

## RADIATIONS SPATIALES (partie 2 / 2) (suite de l'article du numéro 9 d'octobre 2001)

un rapport du groupe de travail sur les aspects médicaux et sanitaires des vols habités ; membres du groupe : **Christophe Kueny - Laurent Royer - Emilie Paul - Sébastien Fouéré** ; collaborateurs : **Yannick Blin - Eric Varanne**

NOTA : les définitions en dosimétrie et la signification des acronymes figurent dans la première partie (bulletin n° 9, page 4, § 3). Vous pouvez trouver la première partie à la page des membres du site Planète Mars.

### 4.2. Effets tardifs

#### 4.2.1. Considérations générales

Les effets stochastiques sont principalement les cancers, les effets sur le système nerveux central et les transmissions d'anomalies génétiques à la descendance. La difficulté de quantification des effets sur le vivant est responsable de la marge d'erreur. En ce qui concerne le système nerveux central (SNC), il faudra définir la nature des dommages induits par les radiations.

#### 4.2.2. Cancers, incertitudes quant à leur induction

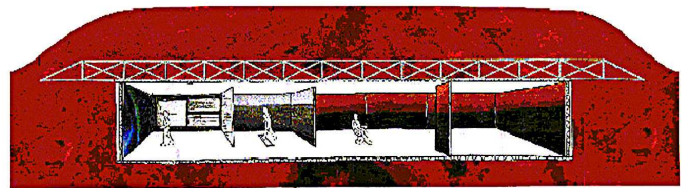
Le suivi de différentes populations irradiées (Hiroshima, Nagasaki, Tchernobyl, accidents industriels, médecine nucléaire et radiothérapie) montre la relation entre radiations et cancer. Cependant, le mode d'irradiation est sensiblement différent de celui survenant dans l'espace. Le temps d'exposition pour délivrer la dose totale est très différent, et certains auteurs introduisent un facteur correcteur d'efficacité du taux de dose, calculé sur des modèles expérimentaux de carcinogenèse radio-induite [15].

Ces extrapolations produisent un tiers de la marge d'erreur :

Bombardements atomiques	Rayons cosmiques galactiques
Flux massif bref	Flux faible « constant »
Rayons X et $\gamma$ , neutrons	Protons, alpha et HZE
TLE bas	TLE élevé
Population japonaise en 1945	Population européenne actuelle

Le facteur de pondération  $W_R$  a été introduit pour ces raisons. Le Comité International de Protection Radiobiologique en a fixé la valeur pour différentes particules sur la base de nombreuses études :

Type et énergie de radiation	$W_R$
Photons, toutes énergies	1
Électrons, muons, toutes énergies	1
Neutrons $E < 10$ keV	5
Neutrons $10 \text{ keV} < E < 100 \text{ keV}$	10
Neutrons $100 \text{ keV} < E < 2 \text{ MeV}$	20
Neutrons $2 \text{ MeV} < E < 20 \text{ MeV}$	10
Neutrons $E > 20 \text{ MeV}$	5
Protons, autres que secondaires	5
Particules alpha, HZE	20



sur Mars le sol offrira une protection contre les radiations (doc. P. Brulhet)

Pour réduire la marge d'erreur sur  $W_R$ , il faut définir l'EBR de chaque particule à différents niveaux d'énergie. La relation dose/réponse d'induction tumorale par des protons n'est pas connue. Les expériences actuellement disponibles sont inadéquates pour appréhender le risque de cancer. L'étude de la survie de populations cellulaires ne permet pas une estimation directe du risque carcinogénétique, mais offre au moins la possibilité de calculer l'EBR en mesurant la mutagenèse et les aberrations chromosomiques. Les études sur ces sujets sont également sporadiques et parfois même contradictoires, avec selon l'exemple des effets moins délétères que prévu. En moyenne, cependant, les auteurs s'accordent sur les similitudes d'effets entre les protons et les rayons X ou  $\gamma$ . Malgré cela, des études sont indispensables pour obtenir la confirmation avec des protons à 0.1 GeV et plus. Au total, des recherches doivent être menées dans au moins deux directions, la détermination du facteur qualité de ces radiations et le mécanisme intime conduisant à l'apparition de la tumeur après une irradiation prolongée. Il faudra pour cela construire de nouveaux modèles expérimentaux de biologie cellulaire.

#### 4.2.3. Effets sur le système nerveux central

Lors du minimum solaire, chaque cellule du corps voit son noyau traversé par un proton tous les trois jours, par une particule alpha tous les mois et par une particule HZE tous les ans. Les dégâts induits par les protons et les  $\alpha$  sont probablement réparables soit par des réparations cellulaires, soit par division cellulaire pour les cellules capables de se diviser. Axones et dendrites sont très radiorésistants. Les neurones ne se divisent qu'exceptionnellement, les dégâts génétiques ne sont pas forcément apparents. Cependant, une perte de fonctionnalité de ces neurones est possible et durable dans ce cas.

Les particules HZE ont une place particulière en raison de leur trace d'ionisation longue avec un cône de dissipation énergétique important sous forme de particules secondaires. Elles créent des microlésions en affectant plusieurs neurones contigus. Même si macroscopiquement le cerveau semble homogène, son organisation est complexe. Il existe une dichotomie entre la substance blanche, dépourvue de neurones, « autoroute » de communication, et la substance grise, concentration de neurones formée par le cortex et les noyaux gris centraux. Les noyaux ont souvent une fonctionnalité très pointue et sont très interconnectés avec le