

Les Rayons Cosmiques



La Terre est en permanence bombardée par des « rayons cosmiques », des particules de très haute énergie en provenance de l'espace. C'est en 1912 que le physicien autrichien Viktor Hess découvrit pour la première fois que l'atmosphère est traversée continuellement par le rayonnement très riche en énergie provenant de l'univers.

Hess montait dans une montgolfière jusqu'à une hauteur de 5000 m; avec plusieurs électromètres pour mesurer l'intensité du rayonnement ionisant. Il découvrit que l'intensité augmente avec la hauteur et déduisit que le rayonnement est d'origine extraterrestre. Pour ce travail, Hess fut honoré en 1936 par le prix Nobel.

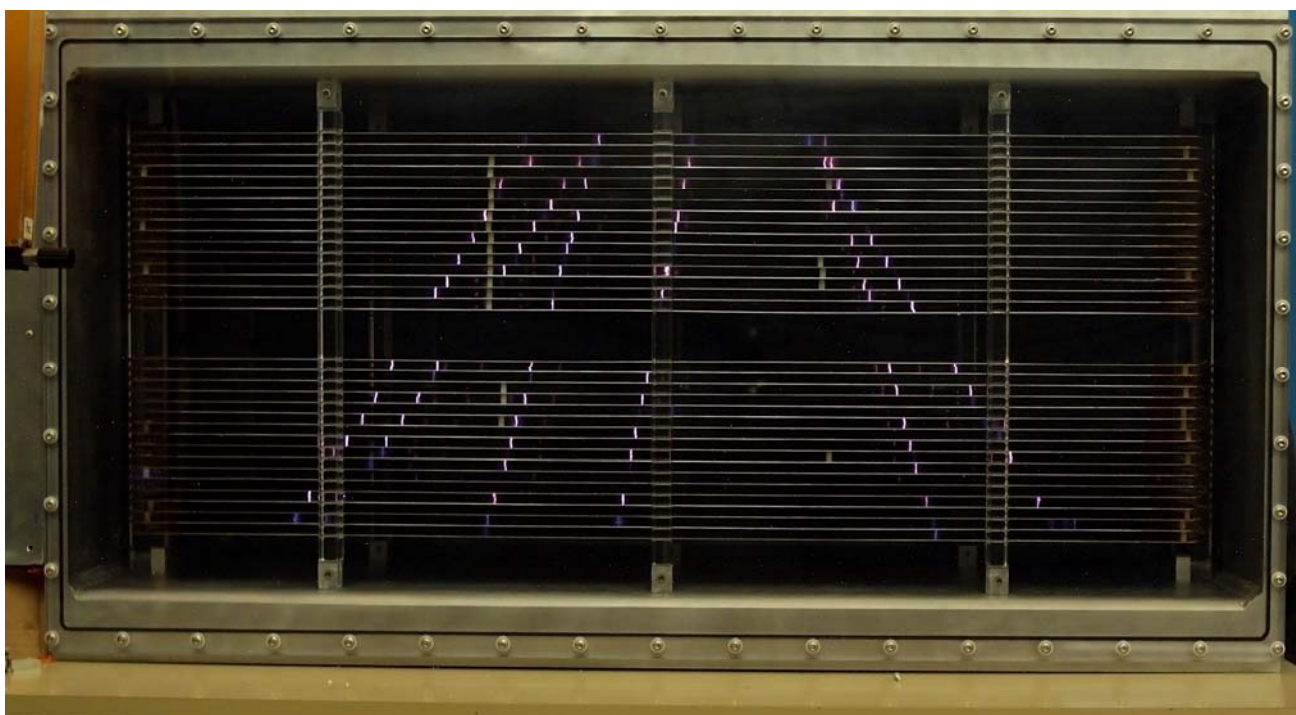
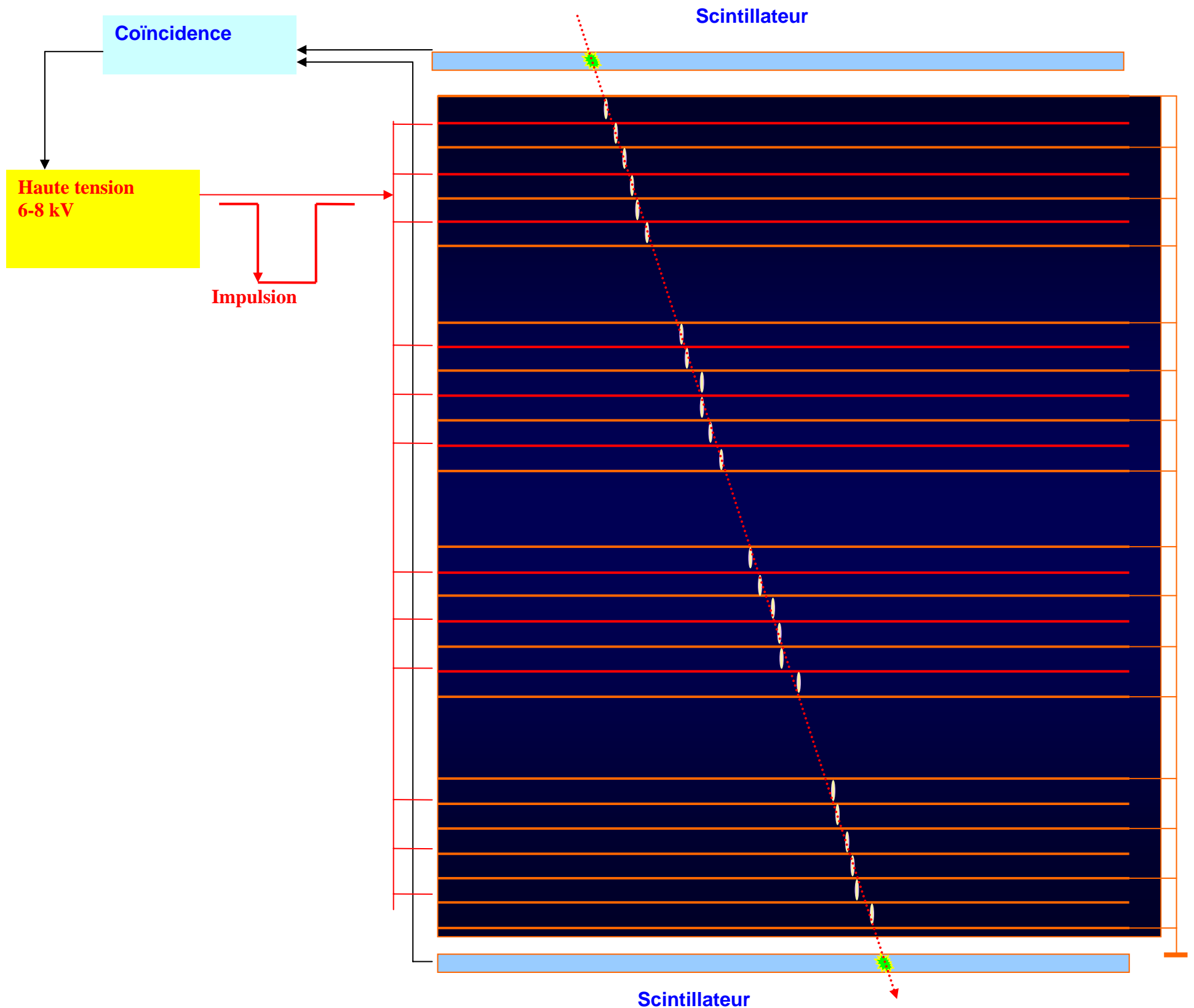
Le rayonnement cosmique est en fait un flux de particules subatomiques chargées électriquement se déplaçant à très grande vitesse. Il s'agit principalement de protons (environ 90%) et de noyaux d'hélium (de 9%), le reste étant constitué d'électrons et d'autres particules. Il provient partiellement du soleil, mais, pour la partie plus importante, est dû à des phénomènes extrêmement violents qui se produisent dans notre galaxie ou dans des galaxies lointaines (explosions supernovae ou trous noirs super massifs).

En 1938 l'astronome français Pierre AUGER a découvert les gerbes atmosphériques : ce sont des cascades de particules provoquées par l'impact d'une particule primaire d'énergie très élevée (10^{20} eV, électron-Volt) avec des atomes de la haute atmosphère. Ce sont ces particules secondaires qui sont détectées au sol de la terre.

Principe de fonctionnement

Le principe de fonctionnement d'une chambre à étincelles est schématiquement expliqué dans la figure 2 : la chambre est remplie d'un gaz un mélange de hélium et un peu de néon, deux gaz rares et inflammables. La visualisation de la trace d'un rayon cosmique se passe en plusieurs étapes :

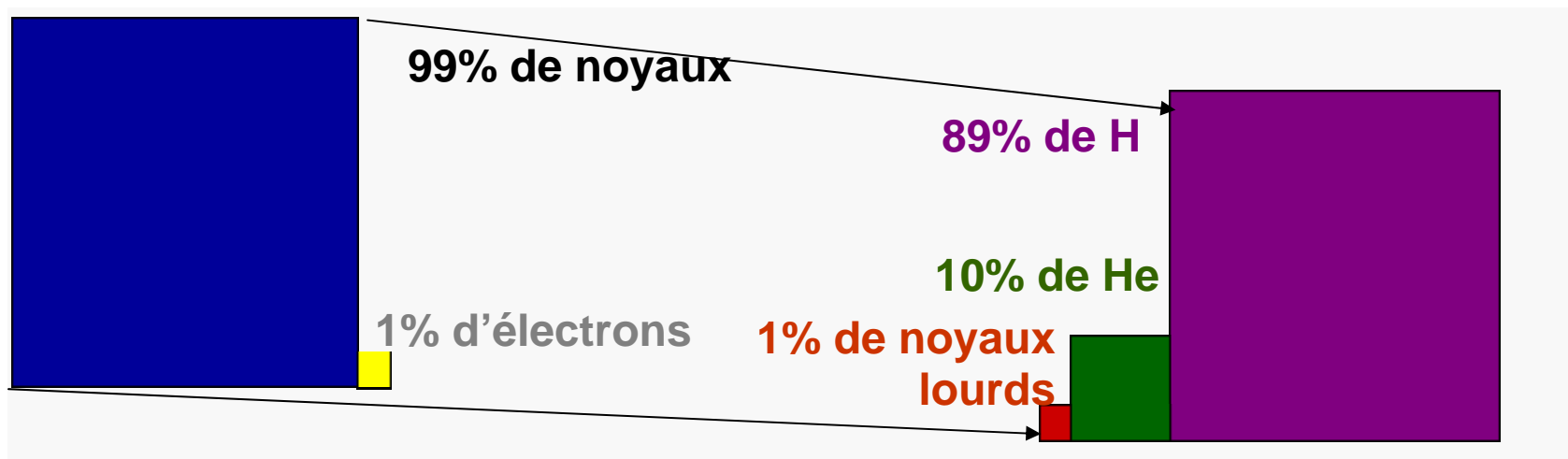
- La particule chargée, le plus souvent un muon, ionise le gaz de la chambre et génère de la lumière dans les deux scintillateurs.
- Les deux signaux observés dans les scintillateurs arrivent pratiquement au même moment. Cette coïncidence est détectée par un petit circuit électronique qui,
- déclenche une impulsion très rapide de 6-8 kV, qui est transmise à chaque électrode (en rouge sur le dessin).
- Une étincelle peut se développer là où le gaz a été ionisé par le passage d'une particule chargée.
- Les étincelles sont alignées le long de la trace et visualisent la trajectoire de la particule.



Les images dans une chambre réelle

En savoir plus sur les rayons cosmiques :

Environ 700 particules minuscules, c'est à dire subatomiques, heurtent les couches supérieures de la terre par m² et seconde. Ces particules primaires chargées sont constituées pour 86 % de protons (les noyaux des atomes hydrogène), pour 13 % de particules alpha (les noyaux des atomes hélium), et pour le reste presque tous les éléments chimiques connus.



L'énergie des rayons cosmiques varie dans de très grandes proportions. Ces particules microscopiques possèdent des énergies entre 10^7 et 10^{20} électronvolts (l'électronvolt, pour la définition et l'explication, regardez en bas). Pour observer ces rayons cosmiques d'énergie jusqu'à 10^{15} électronvolts, des instruments sont amenés avec des ballons dans la partie supérieure de l'atmosphère, où ils sont installés sur des « observatoires » spatiaux. Ces rayons de très hautes énergies et très rares, on les révèle avec des détecteurs de grande surface (sur plusieurs km²) durant de longues périodes de mesure (quelques années) indirectement par leur rayonnement secondaire sur la terre.

Le rayonnement cosmique est régulièrement distribué de toutes les directions de l'espace. Les sources principales sont :

- Les explosions des étoiles comme les Novae et Supernovae
- Les pulsars : ces étoiles de neutrons ont des champs magnétiques extrêmes est sont capables d'accélérer des particules chargées à très hautes énergies
- Naines blanches avec de forts champs magnétiques
- Autres objets cosmiques comme les trous noirs ou les quasars.

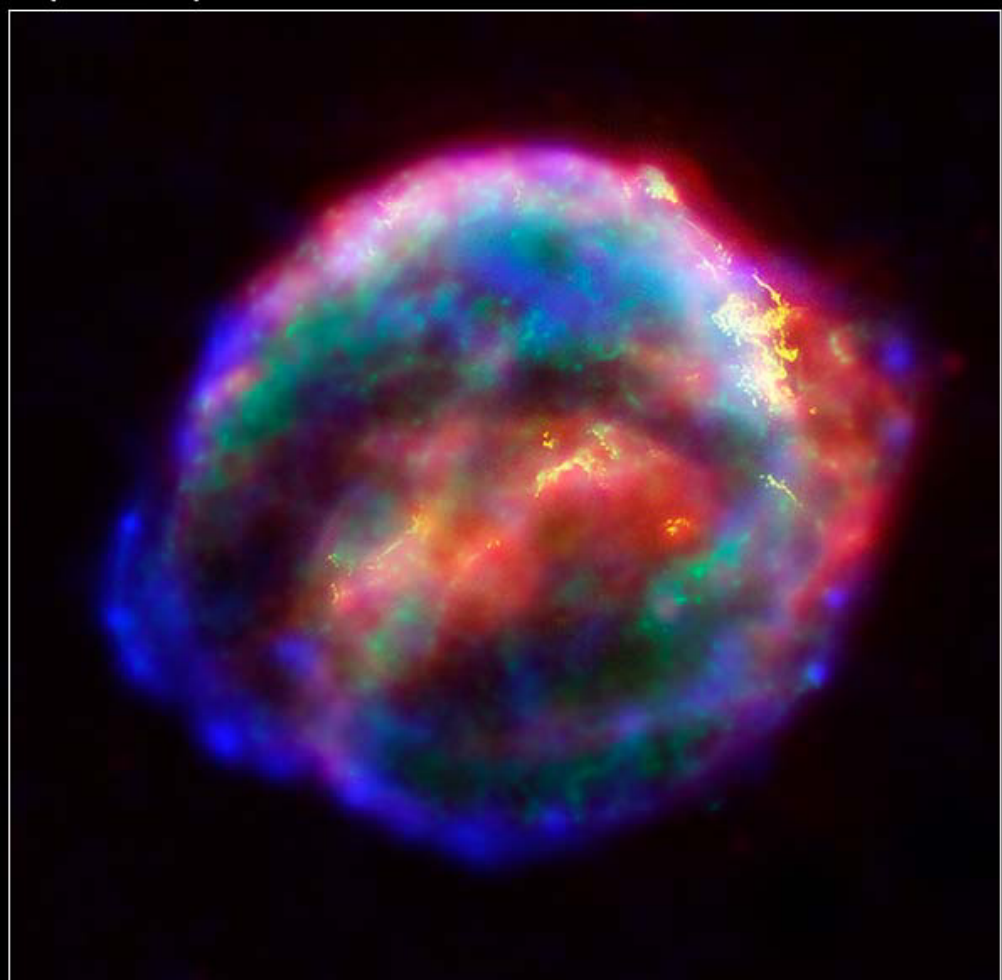
Le champ magnétique inhomogène des étoiles, qui joue le rôle

d'accélérateur, arrive à conférer à certaines particules cosmiques chargées des énergies

supérieures au milliard d'électronvolts. Cependant, les Supernovae sont probablement les pollueurs principaux du rayonnement. A ces explosions, de grandes quantités de matière sont poussées dans l'espace et collisionnent avec la matière interstellaire. Le long des lignes de champ magnétique, les particules chargées sont accélérées jusqu'à



Kepler's Supernova Remnant • SN 1604



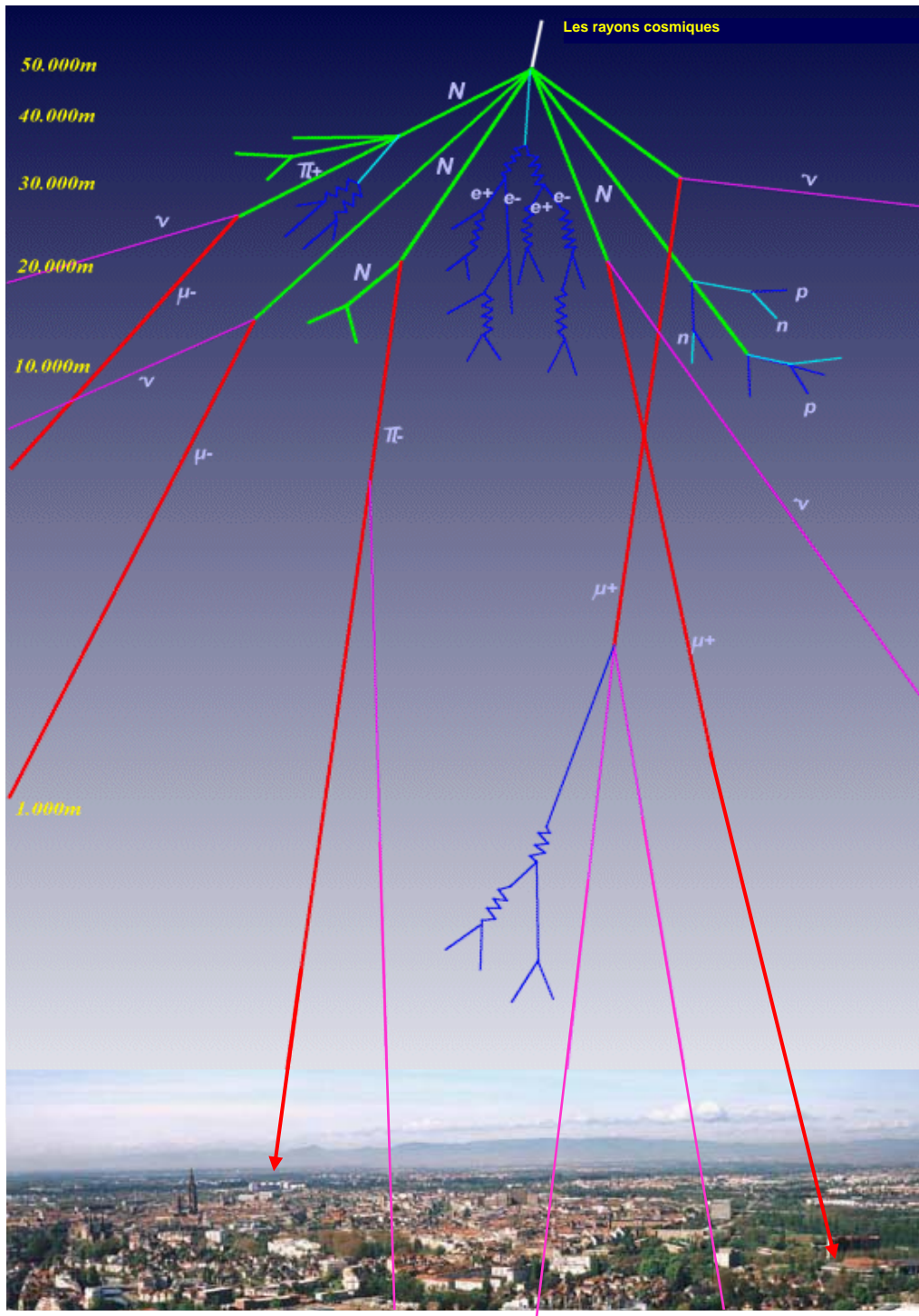
peu près la vitesse de la lumière. Enrico Fermi a décrit déjà en 1949 ce processus. La provenance du flux de particules est encore en partie un mystère qui devrait s'éclaircir avec la mise en service en 2004 de l'Observatoire Pierre Auger avec ses deux installations situées près de Milliard (Utah) et de Mendoza (Argentine).

Le rayonnement cosmique se répand au contraire régulièrement dans notre galaxie. Les particules traversent l'espace jusqu'à 10 millions d'années avant de rencontrer la terre. Puisqu'ils se propagent presque avec la vitesse de la lumière, ils doivent avoir parcouru de plus grandes distances que le diamètre de la Voie lactée. Ainsi, le rayonnement cosmique est souvent diffusé ou dévié sur son parcours irrégulier en traversant les galaxies.

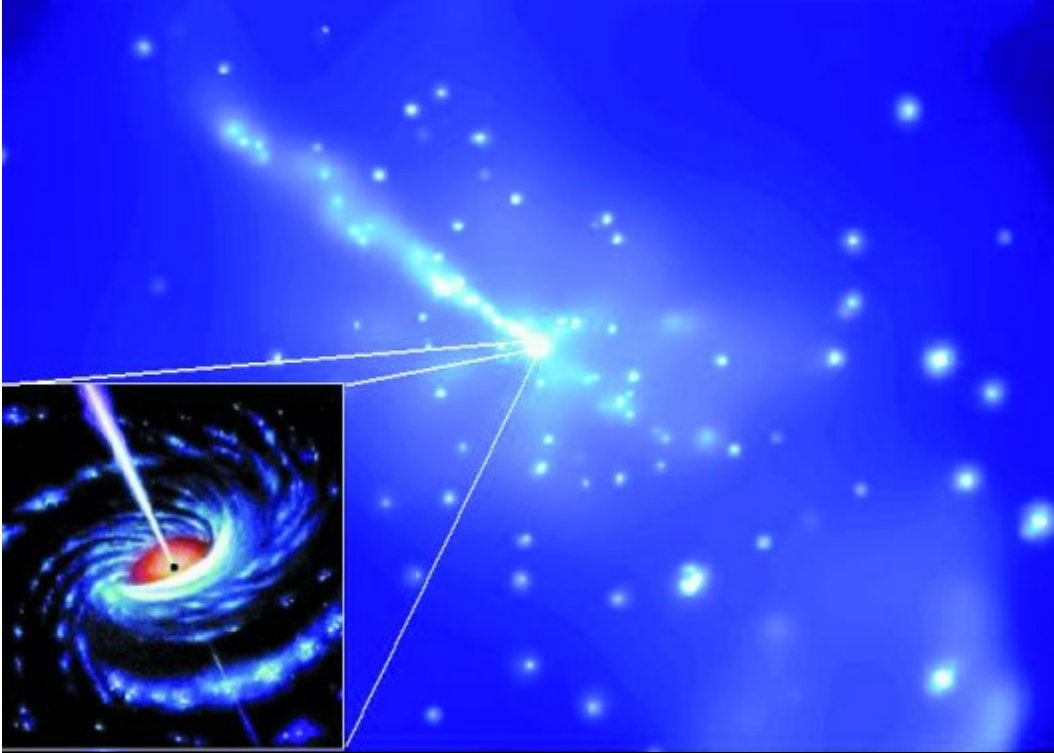


Avant de rencontrer la terre, les particules sont déviées par des champs magnétiques interstellaires et par le champ magnétique de la terre (la ceinture de van Allen). Aussi le vent de soleil avec ses champs magnétiques protège l'intérieur du système solaire des particules de basses énergies. Dans le voisinage de la Terre, les particules sont déviées par le champ magnétique terrestre qui joue le rôle de bouclier. Au voisinage des pôles, cette protection est moins efficace : les rayons cosmiques de faibles énergies provenant du soleil sont à l'origine des aurores boréales.

Interaction des rayons cosmiques dans l'atmosphère :



On rappelle que les gerbes atmosphériques ont été découvertes en 1938 par l'astronome français Pierre AUGER : une particule cosmique primaire de haute énergie qui pénètre les couches supérieures de l'atmosphère de la Terre entre en collision avec des noyaux d'azote et d'oxygène de l'air dont les fragments heurtent à leur tour d'autres noyaux. De cette manière, elle génère une pluie de particules secondaires. Une bonne partie de ces produits secondaires, dans leur grande majorité des particules nommées par les scientifiques les « muons », arrivent sur la surface de la Terre et peuvent être facilement détectées. Le flux est de l'ordre de 100 particules par seconde et par m^2 . Nous sommes traversés depuis toujours par ce bombardement quotidien, représenté ici au dessus de Strasbourg. La chambre à étincelles visualise ce bombardement cosmique. Le rayonnement cosmique contribue à la radioactivité naturelle à laquelle nous sommes exposés. Ce rayonnement cosmique s'est atténué en traversant l'atmosphère, qui joue le rôle de bouclier : le taux de radiation double à 1500 m par rapport au niveau de la mer et augmente plus encore lors d'un voyage en avion.

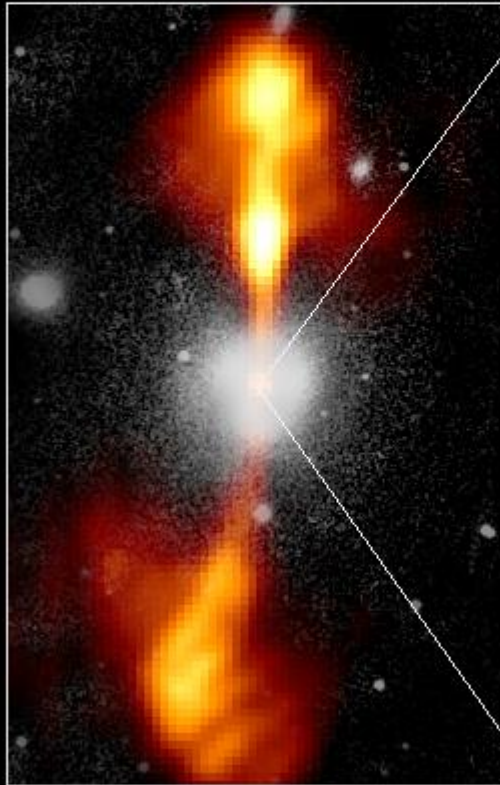


Core of Galaxy NGC 4261

Hubble Space Telescope

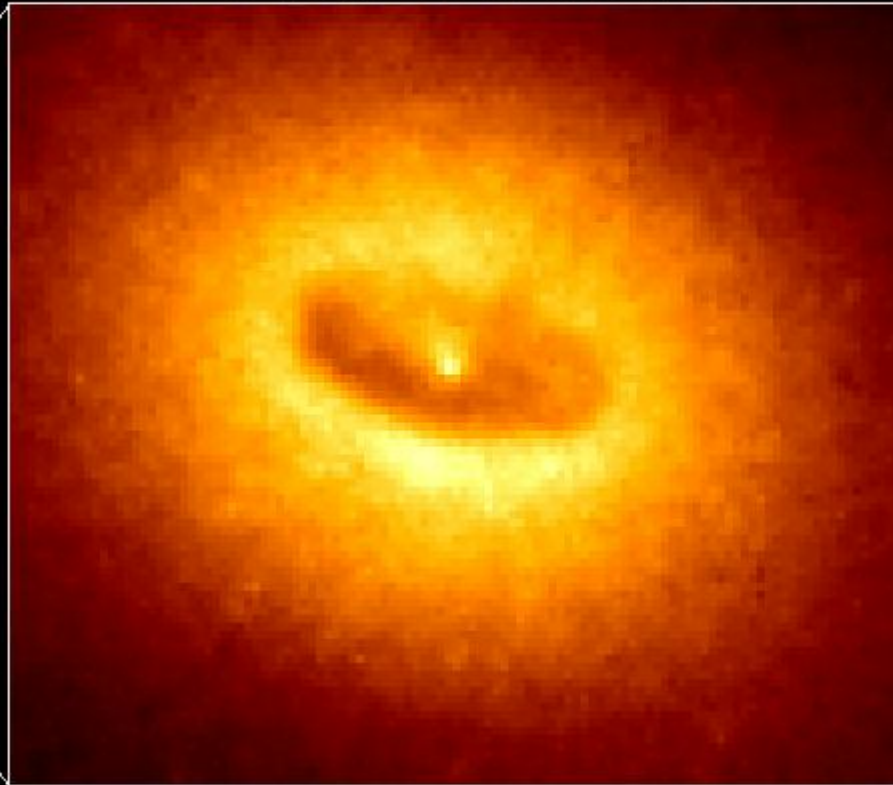
Wide Field / Planetary Camera

Ground-Based Optical/Radio Image

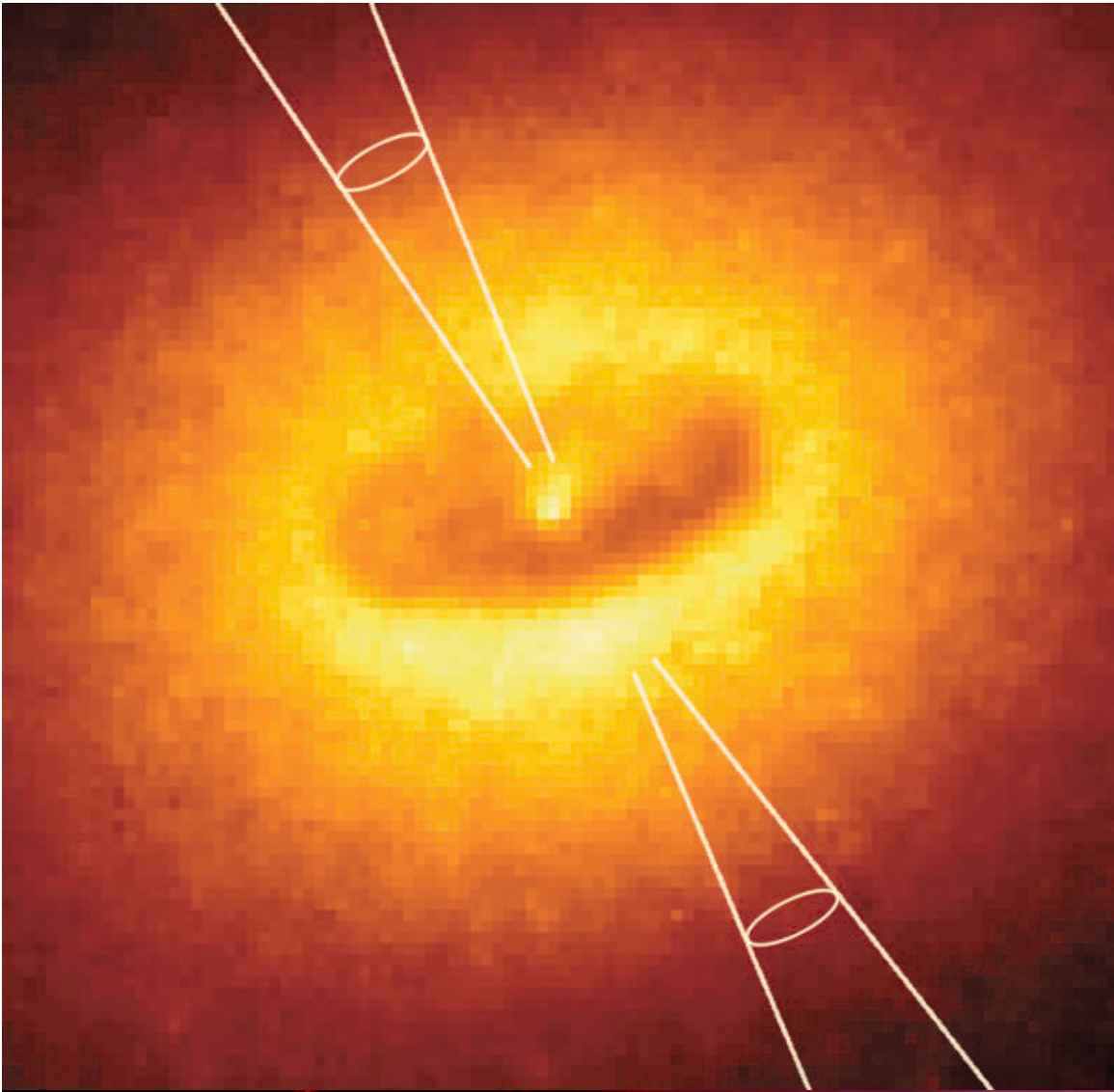


380 Arc Seconds
88,000 LIGHTYEARS

HST Image of a Gas and Dust Disk



17 Arc Seconds
400 LIGHTYEARS



Les muons et la théorie de relativité d'Albert Einstein :



La majorité des particules qui arrivent sur la surface de la terre (et que vous voyez dans la chambre à étincelles) sont des muons. Les muons sont des particules élémentaires comme les électrons, les physiciens disent que les muons font partie de la famille des leptons. Contrairement aux électrons les muons sont des particules instables avec une durée de vie de seulement $2.2 \mu\text{sec}$ (0.0000022 sec). Les muons sont produits par désintégration dans les collisions violentes des rayons cosmiques primaires avec les noyaux atomiques dans notre atmosphère, créant une gerbe des particules secondaires. Ces collisions se passent en grande hauteur dans l'atmosphère ($5-30\ 000 \text{ m}$). Les muons peuvent traverser toute l'atmosphère pratiquement sans interaction avec environ la vitesse de lumière ($300\ 000 \text{ km/sec}$). Naïvement, on peut penser qu'un muon créé à une hauteur de $10\ 000 \text{ m}$ prend $33 \mu\text{sec}$ (0.0001 sec) pour arriver au sol, 15 fois plus que la durée de vie du muon. Comment les muons peuvent être observés si nombreux à la surface de la terre ?

C'est en fait une conséquence directe de la célèbre théorie de la relativité d'Albert Einstein. La théorie d'Einstein constate que la vitesse de la lumière est la vitesse maximale avec laquelle un objet peut se propager. Pour un objet en mouvement relativiste, l'écoulement de

temps et les distances mesurées par un observateur (chercheur) au repos ne sont pas les mêmes que celles observées par quelqu'un participant lui-même au mouvement relativiste de l'objet. Dans notre exemple, la durée de vie de $2.2 \mu\text{s}$ d'un muon très énergétique produit par les rayons cosmiques, devient pour nous dilatée d'un grand facteur si nous observons ces muons après que ceux-ci aient traversé des dizaine de kilomètres. Ce phénomène s'appelle la dilatation du temps. Le fait que nous puissions observer dans la chambre à étincelles ces muons est une bonne démonstration que la théorie de la relativité est correcte.

Exposition à la radiation naturelle et aux rayons cosmiques :

L'atmosphère offre un bouclier permanent contre les radiations en provenance du soleil et des autres étoiles qui bombardent la Terre. Cependant, une partie des particules secondaires produites dans les gerbes atmosphériques suite aux interactions des rayons cosmiques atteignent le niveau du sol, et constituent une source de rayonnement, auquel nous sommes exposés. Notre corps est traversé par des centaines de particules chargées par seconde. Ce rayonnement s'est atténué en traversant l'atmosphère : le taux de radiation double à 1500 m par rapport au niveau de la mer et augmente plus encore lors d'un voyage en avion.

S'élever en altitude signifie diminuer l'épaisseur des couches protectrices. Les Indiens des Andes et les Tibétains de l'Himalaya qui vivent à longueur d'année à 3 ou 4000 mètres d'altitude subissent une dose de rayonnement accrue comme les passagers de vols aériens qui montent plus haut mais dont le voyage ne dure que quelques heures.

Exemple : Le passager d'un vol Paris New York à 10 000 m recevra une dose de 0,032 milli sieverts (mSv), l'équivalent d'une radiographie dentaire panoramique. Un autre voyageur empruntant une route passant par le pôle Nord pour aller de New York à Hong Kong recevra une dose trois fois plus importante car la protection de l'atmosphère et du champ magnétique terrestre est environ deux fois moins efficace aux latitudes polaires qu'à l'équateur.

Il faudra cinq allers et retours à un homme d'affaires habitué de la ligne ou à un membre d'équipage pour atteindre 1 mSv, l'équivalent d'une radio du bassin. Cette dose d'un milli sievert est également le seuil d'exposition moyen fixé pour le public par la Commission Internationale pour la Protection Radiologique. Un tel supplément de dose représente environ 40 % de la radioactivité naturelle qui varie elle-même beaucoup d'un endroit à l'autre. Un milli sievert par an ne présente pas de risque biologique connu.

Prendre l'avion, comme pratiquer l'alpinisme ou le ski, habiter certaines parties de l'Inde ou des hauts plateaux, c'est s'exposer à un supplément de radioactivité naturelle. Parmi les voyageurs aériens, les femmes enceintes, les équipages et ceux qui empruntent l'avion comme d'autres l'automobile sont les plus exposés. Une directive européenne impose depuis mai 2000 aux compagnies aériennes de suivre les doses reçues par leurs équipages et de les informer quand elles dépassent la limite de 1 mSv.

Les recherches sur les risques dus aux radiations lors de vols fréquents sans escales à haute altitude sont encore dans l'enfance, mais certaines études parmi des pilotes suggèreraient une augmentation de cancers qui pourraient être associés aux radiations.

La radioactivité « naturelle »

Des substances radioactives (c'est-à-dire des matériaux qui émettent un rayonnement ionisant ainsi que l'irradiation du cosmos) font partie de notre environnement et sont aussi présents dans beaucoup d'organismes. Ainsi, par exemple, chaque citoyen habitant dans un appartement est exposé en moyenne à une dose de 1.4 mSv par la décroissance du radon dans l'air. Son corps lui-même, un radio nucléide du potassium dans les os, représente une source de radiation de 8000 Bq, c'est-à-dire que par seconde se divisent dans son corps 8000 atomes qui envoient du rayonnement. A la surface de corps, cela donne une activité d'environ 0,4 Bq/cm². Aucun dégât reconnaissable à la personne et à l'environnement n'était prouvé jusqu'à maintenant par l'influence de la radioactivité naturelle. La charge des rayons naturels oscille entre 1 mSv et 4 mSv. En moyenne, elle fait 2,4 mSv. se décomposant en :

0,3 mSv en provenance du rayonnement spatial à la hauteur de mer,

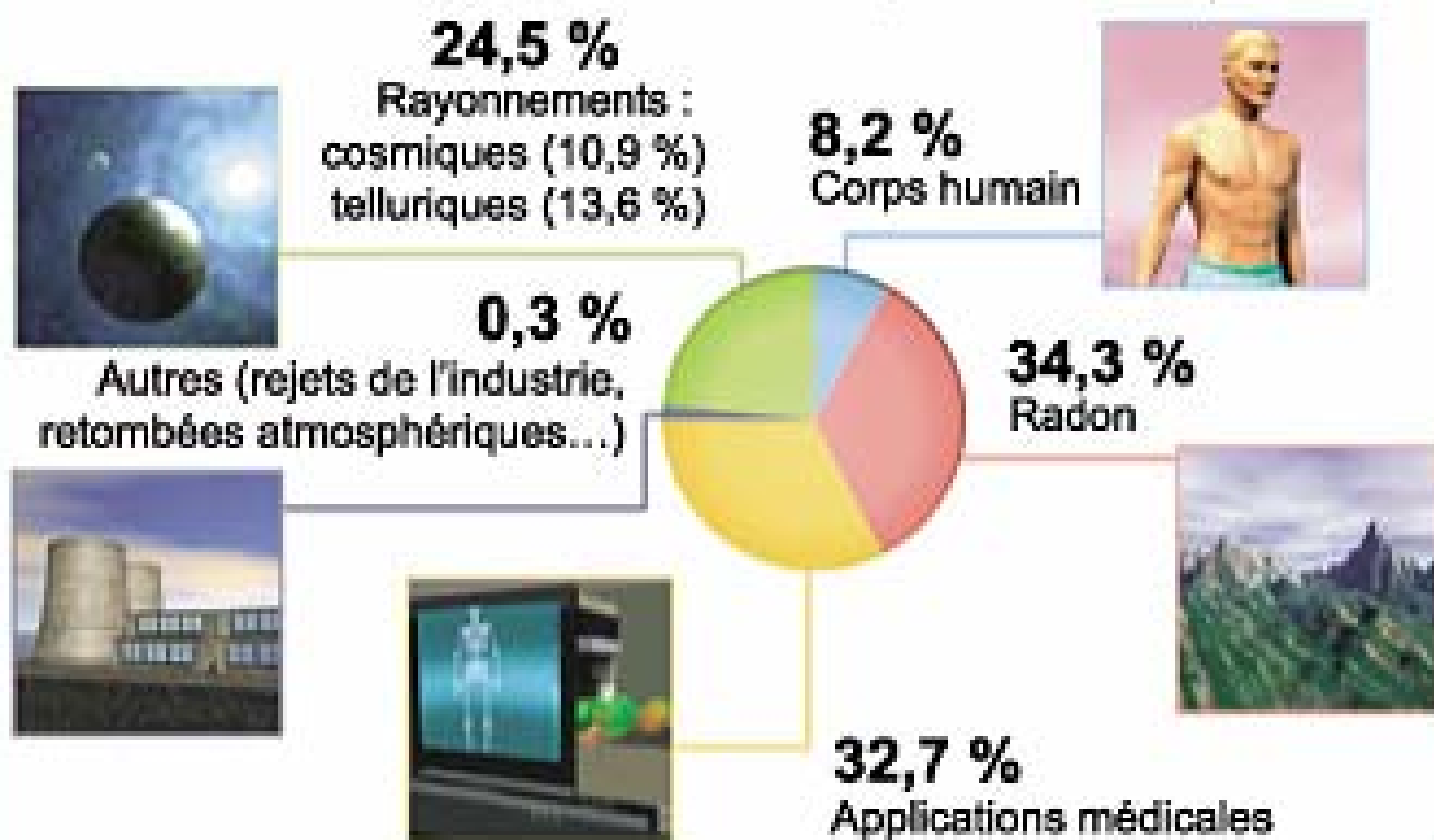
0,3 mSv des produits alimentaires,

0,4 mSv des matières(tissus) radioactives naturelles dans le terrain, les roches et le sol,

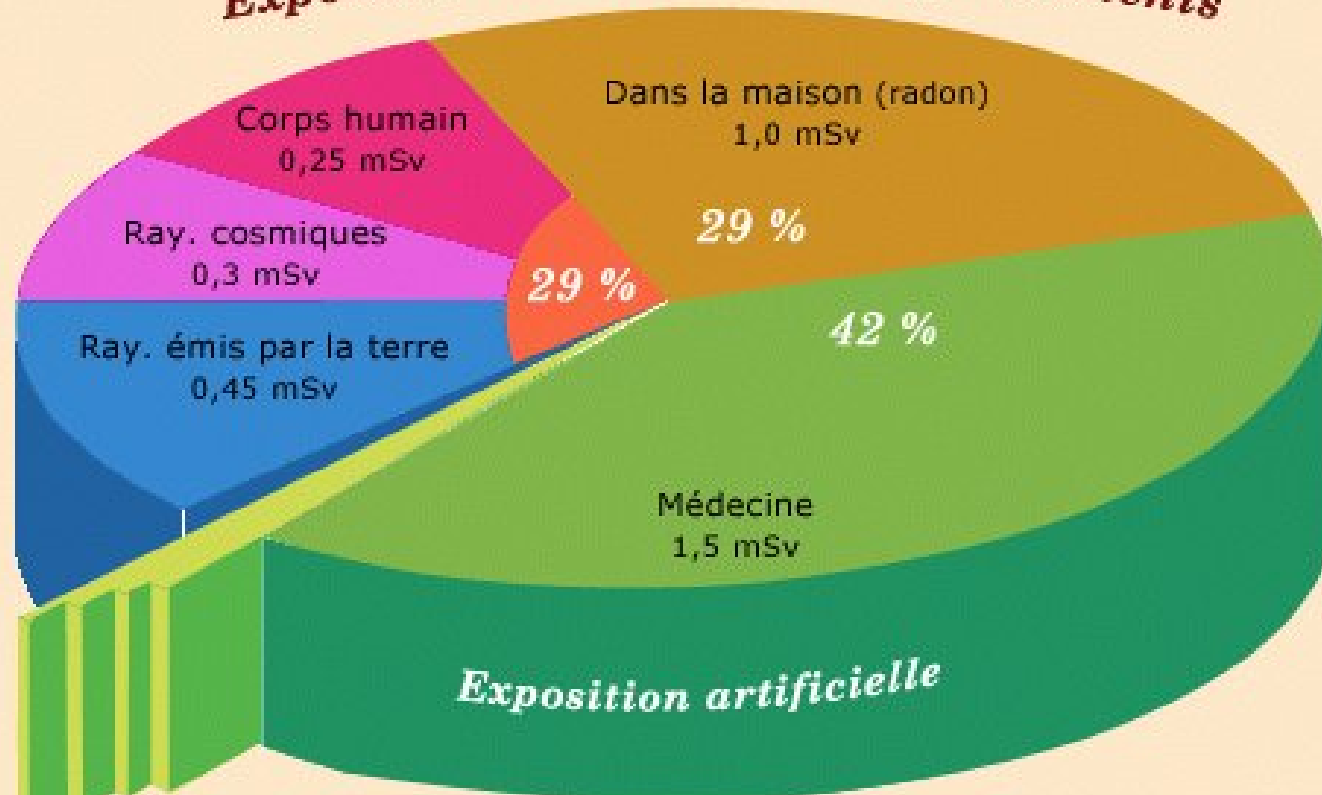
1,4 mSv du radon provenant des murs et de ses sous-produits.

Le radon est un gaz rare radioactif et qui se trouve dans l'uranium, le Thorium ainsi que dans la terre et les matériaux de construction. Ce gaz est présent dans les maisons et on atteint en moyenne une concentration de 50 Bq par mètre cube d'air. En fonction du lieu, des matériaux de construction et du genre de construction de la maison, cette valeur peut varier.

Les sources de radioactivité en France (source CEA/IRSN)



Exposition naturelle aux rayonnements

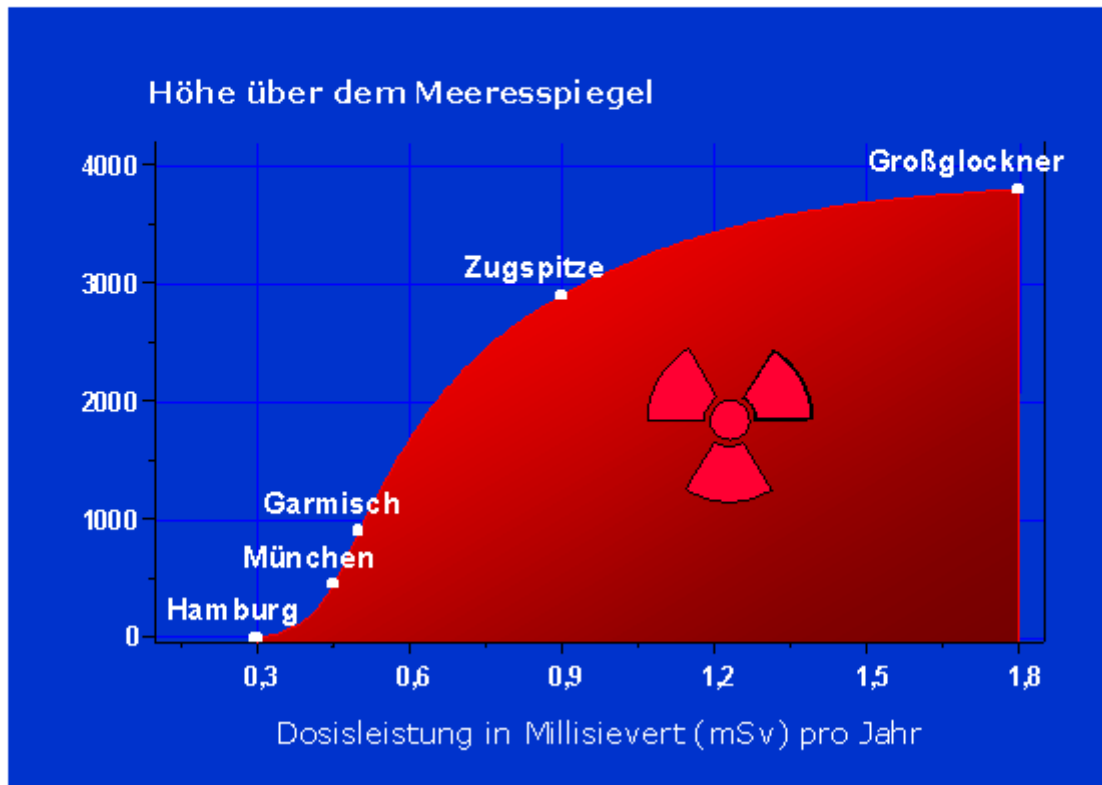


Exposition artificielle

- Retombées nucléaires (0,02 mSv)
- Recherches et technologies (<0,02 mSv)
- Installations nucléaires (<0,01 mSv)
- Industrie (<0,01 mSv)

Dose totale moyenne : 3,5 mSv

Kosmische Strahlung



strasbourg = 130 m

champ de feu = 1000

station de ski Val Thorons 2200 m

Mt Blanc 4880 m

