles de commodité de surveillance et d'intervention, de telles opérations ont fréquemment lieu au fond de bassins remplis d'eau claire, de telle sorte que l'épaisseur d'eau forme un écran biologique suffisant contre les rayonnements émis par les éléments tout en assurant des possibilités d'observation visuelle et d'intervention manuelle à l'aide de perches spécialement adaptées.

Il est toutefois nécessaire de maintenir en permanence les qualités de pureté physique et chimique de cette eau si l'on veut lui conserver ses propriétés et tout particulièrement dans les zones où se font la préparation mécanique et le stockage des éléments débarrassés de leur gaine protectrice.

En effet, il ne faut pas que les opérateurs travaillant sur les platelages reçoivent un taux d'irradiation gamma supérieur aux normes correspondant à un travail continu en zone active.

Cette irradiation provient :

— des émissions gamma des éléments immergés

dont la valeur décroît avec la hauteur d'eau au-dessus des éléments selon une loi exponentielle;
— des émissions gamma dues à la contamination propre de l'eau par des éléments radioactifs dissous ou en suspension.

Pour faciliter l'exploitation, on a intérêt à avoir des bassins aussi peu profonds que possible et pour cela maintenir l'eau des bassins à un niveau d'activité aussi bas que possible.

Cela conduit à prévoir des débits élevés pour le traitement de l'eau des bassins par passage sur des résines échangeuses d'ions.

Pour réduire ces débits ainsi que les investissements et servitudes correspondants, le C.E.A. - SCUTCI et Saint-Gobain Techniques Nouvelles, dans le cadre de l'étude du projet de réalisation du Centre Nucléaire de La Hague ont pensé qu'il pouvait être intéressant de réaliser un dispositif permettant de conserver à la surface des bassins une couche d'eau ne contenant pas de produits radioactifs et formant un écran biologique pour la couche inférieure nettement plus contaminée.

L'eau de cette dernière ne serait traitée que par filtration pour maintenir sa limpidité, ce qui a d'ailleurs l'avantage de conduire à une décontamination partielle de l'eau.

L'eau de la couche supérieure serait également filtrée, puis sa décontamination totale serait obtenue par un passage sur résines échangeuses d'ions.

Pour vérifier la validité de cette conception, le C.E.A. et S.G.N. ont confié les essais sur maquette au Laboratoire National d'Hydraulique de Chatou. L'ensemble du procédé a fait l'objet de brevets français et étrangers.

Comme on le verra, il s'agit donc d'une appli-

* Ingénieur, Saint-Gobain Techniques Nouvelles.

** Ingénieur, Commissariat à l'Energie Atomique, Service de Construction des Usines de Traitement des Combustibles Irradiés.

*** Ingénieur, Saint-Gobain Techniques Nouvelles.

cation négative ou d'une anti-application de la diffusion puisque le résultat cherché est en définitive d'éviter le mélange de deux masses d'eau en contact.

Principes directifs du procédé

Nous avons été rapidement convaincus que l'approche théorique de ce problème s'avèrerait insuffisante et que le manque de confiance industrielle dans les calculs possibles ne nous permettrait pas de réaliser une installation fiable à grande échelle.

Aussi avons-nous fait appel à l'étude systématique sur modèle réduit pour en préciser les paramètres et les perfectionnements que l'on pouvait en attendre.

Il faut remarquer tout d'abord que l'entretien des qualités de l'eau, tant pour la couche inférieure que pour la couche supérieure (quoique à des degrés différents) met en jeu un renouvellement et par conséquent, une circulation séparative des deux zones.

A ce sujet, le nombre de Richardson qui rend compte des phénomènes de stabilité d'interface,

peut nous fournir des indications, tout au moins qualitatives :

$$Ri = \frac{\rho \cdot (\partial U / \partial z)^2}{g \cdot \partial \rho / \partial z}$$

On admet que la turbulence verticale génératrice de diffusion turbulente devient négligeable lorsque ce nombre est $Ri \geq 1$, ce qui implique :

- des écarts de masse volumique $\partial \rho / \rho \cdot \partial z$ aussi élevés que possible;
- des écarts de vitesses horizontale $\partial U / \partial z$ aussi faibles que possible.

On notera en passant que les premiers essais effectués avec des eaux exactement identiques en haut et en bas, ont dû être abandonnés, le mélange étant toujours beaucoup trop grand, quelles que soient les précautions prises dans le mode de circulation.

Il s'avère donc nécessaire d'agir sur le terme $\partial \rho / \rho \cdot \partial z$ en introduisant une différence de masse volumique entre les eaux des deux zones, ce qui ne peut être obtenu que de deux façons : mise en solution d'un sel dans la zone inférieure ou réalisation d'un écart de température.

Le premier cas se trouve pratiquement exclu à cause de la pureté de l'eau utilisée (eau déminéralisée et désiliciée à haute résistivité) dont les propriétés sont entretenues en continu pour des raisons de décontamination, de transparence optique et de réduction du taux de corrosion.

La seule action possible reste donc l'écart de température et c'est plus spécialement cette voie que nous avons explorée.

Mode de circulation

(fig. 1)

1/ Disposition schématique d'une cuve.

Diagrammatic tank layout.

- A : rampe d'admission haute à eau traitée / *upper treated water feed*;
- B : rampe d'admission basse à eau filtrée / *lower filtered water feed*;
- C : déversoirs d'évacuation d'eau traitée / *treated water overflow*;
- D : sortie d'eau polluée / *polluted water outlet*;
- E : zone de diffusion / *diffusion area*;
- F : emplacement des sources de pollution / *pollution sources*.

La circulation adoptée finalement pour les deux qualités d'eau a été la suivante, selon une coupe pratiquée parallèlement au petit côté de la cuve :

- l'eau de la couche inférieure est amenée par deux rampes de répartition horizontales situées au même niveau, le long des parois latérales. Elle est reprise par un ou plusieurs orifices placés au milieu du fond;
- l'eau de la couche supérieure est admise également par un second jeu de rampes de répartition horizontales placées au-dessus des premières. Elle est évacuée par deux déversoirs longitudinaux parallèles aux rampes et munis d'encoches de répartition;
- des dispositifs extérieurs de déversoirs compensateurs permettent de réaliser une plus ou moins grande différence entre les débits de reprise par rapport aux débits entrants, notamment, lorsque cela s'avère nécessaire, un excédent de reprise par le fond.

Ce dispositif s'est trouvé dicté par des considérations théoriques, intuitives ou justificatives de diverse nature mais aussi par des impératifs pratiques :

- pas d'entrave aux manipulations manuelles dans toute la partie centrale, (impératif d'exploitation);
- lignes de courant courtes et vitesses faibles, de manière à réduire la diffusion à l'interface;
- courants de même direction et écarts de vitesse le plus réduits possible, pour les deux introductions superposées;
- balayage de la surface empêchant le stationnement prolongé de poussières gênant la visibilité ou contaminées;
- balayage descendant de la zone où se trouvent les « points chauds », éléments radioactifs et machines mécaniques.

D'autres particularités sont à signaler :

- le fond des cuves est réalisé avec une légère pente pour aider au nettoyage après les campagnes de traitement;
- les rampes d'amenée comportent un premier dispositif d'orifices à perte de charge suffisamment élevée pour obtenir une bonne répartition linéaire et une seconde barrière de dispersion des jets formés à chaque orifice de manière à réduire la turbulence avoisinante.

Conditions de similitude

Pour comparer les comportements des deux systèmes de même type et géométriquement semblables, on trouve les paramètres sans dimension suivants :

- équilibre des forces de viscosité et d'inertie :

$$\text{nombre de Reynolds : } Re = \frac{\rho \cdot U \cdot L}{\mu}$$

- équilibre des forces de gravité et d'inertie :

$$\text{nombre de Froude : } Fr = \frac{\rho \cdot U^2}{\Delta \rho \cdot g \cdot L}$$

- rapport entre la diffusivité thermique et la diffusivité de quantité de mouvement :

$$\text{nombre de Prandtl : } Pr = \frac{\mu \cdot C}{\lambda}$$

- rapport entre la diffusivité de quantité de mouvement et la diffusivité moléculaire :

$$\text{nombre de Schmidt : } Sc = \frac{\mu}{\rho \cdot D}$$

Puisqu'on opère avec de l'eau sur le modèle et en vraie grandeur on a :

$$\mu = \text{Cte}$$

$$\rho = \text{Cte}$$

$$g = \text{Cte}$$

$$\lambda = \text{Cte}$$

$$C = \text{Cte}$$

$$D = \text{Cte}$$

Il reste donc à obtenir :

$$(U) \cdot (L) = \text{Cte}$$

$$(U)^2 = (L) \cdot \frac{\Delta \rho}{\rho}$$

Si on choisit une maquette au 1/5°, on devra y réaliser des vitesses 5 fois plus élevées et des écarts de masse volumique 125 fois plus grands; par ailleurs, l'échelle des temps sera 25 fois plus petite.

En admettant pour l'eau une dilatation approximativement linéaire, les écarts de température trouvés sur la maquette sont à diviser par 125 à l'échelle grandeur, pour obtenir les mêmes résultats de diffusion.

Réalisation des essais (C.R.E.C. - Chatou)

Dans la pratique de l'exploitation du modèle réduit, dès que les températures mises en jeu dépassaient une vingtaine de degrés, il a fallu réaliser artificiellement l'écart de masse volumique par introduction d'une solution saline dans la couche inférieure. Les débits de renouvellement des deux zones étant fixés une fois pour toutes, les paramètres explorés au cours des essais systématiques de la maquette, sans agitation, ont été les suivants :

- position respective des deux jeux de rampes d'admission;
- valeur du débit différentiel soutiré à la couche supérieure;
- différence de masse volumique, ou écart de température.

Les tests de diffusion thermique ont porté sur des mesures de température par sonde à résistance le long de verticales de référence, et par différence avec la température en surface.

Des mesures qualitatives ont également été effectuées par introduction de bouffées de colorant dans la zone inférieure.

Enfin, particulièrement pour des essais avec agitation, des tests de diffusion de matière ont été faits par introduction d'un traceur chimique dans la zone inférieure et prélèvements analytiques dans des points centraux des deux zones.

Il ne saurait être question de donner ici tous les résultats détaillés, nous nous bornerons à indiquer les plus caractéristiques, en remarquant qu'une grande partie de ces résultats ne fait que confirmer, au point de vue qualitatif, des prévisions conformes à la logique; mais le plus grand mérite des essais est d'avoir apporté des résultats pratiques chiffrés.

Tests de diffusion thermique

On détermine d'abord la position optimale des rampes en vue de placer l'interface aux 2/3 de la hauteur totale, pour un débit de soutirage nul.

La simple mesure des températures, en des points référencés, permet de se faire une première idée globale de la diffusion turbulente.

La stabilité de l'interface est obtenue par un écart $\Delta \theta$ minimal de 4 °C environ à l'échelle modèle (fig. 2).

Pour $\Delta \theta = 2$ °C, on observe une lente diffusion du colorant injecté dans la couche supérieure.

Pour $\Delta\theta = 1^\circ\text{C}$, la diffusion est pratiquement complète.

Il convient de mentionner au passage les influences parasites éventuelles des transferts de chaleur par conduction pure et par diffusion moléculaire.

En ce qui concerne la première, elle est très faible car un rapide calcul montre que la chaleur transférée serait de l'ordre de la dizaine de kcal/h par m^3 et par degré d'écart.

Par contre, l'influence de la diffusion moléculaire est plus difficile à mettre en évidence et joue peut-être un rôle dans les zones de vitesse très faible.

Lorsqu'on fait intervenir un débit différentiel de soutirage de la couche supérieure vers la couche inférieure, on constate que l'interface garde à peu près le même profil mais se place d'autant plus bas que ce débit est plus élevé (fig. 3), ce qui n'est pas inattendu puisque on superpose un transfert global de liquide de haut en bas aux autres phénomènes.

Tests de diffusion de matière en eau calme

Les premiers essais avec visualisation à l'aide d'un colorant ayant permis de dégrossir les paramètres principaux comme la position des rampes et la stabilité de l'interface dans le temps, il devint nécessaire de connaître d'une manière plus précise les quantités de matière susceptibles de diffuser vers la couche supérieure.

On se sert pour cela d'un traceur chimique constitué par une solution de bichromate de sodium à 10 mg/l injectée par les rampes inférieures.

Ce traceur a l'avantage d'être très soluble dans l'eau et d'être assez facilement dosable jusqu'à 0,1 mg/l.

Les résultats obtenus pour différentes valeurs de l'écart de température et du débit de soutirage sont représentés en figure 4. L'accroissement de l'écart de température et du débit de soutirage diminue sensiblement la diffusion vers la zone supérieure.

Tests de diffusion de matière en eau agitée

Dans la pratique de l'exploitation, on doit tenir compte de diverses causes de perturbation telles que :

- mouvements de machines télécommandées;
- convections dues à des sources de chaleur, principalement l'éclairage;
- convections dues à des solides en suspension;
- convections dues à des dégagements de bulles gazeuses;
- mouvements de perches et organes d'intervention.

Devant la difficulté présentée par la variété des facteurs, on a supposé une agitation mécanique standard provoquée à l'échelle grandeur par une perche se déplaçant de 1 m toutes les minutes, à une vitesse transversale de 0,25 m/s au niveau de l'in-

terface, qui a été représentée sur le modèle par un dispositif mécanique, compte tenu de l'échelle des temps 25 fois plus rapide.

Les résultats obtenus en continu et représentés figure 5 se résument ainsi :

- concentration pratiquement peu variable dans la zone inférieure quels que soient l'écart de température et le débit de soutirage;
- concentration assez élevée dans la zone supérieure avec les écarts de température relativement faibles adoptés.

Ces conditions étant jugées inacceptables pour la pratique industrielle, on a artificiellement porté l'écart de température échelle grandeur à 1, puis à 2°C (ce qui aurait fait 125°C et 250°C sur le modèle) grâce à la mise en solution de sel dans l'eau d'alimentation de la zone inférieure.

On a constaté que toute agitation au niveau de l'interface a une action importante sur la diffusion de matière de la zone inférieure vers la zone supérieure (fig. 6). Par contre, une agitation qui reste confinée dans une zone ou l'autre a beaucoup moins d'influence sur la diffusion.

Réalisation industrielle

L'installation réelle comprend 12 bassins (dont neuf en service simultané) alimentés en parallèle avec possibilité d'isolement.

Le débit total d'eau pour les zones supérieures hautement épurées par filtration et déminéralisation est de $60 \text{ m}^3/\text{h}$.

Le débit d'eau des zones inférieures est de $90 \text{ m}^3/\text{h}$, mais cette eau est simplement filtrée.

L'équilibrage des débits de sortie est effectué par des systèmes de déversoirs proportionnels placés dans des récipients extérieurs aux bassins.

Le débit de soutirage se trouve compensé par un déversement entre les bassins-tampons de reprise des deux qualités d'eau (fig. 7).

Le schéma présenté est extrêmement simplifié et réduit à une seule cuve. L'installation réelle constitue un réseau assez complexe de tuyauteries, vannes, déversoirs, filtres, appareils de traitement, sécurités et contrôles, etc., le tout environné de protections biologiques et de dispositifs de télémanipulations.

L'écart de température est obtenu par un jeu d'échangeurs et une pompe à chaleur dont la puissance totale est de 30 kW environ, donc peu coûteux en énergie. En principe, on maintient facilement un écart $\Delta\theta$ de plusieurs degrés C, suffisant pour satisfaire aux conditions fixées, même avec une agitation modérée.

Dans la crainte de difficultés de décontamination, il a fallu adopter des simplifications technologiques et notamment les rampes de distribution ont dû être réalisées d'une manière plus simple que sur le modèle. Elles sont constituées d'un tube cylindrique horizontal percé de trous régulièrement espacés et tournés vers la paroi, cette orientation permettant d'obtenir un certain effet de dispersion des jets localisés.

2/

3/

2/ Stabilité de l'interface en fonction de $\Delta\theta$. Tests de diffusion thermique.

Interface stability variation with $\Delta\theta$. Thermal diffusion spot-checks.

Ecart à l'entrée / Differences at inlet = $\Delta\theta$.

$\Delta\theta = 1$: diffusion totale / total diffusion;

$\Delta\theta = 2$: diffusion commençante / incipient diffusion;

$\Delta\theta = 5$ } interface stable / stable interface.

$\Delta\theta = 10$ }

3/ Influence du débit de soutirage Q_s .

Effect of extraction rate Q_s .

4/ Tests de diffusion de matière dans la couche supérieure. Eau calme. N.B. - Dans la couche inférieure $C = 9$.

Solid matter diffusion in upper layer. Calm water. N.B. - $C = 9$ in lower layer.

5/ Tests de diffusion de matière dans la couche supérieure. Eau agitée. N.B. - Dans la couche inférieure $C = 8$.

Solid matter diffusion in upper layer. Agitated water. N.B. - $C = 8$ in lower layer.

4/

5/

6/ Evolution des concentrations de matière avec le temps d'agitation.

Solid matter concentration vs. agitation time.

7/ Réalisation industrielle de la circulation.
Industrial circulation layout.

N.B. — Les postes de traitement et de filtration ne sont pas représentés.
N.B. — Treatment and filtering units not shown.

8/ Résultats à échelle grandeur, tests de diffusion thermique.
(En pointillé : avec 3 lampes de 400 W dans la couche inférieure).
Full-scale thermal diffusion spot-check data. (Dotted line refers to 3 x 400 W bulbs in bottom layer).

Résultats à échelle grandeur

A partir de la mise en route de l'installation, l'écart de température $\Delta\theta$ s'établit comme suit :

	$t (Ci)$	$\Delta\theta$
Pompe à chaleur mise en route à l'instant 0. Débit de circulation normal.	11	2,3
	16	3,8
	24	4,8
Pompe à chaleur mise en route à l'instant 0. Débit de circulation forcé (débit total sur deux cuves).	2	2
	5	3
	9	3,5
Pompe à chaleur déjà en marche. Ouverture de la circulation sur une cuve.	4,30	2
	7,30	3

La mesure des températures le long d'une verticale permet d'en tracer la courbe en fonction de l'altitude (fig. 8). On observe une très bonne stabilité de la couche supérieure. Toutefois, la plage de diffusion en haut de la couche inférieure est sensiblement plus étendue que sur le modèle réduit, ce qui est peut-être dû à la différence de réalisation des rampes.

En présence de foyers lumineux dégageant 1 200 W dans la couche inférieure, on y observe une montée progressive de la température qui se stabilise à + 0,3 °C, ce qui n'est pas suffisant pour gêner la stabilité de la zone interfaciale si on maintient l'écart total $\Delta\theta$ à 3 °C.

On a également procédé à des agitations par des gaffes brassant simultanément les deux zones. On a

alors observé un abaissement assez net de l'écart qui se stabilise entre 1 °C et 2,5 °C selon l'intensité du brassage.

Enfin, un essai de simulation de dégagement gazeux a été effectué par une insufflation d'air comprimé dans la zone inférieure. On a alors constaté une chute admissible de 0,8 °C de l'écart.

Néanmoins, il est apparu au cours de certaines périodes d'exploitation que, par suite de modifications dans le mode de fabrication des éléments combustibles, des particules solides très légères pouvaient remonter en surface par un phénomène de flottation, dû à des bulles de gaz capables de traverser toute la masse liquide. On peut combattre ce phénomène par un renforcement momentané du renouvellement de la couche supérieure.

Malgré le caractère aléatoire de ces derniers types de phénomènes, les essais ont montré que le procédé assurait dans l'ensemble un écran d'eau d'une épaisseur et d'une stabilité suffisantes pour être utilisé dans la pratique.

Notations

- g pesanteur;
- ρ masse volumique;
- U vitesse;
- Z cote d'altitude;
- L dimension;
- μ viscosité dynamique;
- c chaleur massique;
- λ coefficient de conductivité thermique;
- D coefficient de diffusion;
- θ température;
- C concentration locale.

Discussion

Président : M. A. CRAYA

M. le Président remercie M. DOLLFUS de son très intéressant exposé qui, à propos d'une réalisation importante, pose divers problèmes de caractère fondamental.

M. LAMBERT demande quel est l'ordre de grandeur des vitesses au niveau de l'interface ?

M. DOLLFUS répond qu'elles sont très faibles : les débits répartis sur une longueur de 10 m sont de l'ordre de 5 m³/s dans la couche supérieure, et de 10 m³/s dans la couche inférieure.

Faut-il envisager, ici, une diffusion turbulente, compte tenu de l'incertitude sur le nombre de Reynolds à considérer ? Au niveau des trous où les vitesses sont notables, il y a certainement turbulence, dit M. FORTIER, mais à mesure que l'on s'éloigne de ces derniers, il faut évidemment chercher à l'amortir le plus rapidement et le plus complètement possible.

A propos du dispositif antidiffusion décrit par M. DOLLFUS, M. RÉMÉNIÉRAS rappelle le principe du dispositif « anti-convection », utilisé dans les « étangs solaires », proposés par le professeur Tabor (Israël) pour la captation de l'énergie solaire. Si l'on expose au soleil une nappe d'eau libre « non stratifiée » de 1 m à 1,50 m d'épaisseur, l'expérience montre que même en période de très forte insolation, la température de la surface de l'eau ne dépasse pas 35 °C. Ce médiocre résultat est dû aux pertes de chaleur de ladite surface (par évaporation, notamment). La couche d'eau supérieure est, en effet, constamment renouvelée par des mouvements de convection qui amènent en surface l'eau réchauffée sur le fond qui — comme un corps « noir » — absorbe la majeure partie du rayonnement solaire. L'eau pure étant, d'une part, « quasi-transparente » pour le rayonnement solaire, et présentant une faible conductibilité thermique (celle de la brique, à peu de chose près), il est possible d'augmenter beaucoup la température des couches d'eau voisines du fond en annulant artificiellement les mouvements de convection qui amènent celles-ci en surface.

A cet effet, le professeur Tabor remplit un bassin de couches successives de solutions salines, superposées, réalisant ainsi une couche d'eau « stratifiée » présentant un gradient de densité décroissant fortement de bas en haut. Le calcul et l'expérience montrent que pour une valeur suffisante dudit gradient, tout mouvement de convection vertical est impossible.

Une expérience faite sur les bords de la mer Morte sur un bassin de 100 × 20 m, rempli sur une profondeur de 1,50 m de solutions de chlorure de potassium, a montré qu'effectivement, on obtenait dans les couches proches du fond, — au bout de six mois d'insolation — une température d'équilibre de l'ordre de 95 °C : peut-être ce dispositif anticonvection et son mode de calcul (1) pourraient-ils trouver des applications dans d'autres domaines.

M. le Président remercie M. RÉMÉNIÉRAS des compléments importants qu'il vient d'apporter. Il souhaiterait avoir de M. DOLLFUS plus de détails sur la manière précise dont ont été faites les injections pour les mesures de concentration de matière, et notamment, comment ont été introduits les traceurs.

A l'aide du schéma ci-contre, M. DOLLFUS explique que le traceur a été introduit grâce à un petit bac de mélange, placé sur la canalisation d'arrivée aux rampes de distribution de

Schéma d'introduction des traceurs dans la couche inférieure.

Tracer introduction points in lower layer.

la couche inférieure; les mesures ont été faites par des sondes de prélèvement en différents points disposés suivant des lignes verticales.

Les explorations effectuées sur ces « verticales » ont montré des variations peu importantes des divers paramètres dans le sens longitudinal (entre les prélèvements effectués aux extrémités et au milieu du bassin), et un peu plus importantes dans le sens transversal. Pratiquement, il suffisait de faire des relevés de concentration sur une verticale au milieu ou au tiers de la largeur.

La stabilisation de l'installation a été rapide, en raison des dimensions du modèle qui conduisait à des « temps » vingt-cinq fois plus courts que dans la réalité.

M. le Président constate qu'il y a une certaine analogie entre les courbes de concentration et les courbes de température, et demande si leur concordance a été systématiquement étudiée.

M. DOLLFUS confirme que les courbes températures et concentrations se recoupent assez bien; on peut considérer qu'aux erreurs d'expérience près, elles sont pratiquement superposables.

M. le Président demande si le dispositif donne entière satisfaction, au point de vue industriel.

Oui, répond M. DOLLFUS; toutefois, exceptionnellement, lorsqu'au cours de certaines opérations un flot de particules remonte à la surface, entraîné par des bulles gazeuses (processus de flottation), on peut être amené à accélérer la circulation pour protéger le personnel d'exploitation. Le mouvement des machines et celui — plus gênant — des perches de manœuvres du matériel, provoque quelques remous mais n'entraîne pas habituellement de mélange notable au niveau de l'interface.

Les exigences de l'horaire obligent M. le Président à clore la discussion non sans avoir remercié, à nouveau, M. DOLLFUS et les personnes qui sont intervenues dans la discussion.

(1) H. TABOR et R. MALZ : Solar Pond Project. *Solar Energy*, n° 4 (oct. - déc. 1965), Phoenix, Arizona.

Abstract

A hydraulic screen for a pool containing radio-active elements

by J. Dollfus *, R. Guilloteau ** and P. Jacoviac ***

Reactor fuel elements are frequently handled in pools so as to protect the personnel from radiation whilst enabling direct visual control to be maintained over the operations.

The method used is to bring about stratification of the water into two layers with little mixing occurring, by setting up a slight temperature difference and promoting circulation in the water in order to prevent undesirable turbulence effects. An upper layer with little contamination is thus achieved, which acts as a screen across its thickness against the lower layer and the elements it contains.

A systematic study on a model under predetermined similarity conditions gave the parameters required to reproduce the installation full-scale.

Prototype and laboratory test results were then compared.

* Ingénieur, Saint-Gobain Techniques Nouvelles.

** Ingénieur, Commissariat à l'Energie Atomique, Service de Construction des Usines de Traitement des Combustibles Irradiés.

*** Ingénieur, Saint-Gobain Techniques Nouvelles.