

# COSMOPHONIE

ou

## les rayons cosmiques révélés par le son

David Calvet et Claude Vallée<sup>1</sup>

Centre de Physique des Particules de Marseille  
CNRS-IN2P3 et Université de la Méditerranée  
163 Avenue de Luminy - case 907 - 13288 Marseille cedex 9, France

Richard Kronland<sup>2</sup> et Thierry Voinier

Equipe d'Informatique Musicale  
Laboratoire de Mécanique et d'Acoustique, CNRS  
31 Chemin Joseph Aiguier - 13402 Marseille cedex 9, France

### Résumé

Nous présentons un dispositif<sup>3</sup> de détection et restitution sonore instantanée du flux et des caractéristiques des rayons cosmiques dans l'espace environnant l'auditeur. Ce "cosmophone"<sup>4</sup> peut être réalisé à partir de techniques éprouvées de la physique des particules et de l'informatique musicale. La modularité du dispositif ainsi que la variété des phénomènes physiques d'origine cosmique mesurables au sol permettent d'envisager un éventail d'applications qui va de la salle de spectacle au dispositif individuel miniaturisé.

---

<sup>1</sup>Adresse électronique: vallee@cprm.in2p3.fr; téléphone: 04 91 82 72 46

<sup>2</sup>Adresse électronique: kronland@lma.cnrs-mrs.fr; téléphone: 04 91 16 42 50

<sup>3</sup>Ce dispositif est lauréat du Prix "Création" de la Culture scientifique et technique 1999, décerné par le Ministère de l'Éducation nationale, de la Recherche et de la Technologie. Il a fait l'objet du dépôt d'une demande de brevet par le CNRS.

<sup>4</sup>"cosmophone" est une marque déposée du CNRS.

# 1 Les Rayons Cosmiques

L'espace interstellaire est en permanence parcouru d'un flux de particules élémentaires de haute énergie: le rayonnement cosmique. Composées surtout de protons (noyaux d'atomes d'hydrogène), ces particules sont la trace de phénomènes violents qui les ont libérées et accélérées quelque part dans l'univers. La plupart sont produites dans notre galaxie, par exemple lors des explosions d'étoiles en fin de vie, les supernovae. Elles y restent confinées pendant plusieurs millions d'années par le champ magnétique galactique.

Au voisinage de la terre, les rayons cosmiques pénètrent dans la haute atmosphère en créant des avalanches de particules secondaires. En partie absorbées par l'atmosphère terrestre, ces avalanches sont à l'origine d'une grande variété de phénomènes détectables au niveau de la mer, parmi lesquels:

- un flux important de *muons*, sortes d'électrons lourds absents de la matière ordinaire car de très courte durée de vie. Ces muons sont produits en grande quantité dans les gerbes atmosphériques de rayons cosmiques et peuvent atteindre le niveau de la mer grâce à leur grand pouvoir de pénétration. Leur flux au sol est d'une centaine par seconde et par mètre carré.
- des avalanches secondaires de particules, issues du choc d'un muon avec les matériaux présents dans le voisinage immédiat du lieu d'observation. Un cas fréquent est l'émission de *gerbes électromagnétiques*, avalanches de paires d'électrons et anti-électrons, lors du passage d'un muon à proximité d'un noyau atomique. La matière des structures d'un bâtiment typique produit un taux de l'ordre d'une gerbe électromagnétique par minute et par dizaine de mètres carrés.
- des gerbes de plusieurs muons, de même direction et espacés de quelques mètres, issus de la gerbe atmosphérique d'un rayon cosmique particulièrement énergétique. Le nombre et la densité spatiale des muons donnent une indication sur l'énergie de la particule primaire qui a interagi dans la haute atmosphère. Sur une surface d'une centaine de mètres carrés, le taux des multi-muons varie d'environ un par seconde pour les gerbes de 2 à 3 muons, à un par minute pour les gerbes d'une dizaine de muons ou plus.

Les muons et gerbes électromagnétiques d'origine cosmique ont une direction préférentiellement verticale, mais une fraction significative d'entre eux ont une inclinaison notable allant jusqu'à 45 degrés et au-delà.

## 2 Le Concept de Cosmophonie

Le corps humain est par nature insensible aux particules élémentaires produites dans les gerbes cosmiques. Une cosmophonie consiste à rendre directement perceptible le flux et les caractéristiques des rayons cosmiques dans un espace à trois dimensions, en couplant un ensemble de détecteurs de particules à un réseau de haut-parleurs par un système de traitement de données et de synthèse sonore en temps réel. Les informations reçues des détecteurs déclenchent instantanément l'émission de phénomènes sonores dont la nature dépend des paramètres des particules détectées.

La fréquence des phénomènes cosmiques et la gamme de leur paramètres mesurables permettent d'envisager une vaste panoplie d'effets sonores. Suivant les dimensions et la complexité du

système de détection peuvent être restituées entre autres la trajectoire, la direction, l'énergie, la nature ou la taille des gerbes cosmiques. Par exemple, un son émis dans l'espace et déplacé de haut en bas avec un glissement de fréquence (effet Doppler) peut matérialiser la trajectoire d'un muon en donnant une impression de vitesse. Les fluctuations aléatoires d'apparition des différents types d'événements constituent une source essentielle d'imprévu lors d'une séquence d'écoute donnée.

### 3 Configuration du Dispositif

Le dispositif, baptisé "cosmophone", est fondé sur un réseau de détecteurs et de haut-parleurs environnant l'espace d'audition (voir figure). Les propriétés de localisation des sources sonores par l'oreille permettent de se contenter d'une résolution spatiale de détection de l'ordre du mètre carré, voire moindre pour une installation de grande ampleur. La densité du réseau de haut-parleurs est du même ordre que la résolution de détection choisie afin de garantir une bonne stabilité du rendu sonore dans l'espace. Dans la mesure du possible, les détecteurs et haut-parleurs, ou tout-au-moins leurs positions exactes, doivent rester invisibles afin de ne pas détourner l'attention de l'auditeur et lui permettre de se concentrer sur la perception des effets sonores.

Plusieurs types de détecteurs sont envisageables pour la détection de particules d'origine cosmique: scintillateur plastique ou liquide, chambres à fils, détecteurs de lumière Čerenkov, etc... Les signaux issus des détecteurs sont traités par un système de déclenchement et d'acquisition similaire à ceux utilisés en physique des particules. La coïncidence temporelle des signaux mesurés dans plusieurs détecteurs, nécessaire pour éliminer le bruit de fond de la radioactivité ambiante, signe le passage de particules d'origine cosmique. Elle déclenche l'acquisition de l'ensemble des données des détecteurs, qui, après traitement éventuel, sont transmises à un système d'émission sonore. Ce système contrôle plusieurs canaux d'émission permettant de créer des effets sonores spatialisés en fonction des informations reçues des détecteurs. Il peut être constitué de synthétiseurs du commerce, programmables selon le standard MIDI, ou réalisé entièrement en logiciel sur un micro-ordinateur rapide. Cette dernière solution permet la mise en oeuvre d'algorithmes complexes de spatialisation comme la simulation de l'effet Doppler mentionné plus haut.

### 4 Contextes de Mise en Oeuvre

La modularité et la simplicité de mise en oeuvre d'un cosmophone permettent d'envisager l'application de ce concept à des contextes variés. Citons par exemple:

- l'instrumentation permanente d'un grand espace de plusieurs centaines de mètres carrés avec des détecteurs capables d'enregistrer l'ensemble des phénomènes mesurables (muons isolés, gerbes électromagnétiques et gerbes de multi-muons) à un taux suffisant. Ce dispositif servirait de support à des représentations fondées sur des effets sonores spectaculaires et variés, qui pourraient évoluer dans le temps en fonction de la sensibilité des musiciens impliqués dans leur composition. Les spectacles pourraient éventuellement être complétés d'effets visuels ou d'une scénographie impliquant des acteurs, danseurs ou musiciens en action sur une scène.

- une installation itinérante destinée à des représentations du même type, mais dans des lieux variés, par exemple en plein air sous la voûte étoilée. Dans ce cas, l'accent sera mis sur la robustesse et la modularité des éléments du dispositif, afin de faciliter l'adaptation de sa configuration à la topologie de chaque lieu de représentation.
- une installation de quelques dizaines de mètres carrés à vocation plus didactique, pour un musée des sciences par exemple.
- des dispositifs de petite taille (quelques mètres carrés) destinés à l'agrément de lieux publics ou à l'usage de particuliers.
- des dispositifs individuels miniaturisés, par exemple sous forme de "casques cosmophoniques" équipés de petits détecteurs et d'une paire d'écouteurs.

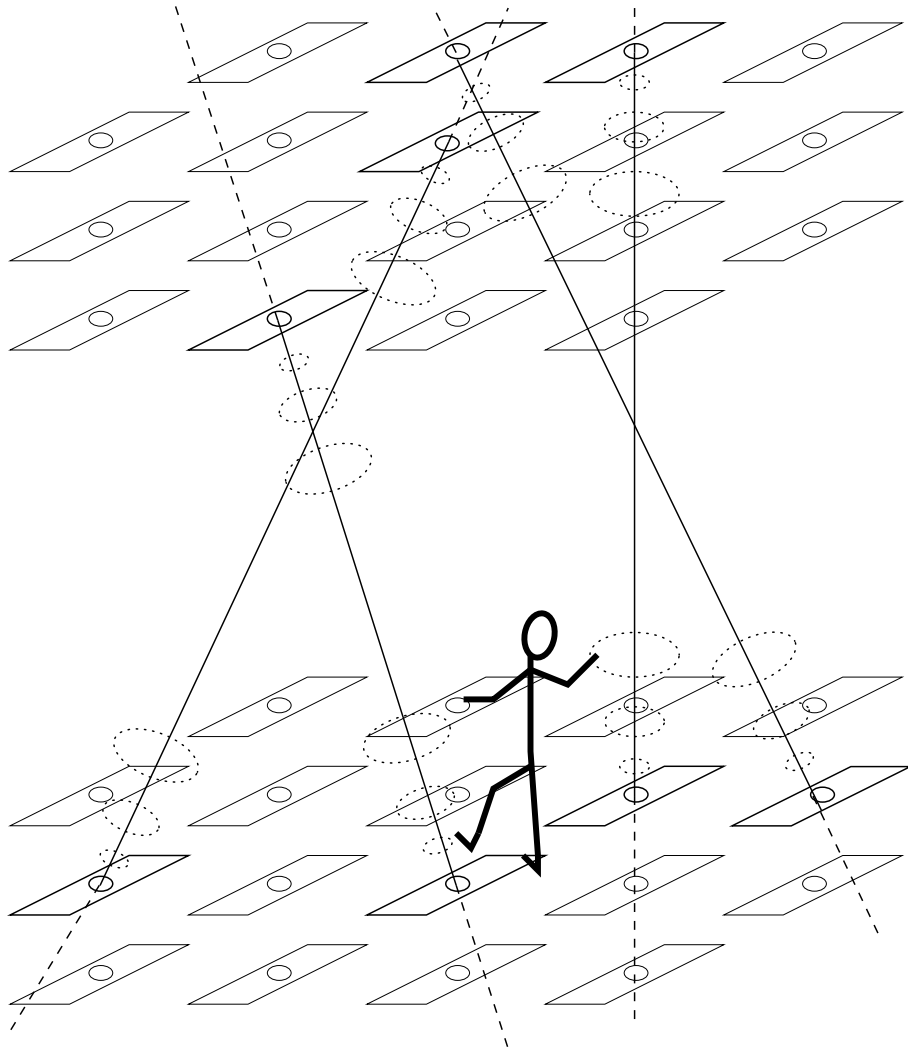


Figure 1: Vue schématique d'un cosmophone de taille moyenne. Les rectangles représentent les détecteurs de particules cosmiques, et les cercles les haut-parleurs.