

DESCRIPTIF TECHNIQUE

DE COSMOPHONE A 24 VOIES

David Calvet et Claude Vallée¹

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 Kronland² 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 décrivons les solutions techniques proposées pour la réalisation d'un cosmophone³ à 24 voies fondé sur des détecteurs à scintillateur plastique. Cette installation est optimisée pour l'instrumentation de surfaces de quelques dizaines de mètres carrés. La présentation inclut une vue d'ensemble de l'installation suivie d'une description détaillée de ses composants.

¹Adresse électronique: vallee@cspm.in2p3.fr; téléphone: 04 91 82 72 46

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

³Ce dispositif a fait l'objet du dépôt d'une demande de brevet par le CNRS; "cosmophone" est une marque déposée du CNRS.

1 Configuration générale

Le dispositif décrit se compose de 2 réseaux horizontaux de 12 couples détecteur/haut-parleur chacun, situés au sol et au plafond respectivement. A l'intérieur d'un réseau, les couples détecteur/haut-parleur sont distants de 1 à 2 mètres les uns des autres, et la distance verticale entre chaque réseau doit être de l'ordre de 3 à 4 mètres. Cette segmentation de l'espace est suffisante au regard du pouvoir de localisation des sources sonores par l'oreille. A titre d'exemple, la figure 1 montre une configuration de réseau maximisant la symétrie du dispositif, obtenue en plaçant les détecteurs sur 2 cercles concentriques de diamètres respectifs approximatifs 1,5 et 4 mètres (figure 1).

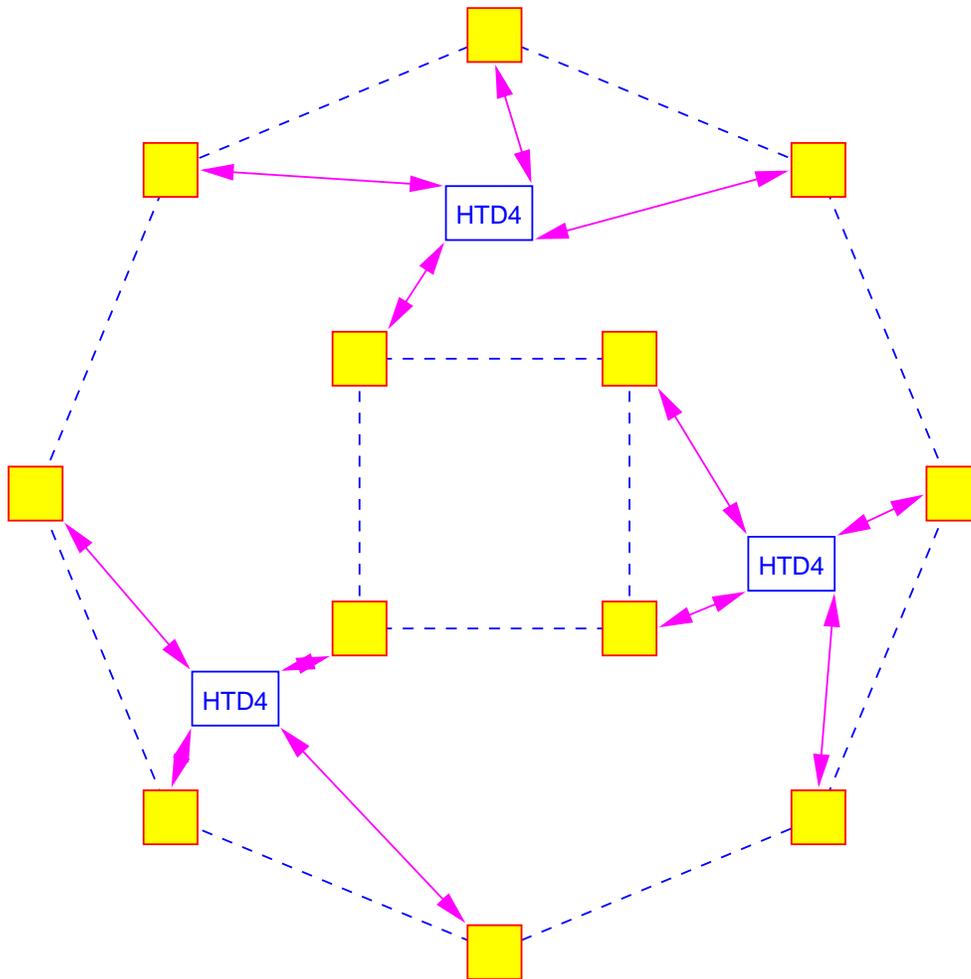


Figure 1: Configuration symétrique d'un réseau de 12 couples détecteur/haut-parleur. Les modules HTD4 sont les cartes d'électronique locale décrites au chapitre 3.

Avec les détecteurs proposés (voir chapitre 2), il est possible de détecter:

- des muons cosmiques isolés, identifiés par la coïncidence temporelle du signal d'un détecteur haut et d'un détecteur bas, à un taux de 1 à 2 muons par seconde.

- des gerbes électromagnétiques, caractérisées par la coïncidence temporelle des signaux de deux groupes de détecteurs contigus situés au sol et au plafond. Leur taux et leur taille dépendra de la configuration et de la quantité de matière située à la verticale du dispositif.
- quelques gerbes de multi-muons, identifiés par la détection simultanée de plusieurs muons correspondant à des paires de détecteurs haut-bas de directions parallèles et non adjacentes. Pour les dimensions de détecteurs proposées, le taux attendu est faible, de l'ordre d'un multi-muon toutes les quelques heures. L'emploi de détecteurs beaucoup plus grands augmenterait significativement ce taux de détection.

2 Détecteurs

Les détecteurs proposés sont des lattes de scintillateur plastique de $50 \times 13 \times 2 \text{ cm}^3$. Ce matériau est utilisé depuis des décennies en physique des particules et présente les avantages d'une grande robustesse et simplicité de mise en oeuvre. Le long de leur trajectoire à l'intérieur de la latte, les particules ionisantes (muons ou électrons des gerbes électromagnétiques) portent les molécules du scintillateur dans un état excité qu'elles perdent en émettant de la lumière de scintillation. Un matériau scintillateur courant de type BC-400, fabriqué par la société BICRON et émettant préférentiellement dans le bleu, convient parfaitement à notre usage.

La lumière de scintillation est recueillie à une extrémité de la latte par un photo-multiplicateur, qui la transforme en un signal électrique utilisable d'une durée de quelques milliardièmes de seconde. Parmi les modèles disponibles sur le marché, notre choix s'est porté sur le PM XP3230B fabriqué par la société PHOTONIS. Alimenté par une haute tension de l'ordre de 1000 à 1500 V, ce PM de 5,2 cm de diamètre présente un gain d'amplification suffisant pour notre usage. Sa fabrication à grande échelle pour des équipements d'instrumentation médicale en rend le prix particulièrement compétitif. Des essais menés au CPPM ont confirmé qu'il répondait à nos spécifications.

La transmission optique entre la latte de scintillateur et le PM est faite par simple contact mécanique entre la tranche de la latte et la fenêtre du PM. L'emploi d'un guide de lumière pour adapter les sections respectivement rectangulaire et circulaire de la latte et du PM augmenterait inutilement le coût et la complexité du dispositif au vu des performances requises. Le contact mécanique est maintenu par la pression d'un ressort. L'ensemble du dispositif est calé par des entretoises cylindriques en PVC à l'intérieur d'un tube de PVC de 20 cm de diamètre fermé aux deux extrémités par des bouchons adaptés. Un soin particulier doit être apporté à l'étanchéité optique du montage, afin d'éviter de saturer le PM par de la lumière parasite. Vu de l'extérieur, un détecteur se présente sous la forme d'un cylindre de 20 cm de diamètre et environ 75 cm de longueur, équipé sur l'un des bouchons de 2 connecteurs associés à la haute tension d'alimentation et au signal de sortie.

3 Electronique d'acquisition

Les signaux électriques issus des détecteurs sont traités par une électronique d'acquisition qui les met en forme, détecte le passage d'une particule cosmique par la coïncidence temporelle de plusieurs d'entre eux, rassemble et analyse les informations associées à chaque événement et les transmet à la chaîne d'émission sonore. Ces fonctions sont effectuées sur deux niveaux, un niveau local associé à un groupe de 4 détecteurs voisins, et un niveau central réunissant

les informations de tous les détecteurs (figure 2). L'absence de matériel disponible dans le commerce à des coûts abordables nous a conduit à concevoir des cartes d'électronique spécifiques à notre usage.

Architecture électronique jusqu'à 32 voies: contrôle des détecteurs et acquisition

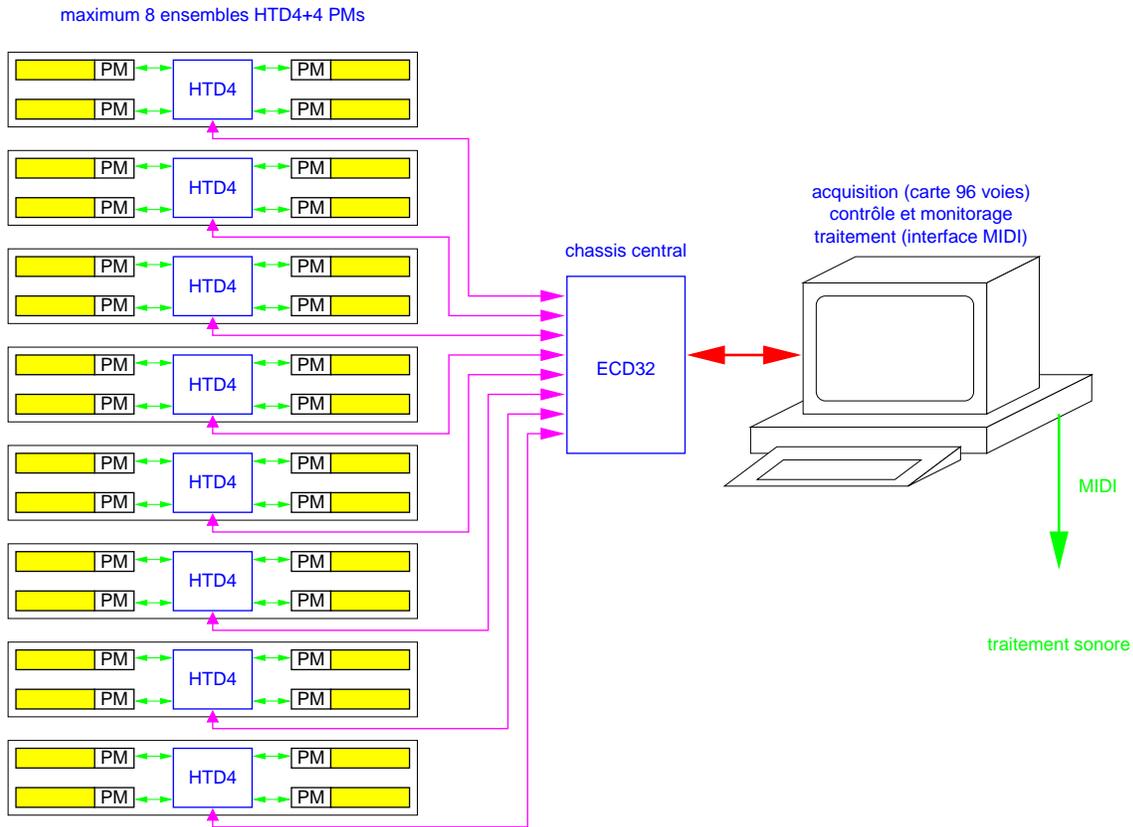


Figure 2: Schema général de l'électronique d'acquisition. Le boîtier ECD32 est dimensionné pour un maximum de 32 voies, mais l'installation décrite ne met en jeu que 6 modules HTD4 (24 voies).

A chaque groupe de 4 détecteurs voisins est associé un module d'électronique locale baptisé "HTD4" (figure 3). La première fonction de ce module est d'assurer l'alimentation en haute tension des 4 détecteurs concernés. Un convertisseur transforme une basse tension en 4 hautes tensions ajustables individuellement jusqu'à une valeur de 2000 V pour distribution aux 4 PM. Cette configuration, en évitant de transporter les hautes tensions sur de longues distances, offre un facteur de sécurité accru. Le module HTD4 recueille aussi les signaux des 4 PM et, après amplification, les compare à un seuil de référence ("discrimination"). Les signaux significatifs sont transformés en une impulsion normalisée dont la longueur et l'instant de montée sont ajustables, afin de permettre une bonne synchronisation des signaux de tous les détecteurs lors de la recherche de coïncidence temporelle par le module central. Afin de supprimer les effets possibles de bruits cohérents sur de longues distances, les 4 signaux sont transmis au module central en mode différentiel, par l'intermédiaire d'un câble blindé 25 points qui transporte aussi

la basse tension d'alimentation.

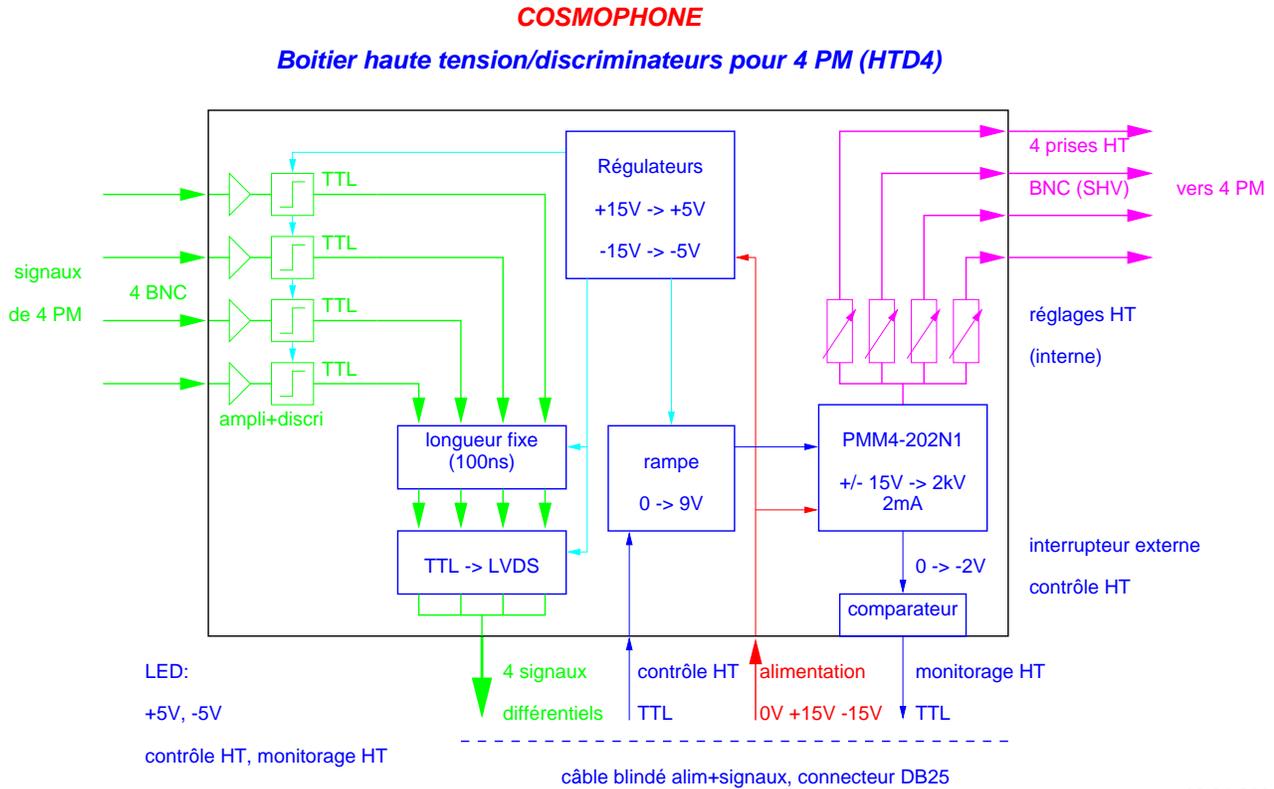


Figure 3: Schema du module d'électronique locale associé à 4 détecteurs.

L'électronique centrale d'acquisition se compose d'un module électronique de logique rapide, baptisé "ECD32", associé à un ordinateur PC de traitement des données.

Le module ECD32 (figure 4), conçu pour un maximum de 32 voies, traite les signaux des 24 détecteurs de notre installation. Les opérations de coïncidence numérique, effectuées par un processeur ALTERA, sont configurables par programme. L'opération principale prévue est la mise en coïncidence temporelle, sur une durée de quelques dizaines de milliardièmes de seconde, des 2 "OU" logiques des signaux des réseaux haut et bas. Cette coïncidence signe le passage d'une particule cosmique dans une paire quelconque de détecteurs haut et bas. Elle produit un signal de déclenchement qui initie la lecture des données des 24 détecteurs par le PC.

Le PC peut être un produit standard fonctionnant sous Windows 98. Il reçoit les signaux de déclenchement et de données en norme TTL par l'intermédiaire d'une carte d'acquisition du commerce connectée à son bus interne. Son programme d'acquisition, écrit en langage C++, effectue les fonctions suivantes:

- attente d'un signal de déclenchement, et lecture des signaux des 24 détecteurs sur réception d'un signal;
- reconnaissance de forme pour identification du type d'événement détecté (muon isolé, gerbe électromagnétique ou multi-muon);

COSMOPHONE

Boîtier électronique centrale/déclenchement jusqu'à 32 voies (ECD32)

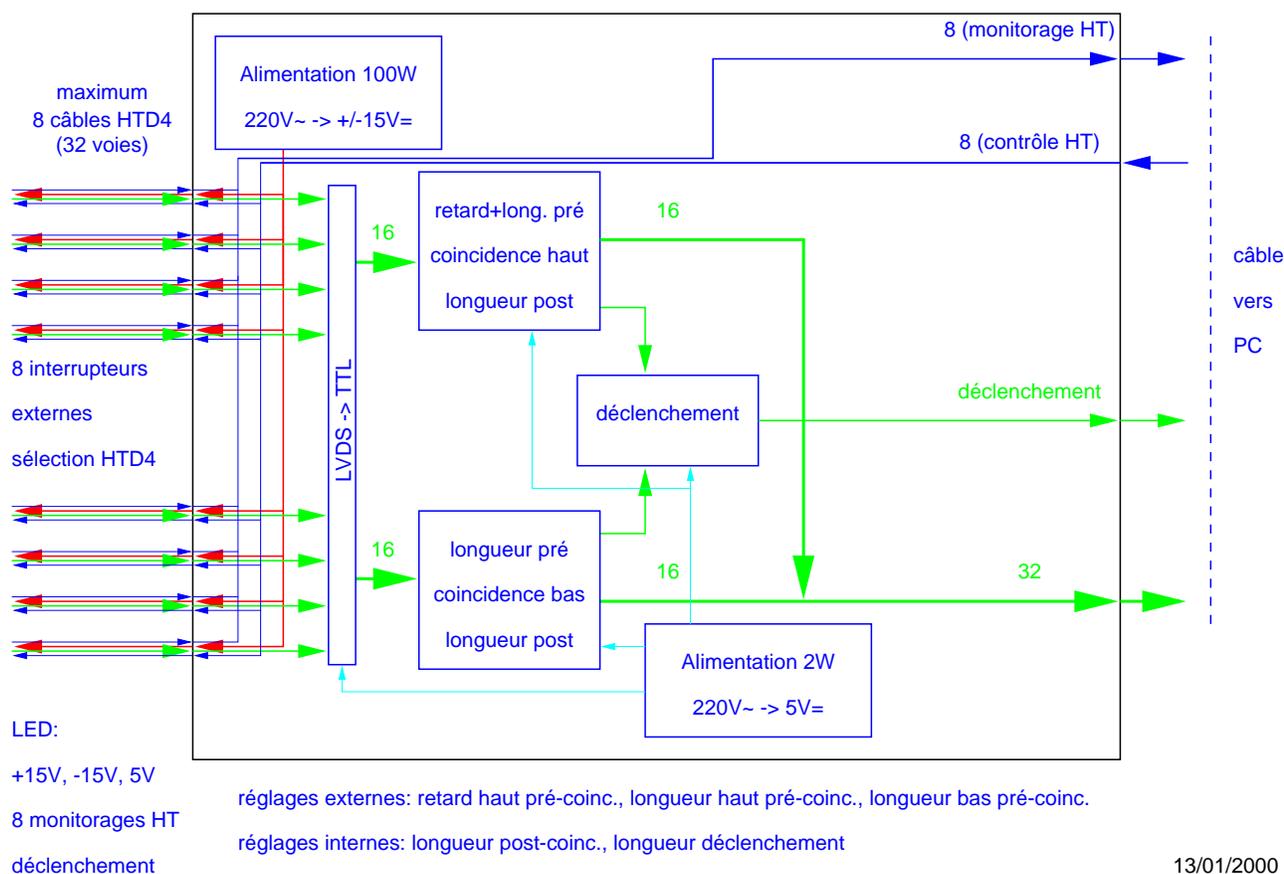


Figure 4: Schéma du module d'électronique centrale ECD32.

- éventuellement filtrage des événements, en fonction de leur type ou configuration, afin d'enrichir la restitution en événements rares plus intéressants;
- encodage des paramètres pertinents de l'événement (paire haut-bas touchée, etc...) pour transmission à la chaîne d'émission sonore;
- visualisation de l'événement sur l'écran du PC;
- production d'histogrammes de contrôle du fonctionnement des détecteurs (taux de réponse individuels, etc...) permettant d'identifier facilement des pannes éventuelles.

Les paramètres pertinents de chaque événement sont transmis en temps réel à la chaîne d'émission sonore après conversion en format MIDI par une carte du commerce connectée au bus interne du PC.

4 Chaîne d'émission sonore

La synthèse sonore est effectuée numériquement en temps réel par un ordinateur connecté au réseau de haut-parleurs par des convertisseurs numérique/analogique et des amplificateurs (figure 5).

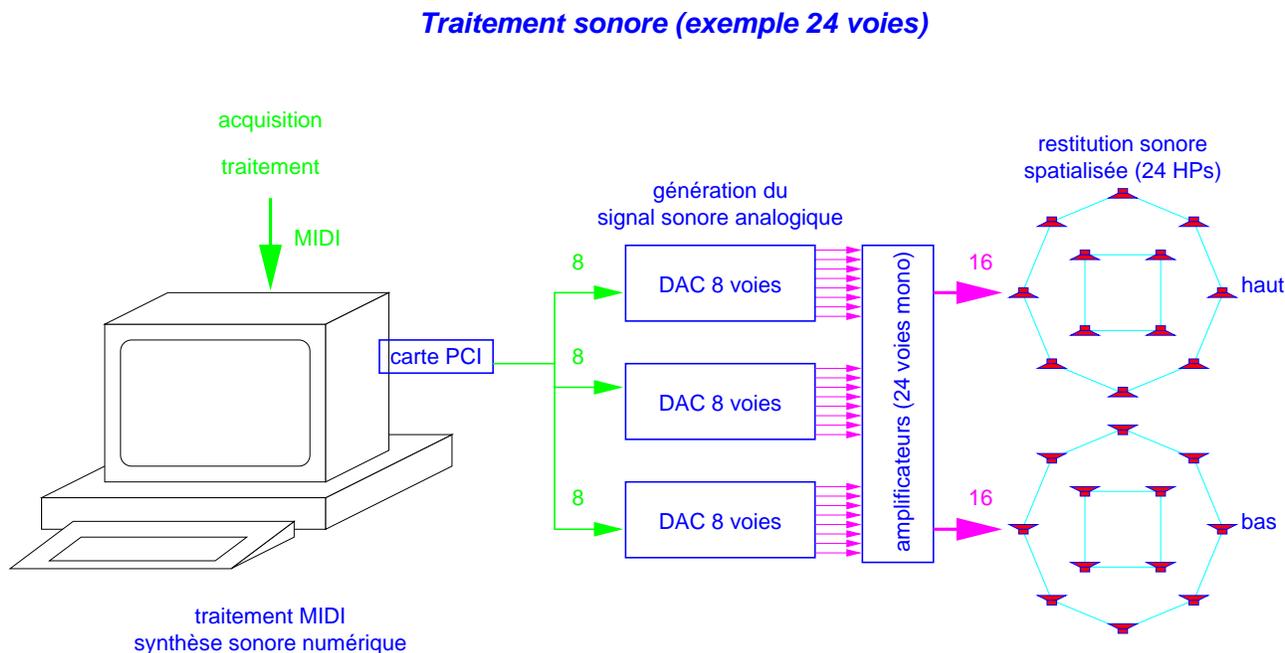


Figure 5: La chaîne d'émission sonore.

Un processeur bien adapté à la synthèse sonore en temps réel est actuellement le Macintosh G4. Il possède la puissance de calcul nécessaire et peut accueillir le logiciel MAX/MSP, développé spécialement pour la synthèse sonore et le traitement de signaux MIDI. Cette solution offre une flexibilité maximale en permettant la production d'effets basés sur des sons réels ou de synthèse.

Les sons numériques produits par l'ordinateur sont convertis en signaux analogiques par des convertisseurs numérique/analogique (DAC) connectés au bus PCI du MAC. Les cartes du commerce de type MOTU 2408, qui permettent de traiter 8 canaux chacune, conviennent à notre usage. Elles fonctionnent à double sens (numérique \rightarrow analogique et analogique \rightarrow numérique), ce qui permet éventuellement d'associer à la synthèse sonore un traitement en temps réel de signaux sonores externes.

Les amplificateurs doivent être de norme HIFI et de puissance au moins égale à 50 W. Le plus commode est l'emploi d'amplificateurs stéréo du commerce. De la même façon, les haut-parleurs peuvent être constitués d'enceintes acoustiques grand public.

L'ensemble des modules d'électronique (ECD32, convertisseurs numérique/analogique, amplificateurs) sont logés dans une baie centrale unique de largeur standard 19 pouces.

Le dispositif décrit laisse une liberté totale de choix des effets sonores. Par exemple, il est possible de restituer:

- l'impact et la direction des particules, par l'activation principale des haut-parleurs correspondant aux détecteurs touchés;
- le sens de déplacement des particules, par la simulation d'un effet doppler créant une impression de mouvement entre les haut-parleurs haut et bas;
- les effets d'avalanche associés aux gerbes électromagnétiques, par la production d'un "ruissellement sonore" dans la direction de la gerbe.

Il est également possible de superposer aux événements sonores "temps réel" un fond sonore musical d'ambiance enregistré. Ceci permet de renforcer considérablement les capacités de concentration auditive des spectateurs.

Les effets sonores peuvent évoluer dans le temps avec l'amélioration des techniques et logiciels de synthèse en temps réel.

5 Réalisation

La table 1 récapitule la liste des composants de l'installation décrite.

Poste	Description	Quantité
Scintillateur	Lattes BC-400 50 x 13 x 2 cm^3	24
Photo-Multiplicateurs	PHOTONIS XP3230B	24
Coffrets détecteurs	Tubes PVC et éléments associés	24
Electronique locale	Boîtiers HTD4 (4 voies) alimentation Haute Tension et mise en forme des signaux	6
Câblerie détecteurs	Câbles Haute Tension 4m	24
	Câbles signal 4m	24
	Câbles blindés 25 points 25m (4 voies)	6
Electronique centrale	Boîtier ECD32 logique de déclenchement et alimentation générale	1
Ordinateur d'acquisition	PC WINDOWS 98 avec carte MIDI et carte d'acquisition TTL	1
Baie centrale	Baie largeur 19 pouces	1
Ordinateur de synthèse sonore	MAC G4 avec interface MIDI/USB	1
Logiciel de synthèse sonore	MAX/MSP	1
Convertisseurs numérique/analogique	Couples MOTU 2408 PCI 324 (8 voies)	1
	Cartes MOTU 2408 seules (8 voies)	2
Amplificateurs	HIFI 50 W (2 voies)	12
Haut-parleurs	Enceintes acoustiques 50 W	24
Câblerie audio	Câbles RCA HOSA 6m (2 voies)	12
	Cordons HP 25m	24

Table 1: Ingrédients d'un cosmophone à 24 voies adapté à l'instrumentation de quelques dizaines de mètres carrés.