Gestion journalière de la dosimétrie individuelle sur le site nucléaire du Bugey (*)

R. CHASSAGNETTE (**) et J. SOTERAS (***)

(Manuscrit reçu le 3 novembre 1980)

RÉSUMÉ

Pour suivre l'exposition aux rayonnements du personnel travaillant en milieu actif, le film dosimètre officiel peut ne pas suffire. Il ne permet pas, en effet, d'informer son porteur de l'existence d'une zone à fort niveau d'irradiation ou d'un risque imminent de dépassement des doses admissibles.

Électricité de France et la Société Lab-Instruments présentent ici un dosimètre à lecture digitale, à alarme et à enregistrement automatique qui devrait aider le personnel à mieux apprécier ses conditions de travail et donc à réduire les doses reçues au cours des interventions.

ABSTRACT

The regulatory film-dosimeter is not sufficient to monitor workers' exposure in a radiation environment, as the wearer cannot be informed about the presence of a high-level radiation area or an impending risk of exceeding the permissible doses. Electricité de France and Lab-Instruments have developed a dosimeter fitted with numerical reading, alarm and automatic recording that should help workers to appreciate their working conditions better and thus reduce the doses received during operations.

(*) Ce travail a reçu le prix de la Société française de Radioprotection, prix S.F.R.P. 1980.

(**) E.D.F., Service de la production thermique, Centrale de Creys-Malville, B.P. n° 63, 38510 Morestel.

(***) Société Lab-Instruments, 116, chemin Saint-Lazare, B.P. n° 36, 77170 Brie-Comte-Robert.

INTRODUCTION

Le décret du 20 juin 1966 fixe les principes généraux de protection contre les risques inhérents aux rayonnements ionisants. Il précise, en particulier, les équivalents de doses maximaux admissibles (EDMA) pour les diverses catégories de personnes appelées à travailler sous rayonnements.

Le suivi officiel et légal de la dosimétrie se fait essentiellement par surveillance de l'irradiation externe par les rayons gamma qui est, de loin, le mode d'irradiation prépondérant en centrale. Cette surveillance est réalisée par des *films dosimètres* dont la réponse doit représenter de manière effective la « dose à l'organisme entier ». Ces films individuels cumulent les doses reçues sur une période couvrant le mois. Ils sont renouvelés le premier de chaque mois. La collecte et le développement des films entraînent, généralement, un délai de l'ordre du mois. Ce retard se reporte sur la connaissance et sur la comptabilisation des doses intégrées. Il importe donc de mettre en place une dosimétrie journalière dont l'objectif est triple :

- connaître, à tout moment, le bilan dosimétrique de chacun des intervenants afin de respecter l'équivalent de dose maximal admissible (EDMA) sur 3 mois consécutifs;

- grâce à cette connaissance du bilan dosimétrique, pouvoir choisir le personnel disposant d'une certaine marge par rapport à la législation, à l'occasion de la programmation d'interventions;

- connaître, en comptabilisant les doses intégrées par les intervenants, le *coût dosimétrique* de certaines interventions particulières et mettre en évidence les phases critiques afin d'y apporter les améliorations, au niveau de la préparation ou de la conception, dans le but de réduire les doses. C'est le cas, en particulier, lors des arrêts de tranches de centrales nucléaires pour le rechargement en combustible et les révisions.

En outre, afin de faciliter la tâche des intervenants et des responsables, le traitement de cette dosimétrie journalière a été automatisé de manière à en accélérer le dépouillement.

2. GÉNÉRALITÉS

L'ensemble du traitement a été conçu pour permettre une gestion complète et immédiate de la dosimétrie individuelle journalière sur les sites nucléaires. Toutefois, la dosimétrie par film a, seule, un caractère officiel, la dosimétrie automatique étant un outil de travail indispensable sur le terrain. Sur le site du Bugey, le système remplit les fonctions suivantes :

- Assurer un suivi permanent de la dosimétrie des agents E.D.F. et des personnels d'entreprises extérieures appelés à travailler en zone contrôlée. Le chef de centrale et les responsables des entreprises extérieures ont ainsi à leur disposition toutes les informations sur les doses déjà intégrées par les personnels ayant à intervenir, dans le cadre de leur mission, dans des zones où il y a des risques d'irradiation. Ils disposent de toutes les données nécessaires pour s'assurer du respect de la législation en la matière (fig. 1).

FIG. 1. — Acquisition des informations : diagramme fonctionnel.

FIG. 2. — Processus d'entrée/sortie de zone contrôlée.

— Mémoriser toutes les entrées et sorties de zone contrôlée; ceci permet de connaître à tout instant le nombre de personnes simultanément en zone contrôlée et de les identifier (fig. 2).

— Restituer les informations relatives à la dosimétrie dans la mémoire d'un microprocesseur par l'intermédiaire de périphériques d'acquisition pour traitement différé sur l'ordinateur du site. Cette procédure permet, outre le suivi des personnes, d'effectuer des bilans du « coût dosimétrique » des interventions sur des matériels particuliers et sur des tâches déterminées.

Ces statistiques serviront à gérer les équipes et à optimiser la distribution du travail, en particulier pendant les arrêts de tranche.

Le système répond aux critères suivants :

— identifier les personnes et permettre d'affecter un dosimètre à son porteur à chaque entrée et sortie de zone contrôlée;

— permettre une lecture simple et rapide de la dose en sortie de zone contrôlée;

— permettre à toute personne habilitée d'accéder aux informations stockées dans le microprocesseur et d'éditer des rapports;

— être entièrement automatique pour éviter tout risque d'erreur humaine;

— éviter toute perte accidentelle de dose : une reprise en manuel est possible en cas de panne du lecteur.

Une attention particulière a été apportée à la sécurité d'acquisition de l'information :

— *Au niveau des dosimètres* : il n'y a pas d'interrupteur marche/arrêt afin d'être assuré que l'appareil est toujours en fonction pendant les séjours en zone contrôlée, et d'exclure la possibilité de destruction de la dose cumulée en mémoire par coupure de l'alimentation.

— *Dans le lecteur*, la bonne connexion du dosimètre est vérifiée électroniquement avant le démarrage de la lecture. Le transfert de la dose lue par le microprocesseur sur le dosimètre ne se fait que si la connexion entre le dosimètre et le lecteur est assurée. La remise à zéro automatique du dosimètre n'est effectuée que lorsque la dose est stockée dans la mémoire du microprocesseur avec le numéro de badge associé. Les opérations d'enregistrement des différents paramètres : n° de dosimètre, n° de badge, repère des tâches, dose, sont gérées par microprocesseur et ne sont transmises qu'après vérification de leur validité.

3. CONSTITUTION DU SYSTÈME

3.1. DOSIMÈTRES (fig. 3 et 4)

Les relevés de doses individuelles sont effectués par des dosimètres numérotés réalisant les fonctions suivantes :

— mesure et cumul en mémoire de la dose intégrée pendant un séjour en zone contrôlée;

FIG. 3. — Dosimètre individuel.

FIG. 4. — Dosimètre individuel.

- affichage numérique de cette dose par simple pression d'un poussoir (*fig. 4*);

- génération d'une alarme sonore par dépassement d'un seuil préréglé, par la personne habilitée, à l'une des six valeurs choisie de dose cumulée.

Il faut noter que la prise en compte des informations délivrées par les dosimètres, à savoir : numéro de l'appareil, dose, ne peut être dissociée de l'information délivrée par le badge individuel identifiant chaque personne entrant en zone contrôlée. L'association des informations délivrées par le badge et par le dosimètre permet d'acquérir la totalité des données nécessaires à la gestion dosimétrique individuelle.

Principe de fonctionnement des dosimètres

Les rayonnements gamma sont détectés par un tube Geiger-Müller muni de filtres et travaillant entre 50 keV et 3 MeV. Un ensemble de compteurs programmables et d'affichage permet le cumul et la visualisation de la dose intégrée entre 1 et 9 999 mR. Les dosimètres possèdent, en outre, des circuits d'alarme avec six valeurs réglables du seuil de déclenchement. Deux modèles existent qui se différencient par le principe de l'alarme qui intervient :

- sur le débit de dose entre 10 et 250 mR/heure; l'appareil est utilisé en moniteur de débit et dosimètre;

- sur la dose cumulée entre 10 et 2 000 mR; l'appareil est utilisé en moniteur de dose et dosimètre.

Les deux modèles sont compatibles avec le système de traitement automatique et ils peuvent être utilisés simultanément sur un site nucléaire.

3.2. SYSTÈME DE TRAITEMENT

L'ensemble comprend :

- les périphériques permettant la lecture des dosimètres, la lecture des badges et l'entrée des numéros de tâches (*fig. 5*);

- les unités à microprocesseur centralisant les informations délivrées par ces périphériques;

- les imprimantes permettant le dialogue avec les mémoires des microprocesseurs;

- le concentrateur d'informations assurant la collecte et la mise en forme des données puis leur transmission à l'ordinateur du site.

Les périphériques sont installés soit dans les cabines *d'entrée* permettant le passage obligé de zone non contrôlée en zone contrôlée, soit dans les cabines *de sortie* permettant le passage obligé inverse. Dans ces dernières, se trouvent les moniteurs de contrôle de contamination corporelle.

Les fonctions du système sont les suivantes :

- lecture et remise à zéro des dosimètres en entrée et en sortie de zone contrôlée;

FIG. 5. — Périphérique : lecteur d'entrée/sortie.

- identification des numéros des dosimètres;
- identification du numéro de matricule du porteur par badge à piste magnétique;
- enregistrement d'un numéro de tâche ou de la référence du matériel sur lequel l'agent intervient;
- mémorisation et traitement de ces informations;
- édition, en local sur imprimante, d'une ligne de données à chaque entrée et sortie de zone contrôlée permettant de visualiser chaque mouvement de personne;
- transfert automatique des données stockées en mémoire vers l'ordinateur du site pour traitement complet.

4. FONCTIONNEMENT DU SYSTÈME

4.1. PRINCIPE DE LA LECTURE DES PARAMÈTRES

Les lecteurs périphériques assurent l'acquisition de quatre paramètres : n° du dosimètre, dose cumulée, n° de badge, n° de tâche ou d'intervention sur matériel suivi. Des signalisations lumineuses indiquent à l'utilisateur les opérations à effectuer. La bonne exécution de la lecture est vérifiée par le microprocesseur des périphériques d'acquisition. Toute anomalie de fonctionnement est doublée d'un refus de libération de la séquence de sortie des cabines.

4.2. UNITÉ CENTRALE

Elle scrute les périphériques d'acquisition et enregistre les blocs de données lorsqu'ils sont présents. Le système analyse le mot afin de séparer les données d'entrée et de sortie. Lorsqu'un agent pénètre en zone contrôlée, le système constitue le mot : DATE/HEURE/N° DOSIMÈTRE/N° BADGE et l'édite sur listing. Un compteur d'entrées incrémente d'une unité la mémoire contenant le nombre d'agents présents en zone contrôlée. Lorsqu'un agent sort d'une zone contrôlée, le système constitue le mot : DATE/HEURE/N° DOSIMÈTRE/N° BADGE/N° TACHE/DOSE et l'édite sur imprimante. Un compteur de sorties décrémente d'une unité la mémoire du nombre d'agents en zone.

L'enregistrement des données dans la mémoire de transit est séquentiel, les mots : N° BADGE/N° TACHE/DOSE, s'empilent à chaque sortie de zone contrôlée. Cette mémoire a une capacité de 1250 lignes. Son contenu est automatiquement transféré vers le concentrateur qui stocke les blocs de données en attente de transmission à l'ordinateur du site. Cette opération, entièrement automatique, est programmée pour avoir lieu systématiquement à la mi-journée et en fin de journée.

4.3. EXPLOITATION DES DONNÉES SUR L'ORDINATEUR DU SITE

Les unités centrales sont reliées par câbles à un concentrateur d'informations, implanté à proximité immédiate de l'ordinateur du site, dont il est un périphérique d'entrée. Ce mode de liaison présente l'avantage de pouvoir transférer automatiquement l'ensemble des informations stockées dans les mémoires de masse des microprocesseurs vers l'ordinateur dont la mission, en ce domaine, est de suivre, pratiquement en temps réel, la dosimétrie de chaque personne appelée à intervenir en zone contrôlée. Ce transfert est sûr, il ne nécessite pas d'intervention humaine et permet une tenue à jour quasi permanente des fichiers dosimétriques. Le traitement sur ordinateur de site consiste en une mise à jour de fichiers sur disque magnétique.

Chaque fois qu'un transfert d'informations entre le concentrateur de données et l'ordinateur est effectué, un programme met à jour les

enregistrements des fichiers. Il garde en mémoire toutes les informations nécessaires à une bonne connaissance de la dosimétrie :

- doses journalières de chaque jour du mois en cours et dose cumulée du mois en cours, informations délivrées par les dosimètres individuels;
- doses des mois précédents délivrées par les films dosimétriques permettant le suivi de la dosimétrie trimestrielle, annuelle et globale de chaque agent.

Les opérations classiques de tri et d'éditions permettent d'effectuer essentiellement deux types de recherches :

- recherche sur le numéro de badge permettant de connaître, à tout moment, le passé dosimétrique de chaque agent, cet historique s'arrêtant, à une demi-journée près, à l'instant de la demande;

- recherche sur les critères de tri suivants : 1, service ou entreprise; 2, spécialisation technique; 3, fonction de l'agent; 4, dosimétrie trimestrielle; 5, dosimétrie annuelle; 6, état réel de la dose; 7, dosimétrie en dépassement; ces critères peuvent être combinés en « ET » et « OU » (à noter que, pour les critères 4 et 5, la question posée mentionne une fourchette de dose « disponible à prendre », « dose inférieure à ... », ou « dose comprise entre ... », ceci permet, à l'aide du critère de tri « dose disponible » de constituer les équipes à l'aide d'agents habilités dans la fonction ayant une dose disponible permettant de réaliser une tâche dont on connaît, *a priori*, l'enveloppe dosimétrique. On peut, ainsi, limiter les risques de dépassements de dose *a posteriori*;

- recherche sur le numéro de code de la tâche ou du matériel; ceci permet de connaître le coût dosimétrique de certaines interventions particulières : entretien ou révision d'un matériel ou séquence de démontage ou de remontage d'un ensemble. Ces informations sont associées à la connaissance du temps d'intervention.

5. PREMIERS RÉSULTATS OBTENUS A L'AIDE DE CE SYSTÈME DE DOSIMÉTRIE

5.1. PRÉCISION DE L'APPAREIL

Les statistiques portent sur la dosimétrie d'environ 800 agents. Les chiffres ne sont pas encore très significatifs. On peut dire que les dosimètres numériques utilisés surestiment, en moyenne, la dose d'environ 15 à 20 p. cent par rapport à la dosimétrie délivrée par le film. Les conclusions sont de deux ordres : la dérive va dans le sens de la sécurité, puisque la dose délivrée après chaque intervention est supérieure à la dose « légale »; il sera intéressant de voir si cet écart ne peut pas être réduit.

5.2. STATISTIQUES PORTANT SUR LES PERSONNES CONTRÔLÉES

L'arrêt de tranche de Bugey 2 a duré 121 jours. On a comptabilisé environ 45 000 entrées en zone contrôlée; 103 entreprises extérieures ont participé aux travaux de révision. Le système de dosimétrie automatique journalière a permis de suivre en temps réel la dosimétrie de 409 agents E.D.F. et 860 agents d'entreprises extérieures.

Si l'on accepte de déduire les 18 rem cumulés par les « visiteurs techniques », les 15 rem cumulés au cours de travaux sur des matériels communs aux deux tranches Bugey 2 et Bugey 3, la dose totale cumulée par l'ensemble du personnel appelé à travailler sur Bugey 2 au cours de l'arrêt a été de 206 rem, se répartissant de la manière suivante, en moyenne, 144 mrem/agent E.D.F. et 210 mrem/agent d'entreprise.

5.3. DOSIMÉTRIE DU PERSONNEL

Du point de vue des doses individuelles (d), on peut faire la répartition suivante :

— *Personnel E.D.F.* :

• $d > 3$ rem : 1 (dépassement accidentel d'EDMA sans rapport avec l'arrêt de tranche);

• $3 \text{ rem} > d > 2 \text{ rem}$: 2;

• $2 \text{ rem} > d > 1 \text{ rem}$: 10;

• $1 \text{ rem} > d > 0,5 \text{ rem}$: 16;

• $0,5 \text{ rem} > d > 0,3 \text{ rem}$: 14.

— *Personnel d'entreprises* :

• $d > 3 \text{ rem}$: 0;

• $3 \text{ rem} > d > 2 \text{ rem}$: 1;

• $2 \text{ rem} > d > 1 \text{ rem}$: 32;

• $1 \text{ rem} > d > 0,5 \text{ rem}$: 77;

• $0,5 \text{ rem} > d > 0,3 \text{ rem}$: 82.

5.4. DOSIMÉTRIE PAR TYPE D'INTERVENTION OU PAR MATÉRIEL

Comme cela a été dit plus haut, il a paru intéressant de connaître le coût dosimétrique de 28 opérations particulières. La possibilité de connaître *a posteriori* le cumul dosimétrique global à affecter à certaines interventions les plus coûteuses en dose est d'un grand intérêt pour le futur. Cela permet d'améliorer l'environnement du personnel et de mieux préparer les gestes à effectuer afin de minimiser les doses prises sur ces mêmes opérations au cours des prochaines révisions. Les résultats les plus intéressants sont résumés dans le tableau I.

TABLEAU I

Opérations	Doses (mrem)		
	Personnel E.D.F.	Entreprises	TOTAL
Ouverture de la cuve.	1 640	2 600	4 240
Fermeture de la cuve.	3 325	7 890	11 215
Manutention du combustible.	2 060	830	2 890
Ouverture et fermeture des trous d'hommes GV.	445	3 695	4 140
Pose et dépose des tapes dans les boîtes à eau GV.	14 120	8 265	22 385
Contrôle des tubes par courant de Foucault.	—	3 790	3 790
Intervention sur les pompes primaires.	1 870	9 370	11 240
Intervention sur les circuits primaires.	1 280	8 035	9 315
Interventions dans le bâtiment réacteur.	3 060	5 110	8 170
Interventions sur le circuit d'intervention à l'arrêt.	1 210	20 620	21 830
Interventions sur le circuit de contrôle volumétrique et chimique.	1 325	4 000	4 325
Interventions liées aux inspections réglementaires.	470	29 340	29 810

La collecte des informations dosimétriques, si elle n'est pas absolument garantie dans la répartition au niveau des matériels et interventions, puisqu'aucun contrôle rigoureux ne peut exister au niveau des codes frappés, reste toutefois réaliste au niveau global.

6. CONCLUSIONS

Le suivi de la dosimétrie journalière du personnel appelé à travailler sous rayonnements ionisants au cours de l'arrêt de tranche de Bugey 2 nous permet de dire, aujourd'hui, que le système mis au point est opérationnel; il a rendu de grands services aux responsables de la gestion dosimétrique et a permis un suivi rigoureux de la dose intégrée garantissant à tout moment le respect de la législation.