

IRSN

INSTITUT
DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

Faire avancer la sûreté nucléaire

La dosimétrie du rayonnement cosmique à bord des avions

Session 9

Rubrique « ... pas seulement »

Jean-François BOTTOLLIER-DEPOIS

Isabelle CLAIRAND

François TROMPIER

SFRP - Journées mesures
19-20 novembre 2013

IRSN

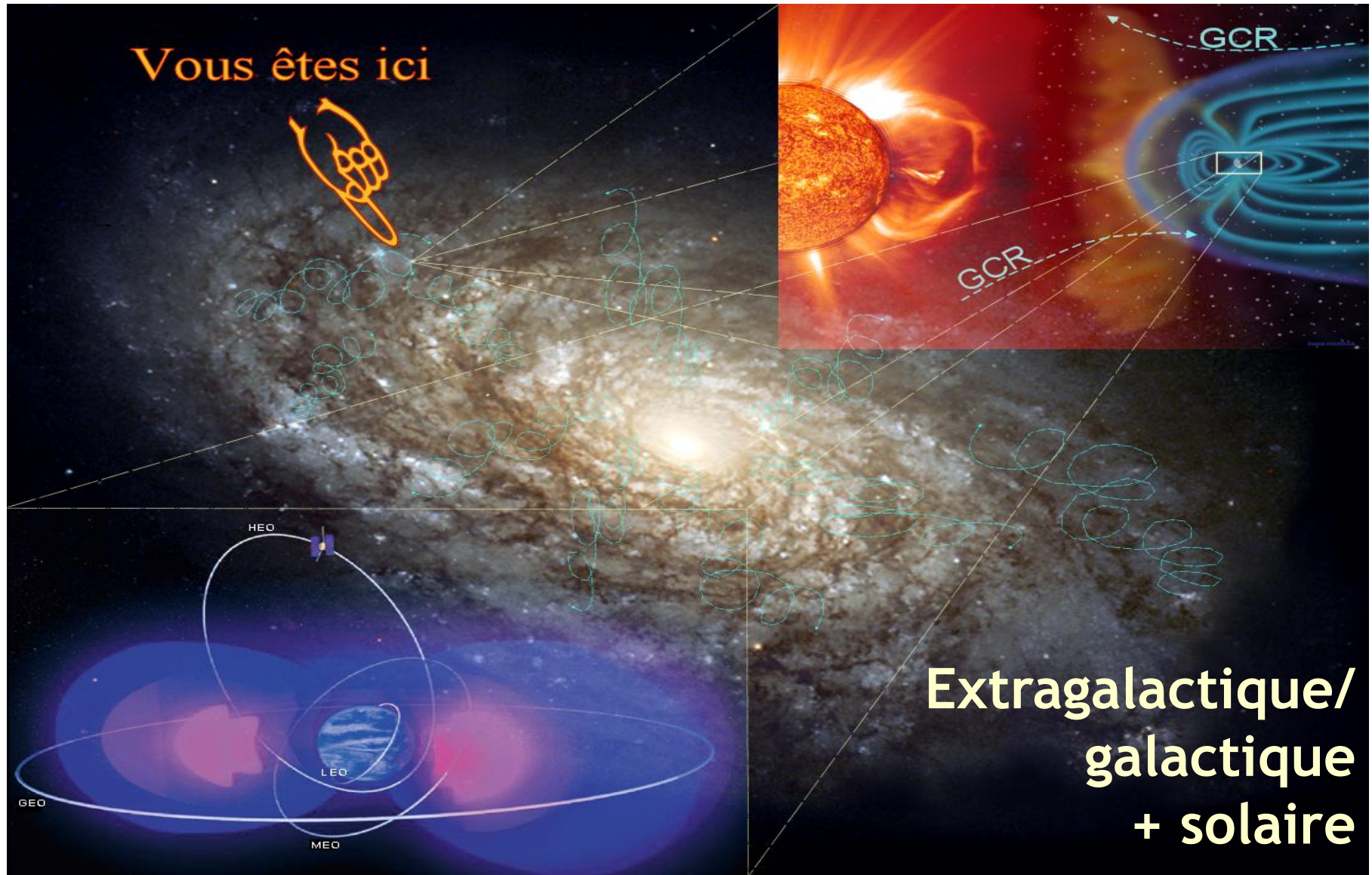
INSTITUT
DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

Faire avancer la sûreté nucléaire

Quelques rappels sur le rayonnement cosmique

SFRP - Journées mesures
19-20 novembre 2013

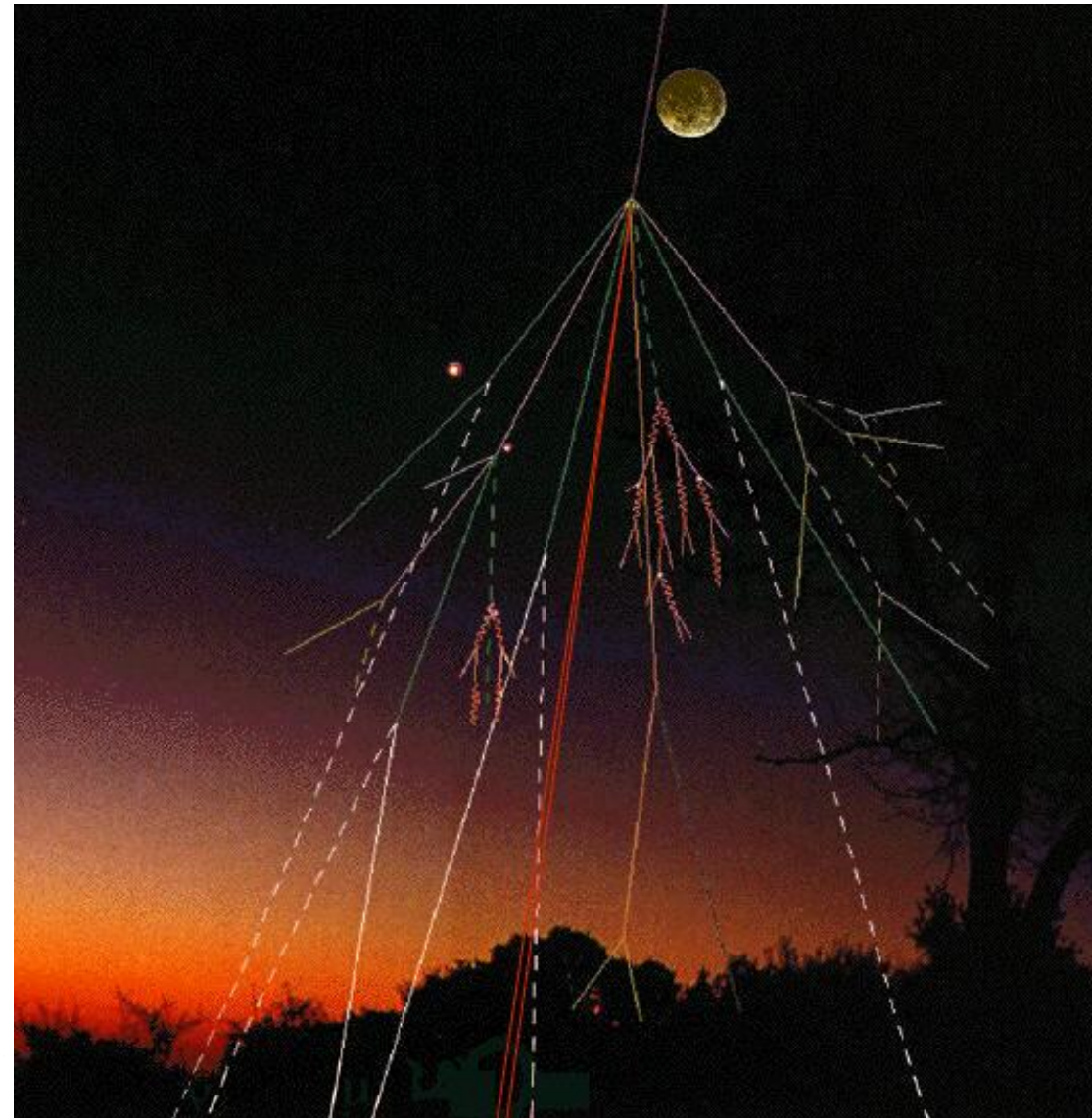
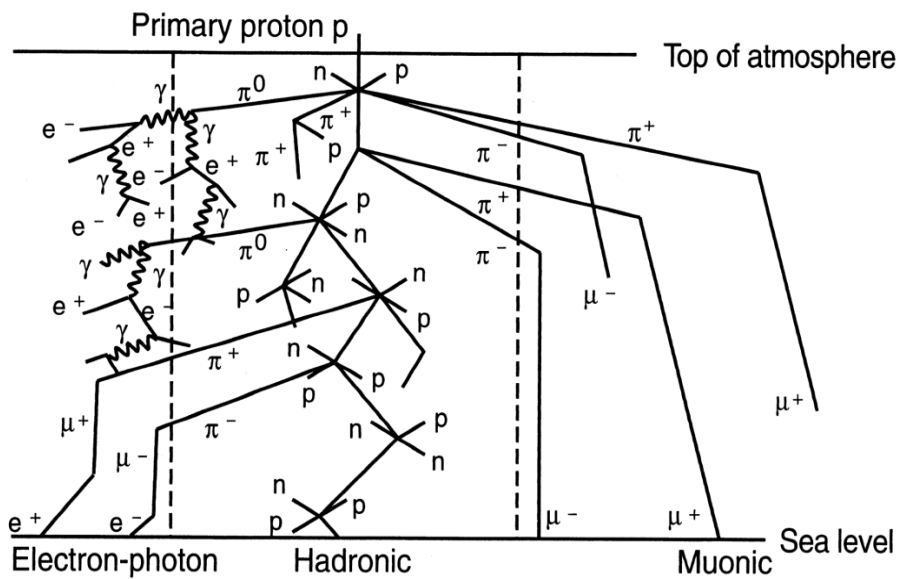
Origine du rayonnement cosmique



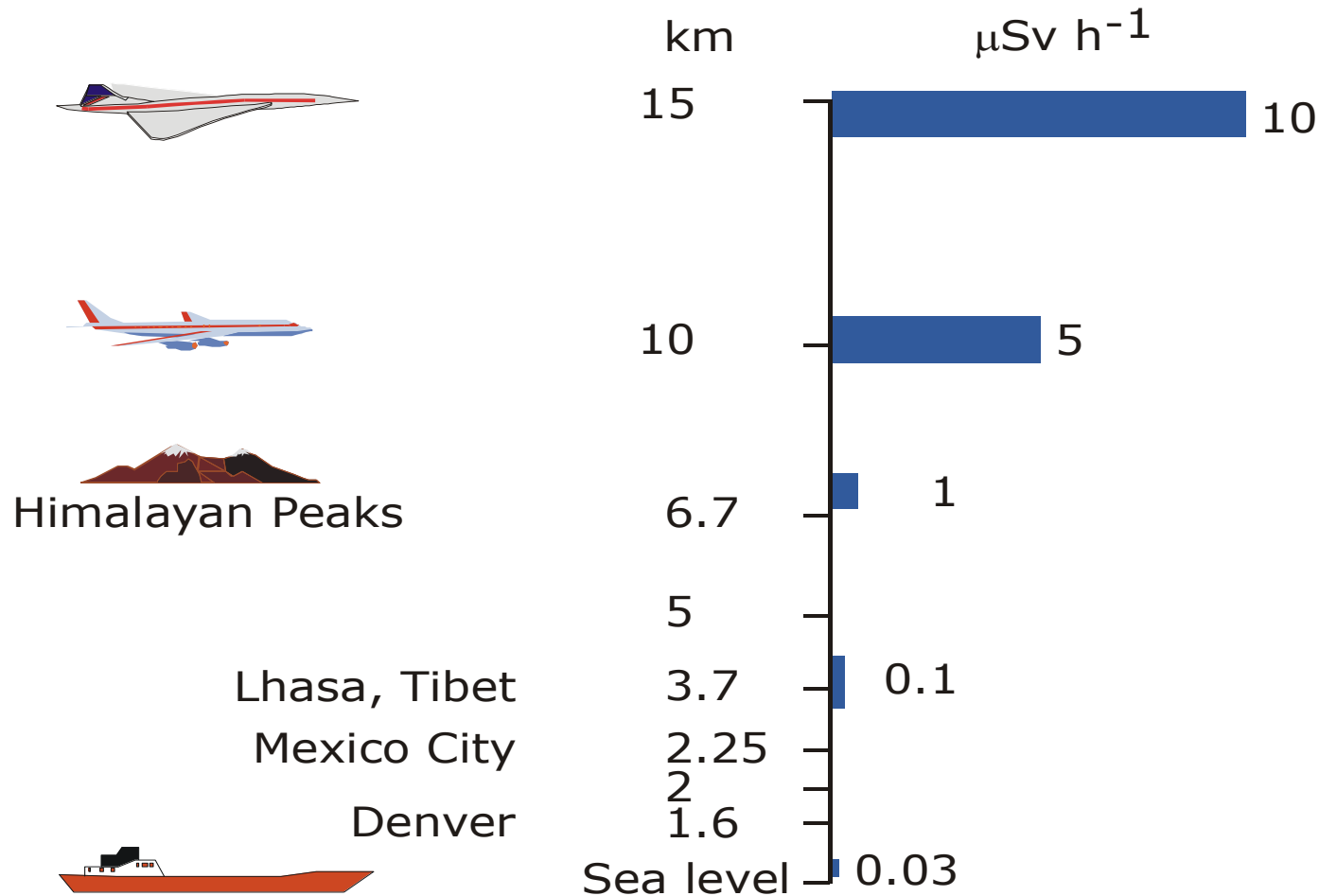
Interaction avec l'atmosphère

Composition du RC au sommet de l'atmosphère

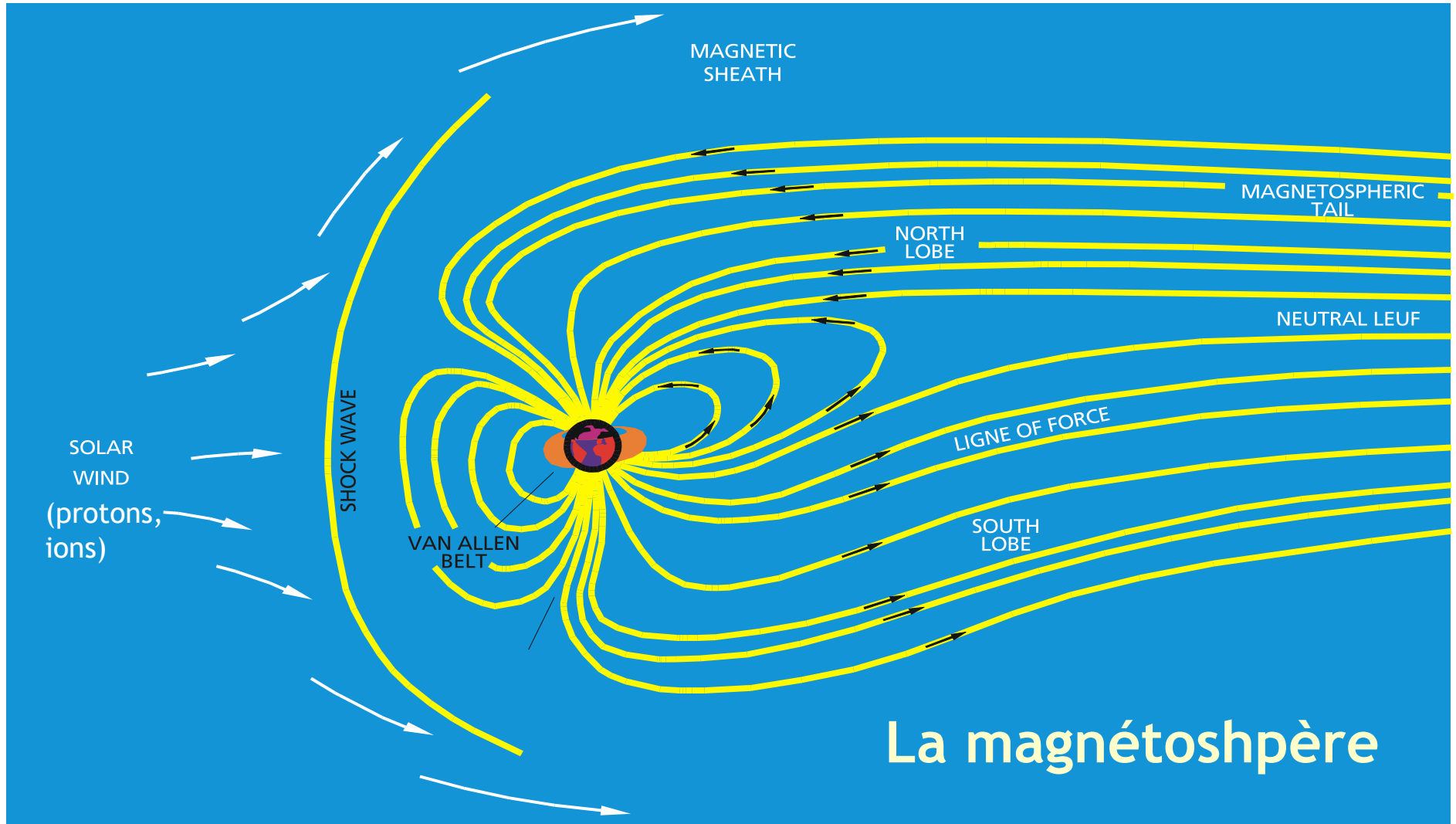
- *électrons/positons* : 2 %
- *protons* : 85 %
- *noyau hélium* : 12 %
- *ions plus lourds* : 1 %



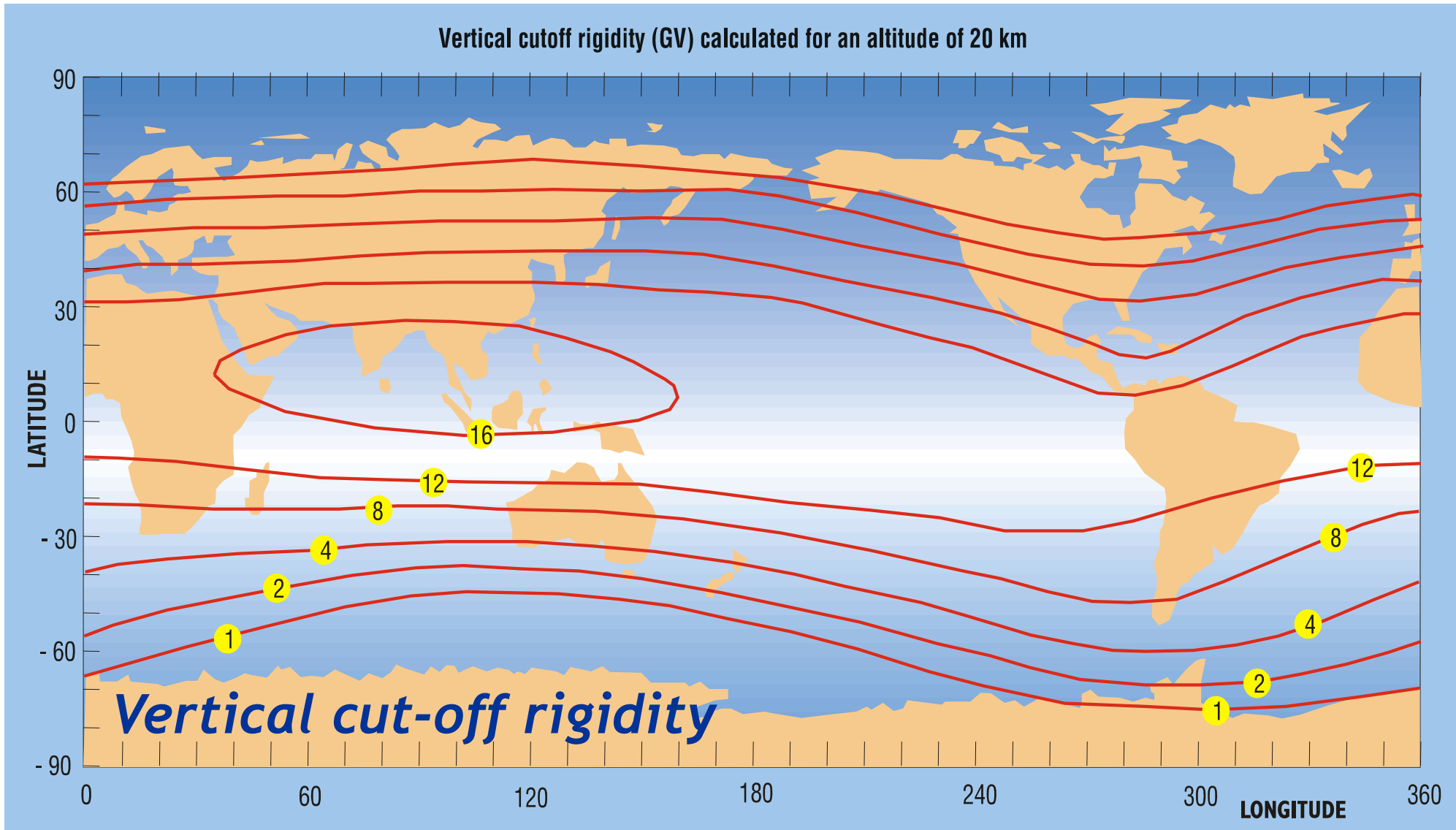
Protection = f(épaisseur d'atmosphère)



Interaction avec le champ magnétique terrestre



Protection = f(position géomagnétique)



Cycle solaire

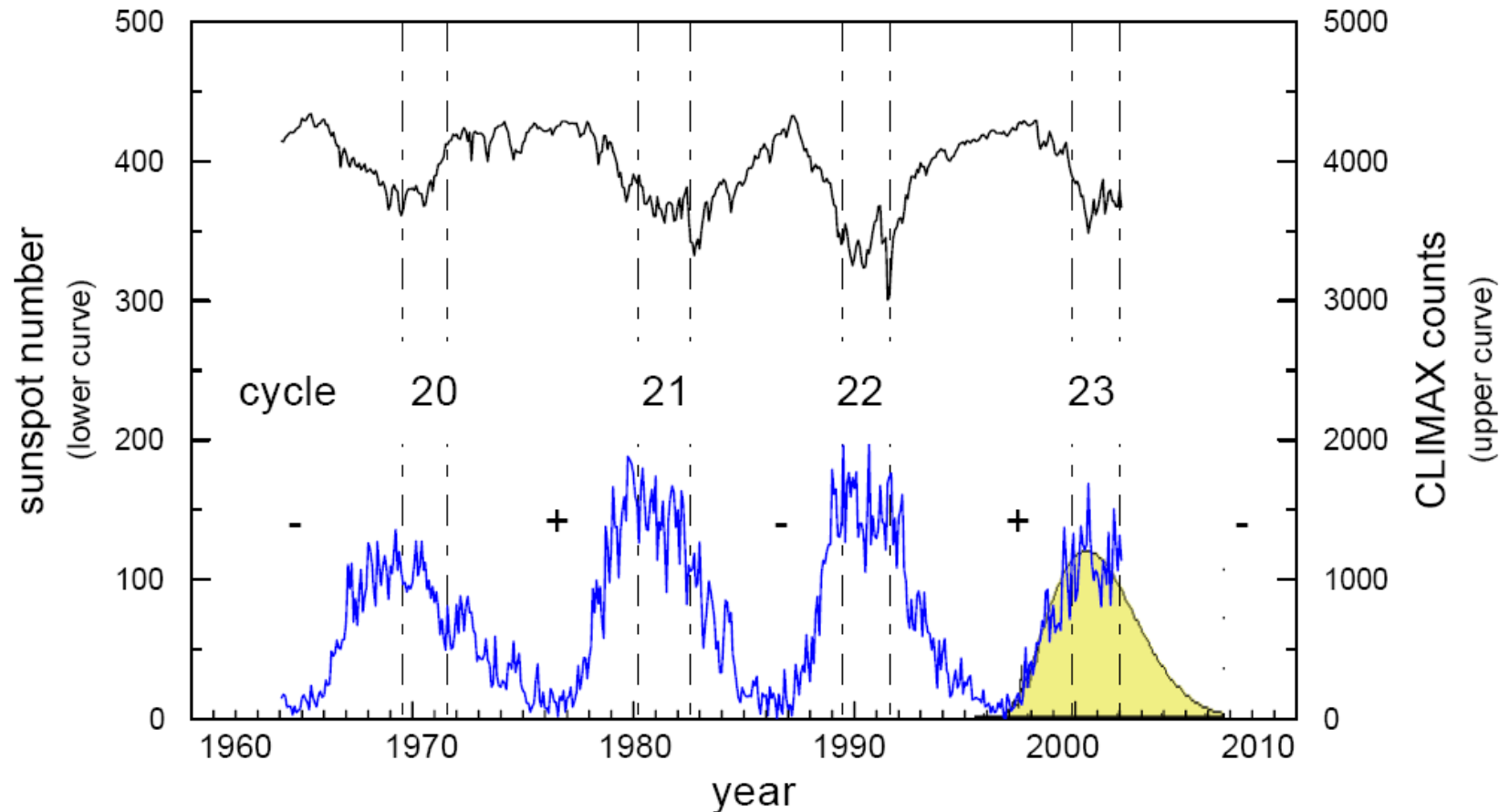
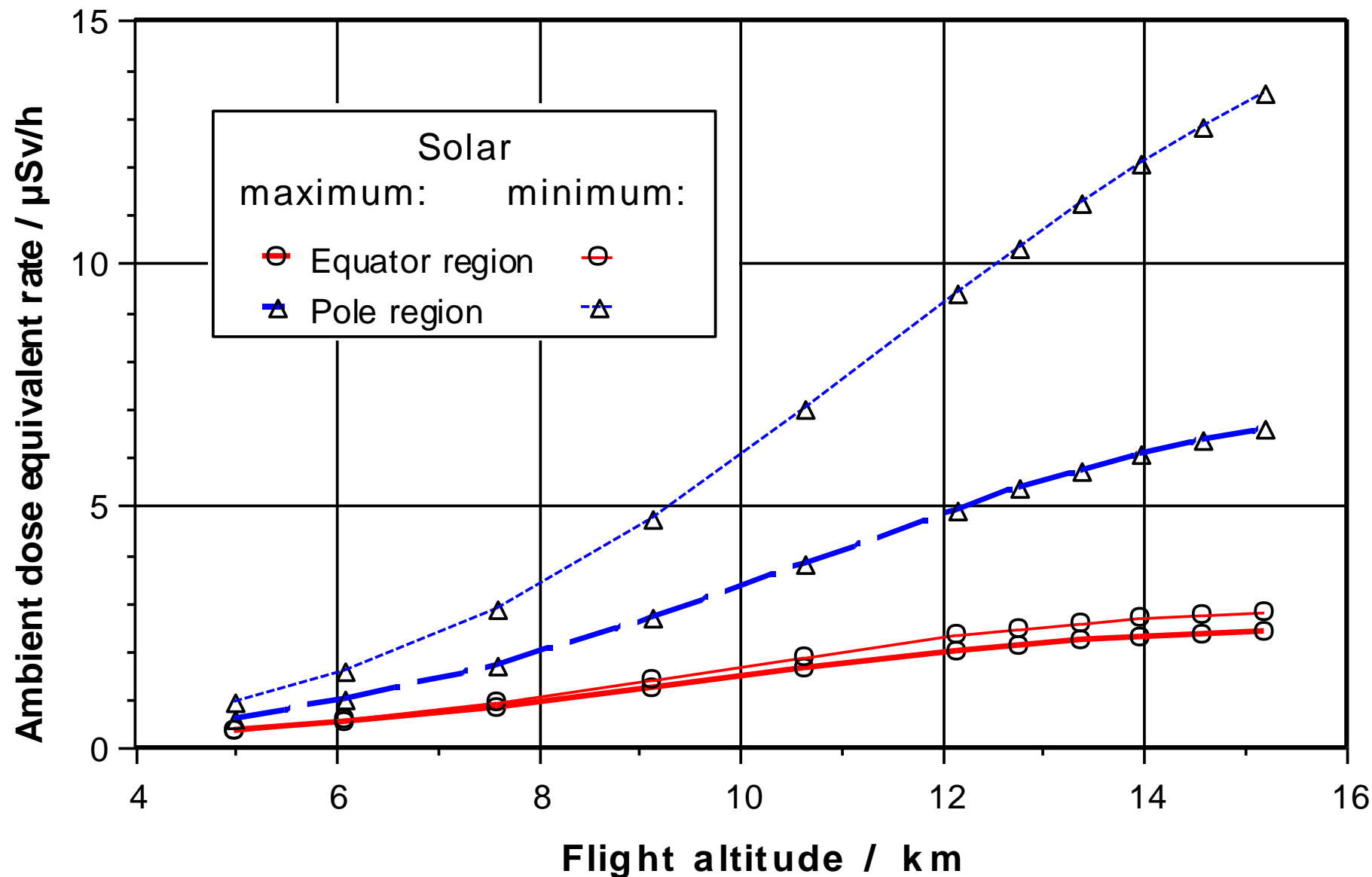
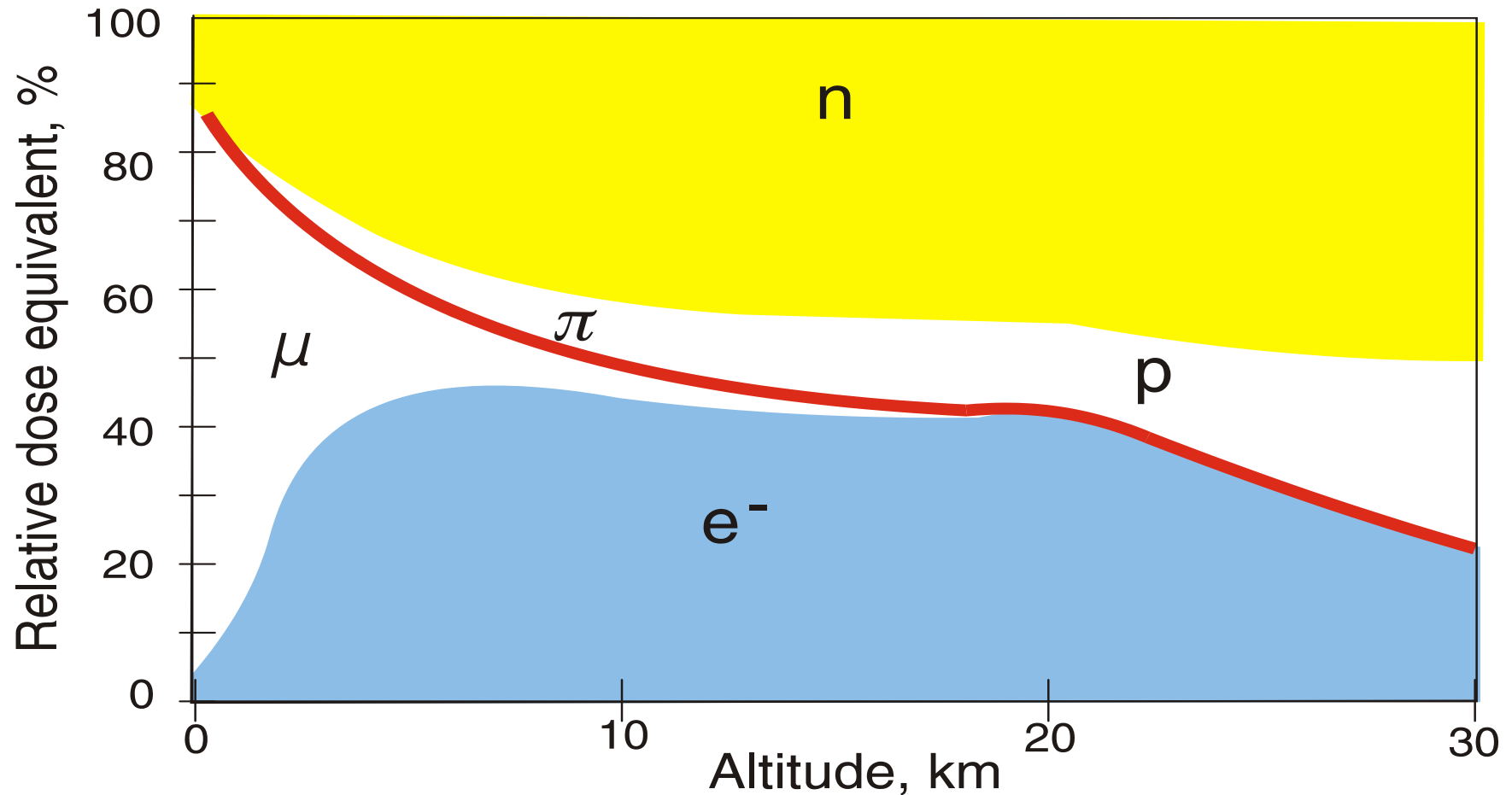


Figure II.2 Sunspot number (lower curve) and monthly averaged Climax neutron monitor count rate per hour (divided by 100) for solar cycles 20 through 23 (from 1964 to begin of 2002). Solar cycle 23 is expected to last until approximately the year 2008. The vertical dashed lines indicate the periods (around 2 years each) of solar reversal; +/- specifies the respective polarity of the field model of NASA Johnson Space Center (Badhwar, 1997). The shaded area is the solar activity predicted by the NASA Marshall Space Flight Center.

Dose en fonction de l'altitude



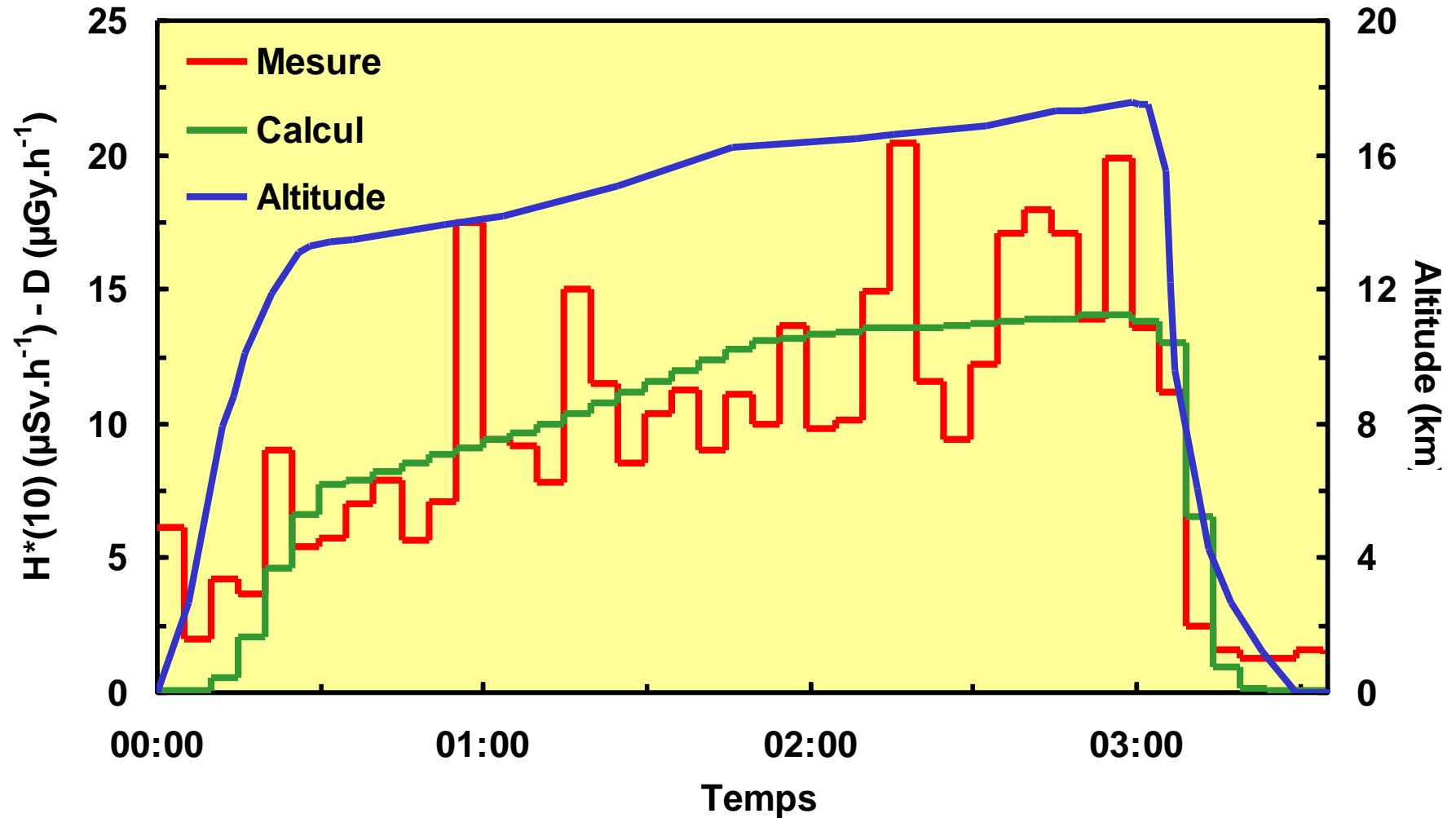
Des particules de nature variées



EURADOS report 1996-01

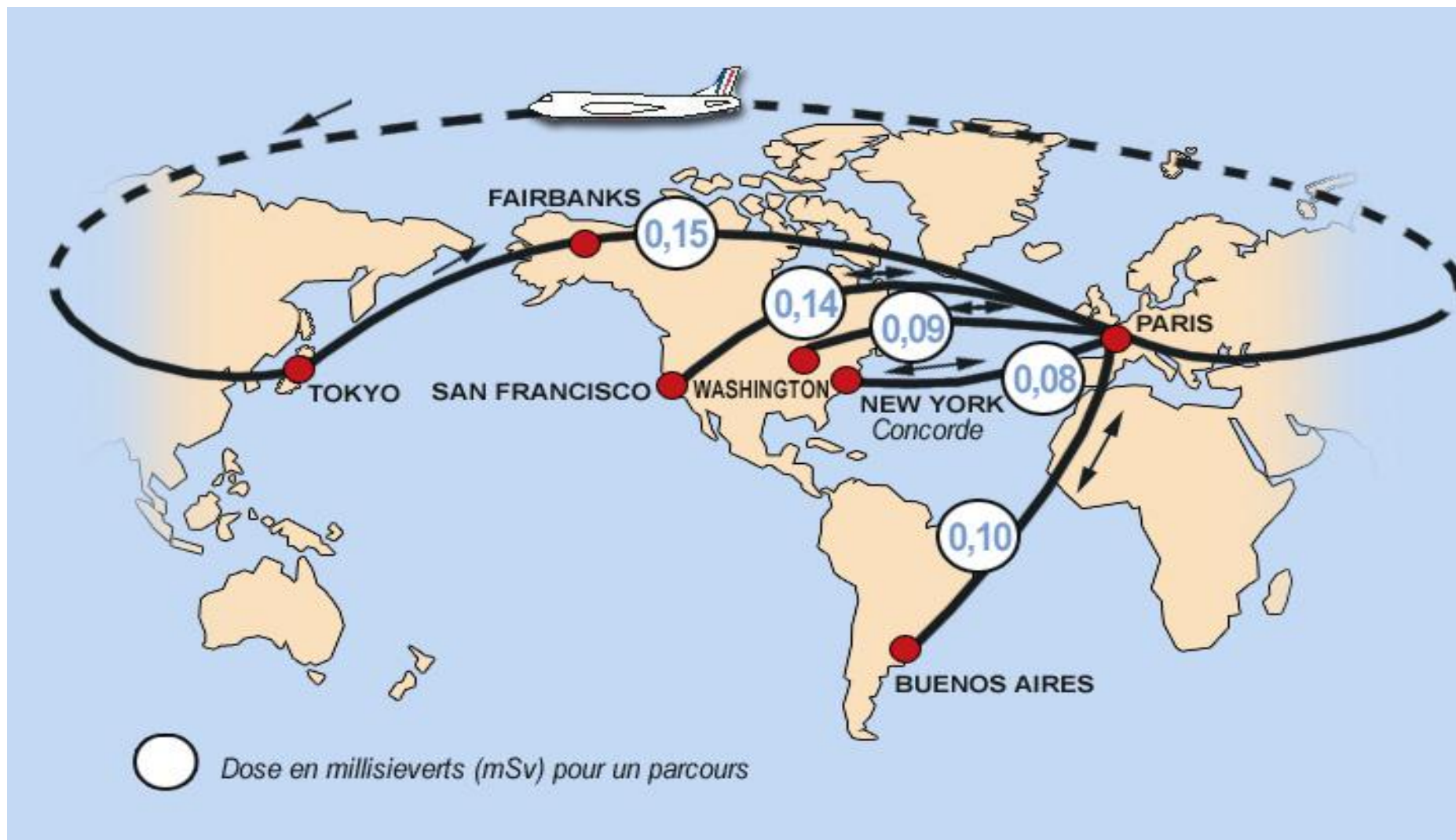
Distribution de la dose

Dose reçue lors d'un vol



Paris-New York en Concorde

Les doses reçues en vol



Mesures 1996 - 1998

IRSN

INSTITUT
DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

Faire avancer la sûreté nucléaire

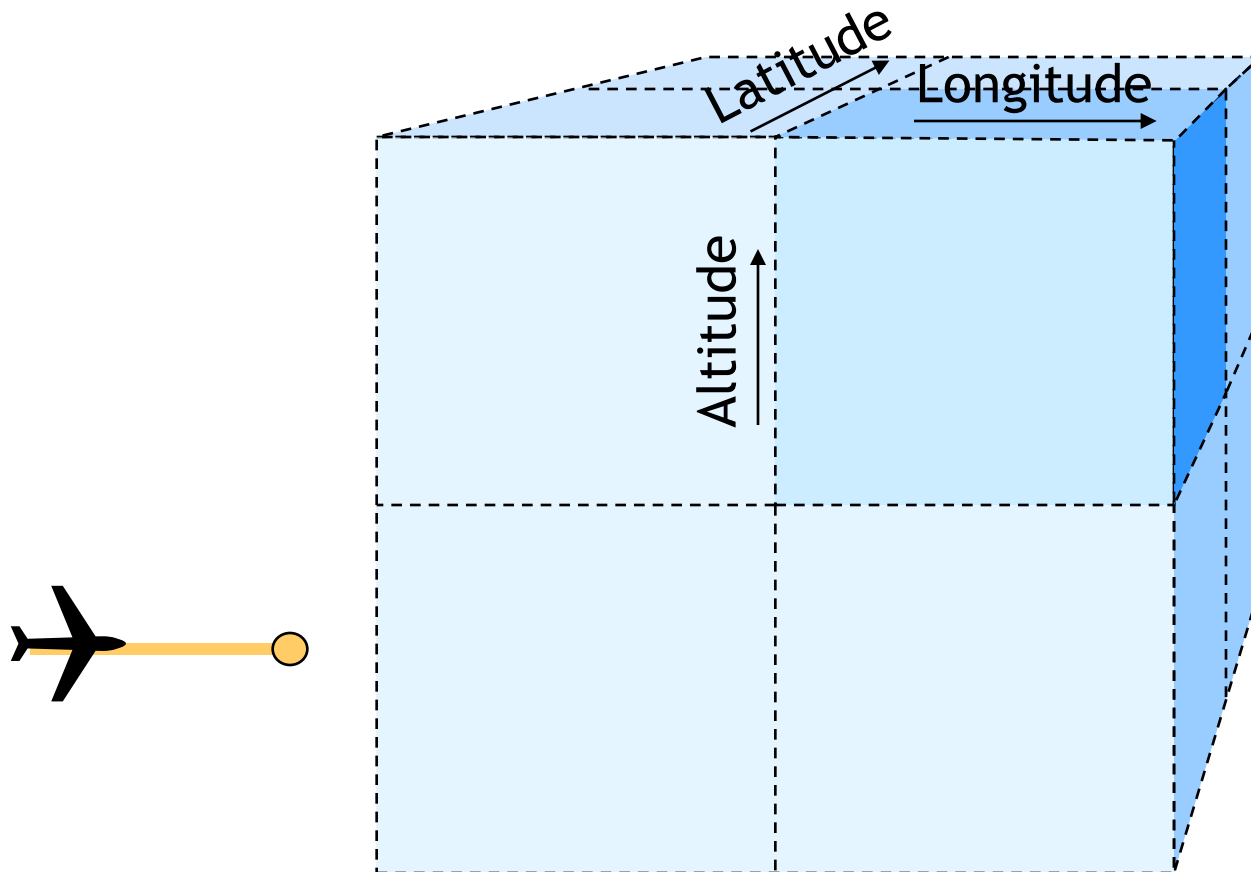
Le suivi dosimétrique des personnels navigants : SIEVERT puis SIEVERTPN

SFRP - Journées mesures
19-20 novembre 2013

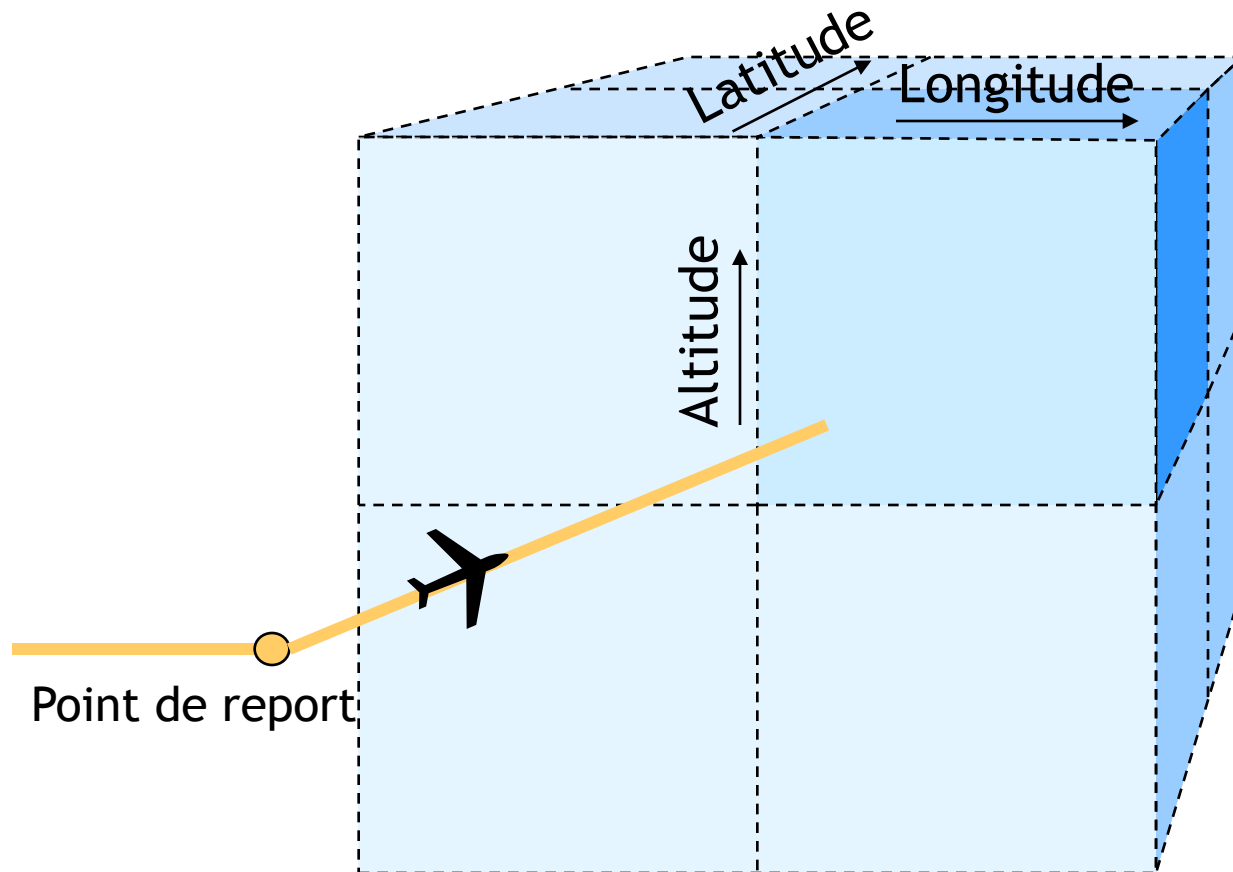
Objectifs du projet SIEVERT puis SIEVERTPN

- Disposer d'un système basé sur le calcul pour le suivi dosimétrique des PN
- Calculer des doses avec les paramètres réels de vol
- Prendre en compte les rayonnements d'origine galactiques (GCR) et les éruptions solaires
- Donner une estimation de dose et une information au public

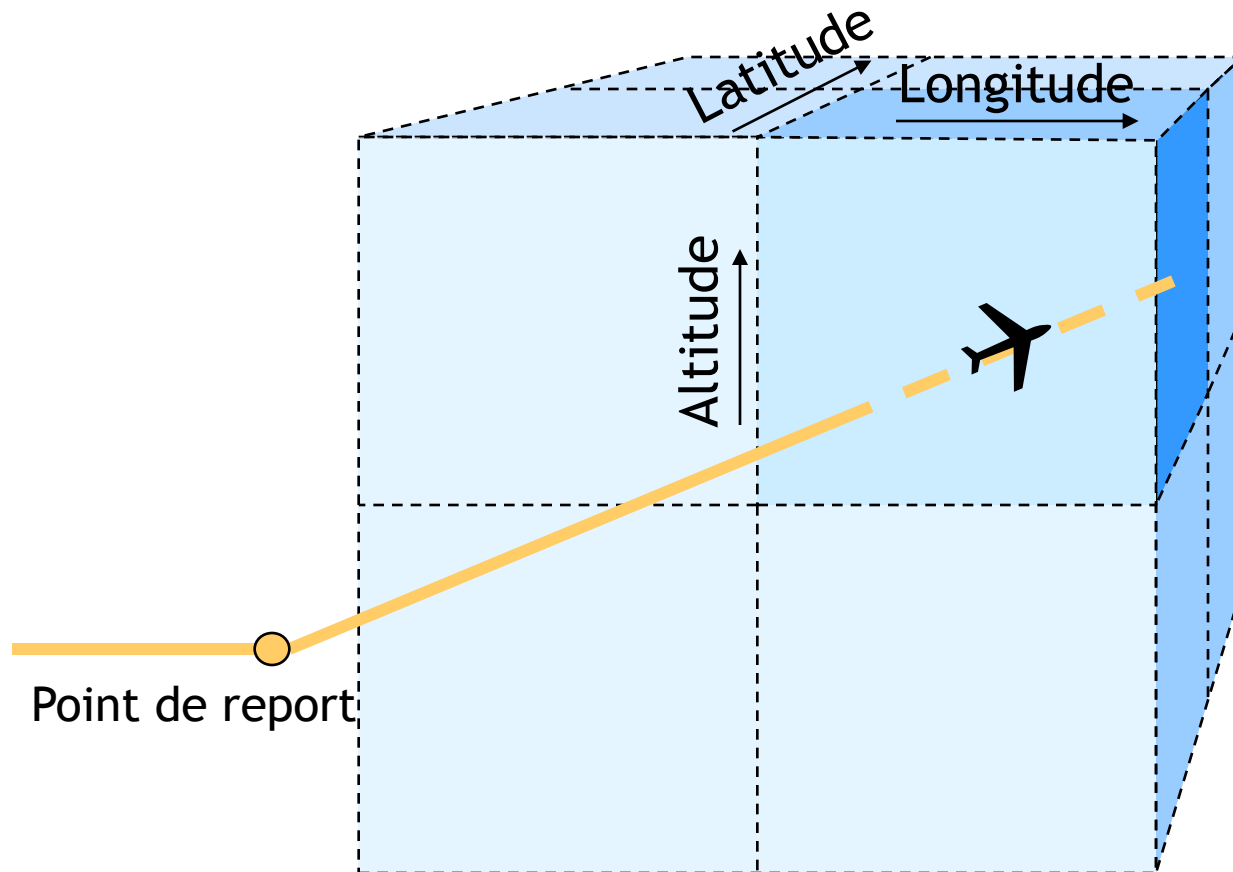
SIEVERT : l'évaluation des doses



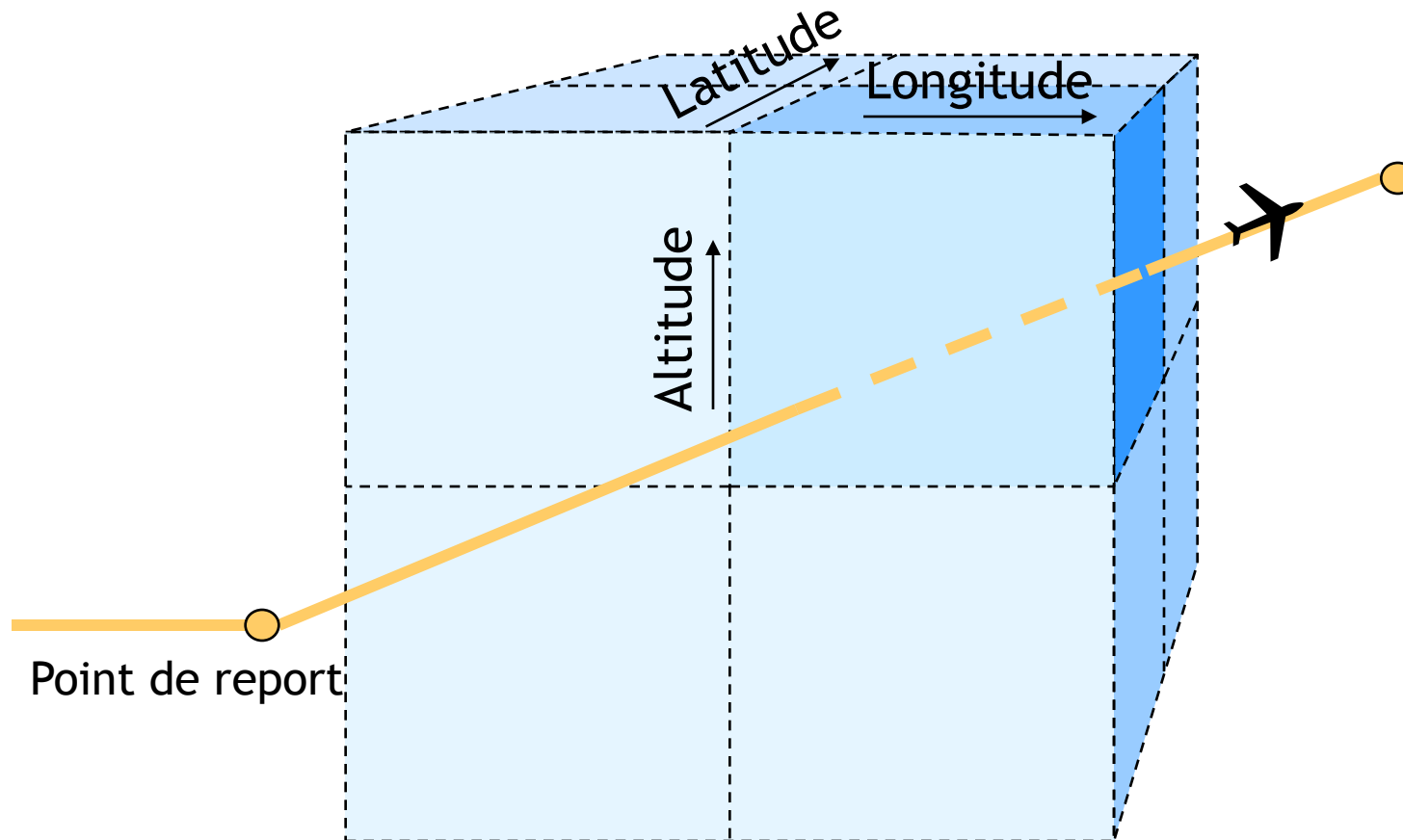
SIEVERT : l'évaluation des doses



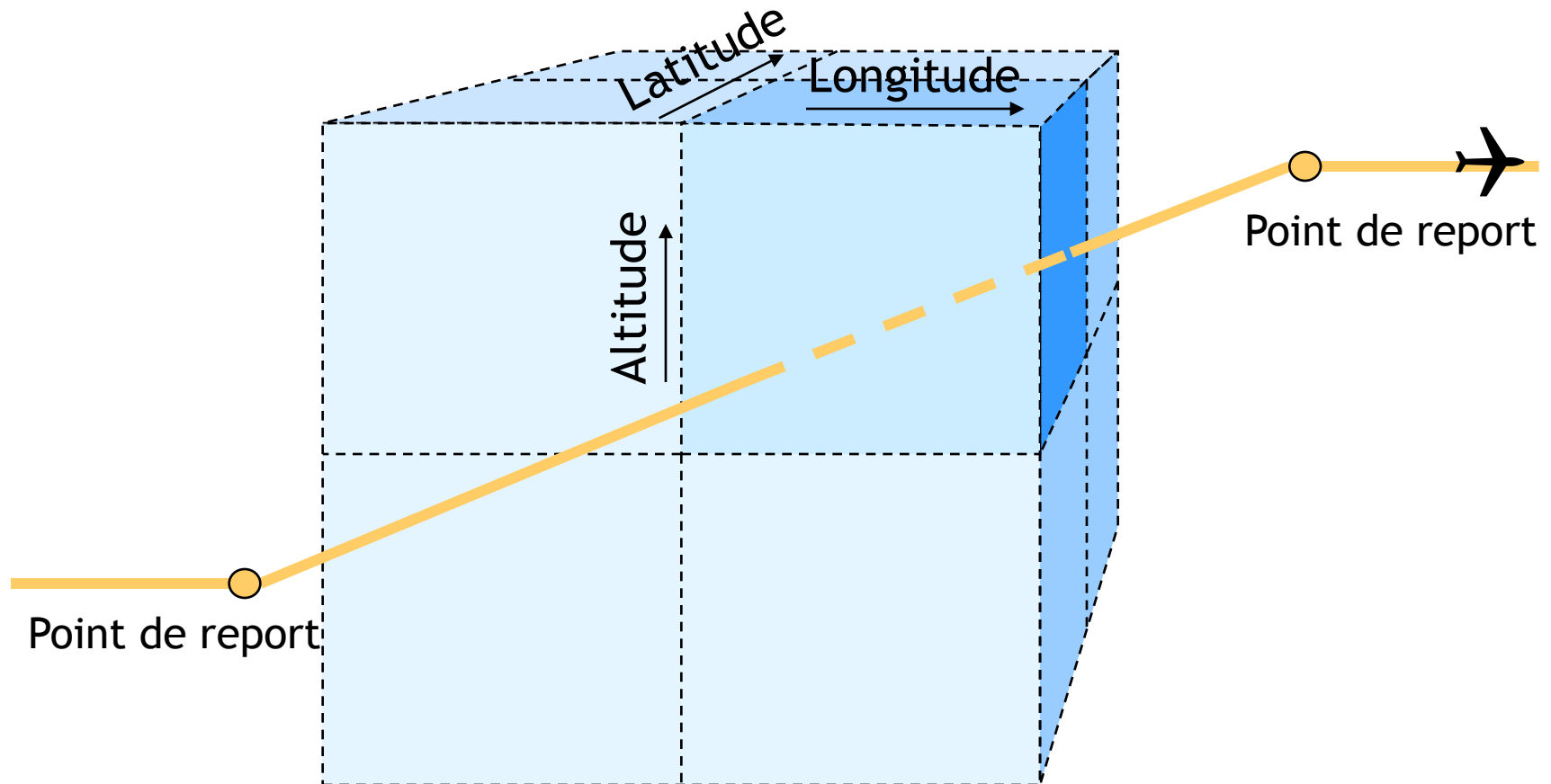
SIEVERT : l'évaluation des doses



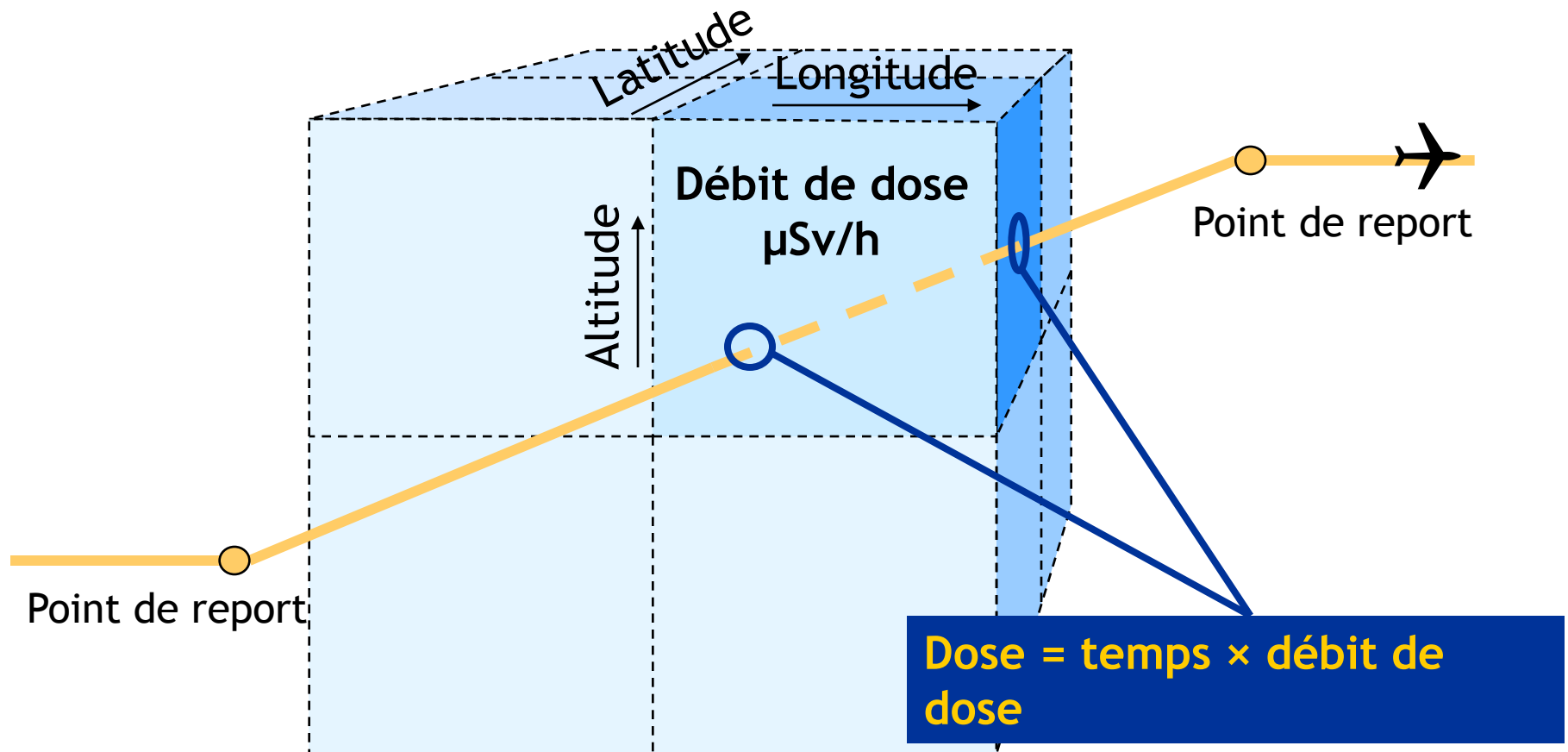
SIEVERT : l'évaluation des doses



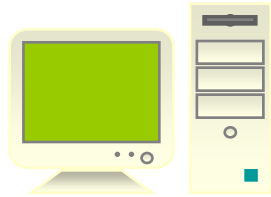
SIEVERT : l'évaluation des doses



SIEVERT : l'évaluation des doses

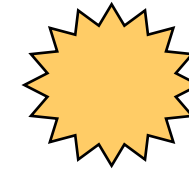
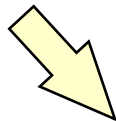


L'information dosimétrique dans SIEVERT



**Composante
Galactique (GCR)**
modèle EPCARD

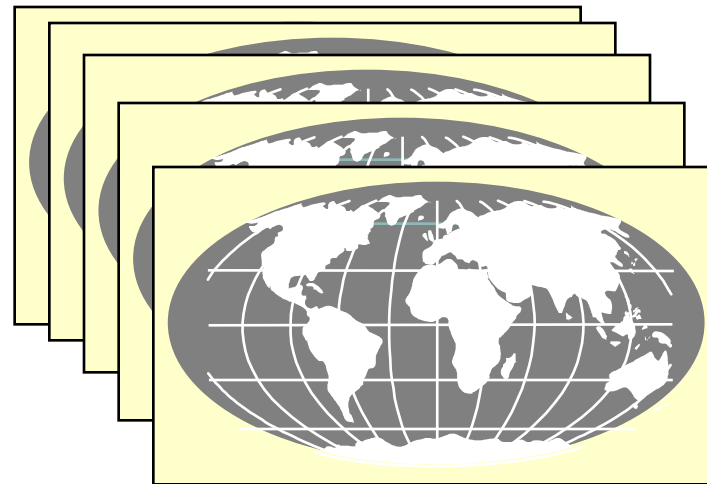
*Cartographies
mensuelles*



Eruptions solaires
Modèle SiGle

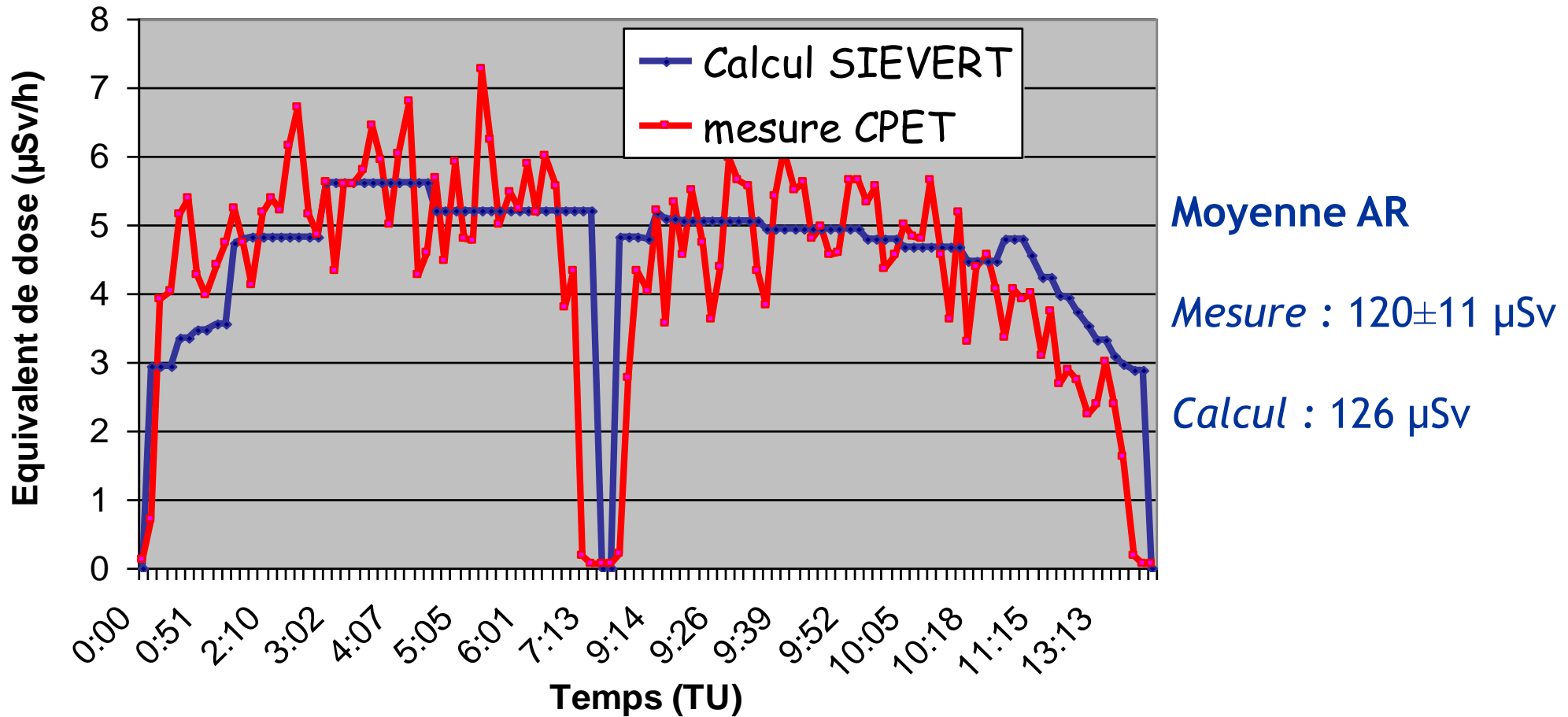


*Cartographies en cas
d'éruption*



Cartographies des débits de dose ($\mu\text{Sv/h}$)

GCR - Validation par la mesure



GCR - Comparaison avec d'autres modèles

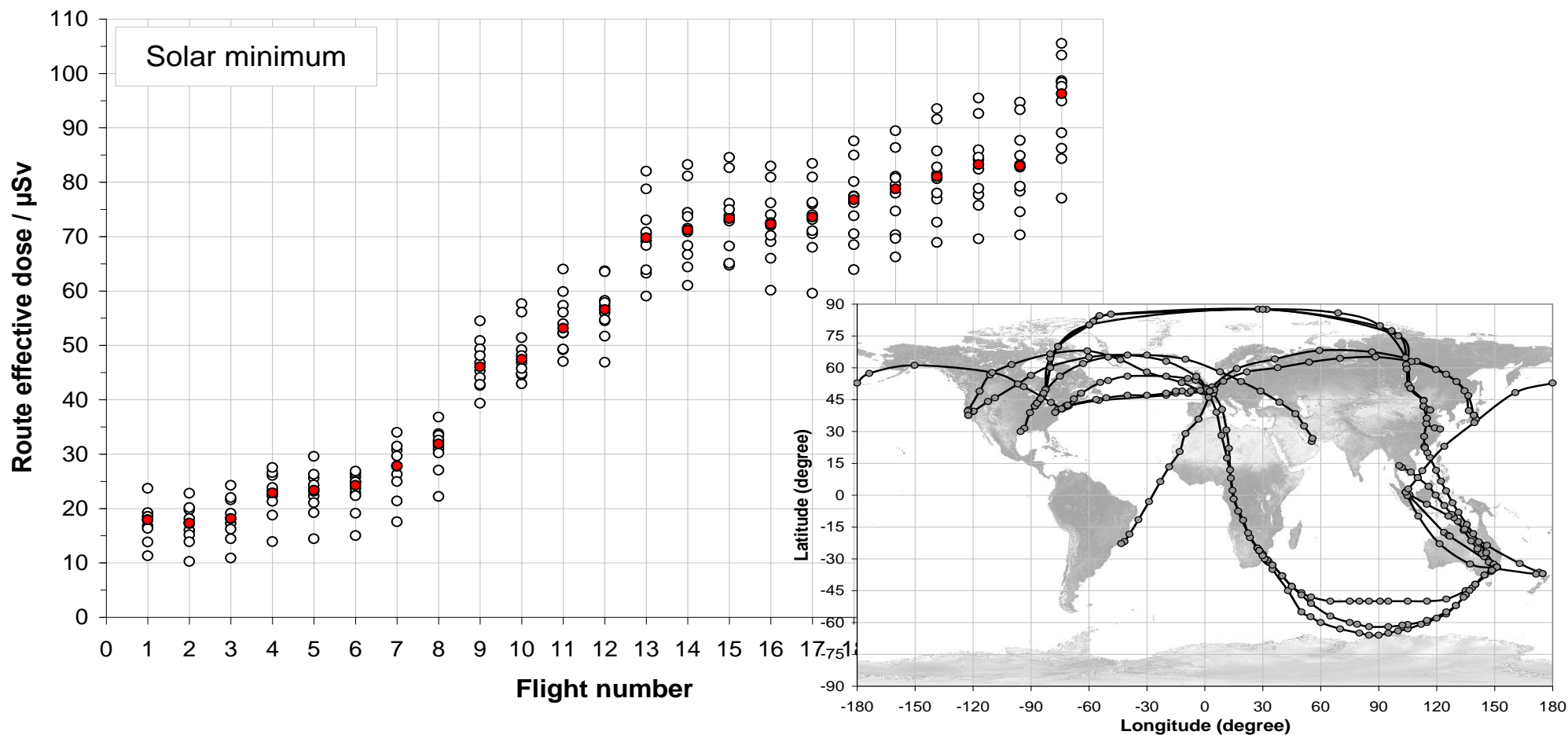
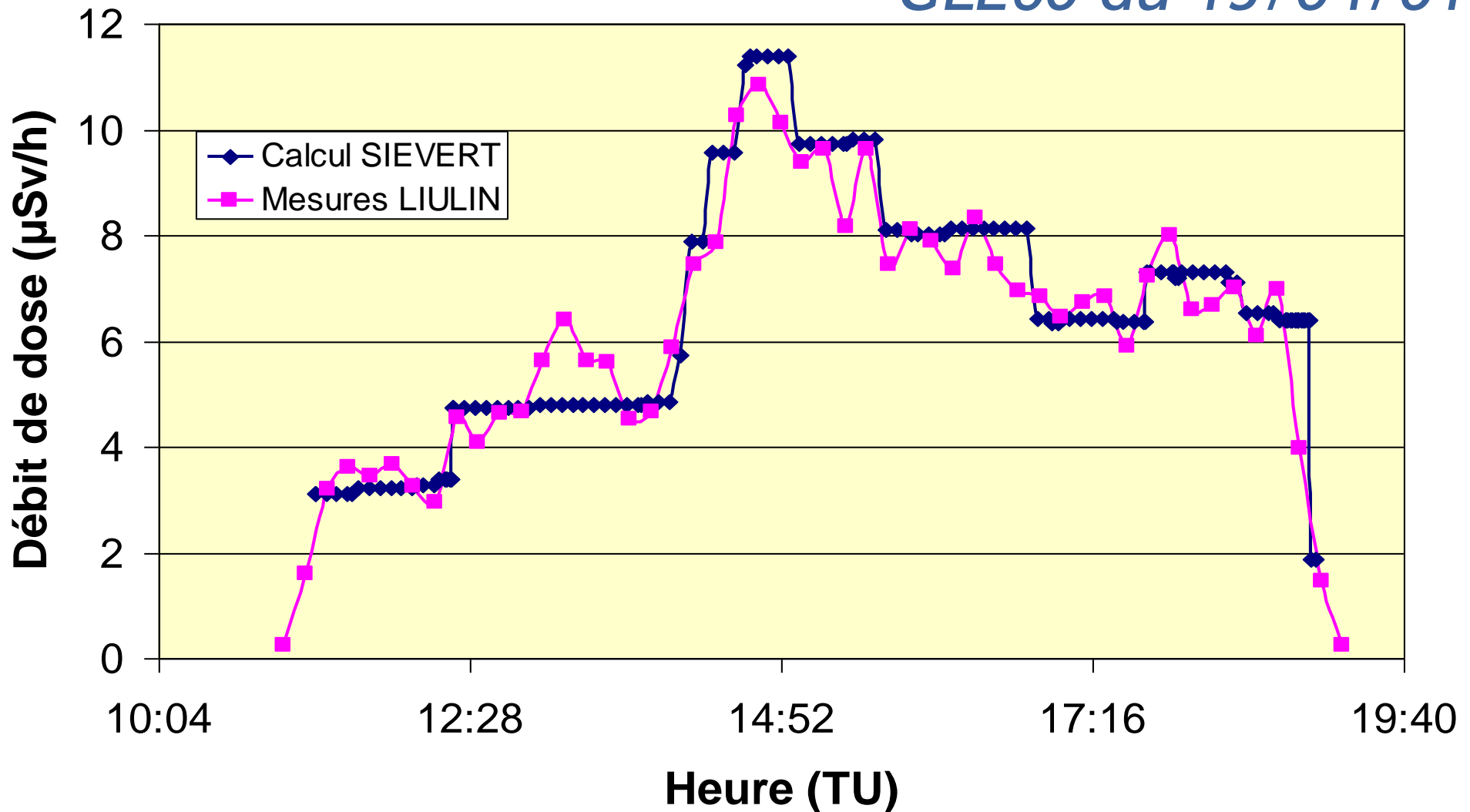


Figure 3.1b Anonymous comparison of the total effective dose E for different mid- and long-haul flights due to galactic cosmic radiation, during solar minimum conditions. The results are calculated using the AVIDOS 1.0, CARI-6M, EPCARD.Net 5.4.1, IASON-FREE 1.3.0, JISCARD EX, PANDOCA, PCAIRE (scientific version), PLANETOCOSMICS 2.0 (Bern model), QARM 1.0, and SIEVERT 1.0 computer codes. The median is marked with red circles.

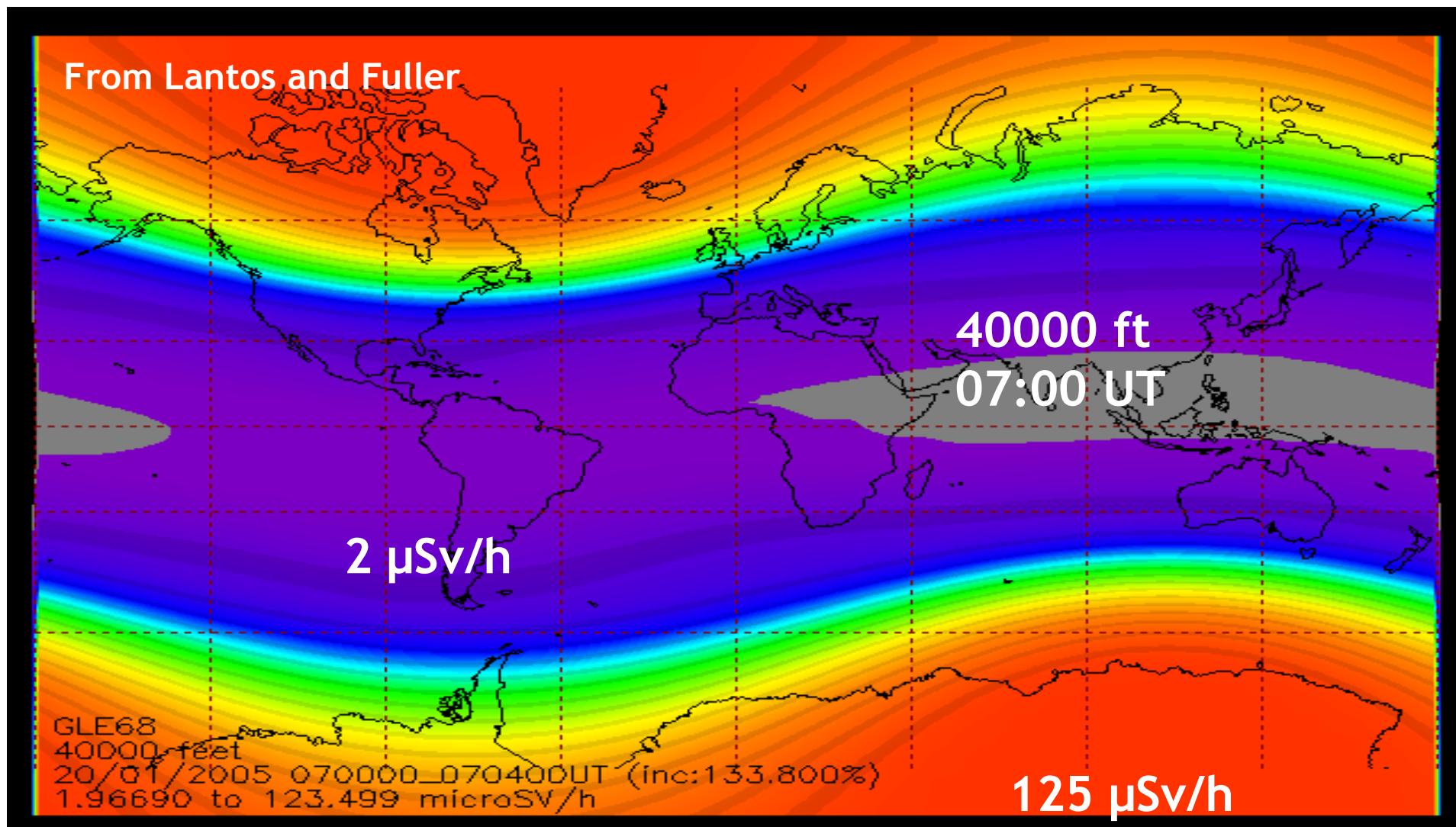
Eruption solaire : validation par la mesure

GLE60 du 15/04/01



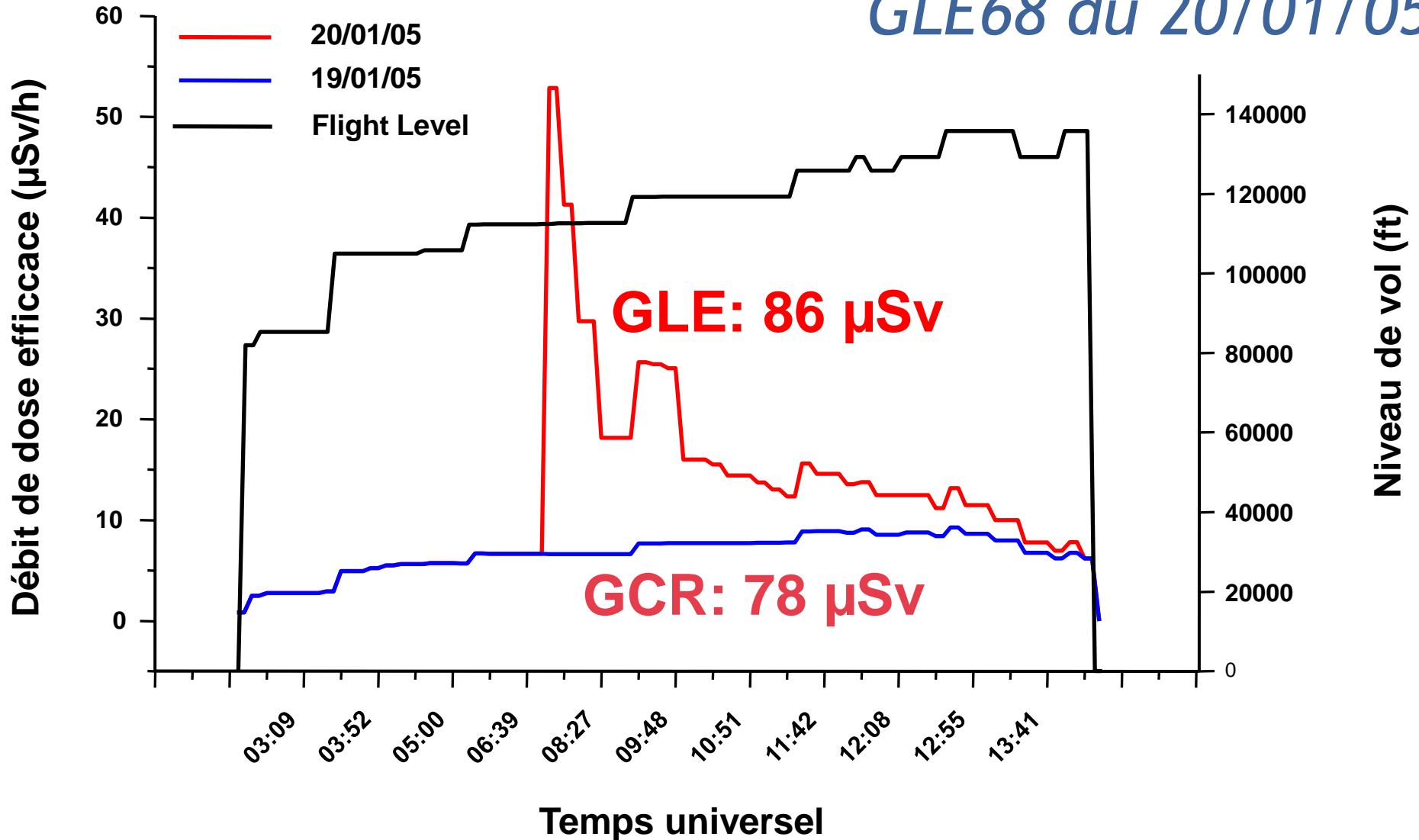
Eruption solaire : modèle SiGle

GLE68 du 20/01/05



Eruption solaire : calcul SIEVERT

GLE68 du 20/01/05



Le fonctionnement de SIEVERTPN

compagnie

Fichier des doses/vol

Identification du vol

Date

Avion

Point de départ

[Points de reports...]

Point d'arrivée

Dose reçue lors du vol **SIEVERT**

Fichier des PN/vols

Identification du vol

Nom du PN

Fichier des doses/PN

Identification du vol

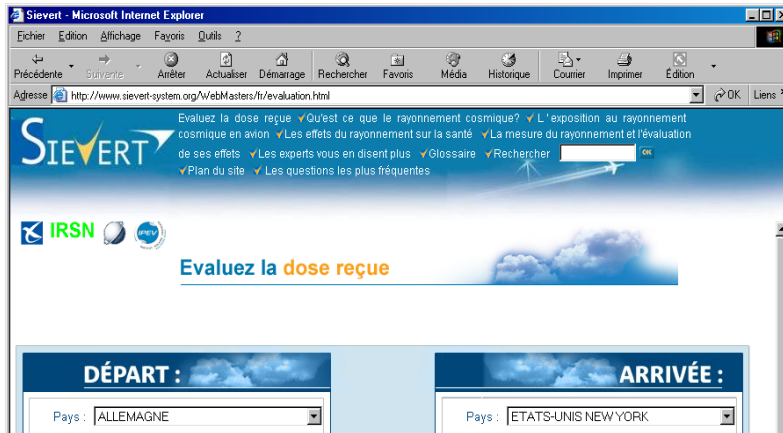
Dose

Nom du PN

*Médecins
PN*

SISERI
Registre
dosimétrique
national

Le site : www.sievert-system.org



DÉPART :

Pays : ALLEMAGNE

Ville : FRANKFURT

date (locale) : 02 / 04 / 2003

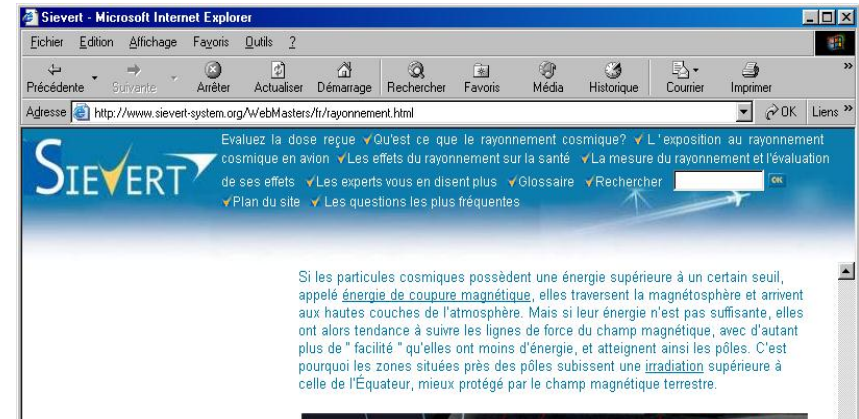
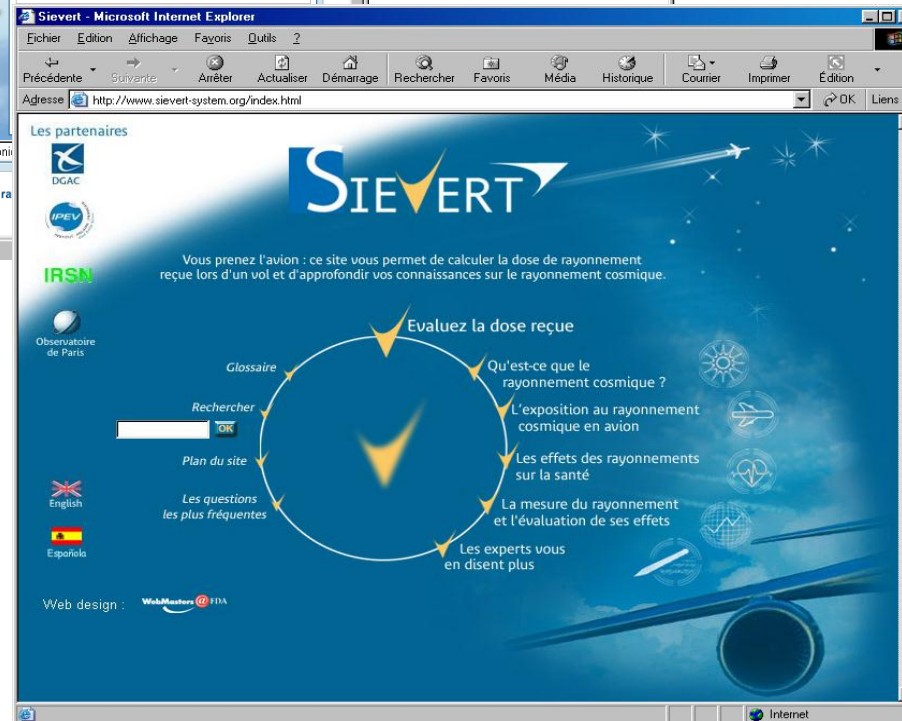
Heure (locale) : 03 : 00

Type d'avion : Subsonique

Calculer la dose de rayonnement

ARRIVÉE :

Pays : ETATS-UNIS NEW YORK



Si les particules cosmiques possèdent une énergie supérieure à un certain seuil, appelé **énergie de coupure magnétique**, elles traversent la magnétosphère et arrivent aux hautes couches de l'atmosphère. Mais si leur énergie n'est pas suffisante, elles ont alors tendance à suivre les lignes de force du champ magnétique, avec d'autant plus de "facilité" qu'elles ont moins d'énergie, et atteignent ainsi les pôles. C'est pourquoi les zones situées près des pôles subissent une **irradiation** supérieure à celle de l'Équateur, mieux protégé par le champ magnétique terrestre.

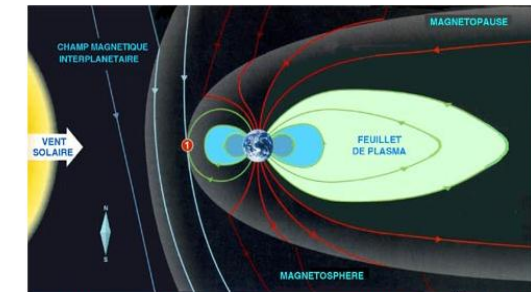


Schéma de la magnétosphère, qui protège la Terre des effets du vent solaire. Le Soleil, dans la réalité beaucoup plus éloigné, est indiqué à gauche de la figure. Il émet en permanence un flux de particules, le vent solaire, qui se heurte au champ magnétique de la Terre. La magnétosphère, de structure très complexe, voit sa géométrie varier à la suite des grandes éruptions solaires. Dans certains cas, le champ magnétique du vent solaire se recombine avec celui de la magnétosphère au point 1. Le champ magnétique terrestre est alors perturbé et des particules stockées dans le feuillet de plasma orientent les

En service depuis mars 2002

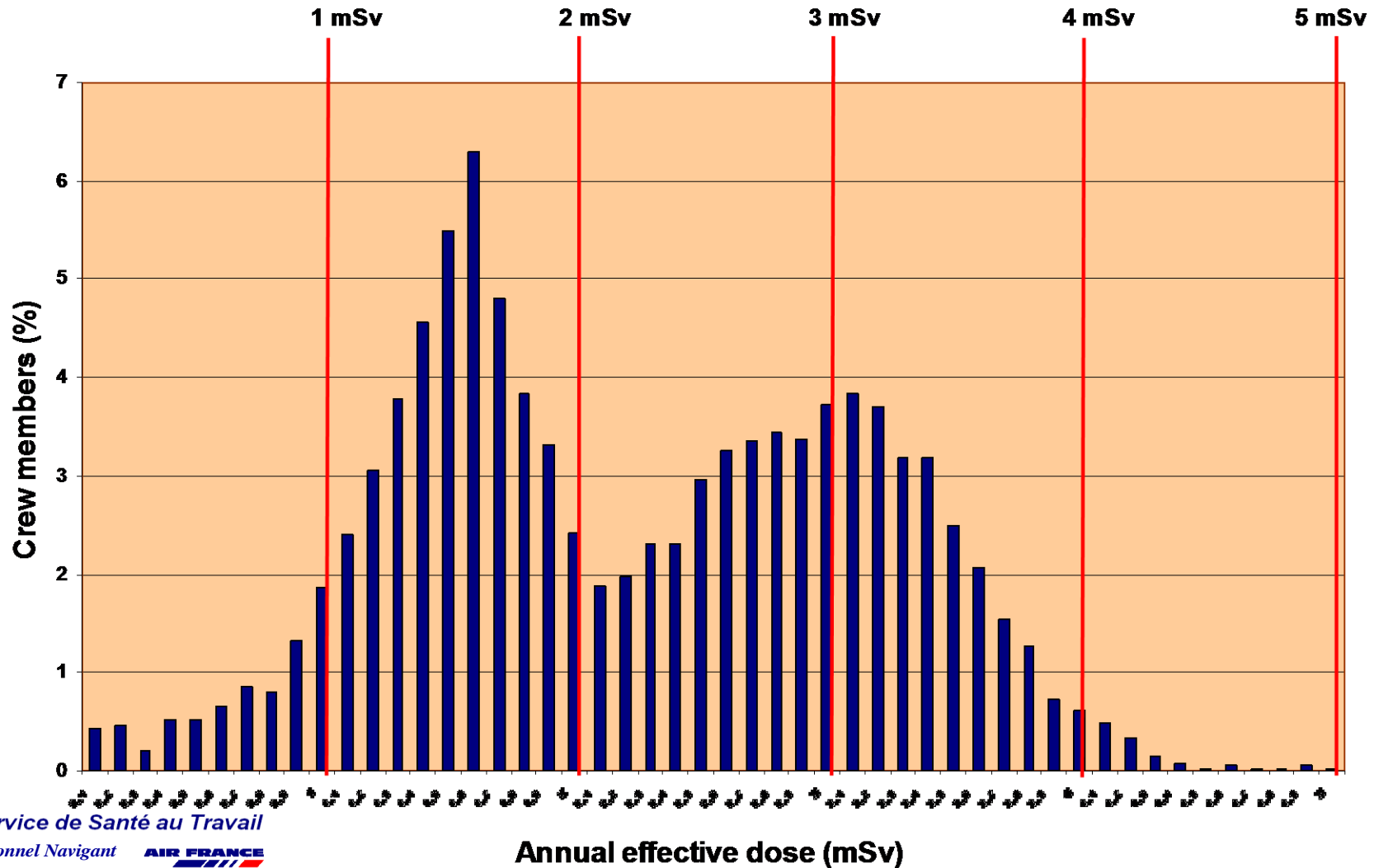
Bilan dosimétrique des personnels navigants

Tableau 38 - Bilan 2010 des doses individuelles annuelles des personnels navigants de l'aviation civile (compagnies Air France, Air Calédonie International et Unijet)

Effectif	Répartition des doses individuelles annuelles (mSv)					Dose moyenne (mSv)	Dose maximale (mSv)
	< 1	1 à 2	2 à 3	3 à 4	4 à 5		
19 532	3 009 (15,4 %)	5 939 (30,4 %)	6 081 (31,1 %)	4 188 (21,4 %)	315 (1,6 %)	2,1	4,9

Distribution des doses à Air France

2009 Annual effective dose for pilots (4293)



IRSN

INSTITUT
DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

Faire avancer la sûreté nucléaire

Le monitoring du RC à bord d'avions Air France

SFRP - Journées mesures
19-20 novembre 2013

Objectif

■ Monitoring du RC à bord des avions

- Besoin pour la gestion opérationnelle des éruptions solaires (GLE)
- Données nécessaire pour la validation des modèles dosimétriques des GLE

■ Aspects techniques

- Installer des dosimètres sur un grand nombre d'avions (~ 15) de façon à en avoir au moins 5 en vol en permanence
- Réaliser des mesures en continu
- Utiliser des dosimètres peu chers et autonomes
- Définir une procédure d'étalonnage spécifique
- Récupérer un grand nombre de données et les analyser
- Fournir une information dans un délai court en cas de GLE (qqes jours)

Dosimètres utilisés

- Dosimètres opérationnels :
EPDN2 (Thermo Electron)
APD gamma/neutron

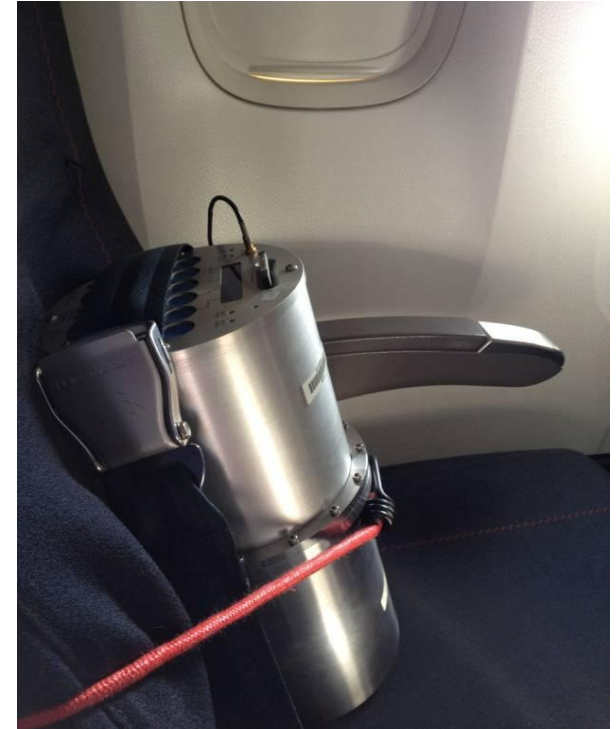


- Spectromètre d'énergie déposée : Liulin



Procédure d'étalonnage

- Vol « d'étalonnage » : la mesure avec un CPET (Hawk FarWest) est la référence pour définir le facteur de correction des dosimètres
- Plusieurs vols sont nécessaire
 - Evaluer la possible dépendance en fonction de la route utilisée
 - Estimer l'incertitude sur le facteur de correction
- 2 vols d'étalonnage réalisés (CDG-SFO et CDG-KIX), un autre est prévu au Chili



Etalonnage Liulin

- Le facteur de correction défini avec le CPET est proche de celui obtenu auprès du CERF (champ de « référence » haute énergie au CERN)
- Pour la partie haut LET ($E_{dep}(Si) > 1 \text{ MeV}$)

	D(Si)/H*(10)
CERF	18
CDG-SFO-CDG	15,8

Etalonnage EPDN2

- 5 APDs étalonnés lors des 2 vols
- Dose “gamma” corrigée avec la partie faible LET du CPET et la dose “neutron” dose avec la partie haut LET
- Facteurs de correction moyens des APD sur les 2 vols

	Gamma/Faible LET	Neutron/haut LET
CDG-SFO	0,68 (4%)	9,2 (21%)
SFO-CDG	0,61 (3%)	9,5 (14%)
CDG-KIX	0,57 (5%)	8,6 (27%)
KIX-CDG	0,59 (5%)	8,9 (23%)
Moyenne	0,61 (8%)	9,1 (4%)

(1 SD)

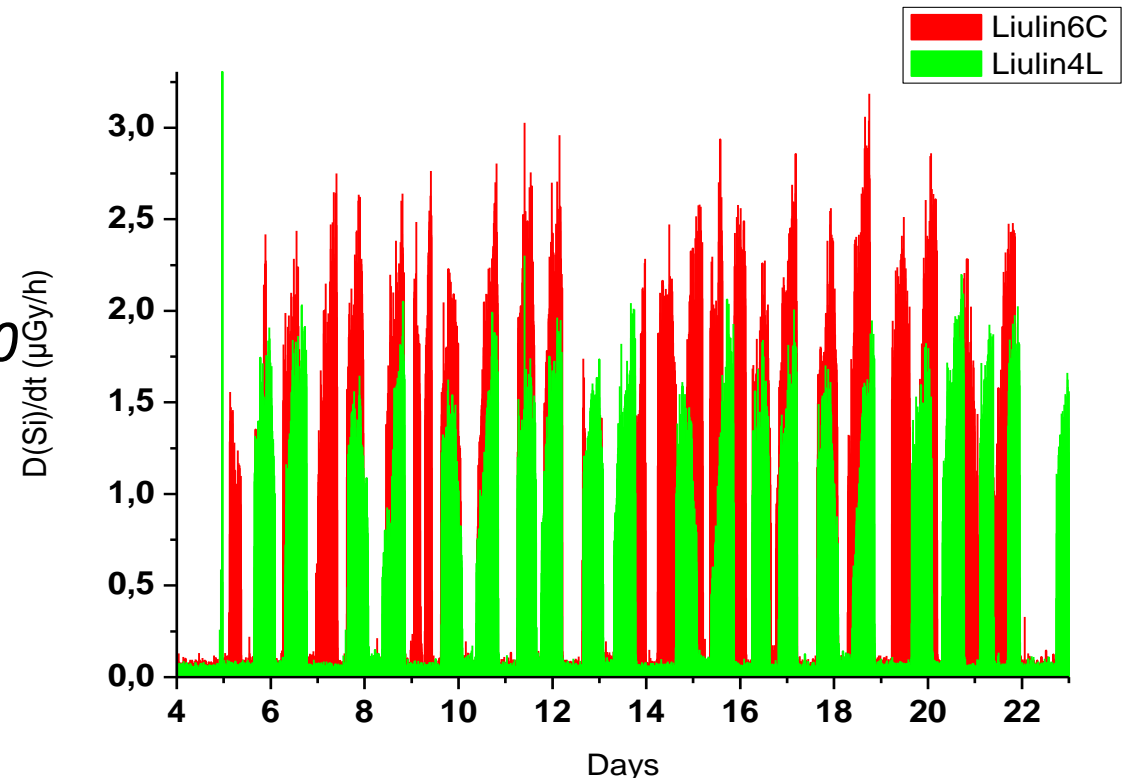
Choix du type d'avion

B 777 choisi pour l'instant

- Long courrier
- Variété des routes
- Niveaux de vol jusqu'à FL390
- Meilleure couverture

A 380 en prévision

- Plus haute altitude jusqu'à FL440
- Très long courrier (ULR)



Exemple de couverture avec 2 B777
Données Liulin

15 APD et 2 Liulin volent depuis 6 mois sur B777 et
5 APD seront installés sur A380 d'ici la fin de l'année

Procédure en cas d'éruption solaire (GLE)

- Collecter les dosimètres par Air France sous 48 h
- Analyser des données par route
- Estimer de la composante galactique (GCR) avec EPCARD ou avec des mesures précédentes sur les routes correspondantes
- Estimer la dose due à l'éruption solaire dans un délai de 3-4 jours

Conclusion

- **Suivi dosimétrique des PN fait par calcul utilisant des modèles qui nécessitent d'être validés par la mesure**
- **Procédure d'étalonnage spécifique avec mesure de la « référence » avec un CPET lors de vols dédiés**
- **Réalisation de mesures en continu pour obtenir des données en cas d'éruption solaire**

Merci de votre attention...

et bon vol !