



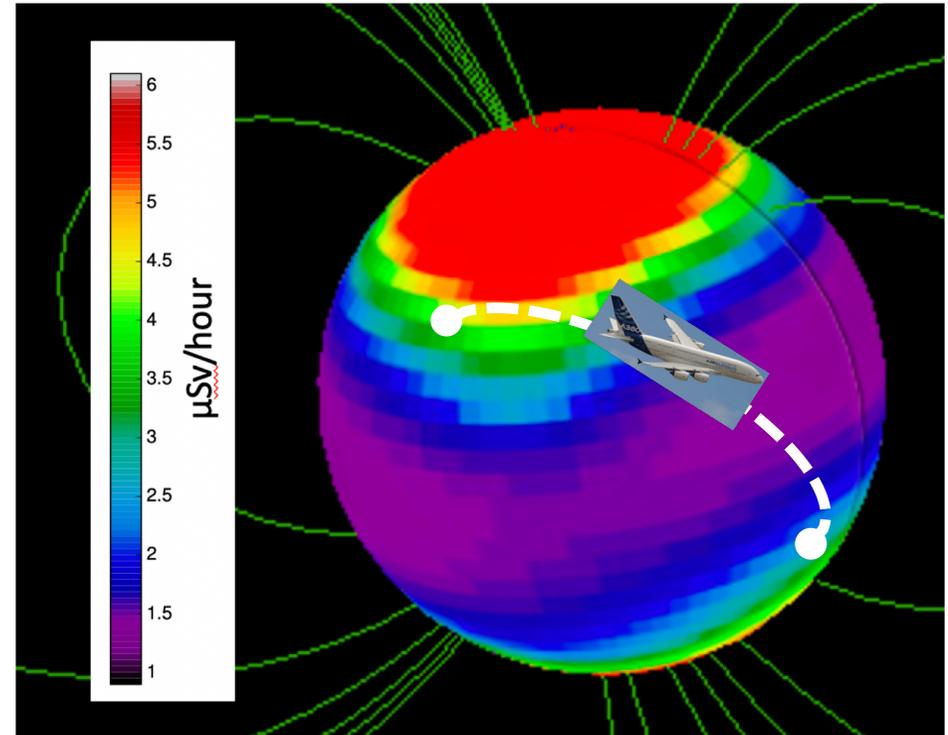
Dosimétrie du personnel navigant

Laurent Desorgher, IRA, CHUV

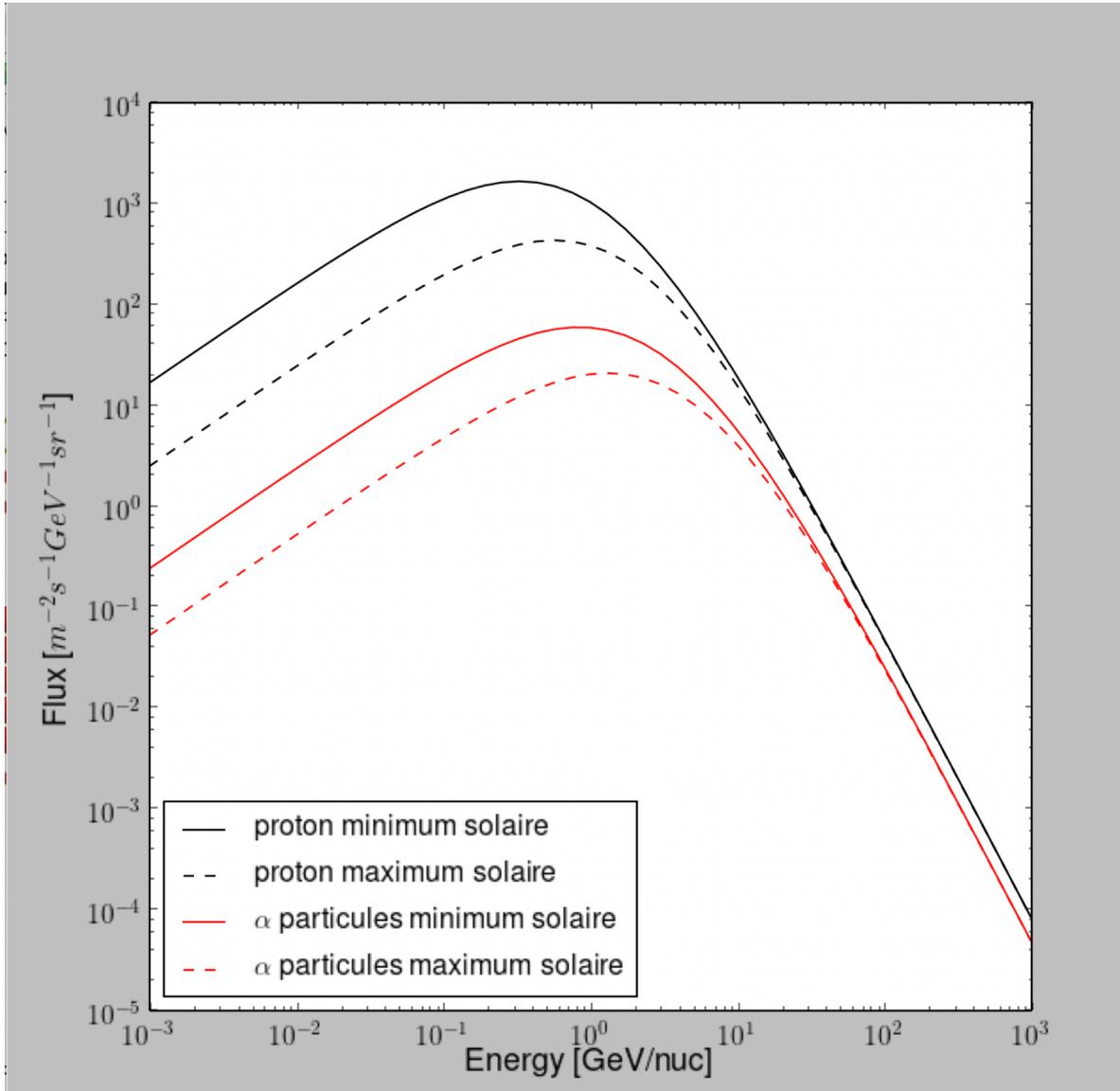
Journée thématique de l'ARRAD
Lausanne 10 Janvier 2020

Dosimétrie du personnel navigant

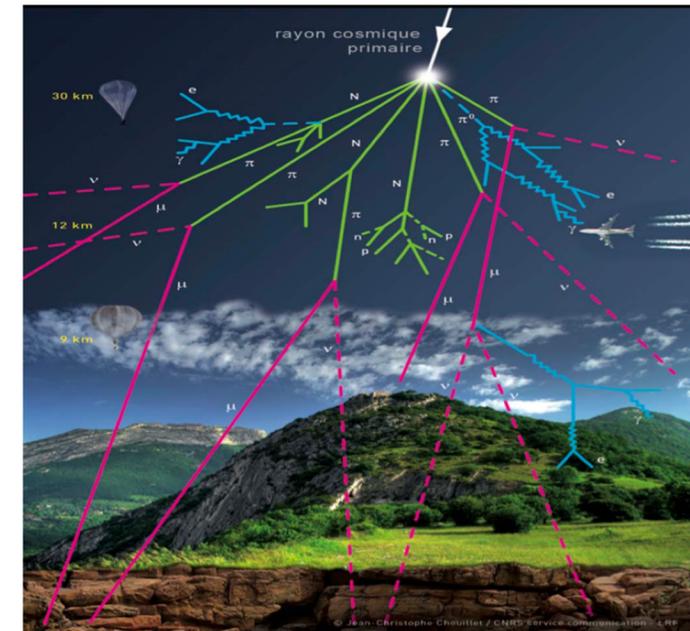
- Rayonnements ionisants rencontrés par le personnel navigant
- Nouvelle législation –ORAP
- Méthode de calcul de dose
- Sélection de résultats de calcul de dose
- Conclusions



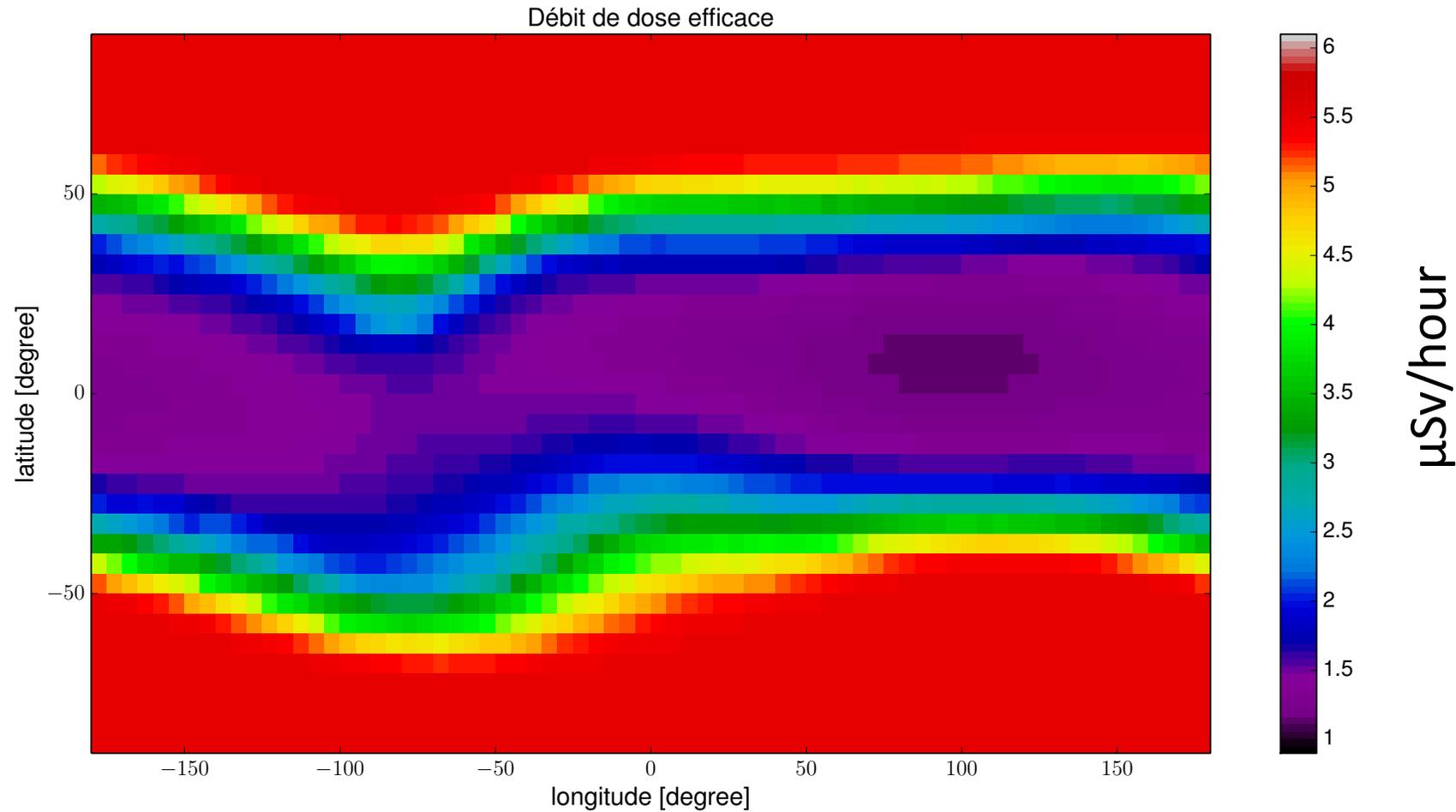
Flux continu de rayons cosmiques



- Origine galactique ($<10^{15}$ eV) et extra galactique (10^{15} - 10^{21} eV)
- Protons 90 %, alpha 9 %, ion lourds 1 %
- Modulé par l'activité magnétique du soleil
- Génère un flux secondaire de particules ionisantes dans l'atmosphère qui contribue majoritairement à la dose dans les avions



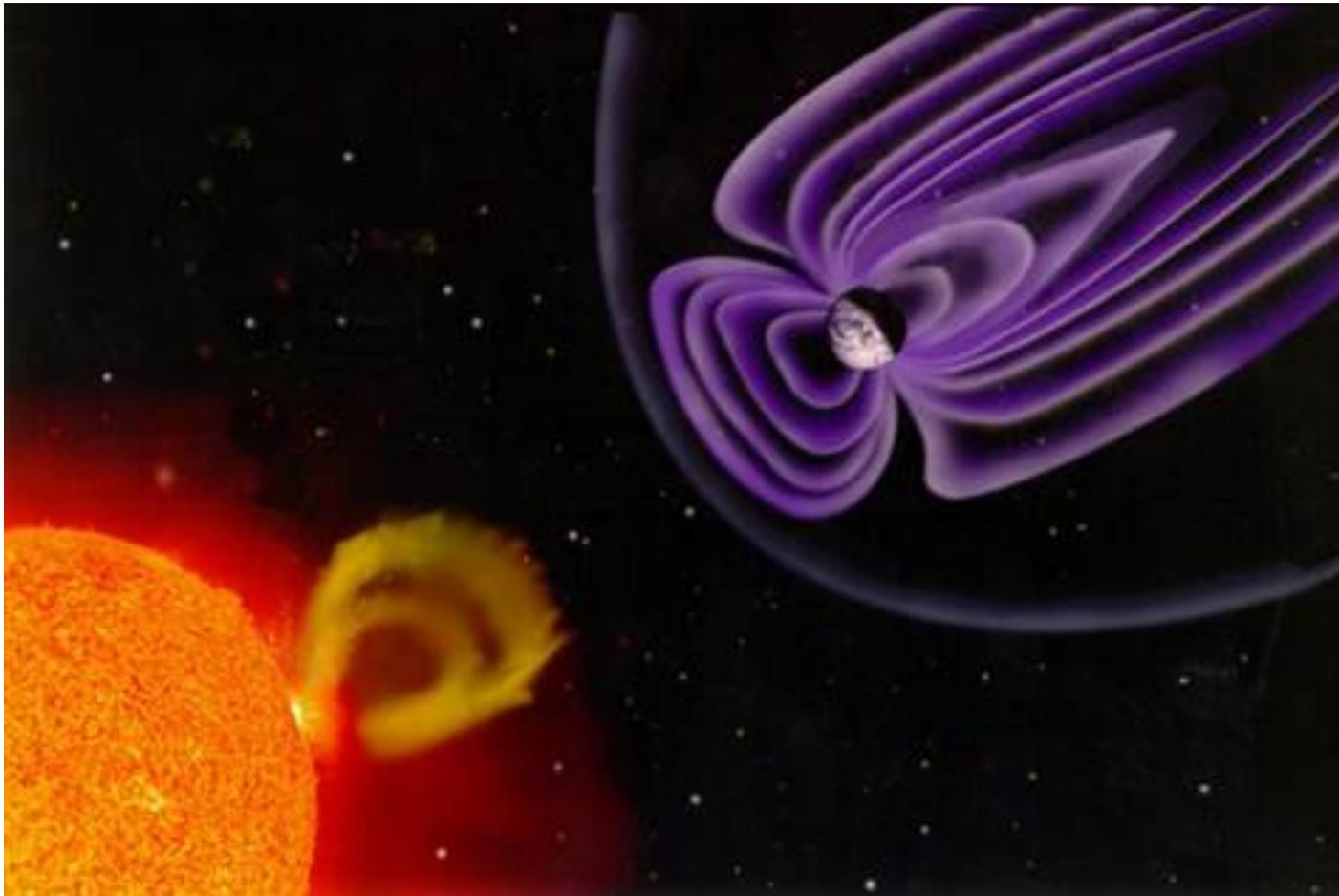
Rayons cosmiques - débit de dose 11 km altitude



Niveau de dose annuelle :

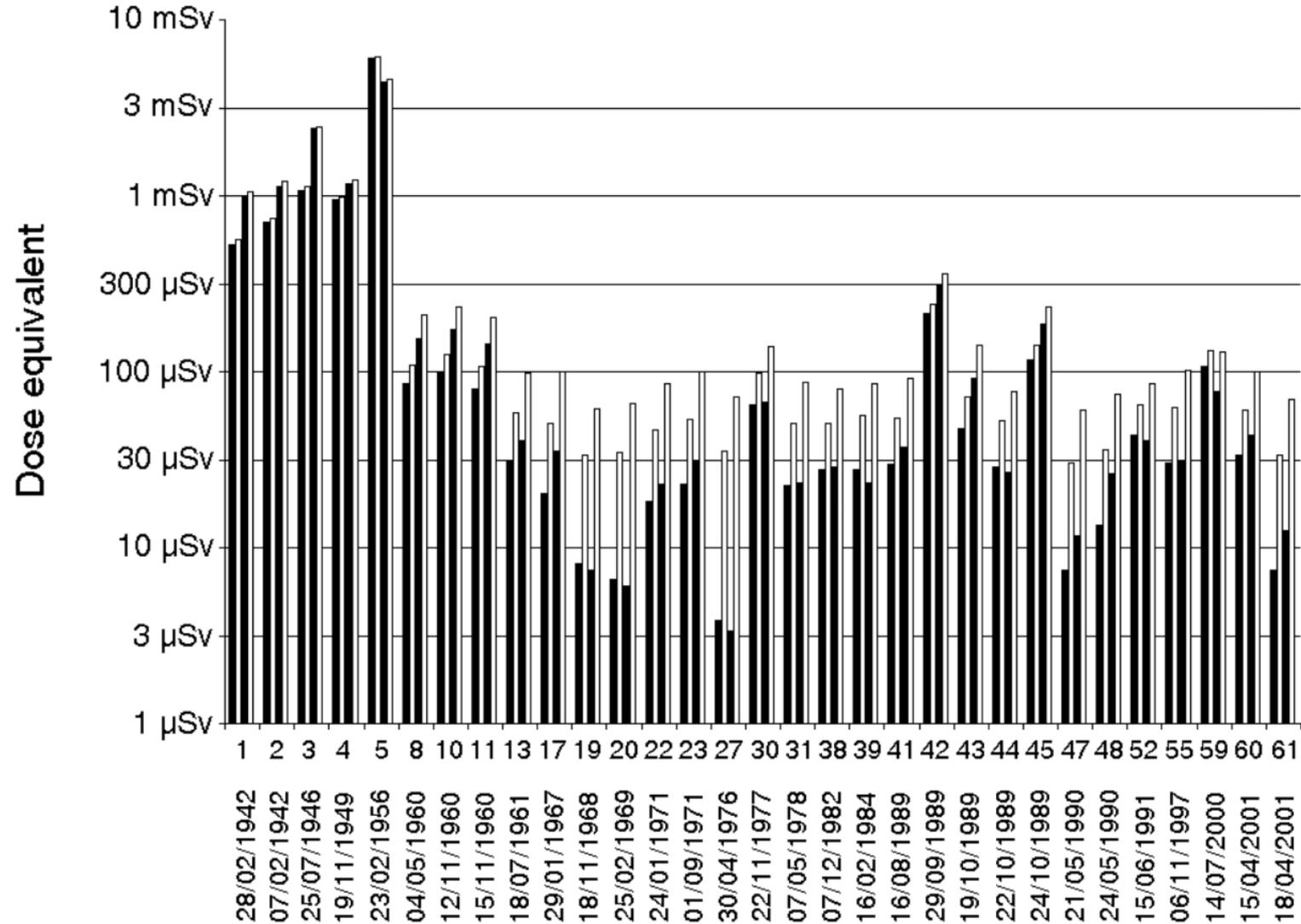
- En Suisse exposition du publique 0.4 mSv
- Personnel navigant 1-7 mSv

Eruptions solaires sporadiques très variables



- Rayons X ,électrons, protons, ions lourds
- «Ground Level Enhancement» (GLE): événement rare, avec énergie de protons et ions jusqu'à plusieurs GeV/nuc, qui engendre une gerbe de particules dans l'atmosphère qui atteint le sol.
- Dans des cas très rares la dose lors de GLEs peut dépasser le mSv/vol à haute latitude.

Estimation de la dose reçue durant les GLE les plus intenses par le code Sigle



- Vols:
 - concorde Paris-NewYork
 - subsonique Paris-San Francisco
- Plus part des événements avec dose entre 0.01-01 mSv
- Quelques événements avec dose dépassant le mSv

Nouvelle législation Suisse – articles de l'OrAP concernant le personnel Navigant

Base des articles de l'ORaP sur le personnel navigant:

- Directive EURATOM
- Recommandations de la CIPR

Personnel navigant considéré comme exposé aux radiations (art 51 -52)

- Dose efficace > 1 mSv/an
- Seulement pour aéronefs volant à des altitudes > 6 km

Jeunes et femmes enceintes (art 53)

- <16 ans pas d'exposition permise
- 16-18 ans maximum 6 mSv/an
- Femme enceinte :
 - dose à l'enfant < 1mSv
 - droit à rester au sol

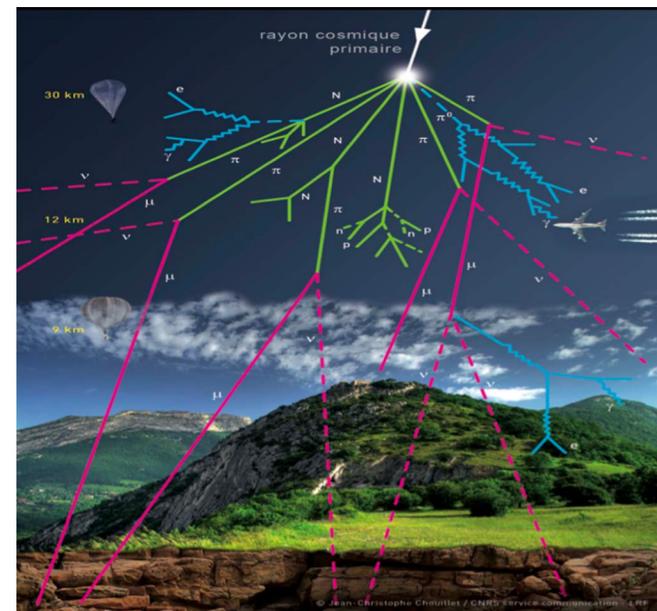
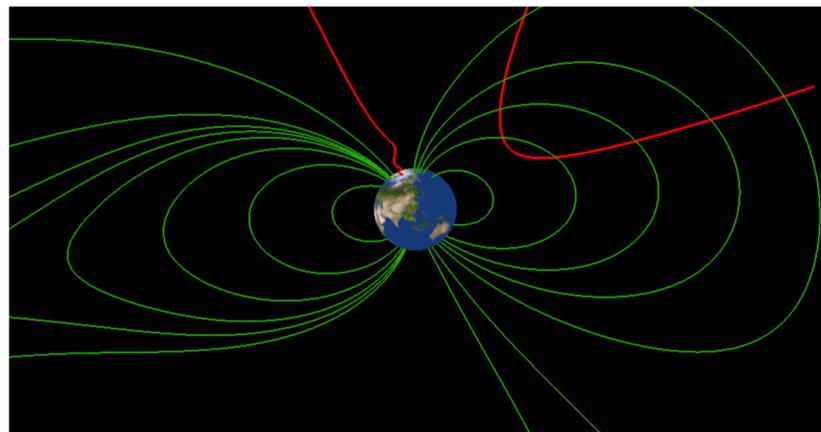
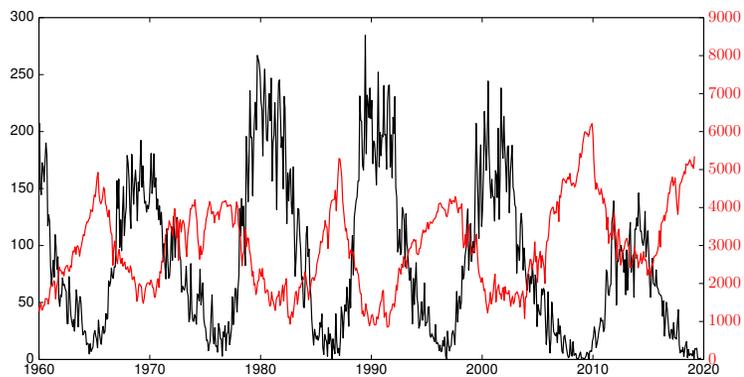
Législation Suisse – articles de l'OrAP concernant le personnel Navigant

Obligation des exploitants des compagnies aériennes (art 51, 64, 65, et 73)

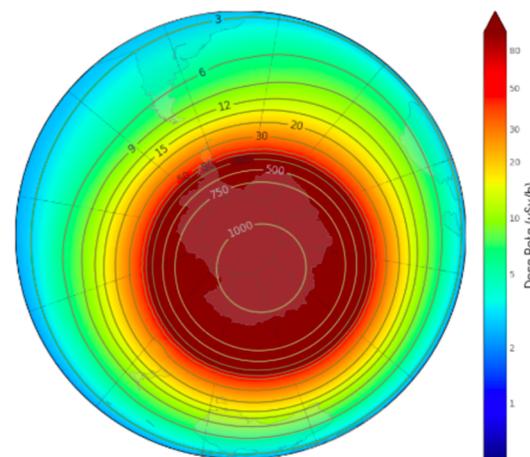
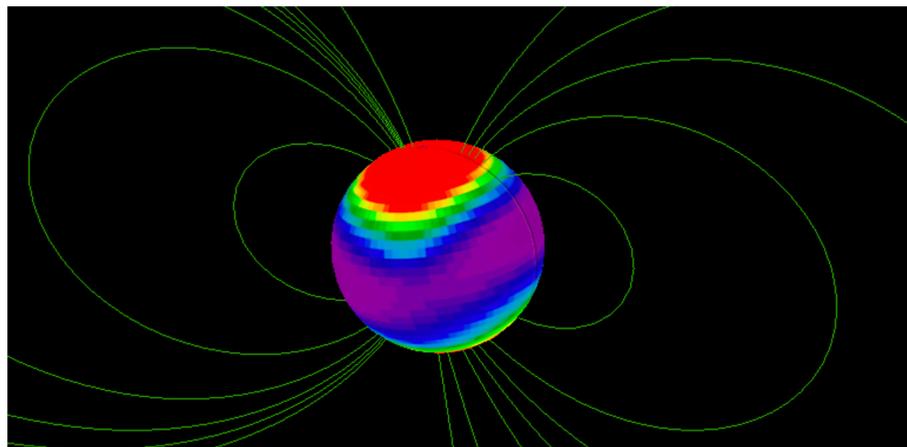
- Désigner le personnel navigant soumis aux radiations ionisantes
- Déterminer par calcul la dose reçue
- Déclaration des doses calculés au registre dosimétrique
- Information de l'OFAC et de la CAN en cas de dépassement de limite de dose

Estimation de la dose par calcul

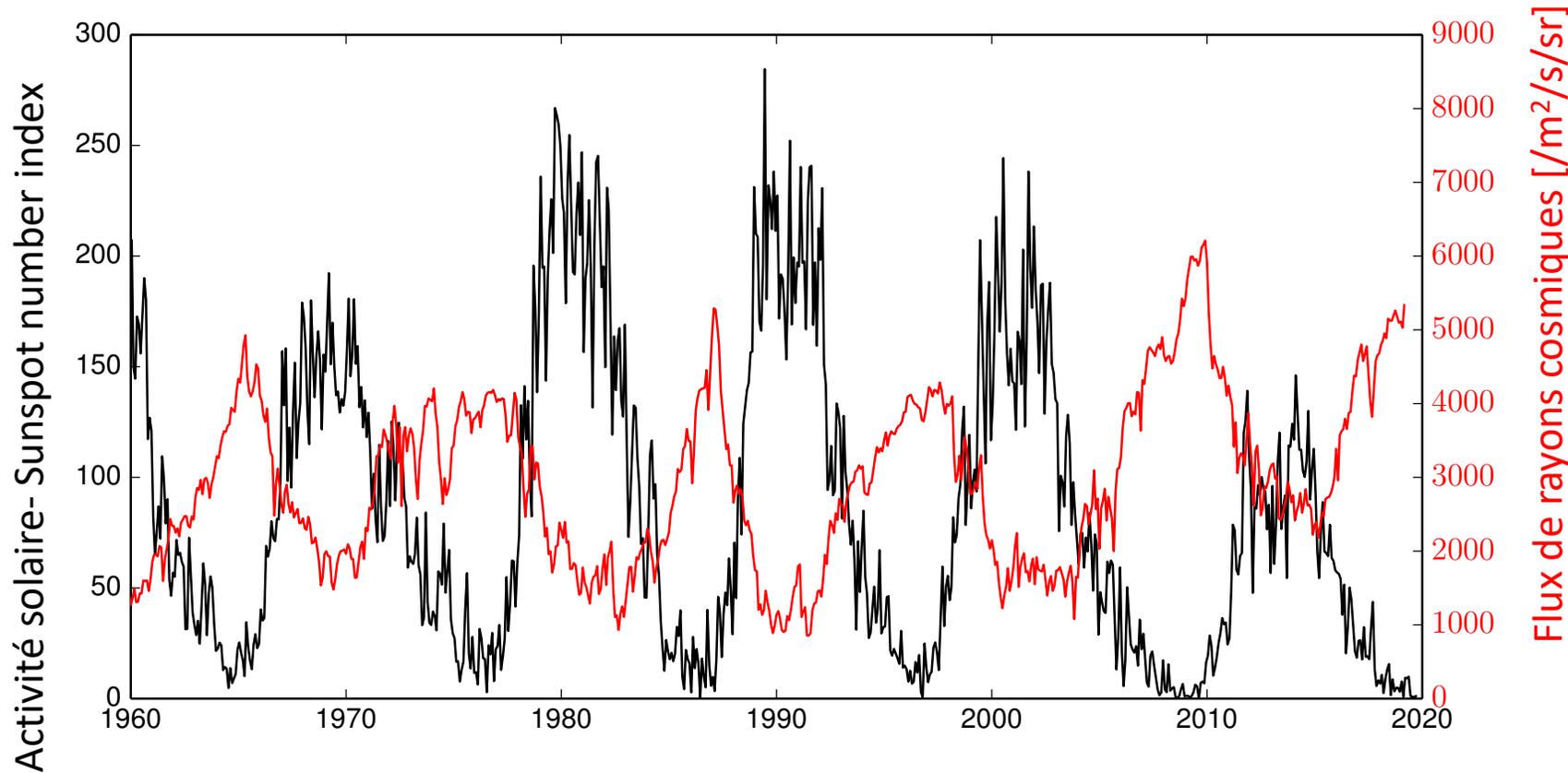
- Différents logiciels agréés par l'OFSP et l'OFAC: CARI, EPCARD, PANDOCA, SIEVERT,...
- Possibilité de faire appel à des prestataires de service



Calcul de la dose pour personnel navigant



Modulation du flux des rayons cosmiques selon le cycle magnétique solaire

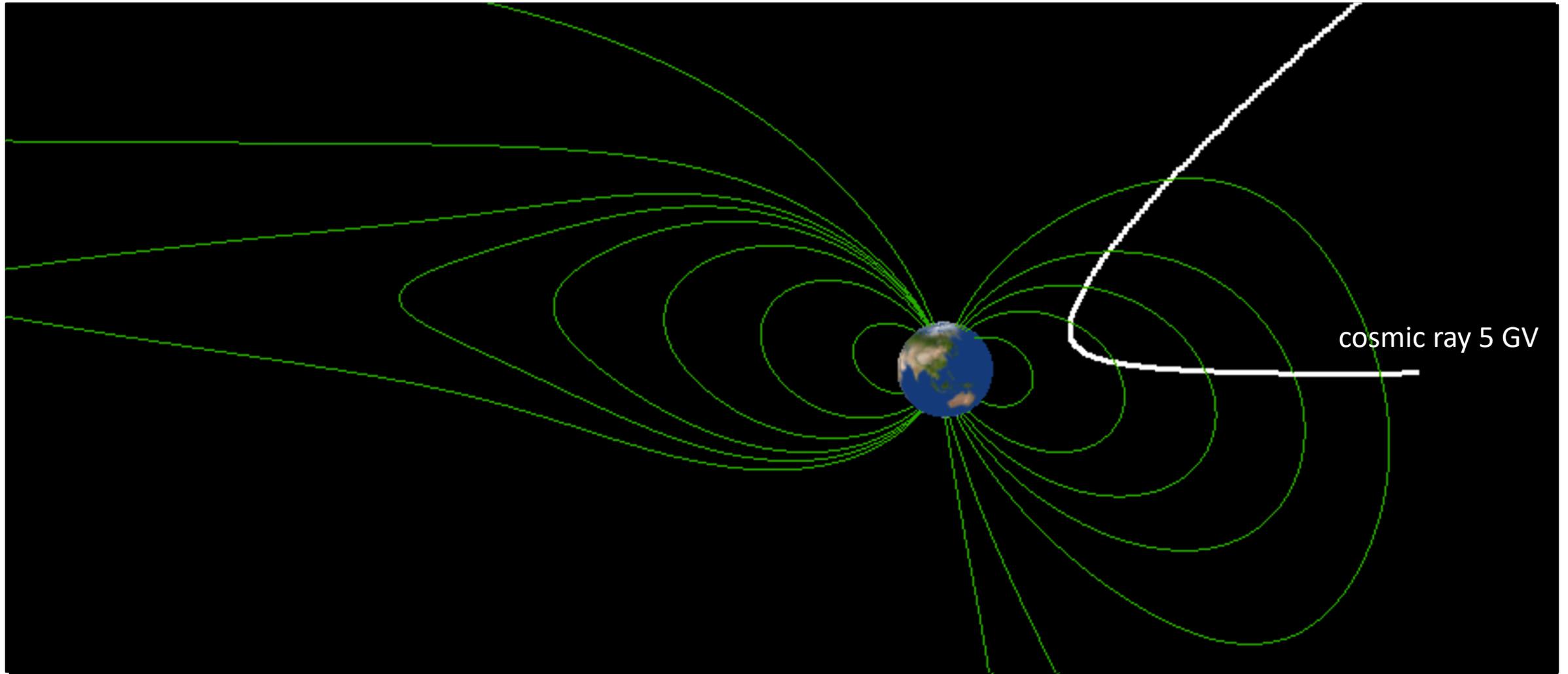


Les rayons cosmiques pénètrent plus difficilement l'héliosphère quand le soleil est plus actif

Modulation du flux de rayon cosmique dans l'espace proche de la terre calculé à partir de mesure de moniteur de neutron sur terre et des données satellite.

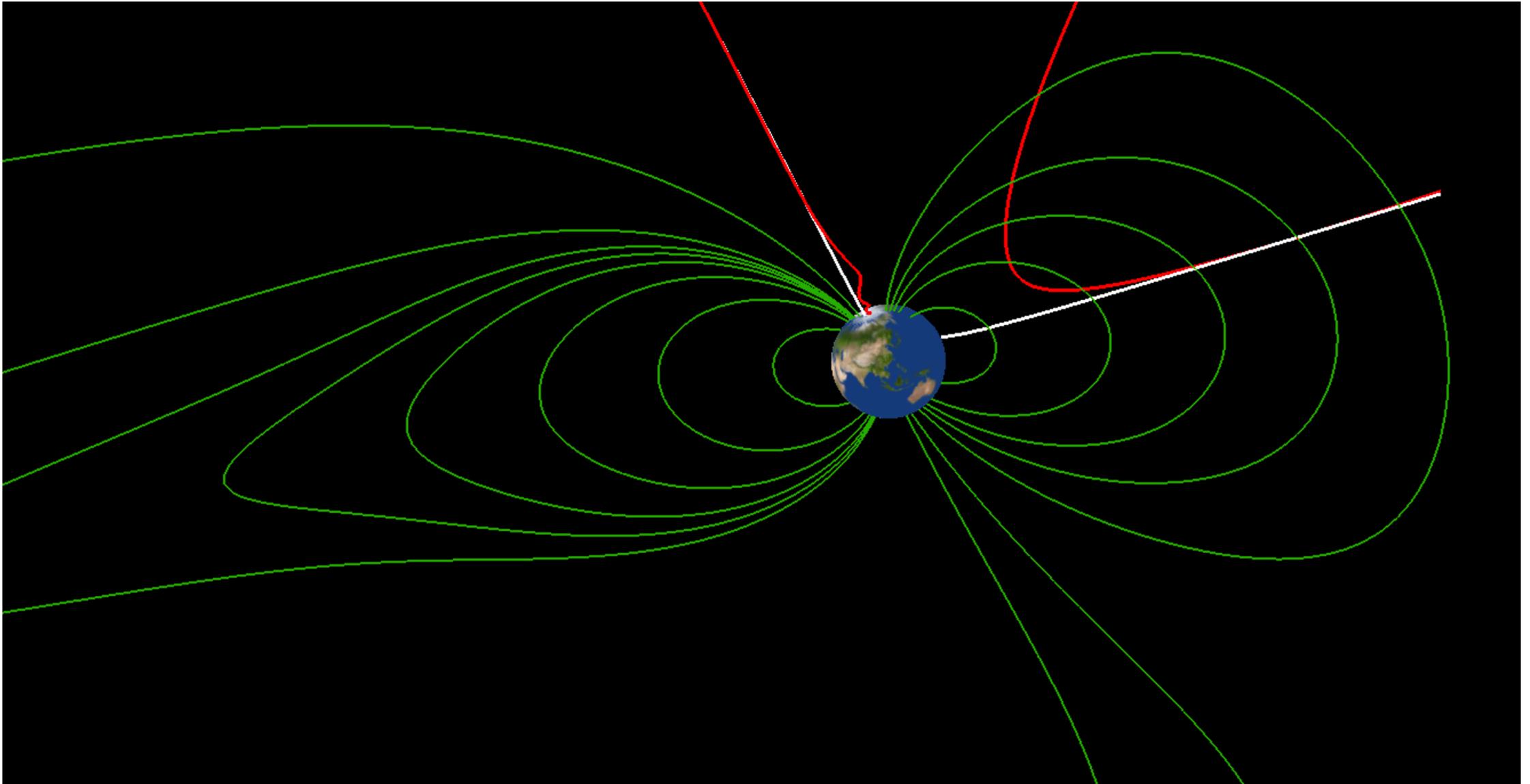


Calcul de la propagation des rayons cosmiques dans la magnétosphère terrestre

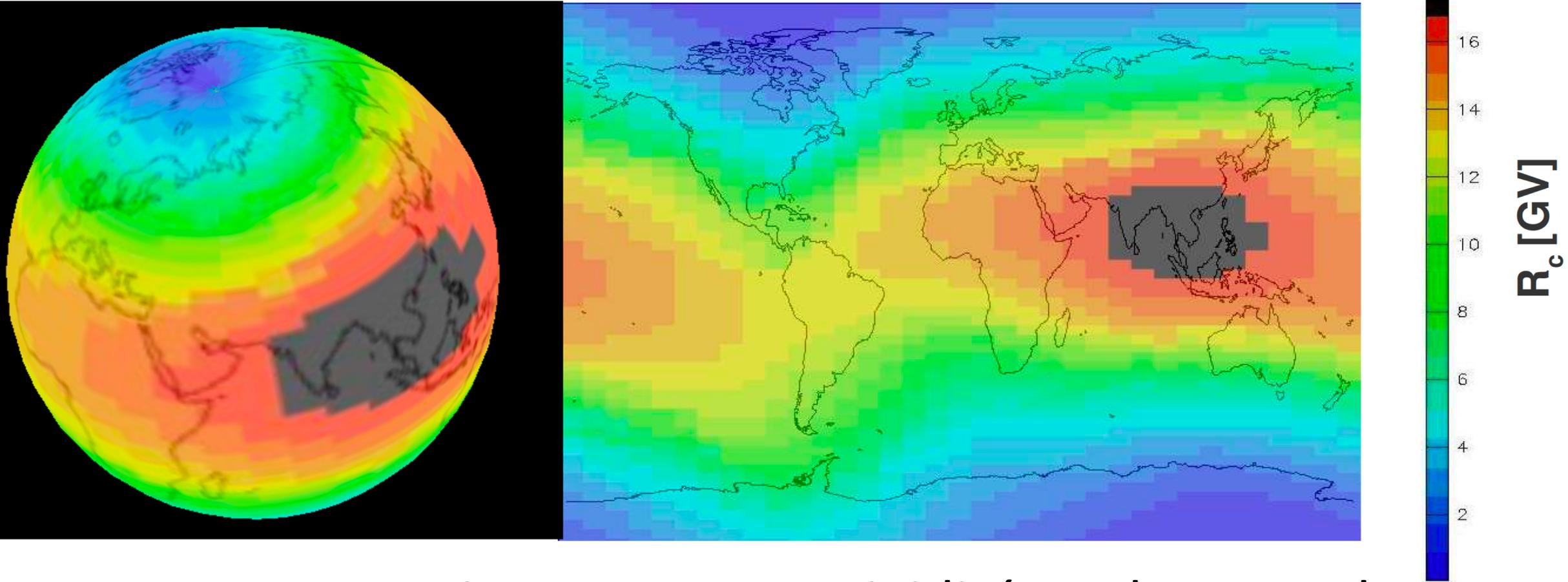


Les trajectoires de particule chargée dans un champ magnétique sont fonction de leur rigidité $R=pc/q$ (unité GV)

Calcul de la propagation des rayons cosmiques dans la magnétosphère terrestre



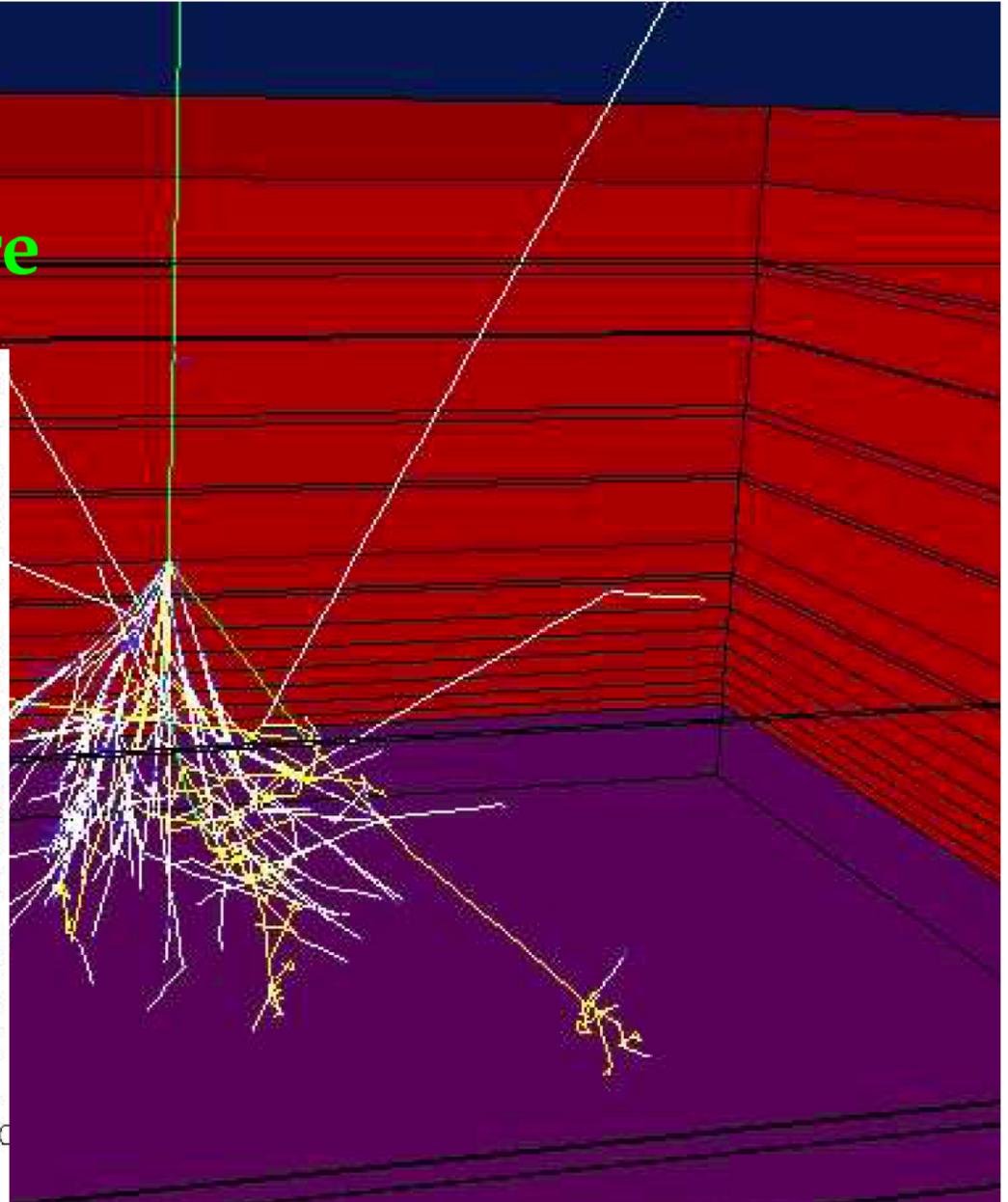
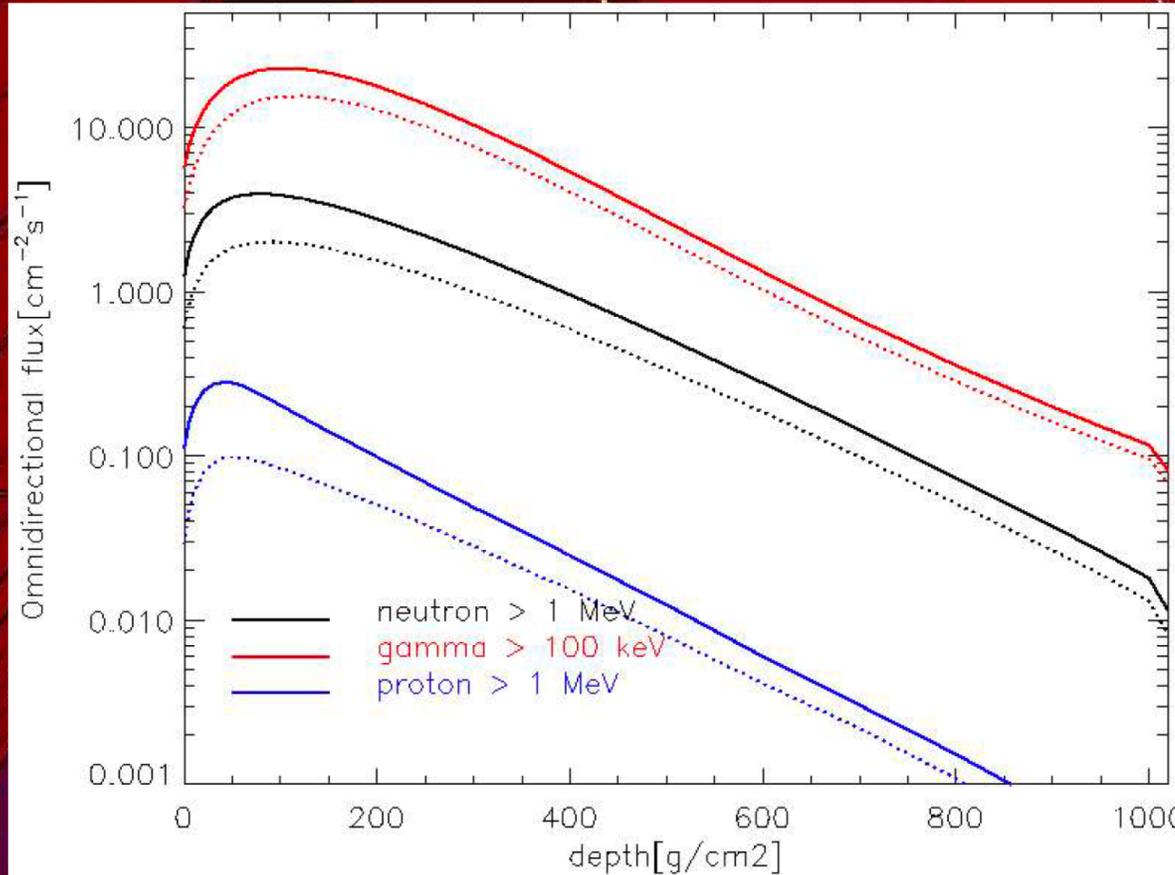
Calcul de la rigidité de coupure des rayons cosmiques au dessus de l'atmosphère



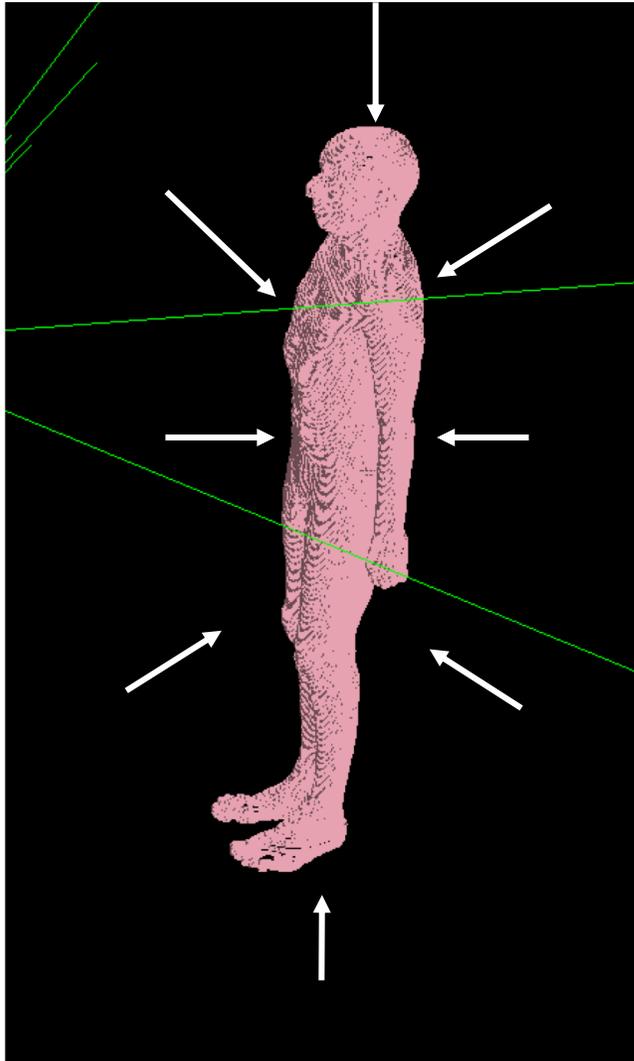
Les rayons cosmiques avec une rigidité en dessous de R_c n'atteignent pas l'atmosphère terrestre

Calcul de l'interaction des rayons cosmiques avec l'atmosphère terrestre

Secondary fluxes in atmosphere



Conversion des flux de particule secondaire dans l'atmosphère en débit de dose



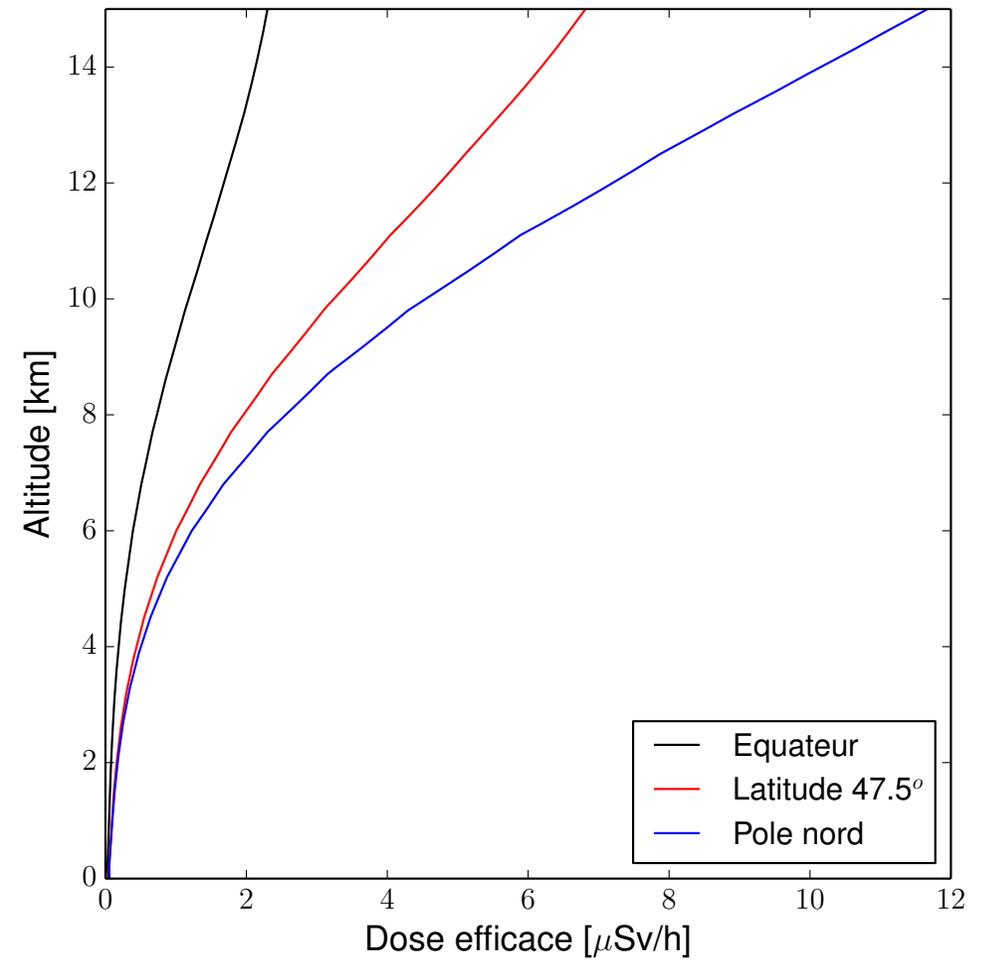
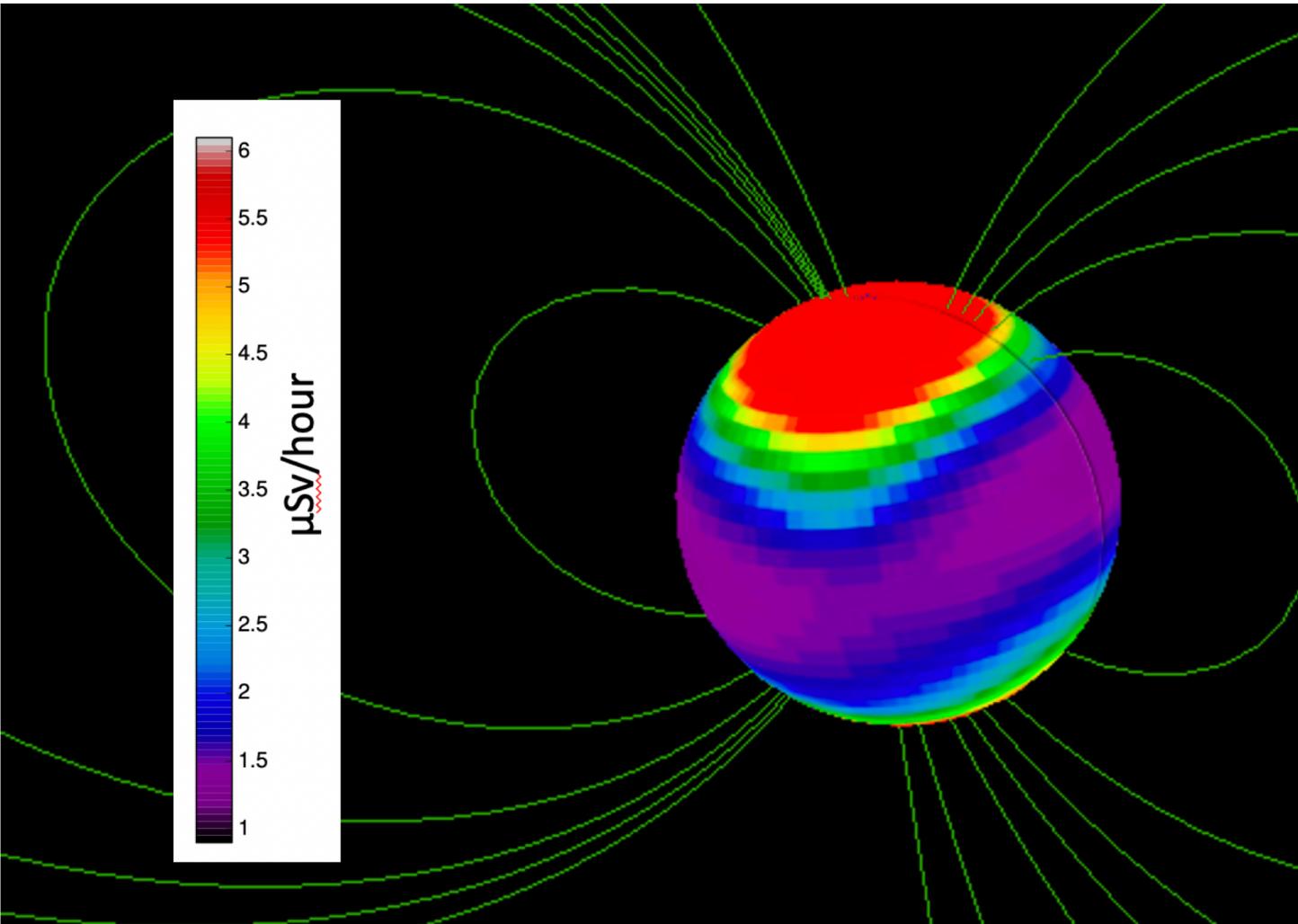
$$\dot{D} = \sum_{part} \int C_{part}(E) f_{part}(E) dE$$

coefficients
de conversion de fluence-dose efficace
de la CIPR

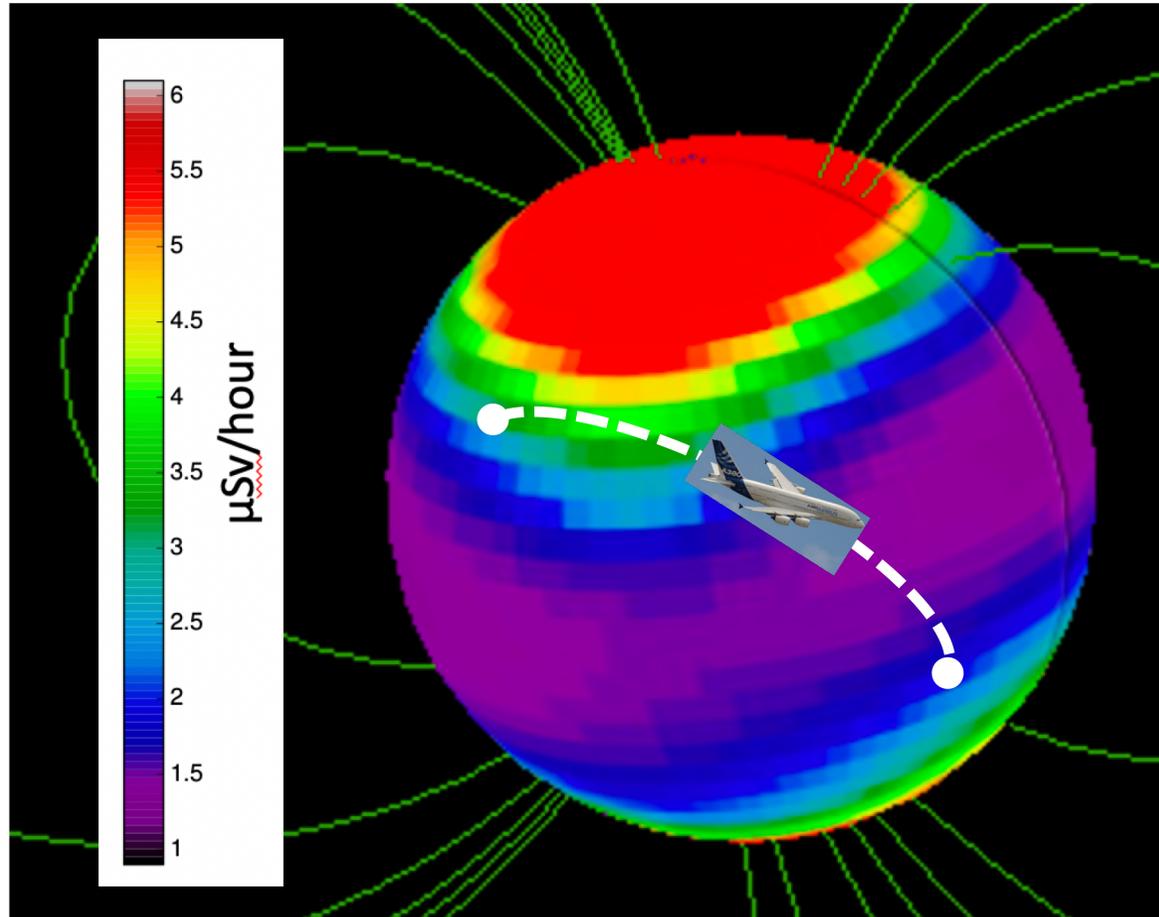
Flux de particule secondaire
dans l'atmosphère calculé par Monte
Carlo : Neutrons, protons, photons,
électrons, pions

La même méthode s'applique pour le calcul d'équivalent de dose ambient

Matrices de débit de dose 3D



Dose par vol obtenue par intégration du débit de dose le long de la trajectoire de l'avion



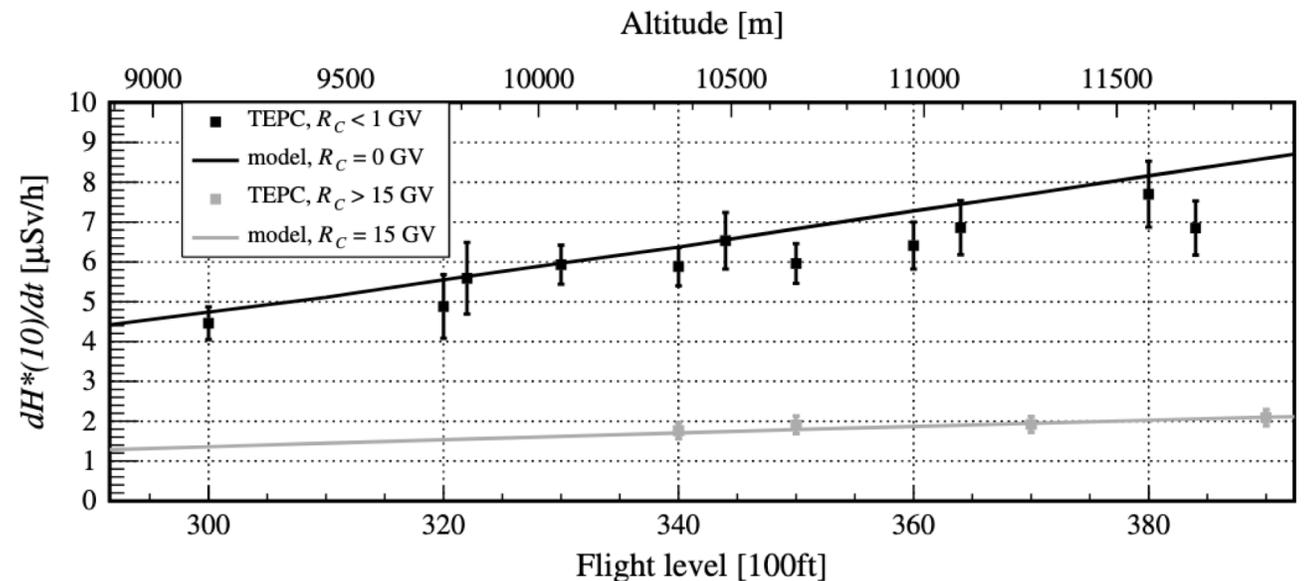
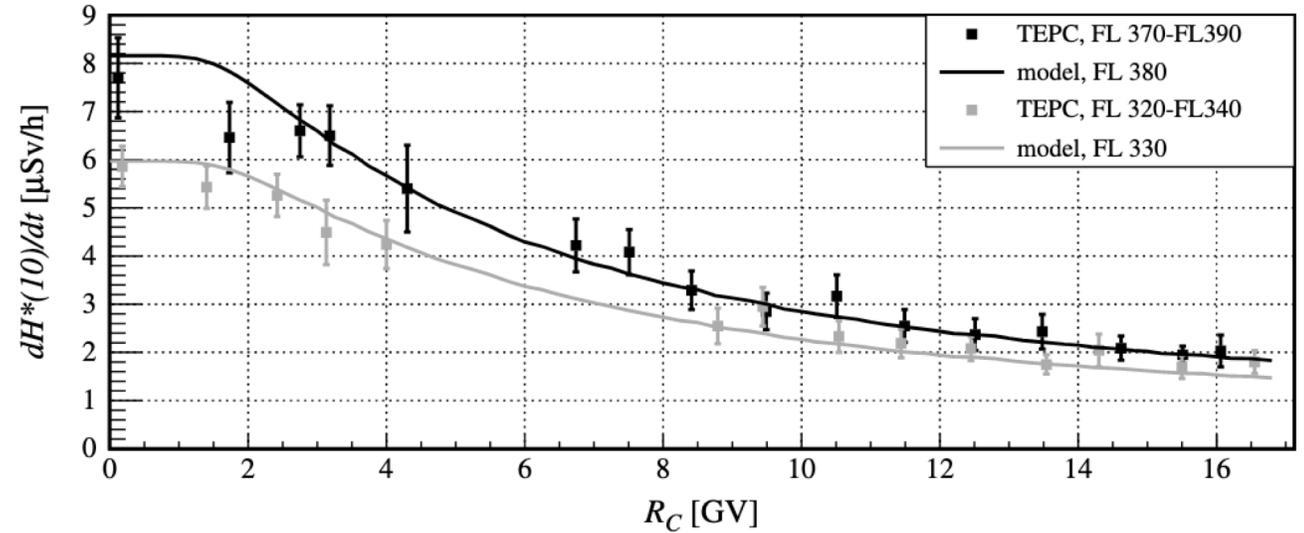
Flight on 15 March 2013	Dose efficace [μSv]
Paris-New York	60
Colombo-Jakarta	9.7
Beijing-Chicago	82

Source ICRP Publication 132 , code Sievert

Exemple de comparaison calcul et mesure de débit d'équivalent de dose ambient

- Validation code PANDOCA utilisé en Allemagne
- Bonne comparaison avec des mesures de détecteur TEPC durant 2 vols

Source Matthiä et al., Space Weather, 2014

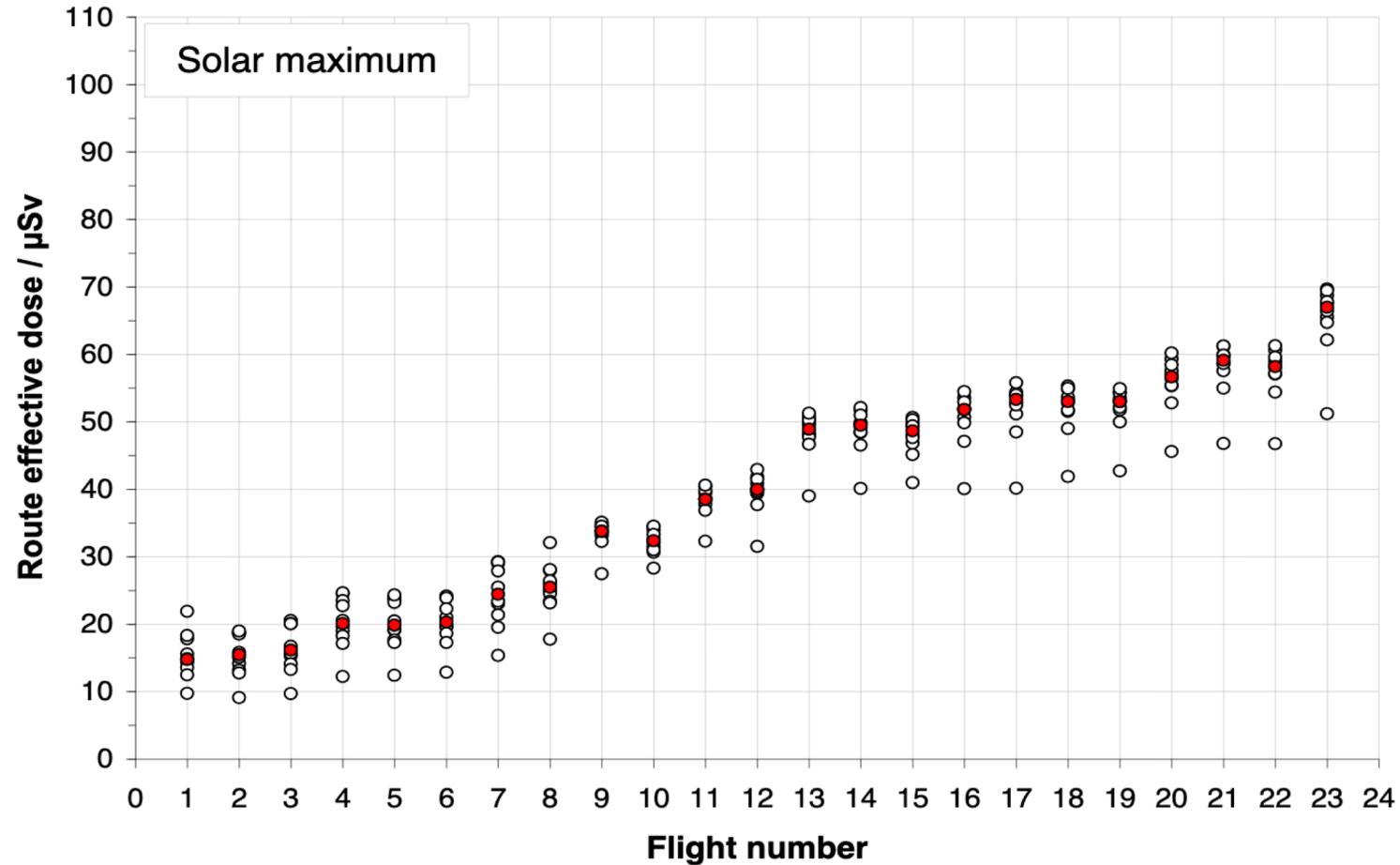
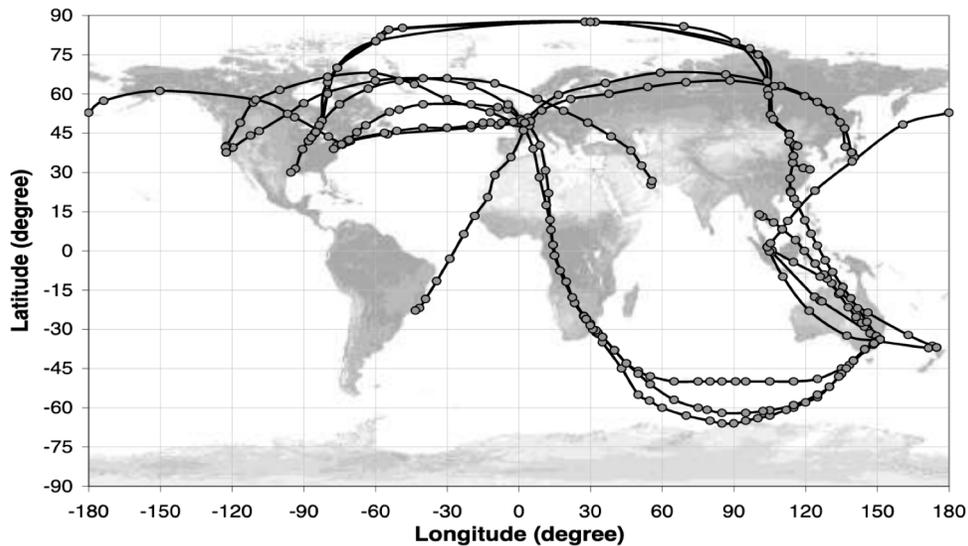


Inter-comparaison EURADOS des codes

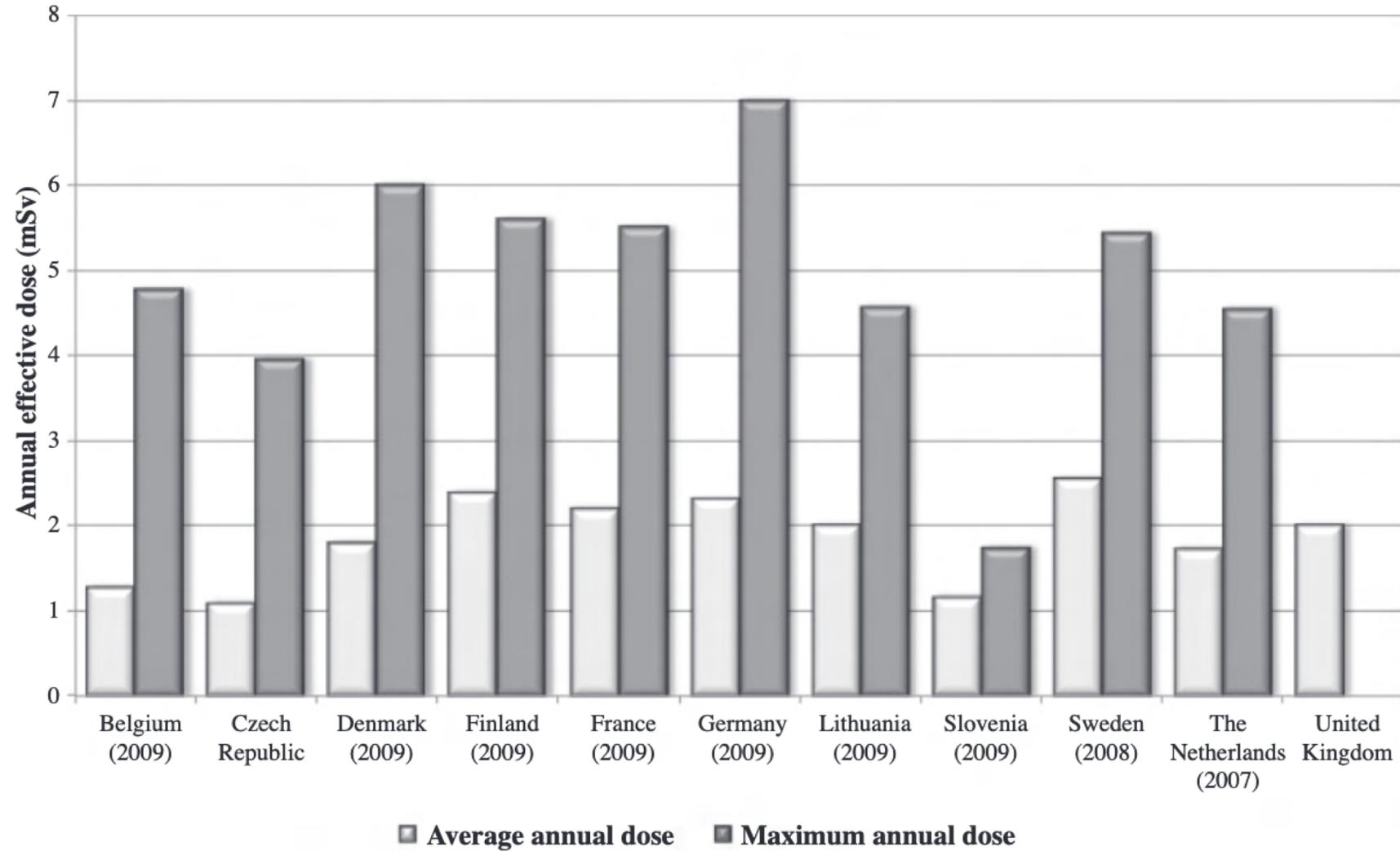
11 codes testés

AVIDOS, CARI, EPCARD.Net
FDOScalc, IASON-FREE, JISCARD-EX
PANDOCA, PLANETOCOSMICS
PCAIRE, QARM, SIEVERT

23 vols différents



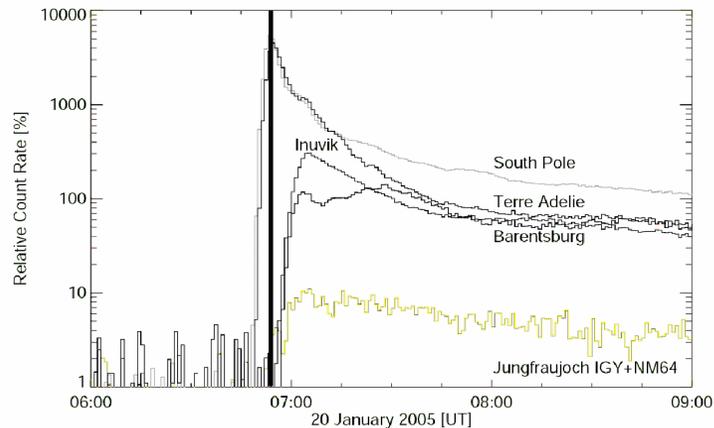
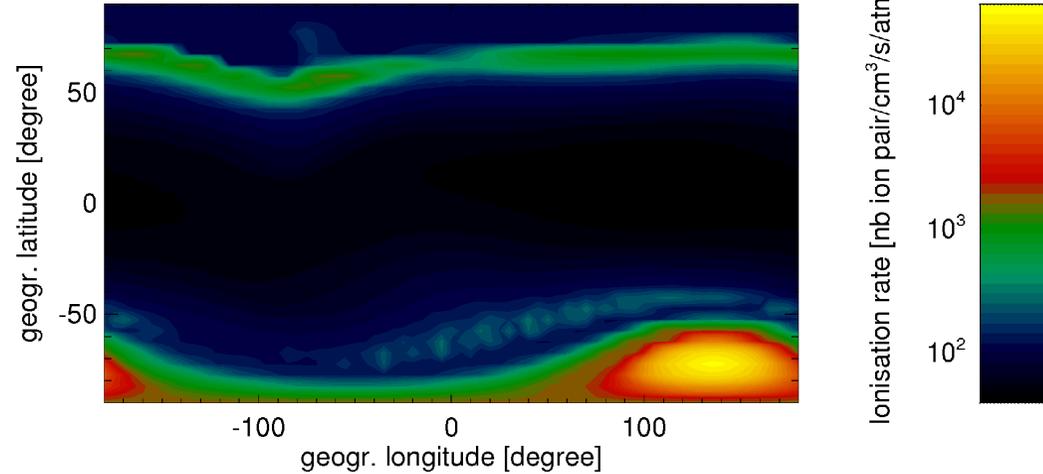
Dose efficace annuelle pour personnel navigant



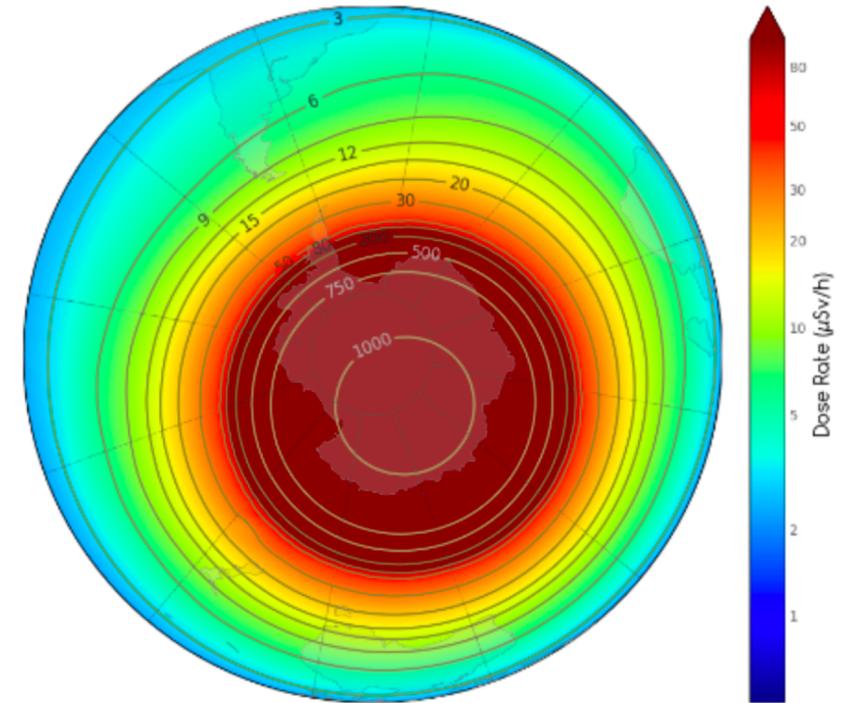
Exemple éruption solaire: GLE du 20 Janvier 2005

Calcul de l'ionisation de l'atmosphère par le code
GEANT4 PLANETOCOSMICS

Atmospheric ionisation at 250 g/cm², 20th January 2005



Calcul de dose par le code Sigle_RT intégré
au système Sievert



Dose estimée pour un vol Paris New-York

- 140 μSv total
- 74 μSv éruption solaire
- 66 μSv rayons cosmiques

Interface Sievert sur la toile

The screenshot shows the Sievert website interface. At the top left is the IRSN logo (Institut de Radioprotection et de Sécurité Nucléaire). The main header features the Sievert logo and navigation buttons for Home, Cosmic radiation, and Calculate the dose received. The central heading is "Calculate the dose received". Below this are two input panels for "DEPARTURE" and "ARRIVAL". Both panels have "Country" (dropdown), "City" (dropdown), "Date" (calendar), and "Time" (dropdown) fields. The "Type of aircraft" is set to "Subsonique". The flight route is "MILAN -> BRUSSELS". The results are: "Dose received during the flight = 0.0037 mSv" and "Flying time = 1:35 (HH:MM)". A disclaimer states: "Subject to local regulation modifications, the 1 daylight savin". The footer shows "Version : 2.4.5".

IRSN
INSTITUT
DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

SIEVERT
PN

Home Cosmic radiation Calculate the dose received

Calculate the dose received

DEPARTURE :

Country : Select a country

City : No country select

Date : 09/01/2020
(local)

Time : 00 00
(local)

ARRIVAL :

Country : Select a country

City : No country select

Date : 09/01/2020
(local)

Time : 00 00
(local)

Type of aircraft: Subsonique

Calculate the cosmic radiation

"Subject to local regulation modifications, the 1 daylight savin

MILAN -> BRUSSELS

Dose received during the flight = 0.0037 mSv

Flying time = 1:35 (HH:MM)

Version : 2.4.5

Conclusions

- La source principale de la dose reçue par le personnel navigant provient des rayons cosmiques.
- En Suisse, la dosimétrie obligatoire du personnel navigant est basée sur le calcul de la dose efficace avec des logiciels validés.
- Le niveau de dose annuelle reçue par le personnel navigant est en moyenne de 1-2 mSv et au maximum de 7 mSv.
- Certains événements solaires très énergétiques de type GLE peuvent induire des doses pour des vols à haute latitude de l'ordre de 0.1-5 mSv. Des analyses au cas par cas sont nécessaires pour ce type d'événement.