

DOSIMETRIE DES RAYONNEMENTS COSMIQUES A BORD DU TRANSPORT SUPERSONIQUE
CONCORDE

H. FRANÇOIS (1), R.P. DELAHAYE (2), P. SIMON (3), G. PORTAL (1)
H. KAISER (4) et P. DURNEY (5)

Abstracts

Dosimetry of radiation on-board the French prototype supersonic transport Concorde 001 was performed during the aircraft's test flights from its Toulouse base.

The supersonic transport medical subcommittee of the General Secretariat for Civil Aviation directed these radiation measurement activities. Actual dosimetric operations were conducted by different specialized laboratories employing the following systems and techniques :

I - "Passive" integrator dosimetric systems

- a/ Nuclear emulsions in which each event is individually analyzed.
- b/ Stacks of nuclear emulsions of varying sensitivity which permit obtaining ionizing-particle distribution as a function of their TEL.
- c/ Radiothermoluminescent dosimeters.
- d/ Fast-neutron dosimeters.

2 - Dose-rate recording systems.

The authors analyze, compare, and comment upon results obtained. In addition, the dosimetric problems posed by possible solar flares and their effects upon flight plans, are discussed.

Conclusions are drawn relative to the possible dosimetry techniques to be employed in identifying radiation protection problems on-board the SST.

Introduction

Les avions qui évoluent à des altitudes supérieures à 15 000 mètres sont soumis à une irradiation naturelle différente de celle habituellement observée dans les couches basses de l'atmosphère.

La très prochaine mise en service des avions de transports supersoniques commerciaux (T.S.S.) accroîtra le nombre des personnes exposées car l'efficacité de l'écran que forme l'atmosphère terrestre aux particules du rayonnement cosmique est très diminuée à l'altitude de croisière de ces appareils.

Ce problème radiobiologique se présente sous deux aspects : d'une part il faut connaître le rayonnement cosmique permanent auquel l'avion est soumis dans les circonstances normales, d'autre part, il faut pouvoir détecter sans délai les irradiations anormales consécutives à certaines éruptions solaires. Ces dernières indications doivent pouvoir être exploitées très rapidement par les équipages.

Nous résumerons dans la première partie de cet exposé les connaissances acquises sur le rayonnement cosmique et nous exposerons ensuite quelles sont les

-
- (1) H.FRANÇOIS, G.PORTAL, Service Technique d'Etudes de Protection et de Pollution Atmosphérique - Section de Dosimétrie Physique - Centre d'Etudes Nucléaires de Fontenay-aux-Roses - France -
 - (2) R.P.DELAHAYE, Professeur du Service de Santé des Armées, Hôpital Bégin, 94 Saint-Mandé - France -
 - (3) P.SIMON, Service des Ursigrammes - Observatoire de Meudon - 92 Meudon-France
 - (4) H.KAISER, Laboratoire de Physique Corpusculaire du Centre d'Etudes Nucléaires de Strasbourg - France -
 - (5) P.DURNEY, Service Mixte de Sécurité Radiologique - Montlhéry - France -

mesures dosimétriques que nous avons entreprises et réalisées à bord du prototype CONCORDE 001.

I - Composition physique du rayonnement cosmique à l'altitude de croisière de Concorde

Le rayonnement cosmique qui atteint l'atmosphère terrestre peut avoir deux origines : l'une galactique, l'autre solaire.

A/ Rayonnement cosmique galactique

Ce rayonnement est constitué de particules de grande énergie :

- 80 à 85 % de protons
- 15 à 19 % d'hélium

et des particules lourdes Fe, Mg, C, O.

Lorsqu'ils pénètrent dans l'atmosphère les noyaux sont désintégrés au cours de réactions nucléaires avec l'oxygène et l'azote de l'air et il apparaît des particules secondaires : neutrons, mesons, hyperons. Le nombre des particules secondaires augmente progressivement, passe par un maximum vers 18 000 - 20 000 mètres d'altitude et diminue ensuite du fait de l'absorption atmosphérique.

Les particules du rayonnement cosmique galactique sont soumises à la distribution et aux variations du champ magnétique dans le système solaire. Leur intensité varie à la surface de la terre selon le temps, la latitude et l'altitude

Variations dans le temps

Lorsque les zones actives du soleil émettent des nuages de plasma, on observe des réductions de l'intensité du rayonnement cosmique galactique. Ce sont les réductions de FORBUSH.

Variations avec la latitude

Le champ magnétique de la terre empêche les particules chargées de franchir les lignes de forces sous une inclinaison supérieure à un angle donné.

L'intensité du rayonnement cosmique galactique est maximale au pôle magnétique et minimale à l'équateur géomagnétique.

Variations avec l'altitude

Celles-ci sont consécutives aux épaisseurs d'atmosphère traversées.

B/ Rayonnement cosmique solaire

Une éruption solaire se manifeste en fait par une augmentation de la brillance d'une certaine surface de la chromosphère. La dimension et l'intensité du phénomène définissent assez bien l'importance de l'éruption solaire. On pourrait également considérer sa durée.

La fréquence des éruptions est liée à l'activité solaire qui est un phénomène cyclique. Les deux derniers maximums ont eu lieu en 1957 et en 1968 et les minimums en 1954 et 1964.

En juillet 1970 on a observé 500 éruptions, tandis qu'il n'y en eut que 3 en 1964 qui eurent toutes lieu le même jour.

Dans certains cas, les éruptions solaires provoquent des phénomènes radioactifs qui se produisent au voisinage de la chromosphère et qui s'étendent dans la couronne solaire. Ces éruptions s'accompagnent d'émission de particules, protons et électrons, qui sont accélérées et portées à des énergies considérables (de l'ordre du GeV).

Une émission de rayons X de quelques dizaines de keV se propage alors dans le milieu interplanétaire.

Pour l'habitant de la terre, les manifestations des éruptions solaires sont rares. Les émissions de rayons X se produisent lors d'une éruption sur 200 et les arrivées de particules ont lieu pour une éruption sur 1000. Ceci est dû à l'action du champ magnétique et de l'atmosphère terrestre. Le rayonnement X est absorbé par les couches les moins denses de l'atmosphère (vers 80 000 mètres) et

il ne pénètre pas au-dessous de 30 000 mètres. Ce sont les ions créés qui perturbent les ondes radioélectriques.

Quant aux particules chargées, leur pénétration augmente avec la latitude ; seules celles qui ont une énergie très élevée (quelques GeV) peuvent atteindre la surface de la terre aux latitudes moyennes et équatoriales.

Aux altitudes de croisière des avions supersoniques, la protection n'étant pas suffisante, ces événements doivent être pris en considération.

La prévision et l'identification des événements solaires est faite en permanence par des équipes travaillant en collaboration internationale.

De 1966 à 1968, six à huit événements auraient été détectables à l'altitude de vol du Concorde soit 3 à 4 pour 10 000 éruptions.

II - Moyens dosimétriques utilisés

La complexité du problème dosimétrique posé et sa nouveauté ont conduit les responsables de la sous-commission médicale "Concorde" à faire appel aux spécialistes de différents laboratoires qui dans une large concertation scientifique et technique utilisèrent les avantages complémentaires de l'expérience acquise, du savoir-faire et des équipements disponibles.

Deux types de dosimètres ont été utilisés. Une première catégorie que nous appelons des dosimètres "passifs" qui intègrent et gardent en mémoire les événements et une autre catégorie qui s'apparente aux appareils de mesure et qui donne à chaque instant du vol les indications sur l'intensité du rayonnement.

I/ Dosimètres passifs

a/ Ensemble dosimétrique pour les particules chargées et les ions lourds

Il est constitué par des émulsions nucléaires et par des matières plastiques qui permettent de déterminer les doses dues aux particules chargées.

Le système dosimétrique maintient à l'abri de la lumière un empilement constitué d'une émulsion nucléaire Ilford K5 d'une épaisseur de 100 micromètres et 5 pellicules de nitrate de cellulose de 200 micromètres d'épaisseur.

Dans le type d'émulsion nucléaire utilisé toutes les particules chargées qui composent le rayonnement cosmique, électrons, mésons, mésons chargés, protons, particules α , ions lourds même s'ils sont au minimum d'ionisation, sont enregistrées et laissent une trace après développement.

Les cinq pellicules de nitrate de cellulose servent ensuite à déterminer le flux des ions lourds.

b/ Ensemble dosimétrique pour les neutrons

Nous avons utilisé le dosimètre photographique CEA/STEPPA contenant une émulsion nucléaire NTA pour déterminer la "dose neutron" due au rayonnement cosmique. Sept de ces dosimètres sont placés sur les sangles des parachutes des équipages.

Deux dosimètres témoins sont conservés au sol.

Le dispositif complet est renouvelé chaque mois.

c/ Ensemble dosimétrique pour les champs électromagnétiques et les particules ionisantes

Dans une première approche du problème qui nous était posé, nous avons essayé de mesurer la dose absorbée due à la composante électromagnétique du rayonnement cosmique.

Nous avons utilisé des dosimètres radiothermoluminescents au fluorure de lithium et au sulfate de calcium et nous avons également embarqué des empilements d'émulsions nucléaires à sensibilité variable afin de déterminer le spectre de transfert linéique d'énergie des particules ionisantes.

Nous utilisons les émulsions :

- K5 : pour l'enregistrement de toutes les particules ionisantes,
- K2 : pour l'enregistrement des particules dont le TLE est supérieur

à 1 keV par micromètre (dans l'eau)

KI : pour l'enregistrement des particules dont le TLE est supérieur à 6 keV par micromètre

KO : pour l'enregistrement des particules dont le TLE est supérieur à 8 keV par micromètre.

Ce système avait déjà été étudié et est utilisé au C.E.A. pour la dosimétrie auprès des grands accélérateurs (I). Il a fallu l'adapter au problème posé du fait de la faiblesse du niveau des doses enregistrées.

Nous avons dû étudier une méthode d'effacement du bruit de fond des plaques nucléaires. Cette méthode a été récemment mise au point et les essais effectués auprès de l'accélérateur Saturne ont donné pleine satisfaction.

La filtration totale correspondant aux divers emballages et supports des émulsions est de 450 mg/cm² environ.

2/ Dosimétrie par enregistrement des débits de dose

a/ Systèmes d'enregistrement du débit de dose dû aux neutrons et aux rayonnements gamma - VAMEGA

On a utilisé un matériel appelé VAMEGA déjà employé depuis plusieurs années sur les avions subsoniques longs courriers. Ce dispositif a été modifié pour assurer la mesure des neutrons. Il comprend un détecteur gamma qui est un tube Geiger-Muller, associé à un détecteur à hélium 3 entouré d'un modérateur en polyéthylène.

b/ Détecteur de bord AWRE installé sur tous les avions Concorde

Ce détecteur a été conçu par l'United Kingdom Atomic Energy Authority, Atomic Weapons Research Establishment (AWRE) à Aldermaston (2). Il indique le débit de dose en mrem/h sur une échelle logarithmique à 4 décades allant de 0 à 1 000 mrem/h. Il comporte également un affichage digital de la dose cumulée en mrem. Trois tubes Geiger-Muller permettent de mesurer la dose due aux particules chargées et aux gamma, un facteur de qualité égal à 1,5 étant automatiquement appliqué ; un compteur proportionnel au trifluorure de bore avec modérateur en polyéthylène permet de mesurer la dose due aux neutrons en utilisant un facteur de qualité égal à 10. Après traitement, les signaux des 2 systèmes de détection entrent dans une voie de comptage unique. L'échelle de l'indicateur est divisée en zones "normale" "alerte" et "action" ; le niveau d'action étant relié au système d'alarme central de l'avion. La définition de ces 3 zones est en cours d'étude. Sur l'avion prototype, le signal de sortie du détecteur de bord est également enregistré sur l'équipement central d'enregistrement d'essais en vol (QS system) de façon que l'on puisse faire des lectures de durée de vol et de débits de dose à des altitudes sélectionnées.

III - Résultats et discussion

I/ Résultats obtenus avec les ensembles dosimétriques constitués par les émulsions nucléaires K5 et les plaques de nitrate de cellulose

Dès le retour au laboratoire des dispositifs d'exposition à la suite d'une expérimentation d'un mois, les émulsions nucléaires Ilford K5 de 1 000 micromètres d'épaisseur sont exposées à la lumière blanche parallèle passant à travers le négatif d'une grille millimétrique codée. La grille impressionnée sur une des faces de la pellicule d'émulsion nucléaire détermine un système d'axes de référence qui permet de faire toujours des mesures dans les mêmes conditions et dans des volumes d'un mm³. Les traces dues aux particules chargées du rayonnement cosmique, observables dans l'émulsion nucléaire, sont soit granulaires, soit continues. Ces phénomènes sont fonction de l'énergie et de la charge des particules.

En tenant compte de l'épaisseur avant développement et de la grille, on mesure, sous microscope, la longueur en projection des traces traversant un volume d'un mm³ d'émulsion nucléaire ou s'y arrêtant, les coordonnées des points d'entrée et de sortie ou d'arrêt des traces ainsi que l'épaisseur de l'émulsion

nucléaire après développement dans la zone du volume considéré. Ces mesures sont effectuées dans 10 volumes d'un mm³ présélectionnés par la grille sur chaque émulsion nucléaire contenue dans un dispositif d'exposition. Les longueurs en micromètres sont calculées à partir de ces mesures. Les traces se trouvant dans le volume d'un mm³ d'émulsion nucléaire correspondent à des particules présentant une perte spécifique d'énergie par unité de longueur variable ou non le long de leur trajectoire. En considérant des pertes spécifiques d'énergie par micromètre, la sommation de ces grandeurs sur toute la longueur de toutes les traces nous donne l'énergie totale "déposée" dans le volume d'un mm³. La perte d'énergie par unité de longueur peut être déterminée expérimentalement par des mesures de granularité ou des mesures photométriques. Ces travaux ont déjà été faits dans le cas des émulsions nucléaires exposées à bord des cabines spatiales Apollo.

Mais le temps nécessaire à ces mesures est très grand et incompatible avec un dépouillement mensuel. De plus, dès le début de cette exploitation, on a constaté que le nombre de traces continues est de l'ordre de 10 p. cent par rapport au nombre total et que le nombre des ions lourds est nul. Cette constatation a conduit à employer une méthode plus rapide.

En partant des fins de traces de protons d'accélérateurs, d'énergie initiale de 150 MeV, enregistrées dans l'émulsion nucléaire Ilford K5, on a déterminé le parcours résiduel pour lequel les traces de protons passent de l'état granulaire à l'état continu. Il est de l'ordre de 70 micromètres, ce qui correspond à une énergie du proton de 3 MeV et une perte spécifique d'énergie de 24,2 keV par micromètre. Rappelons que la perte spécifique d'énergie des protons au minimum d'ionisation est de 0,549 keV par micromètre.

En multipliant la somme des longueurs de toutes les traces contenues dans le volume d'un mm³ par la valeur 24,2 keV par micromètre, nous obtenons la limite supérieure de l'énergie totale "déposée". Un volume d'un mm³ d'émulsion nucléaire a une masse de 3,8.10⁻³g. Par définition, un rad correspond à une énergie de 6,24.10¹³eV "déposée" dans un gramme de matière. La dose en millirad est donc égale à :

$$\frac{\text{Energie totale "déposée" } \times 10^3 \times 10^3}{3,8 \times 6,24 \times 10^{13}}$$

Les doses maximales dues aux particules chargées calculées selon cette méthode sont données dans le tableau I. Ces valeurs sont les moyennes obtenues à partir des 10 volumes d'un mm³ examinés dans chaque émulsion nucléaire d'un dispositif d'exposition. Ce tableau indique le nombre d'heures de vol au-dessus de 12 000 mètres d'altitude.

Il est important de noter que sur l'ensemble des émulsions exploitées de 1970 à 1973, nous n'avons jamais repéré de trace d'ion lourd.

2/ Résultats obtenus avec les dosimètres à émulsion NTA

Par l'intermédiaire de la même grille millimétrique, on détermine le nombre moyen des traces contenues dans 10 surfaces élémentaires d'un mm².

Pour ces films et pour les neutrons d'énergie comprise approximativement entre 1 et 10 MeV, on admet d'après les résultats expérimentaux que 127 000 traces par cm² correspondent à 1 rad ; 1,27 trace/mm² correspond donc à 1 millirad. Il n'est toutefois pas possible de déterminer la dose due aux neutrons du rayonnement cosmique à l'aide de cette équivalence. En effet, les résultats expérimentaux ont été obtenus avec des flux de neutrons purs, alors que les neutrons ne constituent qu'une partie du rayonnement cosmique. L'émulsion NTA utilisée n'a que 40 micromètres d'épaisseur. L'examen détaillé de l'émulsion nucléaire K5 de 1 000 micromètres d'épaisseur a permis de déterminer que 90 p. cent des traces sont des traces de particules chargées et non des protons de recul. Il y a donc lieu de considérer que 0,127 traces par mm² correspond à 1 millirad. Le tableau (I) donne les doses en millirads dues aux neutrons dans le poste de pilotage.

3/ Résultats obtenus à l'aide de l'ensemble dosimétrique pour les champs électromagnétiques et les particules ionisantes

Trois ensembles dosimétriques sont placés à bord de l'avion :

- un à l'avant,
- un autre au centre,
- le troisième à l'arrière.

a/ Dosimètres radiothermoluminescents

Le tableau de la figure n° 5 donne des exemples de résultats de mesures effectuées à l'aide des dosimètres au fluorure de lithium (3).

On constatera que les doses mesurées sont très faibles et très proches de la limite inférieure de détection. La durée des vols à haute altitude a été insuffisante pendant nos essais ; il s'ensuit que la part de l'irradiation subie lors des vols est très faible par rapport à celle reçue au sol pendant la période d'intégration (7 semaines environ). Nous estimons que la marge d'erreur de ces mesures est de ce fait assez grande (coefficient de variation égal à 40 p. cent).

Pour diminuer celle-ci, nous avons décidé d'utiliser lors des vols du second semestre 1972, un produit nettement plus sensible, le sulfate de calcium activé au dysprosium. Ce dernier est en effet trente fois plus sensible que le fluorure de lithium et, bien que n'étant pas "équivalent aux tissus mous", il nous a donné d'excellents résultats lors des mesures effectuées sur des vols de ballons (4) pour le compte du Groupe Européen de Biophysique Spatiale. En effet, aux altitudes où sont effectuées ces expériences, la contribution des rayonnements électromagnétiques de faible énergie est tout à fait négligeable. Quant à la sensibilité aux particules ionisantes, elle ne diffère guère de celle du fluorure de lithium (5). Nous espérons obtenir des résultats plus précis à l'aide de ce matériau (le coefficient de variation des mesures obtenues est égal à environ 10 p. cent). Si l'on désire une précision encore meilleure, il est nécessaire soit de faire les mesures immédiatement après un vol prolongé, soit d'attendre que la fréquence et la durée des vols soient suffisantes.

b/ Emulsions nucléaires à sensibilité variable

Le classement des particules en fonction de leur TLE est effectué d'après les caractéristiques des émulsions (seuil de sensibilité) et l'aspect des traces. A titre d'exemple on a admis que sur une émulsion K5, les traces correspondent à un TLE inférieur ou égal à 0,5 keV par micromètre dans l'eau, les traces denses présentent un TLE supérieur. D'autre part les protons de recul provenant des interactions (n,p) engendrés dans l'émulsion, ne sont pas pris en compte.

Il est évident que ces critères sont quelque peu subjectifs et que les spectres de TLE obtenus doivent être considérés comme une simple approche du problème. Cela est d'autant plus vrai que la précision des mesures est altérée par le fait que les doses reçues au sol ne sont pas négligeables par rapport à celles reçues en vol.

Sur le tableau de la figure n° 6 nous avons reporté, à titre d'exemple, les résultats obtenus à l'aide d'un empilement d'émulsions placé à l'arrière de l'avion au mois d'avril 1972. Les valeurs mentionnées correspondent aux seules irradiations subies pendant les vols, la contribution du rayonnement cosmique et tellurique au niveau du sol a été retranchée.

Nous avons calculé la valeur de la dose absorbée à la surface du corps humain, à partir des données de ZERBY et KINNEY (6) valables dans le cas d'un faisceau isotrope de protons qui frapperait une seule face du corps humain. Il convient de préciser que dans ce cas, la dose absorbée superficielle est très voisine de la dose absorbée au point où l'ionisation est maximale (7).

On remarquera, pour cet empilement, une nette prédominance des particules à très faible TLE (TLE 0,5 keV/micromètre). Il n'en est pas toujours ainsi ; ces proportions varient selon les conditions des vols et les emplacements dans la cellule de l'avion.

Par contre, si l'on exclut les traces de protons de recul provenant des interactions des neutrons avec les matériaux hydrogénés, on ne dénombre pas de particule de TLE supérieur à 6,2 keV par micromètre. Il est vrai qu'à l'altitude de vol du Concorde il semble que les ions lourds aient déjà été absorbés dans l'atmosphère.

Il est possible à partir de ces spectres de calculer un facteur de qualité moyen pour les rayonnements ionisants. Compte tenu des données de NEUFELD, SNYDER et TURNER (7) celui-ci est légèrement inférieur à 1,3.

Ce résultat est donné à titre d'exemple, les expérimentations ne sont pas encore assez avancées pour que l'on puisse faire une synthèse valable des résultats en fonction des conditions des vols et des emplacements dans la cellule.

4/ Résultats obtenus avec les appareils de détection et d'enregistrement des débits de dose VAMEGA et AWRE

Pour le tableau n° 7 nous avons reporté les résultats maximaux moyens des mesures obtenues à l'aide de l'appareil VAMEGA lors d'un groupe de 18 vols au-dessus de l'Atlantique Nord et une série de 11 vols effectués lors de la tournée en Amérique du Sud.

On remarque que les résultats de la seconde série sont, du fait de la différence de latitude, nettement inférieurs à ceux de la première.

Les résultats obtenus à l'aide de l'appareil AWRE sont comparables. A titre d'exemple, lors de la mission du 21.7.71 effectuée au-dessus de l'Atlantique Nord, les débits de dose équivalente mesurés sont respectivement :

- Neutrons	0,20 mrem/h
- Radiations ionisantes et électromagnétiques	0,66 mrem/h
Total	0,86 mrem/h

En aucun cas on n'a observé une activité solaire anormale.

Si en cours d'exploitation normale le cas se présentait, l'altitude de vol de l'avion serait modifiée selon des critères qui sont actuellement étudiés par la Commission Médicale Franco-Britannique.

En fait, ce cas devrait se présenter assez rarement. De 1966 à 1968, huit évènements seulement auraient été enregistrés à l'altitude de croisière.

Pendant le cycle solaire le plus actif jamais observé entre 1954 et 1964, On trouve 38 évènements détectables sous forme d'irradiation à l'altitude de Concorde. Pour le cycle actuel, à peu près moitié moins actif, on arrivera sans doute à une vingtaine d'évènements, probablement tous de faible intensité. En fait, dans le cycle précédent, dix évènements seulement auraient provoqué une irradiation à un débit de dose supérieur à 1 millirem par heure. Pour le cycle actuel, probablement aucun n'atteindra cette valeur d'ici à 1974 ou 1975. Qu'en sera-t-il ensuite ? On a peu d'éléments pour effectuer une prévision : l'accélération de particules à des énergies aussi élevées et le fait que la terre se trouve sur leur trajectoire forment des conditions assez exceptionnelles observées un nombre de fois trop restreint pour qu'une statistique valable puisse être utilisée. On dispose cependant de deux indications :

1 - Pendant un cycle solaire, le nombre et l'énergie de ces évènements semblent en relation avec l'activité maximale atteinte au cours de ce cycle.

2 - On possède des indications positives qui montrent que les prochains cycles solaires vont encore, dans les cinquante années à venir, décroître en intensité.

Conclusions

Les doses reçues à l'altitude de croisière du T.S.S. Concorde sont faibles; nous n'avons jamais détecté d'ion lourd.

Le problème des éruptions solaires a retenu notre attention. Leur fréquence est relativement faible ; on en aurait détecté 8 au maximum de 1966 à 1968 à l'altitude considérée. Les appareils d'alarme placés à bord des prototypes n'en ont jamais décelé pendant les essais.

Note

Ces travaux de dosimétrie ont été réalisés sous les auspices de la Commission Médicale du Transport Supersonique du Ministère des Transports Publics, présidée par Monsieur le Médecin Général Inspecteur RABOUTET et de la Sous-Commission Médicale Française du Groupe Aéromédical CONCORDE.

Les dispositifs dosimétriques ont été installés dans l'avion avec les conseils du Commandant TURCAT et de Messieurs JOATTON et DESTARAC de la S.N.I.A.S.

Figure 1

	Nbre d'heures de vol > 12000 m	Part. chargées mrad	Neutrons mrad
Janvier 1972	7h 38	2,4	0,2
Février "	8h 31	1,1	0,2
Mars "	0h 45	0,1	0,1
Avril "	0h 22	0,3	0,1
Mai "	0h 22	0,3	0,1

Résultat des doses absorbées mesurées à l'aide d'émulsions nucléaires de I000 μ - Poste de pilotage

Figure 2

Mois	Heures de vol au-dessus de 12 000 m	Doses reçues pendant les vols (millirad)		
		Avant	Milieu	Arrière
Janvier 1972	7h 38	3	3	3
Février "	8h 31	3	3	3
Avril "	0h 22	2	2	2
Mai "	3h 38	2	2	1,5
Octobre "		0,8	0,8	0,8
Novembre "		2	2	2

Dose absorbée pendant la durée des vols mesurée à l'aide de dosimètres radiothermoluminescents

(L'irradiation reçue en dehors des vols a été retranchée)

Figure 3

Intervalle de TLE keV//m	Densité de traces - traces cm ⁻²	Dose absorbée superficielle à une fluence unitaire	Dose absorbée superficielle	Contribution relative à la dose
TLE ≤ 0,5	3950	1,6 10 ⁻⁷ rad	0,63 10 ⁻³ rad	73 p.cent
0,5 < TLE ≤ 1	450	3,1 10 ⁻⁷ rad	0,14 10 ⁻³ rad	16 p.cent
1 < TLE ≤ 2,6	80	4,3 10 ⁻⁷ rad	0,03 10 ⁻³ rad	4 p.cent
2,6 < TLE ≤ 6,2	6	10 10 ⁻⁷ rad	0,06 10 ⁻³ rad	7 p.cent
6,2 < TLE ≤ 8,1	0		0	0 p.cent
8,1 < TLE	0		0	0 p.cent
Spectre total			0,86 10 ⁻³ rad	

Résultat de l'empilement d'émulsions nucléaires du mois d'avril 1972 placé à l'arrière de la cellule

Figure 4

Série de Missions	Débit de dose équivalente dû aux neutrons	Débit de dose équivalente dû aux neutrons γ^+ + particules ionisantes mrem/h	Total mrem/h
Atlantique Nord	0,31	0,58	0,89
Amérique du Sud	0,13	0,34	0,47

Débit de dose équivalente moyenne maximum mesuré à l'aide de l'appareil VAMEGA lors de deux séries de missions

Bibliographie

- 1 - G. PORTAL
Premier Colloque Intern. radioprotection auprès des grands accélérateurs
Orsay - Saclay janvier 1972 - Presses Universitaires de France, p.89
- 2 - E.W. FULLER - B. DAY
Internat. Congress on protection against accelerators and space radiation,
Genève April 1971
- 3 - G. PORTAL - F. BERMAN
Proceeding of the second congress of the European Association of Radiology,
Amsterdam juin 1971
- 4 - G. PORTAL
Note CEA n° I586, décembre 1972
- 5 - C.L. WINGATE - E. TOCHILIN - N. GOLDSTEIN
USNRDL-TR-909, septembre 1965
- 6 - C.D. ZERBY - W.E. KINNEY
ORNL-TM-ID38, May 1965
- 7 - J. NEUFELD - W.S. SNYDER - J.E. TURNER - H. WRIGHT
Health Physics 12, 227, 1966