

La dosimétrie du rayonnement cosmique à bord d'un avion : le système SIEVERT

• J.-F. BOTTOLIER-DEPOIS (IRSN)

• A. BIAU (IRSN)
• P. BLANCHARD (AIR FRANCE)

• P. DESSARPS (DGAC)
• P. LANTOS (OBS. PARIS)

• D. SAINT-LÔ (IRSN)
• M. VALERO (IRSN)

À bord d'un avion, la dose reçue due au rayonnement cosmique est plus importante qu'au niveau du sol. En raison de son activité professionnelle, le personnel navigant peut recevoir en un an une dose efficace de quelques millisieverts. La réglementation européenne adoptée en 1996 impose ainsi aux entreprises exploitant des avions de surveiller l'exposition de leur personnel navigant. En France, un outil a été développé pour répondre à ce besoin : le système SIEVERT.

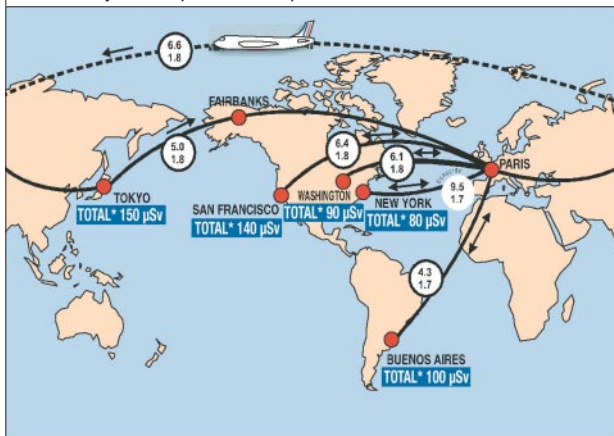
Avion en croisière à une altitude d'environ 10 000 m.



Figure 1

Doses reçues lors de différents vols obtenues à partir de mesures réalisées entre 1996 et 1998 avec l'appareil NAUSICAA.

Dans les cercles sont mentionnés le débit d'équivalent de dose moyen sur le vol ($\mu\text{Sv/h}$) et le facteur de qualité moyen du rayonnement (rapport de l'équivalent de dose sur la dose absorbée). L'équivalent de dose total (débit moyen \times temps) est donné pour un vol aller-retour.



L'exposition au rayonnement cosmique en avion

L'EXPOSITION AUGMENTE AVEC L'ALTITUDE

Au fur et à mesure que l'altitude augmente, la couche d'atmosphère protectrice se faisant plus mince, l'exposition au rayonnement cosmique est de plus en plus importante.

À l'altitude de croisière des avions de ligne, soit de 10 000 à 12 000 m, le rayonnement cosmique est environ 100 à 300 fois plus intense qu'au niveau de la mer. À bord du Concorde, qui vole à 18 000 m, le débit de dose est quasiment deux fois plus élevé qu'à bord des avions subsoniques.

L'EXPOSITION VARIE AVEC LA LATITUDE

En raison de la barrière constituée par le champ magnétique terrestre, les particules du rayonnement cosmique pénètrent plus facilement aux latitudes élevées, proches des pôles, qu'à proximité de l'équateur. L'exposition au rayonnement sera fonction des latitudes de la route empruntée par l'avion.

Des mesures effectuées à bord d'avions sur des vols long-courrier durant les années 1990 (figure 1) ont montré que le personnel navigant reçoit une dose efficace comprise dans une fourchette de 2 à 5 mSv par an en fonction des routes empruntées et de l'activité solaire.

Le projet SIEVERT

La réglementation européenne adoptée en 1996 impose aux entreprises exploitant des avions de surveiller l'exposition de leur personnel navigant (encadré, page 124). En France, les pouvoirs publics ont mis en place le Système d'information et d'évaluation par vol de l'exposition au rayonnement cosmique dans le transport aérien (SIEVERT). Cet outil d'évaluation des doses a été mis au point par la Direction générale de l'aviation civile (DGAC) et ses partenaires, l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN), l'Observatoire de Paris et l'Institut français de recherche et de techniques polaires (IFRTP).

En sa qualité d'expert en dosimétrie, l'IRSN fournit chaque mois les données dosimétriques du rayonnement cosmique et les vérifie périodiquement. L'Institut héberge le système SIEVERT et en assure l'exploitation.

L'ÉVALUATION DES DOSES DE RAYONNEMENT REÇUES LORS DES VOLS

Le système SIEVERT est mis à la disposition des compagnies aériennes pour les aider à prendre en compte les recommandations de la publication 60 de la CIPR et à appliquer l'article 42 de la direc-

tive européenne 96/29/EURATOM. Ce service, à caractère professionnel, est disponible sur un serveur Internet accessible aux entreprises qui en ont fait la demande auprès de la DGAC. Un accès pour le public permet également à un passager d'estimer la dose reçue lors d'un voyage.

Le système fournit des doses qui tiennent compte des routes empruntées par les avions. Ces valeurs sont calculées à partir de modèles dosimétriques vérifiés sur plusieurs dizaines de vols. En outre, en cas d'éruption solaire, le système SIEVERT permet d'en évaluer l'impact sur la dose reçue.

SIEVERT est un outil adapté à la dosimétrie du personnel navigant. Son utilisation ne nécessite pas de compétences particulières en matière de radioprotection au sein de la compagnie aérienne. Il ne génère pas de contraintes d'utilisation pour le personnel, contrairement aux dosimètres individuels.

SIEVERT permettra une bonne application de la réglementation pour au moins deux raisons. Tout d'abord, les résultats obtenus sont fiables et validés. Ensuite, le mode d'évaluation des doses est le même pour toutes les compagnies aériennes.

PRINCIPE D'UTILISATION DE SIEVERT

L'entreprise prépare un fichier des vols effectués ou envisagés et le dépose à l'adresse Internet de SIEVERT. Le système complète ensuite le fichier en ajoutant la dose efficace correspondant à chaque vol (figure 2). La dose est calculée, en fonction des caractéristiques du vol, à partir de données dosimétriques d'entrée validées par l'IRSN. Plus l'information sur la route empruntée est détaillée, plus la valeur de la dose est précise. Si l'information est minimale, la valeur de la dose est évaluée à partir d'un profil de vol standard. À ce stade, les données ne sont pas nominatives. Il appartient ensuite aux employeurs de cumuler les doses reçues au cours des trajets effectués par chaque membre du personnel navigant. Ces informations sont mises à la disposition de la personne concernée et communiquées au médecin du travail.

LE CALCUL DES DOSES PAR SIEVERT

Au cœur de SIEVERT, l'espace aérien est découpé en mailles faisant chacune 1 000 pieds en altitude, 10° en longitude et 2° en latitude. L'ensemble forme une cartographie de 265 000 mailles ; à chacune d'elles est affectée une valeur de débit

Figure 2

Principe d'échange des données entre SIEVERT et les compagnies aériennes.

Le public a la possibilité d'évaluer la dose reçue lors d'un ou de plusieurs vols en se connectant sur le site de SIEVERT (<http://www.sievert-system.org>). Cette évaluation est faite à partir des informations disponibles sur le billet (figure 3).

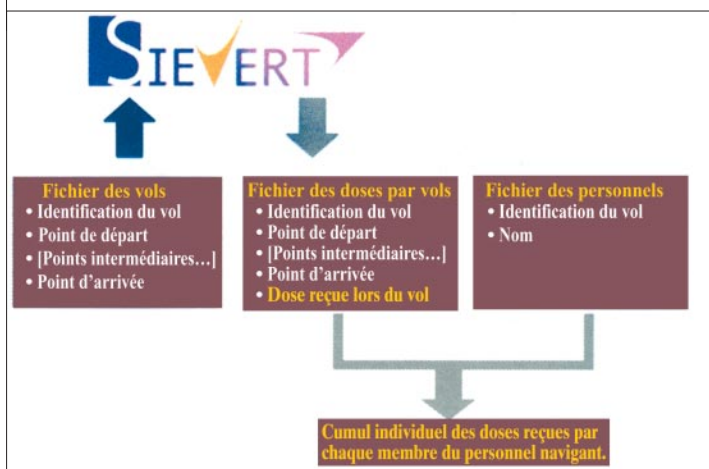


Figure 3

Fenêtre de saisie des données pour le public.

de dose efficace. Le temps passé par l'avion dans chaque maille et la dose correspondante sont calculés (figure 4) ; leur cumul donne la dose reçue lors du vol.

LA MISE À JOUR DES DONNÉES DOSIMÉTRIQUES

Tous les mois, la cartographie des débits de dose est mise à jour par l'IRSN en tenant compte de l'activité solaire (figure 5). Cette cartographie est obtenue à partir d'un code de calcul (aujourd'hui CARI 6, développé par la Federal Aviation Administration) qui permet d'obtenir la dose en tout point de l'espace jusqu'à une altitude de 80 000 pieds. Des mesures périodiques du rayonnement, à l'aide de dosimètres installés au sol et dans des avions, permettent ensuite de confirmer et, éventuellement, de corriger les valeurs obtenues. En cas d'éruption solaire notable, une cartographie spécifique est créée puis validée. Les astrophysiciens de l'Observatoire de Paris sont alors appelés en renfort pour estimer l'impact de l'éruption. Le délai pour réaliser cette étude complexe est assez long. Il faut donc attendre quelques semaines avant de pouvoir calculer les doses reçues lors des vols effectués pendant l'éruption.

Les premiers résultats

Durant la phase de vérification de service régulier (VSR), qui précède la mise en exploitation, des calculs en grandeur réelle ont été réalisés par l'IRSN, en particulier avec Air France. Plusieurs dizaines de milliers de vols réels ont été traités.

PREMIÈRES STATISTIQUES

Une étude statistique de ces premiers résultats a permis de valider un certain nombre de paramètres, en particulier ceux servant à définir un profil de vol standard utilisé pour le public lorsque le profil réel n'est pas connu. Ces premiers résultats montrent, entre autres, que la dispersion sur la dose pour une destination donnée est importante (jusqu'à un facteur 1,7), car un vol peut être plus ou moins long en fonction des paramètres environnementaux comme les conditions météorologiques. Les valeurs obtenues avec le profil standard sont généralement dans la partie supérieure de la fourchette de dose pour une route donnée, ceci dans le souci d'une approche conservatrice (figure 6).

Figure 4

Principe de calcul de la dose pour un vol dans SIEVERT.

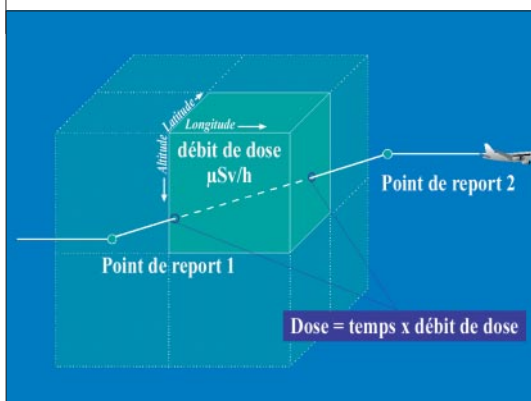


Figure 5

Les différentes données d'entrée nécessaires au fonctionnement de SIEVERT.

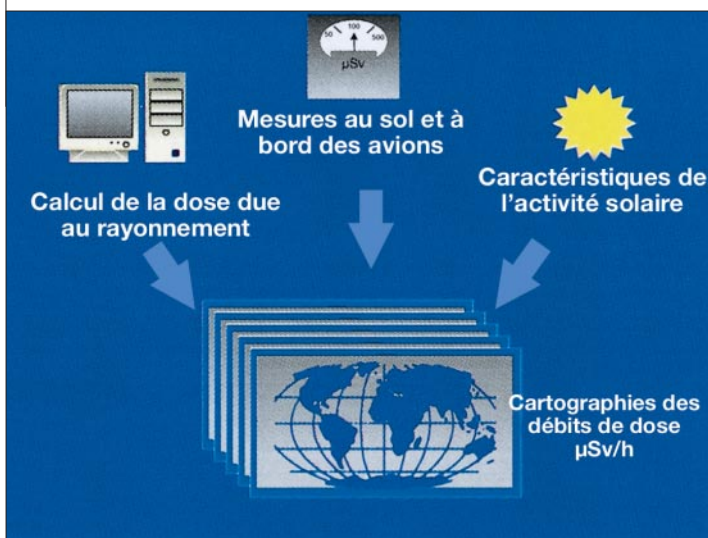
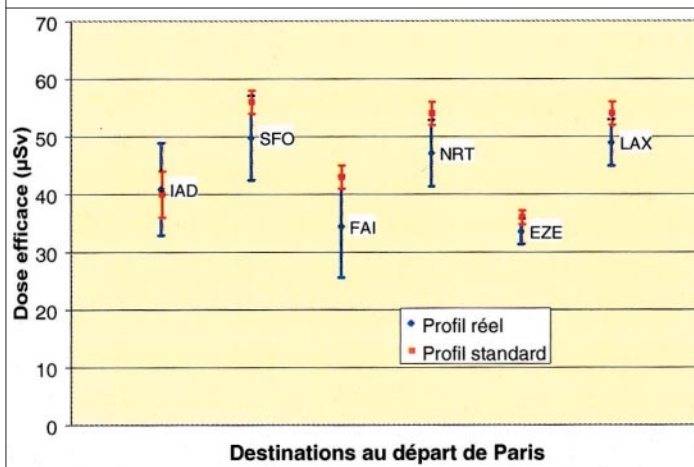


Figure 6

Comparaison des doses obtenues avec un ensemble de vols réels et standard pour différentes routes au départ de Paris sur une période de un mois (IAD : Washington, SFO : San Francisco, FAI : Fairbanks, NRT : Tokyo, EZE : Buenos Aires, LAX : Los Angeles).



VALIDATION DU MODÈLE EN CAS D'ÉRUPTION

Des mesures de la dose tout au long d'un vol pendant lequel s'est produite une éruption solaire perceptible au niveau du sol ont été réalisées pour la première fois le 15 avril 2001 sur un vol Prague-New York (figure 7). Ces mesures ont été obtenues par F. Spurny (Académie des sciences tchèque) dans le cadre d'un contrat européen

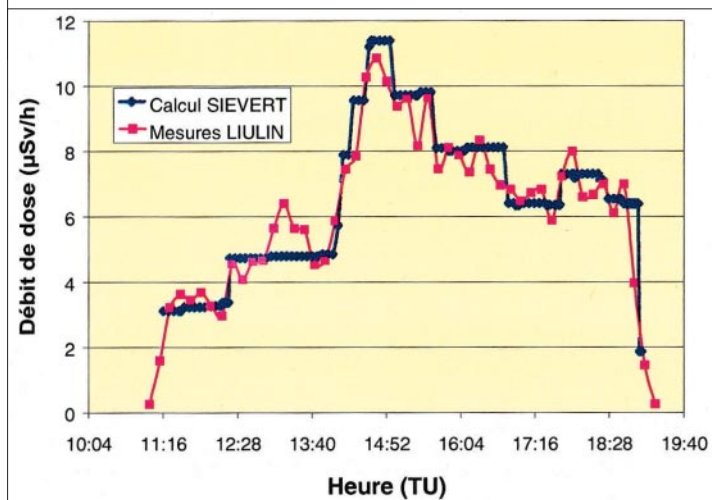
regroupant sept instituts, dont l'IRSN. De tels événements, appelés *Ground Level Events* (GLE), se produisent quelques fois par an tout au plus. Le modèle dosimétrique mis en place dans SIEVERT en cas d'éruption a ainsi pu être validé. Ce modèle est basé sur l'atténuation dans l'atmosphère de particules avec une énergie comparable à celle des éruptions solaires et sur les données de moniteurs neutrons situés au sol qui fournissent l'intensité du GLE.

BILAN

Cet outil, à caractère opérationnel, répond à une demande des compagnies aériennes pour la radioprotection des personnels navigants. En outre, il offre la possibilité d'évaluer la dose reçue lors d'un vol à toute personne qui le souhaite. Un aspect novateur de SIEVERT réside dans le fait qu'une dosimétrie réglementaire est réalisée uniquement à partir d'un calcul basé sur des modèles qui, bien entendu, ont été validés par l'expérience. Parmi les systèmes existants de par le monde, SIEVERT est le premier à avoir le souci de répondre à l'ensemble des contraintes opérationnelles, tant celles des exploitants de l'aéronautique que celles liées à la dosimétrie réglementaire. Des compagnies étrangères ont d'ores et déjà mentionné leur intérêt pour l'utilisation d'un tel système.

Figure 7

Profil du débit de dose mesuré à l'aide du détecteur "LIULIN" (détecteur à semi-conducteur) et calculé par SIEVERT pour un vol Prague-New York le 15 avril 2001 lors du GLE 60 qui a débuté à 14 h 09 TU.



LA RÉGLEMENTATION

La directive européenne 96/29/EURATOM du 13 mai 1996 a modifié les normes de protection sanitaire de la population et des travailleurs contre les dangers résultant des rayonnements ionisants. Sa transposition en droit français a été mise en œuvre par la publication de l'ordonnance n° 2001-270 du 28 mars 2001, qui doit être complétée par la parution de cinq décrets.

La prise en compte de l'exposition aux rayonnements naturels est l'une des innovations de cette directive européenne. Concernant la protection du personnel navigant, l'article 42 prévoit les dispositions suivantes :

"Chaque État membre prend les dispositions nécessaires pour que les entreprises exploitant des avions prennent en compte l'exposition au rayonnement cosmique du personnel navigant susceptible de subir une exposition supérieure à 1 mSv par an. Les entreprises prennent les mesures appropriées, afin notamment :

- d'évaluer l'exposition du personnel concerné ;
- de tenir compte de l'exposition évaluée pour l'organisation des programmes de travail, en vue de réduire les doses du personnel navigant fortement exposé ;
- d'informer les travailleurs concernés des risques pour la santé que leur travail comporte ;
- d'appliquer l'article 10 au personnel navigant féminin."

L'article 10 de la directive concerne la protection particulière pendant la grossesse. Lorsqu'elle a informé l'employeur de son état, une femme enceinte ne doit plus être affectée à une activité en vol dès lors que la dose équivalente reçue par l'enfant à naître jusqu'à la fin de la grossesse est susceptible de dépasser 1 mSv.