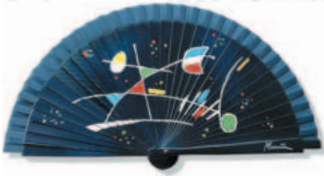


Journal du Département d'Astrophysique, de physique des Particules, de physique Nucléaire et de l'Instrumentation Associée

Le Dapnia ouvre son éventail



Éventail « cosmique ».

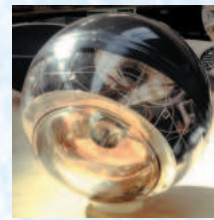
Vues de l'extérieur, les activités du Dapnia, au sein d'équipes planétaires, présentent deux pôles : d'une part l'étude des deux infinis, de l'autre, la conception et la réalisation de merveilleuses machines grâce auxquelles on les explore. Vus de l'intérieur, ces deux pôles s'interpénètrent. Au Dapnia, un chercheur « cognitif » sait « bidouiller un détecteur » et un ingénieur de projet sait dans quel but scientifique il œuvre. Les disciplines scientifiques et techniques y sont étroitement imbriquées. Notre journal, ScintillationS, dont le nom fut choisi car les étoiles scintillent tout comme scintillent certains détecteurs que traverse une particule, s'efforce de refléter cette imbrication entre disciplines, cette symbiose entre corps de métiers, cet éventail d'activités s'ouvrant, toujours plus large, sur le monde. Aperçu du reflet, en ce début de 2006.

Vous avez dit « Scintillations » ? Si les étoiles scintillent, c'est qu'on les voit à travers les turbulences de l'atmosphère. L'atmosphère serait-elle un détecteur ? Oui, car des particules y naissent du choc des rayons cosmiques sur ses molécules. Et lorsque des rayons venus du cosmos ont des dizaines de fois l'énergie des plus gros accélérateurs, les particules qu'ils engendrent dans l'air s'y propagent plus vite que la lumière. Alors naissent des éclairs de lumière bleue trop fugitifs pour qu'on les voie mais que captent les scintillateurs de détecteurs spéciaux : les photomultiplicateurs. Derniers relayeurs d'une longue chaîne de messagers cosmiques, ces « éclairs Tchérékov » témoignent de phénomènes mettant en jeu de colossales énergies. Le réseau Hess, en Namibie, vient ainsi de surprendre en pleine action un « accélérateur de particules cosmiques » du côté du centre de notre Voie Lactée. Des personnes du Dapnia sont de cette belle aventure (page 6).

L'eau de mer aussi est un « détecteur Tchérékov ». Le principe est en gros le même, avec des particules différentes : des neutrinos venus d'ailleurs (du fin fond de l'Univers, ou du Soleil, ou d'une supernova) frappent l'atmosphère, y créent des muons, lesquels plongent dans l'eau plus vite que ne s'y propage la lumière. Effet Tchérékov garanti : « flashes » de lumière bleue que captent des photomultiplicateurs. C'est l'expérience Antarès (pages 7 et 8). Le désert de Namibie est ici remplacé par les fonds marins de la rade de Toulon, et, si l'on ose dire, les yeux d'Antarès nous permettent d'être à l'écoute des confins du cosmos. Là aussi, le Dapnia est de la partie.



Le réseau de télescopes Hess au soleil couchant de Namibie.



Un « œil » d'Antarès.

C'est bien beau de débusquer des accélérateurs cosmiques, mais c'est bien, aussi, d'en fabriquer sur Terre aptes à toujours mieux sonder la matière afin qu'on en comprenne mieux les arcanes. Les as de ces énormes machines à percer les mystères des plus petites particules et de leurs interactions, aptes aussi à en créer de nouvelles, attendues ou non, sont sur la brèche sans cesse et sans fin. Le LHC n'est pas encore achevé que déjà ils pensent aux accélérateurs de demain. Demain, c'est vite arrivé : ces nouveaux monstres d'astuce et de technologie devront être prêts dans une quinzaine d'années à explorer en détail les terres inconnues qu'auront défrichées les monstres actuels. Alban Mosnier, du SACM¹, nous prépare un bel article sur l'un de ces projets : le Clic. On en donne un aperçu (page 5).

Encore la symbiose entre chercheurs cognitifs de plusieurs disciplines et concepteurs d'appareillages : Rémi Chipaux, du Sédi², narre le retour de Cocase, irradiateur de composants électroniques made in Dapnia destiné à tester leur résistance aux rayonnements. Cocase 1 a testé des détecteurs du Cern, Cocase 2 va tester des puces pour satellites (page 7).

Et puis, c'est dans l'air du temps : sensible au climat actuel, le Dapnia ouvre l'éventail de ses activités à l'environnement. Olivier Cloué, du SIS³, raconte la saga des Caribous, stations de mesures de teneur en CO₂, que son service réalise pour le LSCE⁴. Ainsi, non content, dans ses études de résistance des corsets métalliques d'énormes aimants supraconducteurs, de faire des essais de fer, le Dapnia trempe dans l'effet de serre (pages 2 à 5).

Cette innocente « ndlr » mène droit au traditionnel côté festif, convivial et prospectif de notre département. Après Seignosse (n° 28) et Kéravel (n° 40), tous les corps de métier du Dapnia se retrouveront du 22 au 24 mars prochains au « Center Parc Les Bois-Francis » de Verneuil-sur-Avre, dans l'Eure. Thème : « Quel Dapnia demain ? »

Quelle bonne question ! Que nous ne sommes pas les seuls à poser...

Joël Martin (ScintillationS et SPHN)

(1) Service des accélérateurs, de cryogénie et de magnétisme. Un service du Dapnia.

(2) Service d'électronique des détecteurs et d'informatique. Idem.

(3) Service d'ingénierie des systèmes. Idem.

(4) Laboratoire des sciences du climat et de l'environnement, unité mixte CEA/DSM-CNRS.



Le Dapnia mesure le CO₂

La planète se réchauffe, les glaces fondent, les océans s'acidifient. Ce n'est pas encore comme dans un film catastrophe, mais les scientifiques tirent la sonnette d'alarme en élaborant d'inquiétants scénarios. La réduction des émissions de gaz à effet de serre est désormais une cause mondiale. Des observatoires de recherche en environnement (ORE) naissent un peu partout pour étudier à l'échelle globale les changements de la composition atmosphérique et prédire les concentrations futures en fonction de divers scénarios.

Le Laboratoire des sciences du climat et de l'environnement (LSCE, laboratoire mixte CEA-CNRS-Université de Versailles Saint-Quentin) est directement impliqué dans ces recherches. Il a la responsabilité de l'ORE « Ramces » (Réseau atmosphérique de mesure des composés à effet de serre) voué à établir le bilan du carbone en Europe et à modéliser les lois régissant le cycle de gaz à effet de serre.

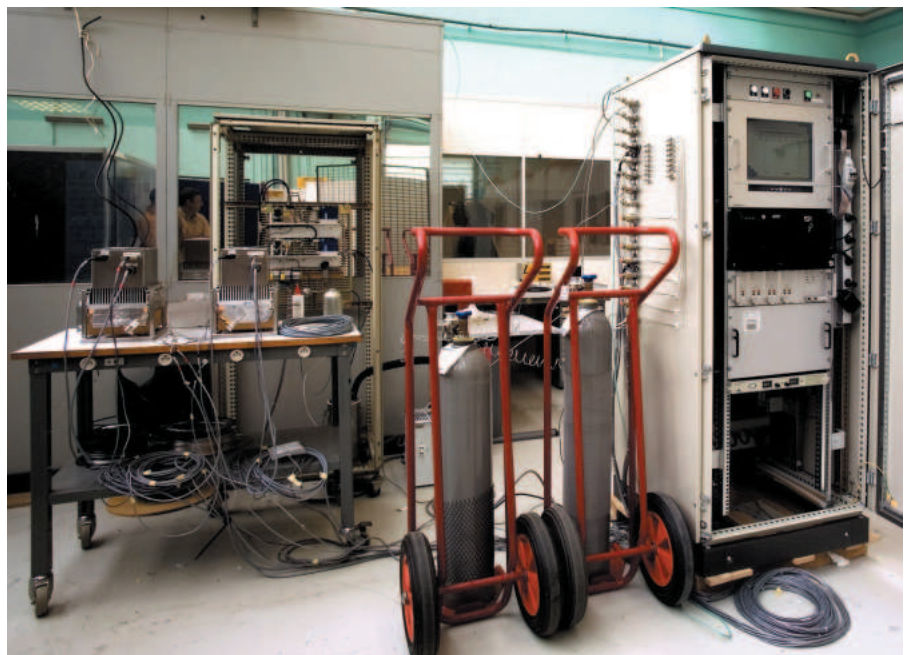
À la demande du LSCE, le SIS a développé *Caribou*, une station de mesure de teneur en CO₂.

Caribou est conçu pour mesurer en continu la concentration du CO₂ dans l'air à mieux que 0,05 ppm¹, avec une reproductibilité de l'ordre de 0,01 ppm. Nous verrons que ces spécifications imposent de stabiliser très précisément la pression absolue (à mieux que 0,05 mbar) et la température (à mieux que 0,01 °C) du gaz à analyser.

Pour des raisons économiques et afin de réduire les opérations de maintenance, le débit des gaz est fixé à 20 ml/min. Cela équivaut à un fonctionnement continu de 6 mois pour une bouteille de gaz de 150 bars.

Chaque station doit être autonome. La supervision, la configuration et la maintenance sont réalisées à distance et les résultats sont transférés automatiquement et périodiquement à un poste de pilotage situé à Saclay.

Le concept de base de chaque *Caribou* est identique. Néanmoins, leur réalisation



Caribou « Hanle » : mise au point avant son installation en Inde.

et leur mise au point doivent être adaptées à l'environnement géographique et technique du site ainsi qu'au programme scientifique associé. Les choix techniques doivent tenir compte du climat, de l'infrastructure technique mise à notre disposition comme de la nature de l'énergie électrique fournie et les moyens de communication et... de l'état des routes. Le tout avec de fortes contraintes sur les délais, et de difficiles cohabitations entre les divers instruments que nécessitent les programmes scientifiques.

Conception : modèle de base

Le *Caribou* est avant tout une machine à analyser du gaz à très faible débit. Il est donc constitué d'une plomberie très spécifique en inox non contaminante en CO₂. L'ensemble du matériel tels que tubes, vannes, raccords et autres capteurs nous a été imposé par le LSCE.

L'instrument comprend une baie électrique, un châssis analyseur régulé en température, un ensemble de pompage d'air en série avec un déshumidificateur, un système d'étalonnage, une ou plusieurs stations météo, un contrôle commande sur

(1) Partie par million. Une ppm, c'est un millionième (10⁻⁶).

le site et à distance, ainsi qu'un logiciel de supervision, de configuration, de transfert de données et de maintenance.

Analyseur de CO₂

Pour répondre au cahier des charges, le LSCE nous a imposé d'utiliser un analyseur de CO₂ du commerce, le Licor 6252. Il est constitué d'un détecteur infrarouge (4,26 µm) et de 2 cellules de mesures dans lesquelles on injecte un gaz de référence et le gaz à analyser. Le résultat est la différence de concentration entre les deux gaz.

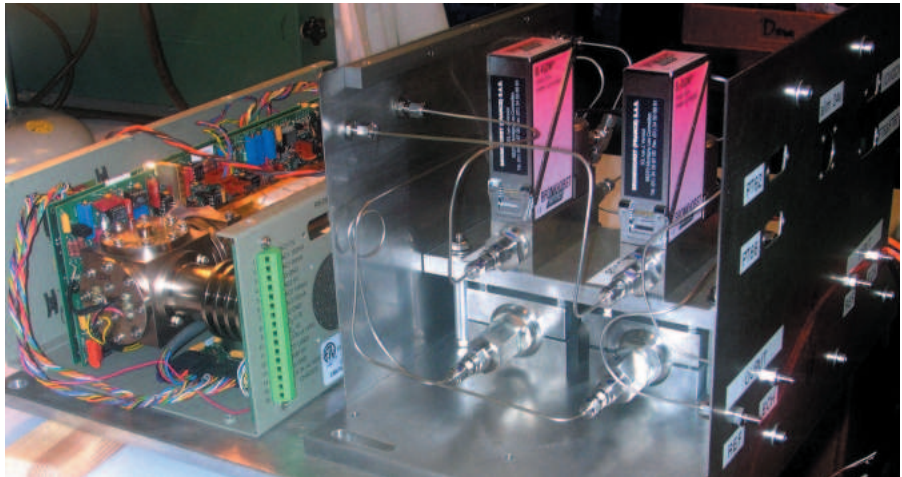
Utilisé tel quel, cet appareil, n'a pas les performances suffisantes. Pour atteindre la précision demandée, il faut le rendre capable d'éliminer toute source parasite de contamination en CO₂ en utilisant des matériaux et matériels adéquats, et de complètement déshumidifier l'échantillon d'air, car le détecteur du Licor est sensible au CO₂ mais aussi à l'eau. Et puisque la concentration en CO₂ mesurée dépend de la température et de la pression, plus on régule précisément ces deux grandeurs, plus fiable sera le résultat. En outre, les dispositifs précédents ne permettent qu'une mesure relative. Il faut donc leur ajouter un système d'étalonnage performant pour obtenir une première mesure absolue des concentrations, valeur approximative que des calculs réitérés affineront *a posteriori*.

Tiroir analyseur

Ce tiroir est le cœur de l'instrument. Il intègre l'analyseur et les différents organes permettant de conditionner les deux échantillons de gaz. La thermalisation est réalisée par deux dispositifs utilisant des capteurs de température, des chaufferettes et des ventilateurs. La régulation de pression et de débit pour chacune des 2 voies est faite par un algorithme en logique floue (voir *ScintillationS* n° 36) qui utilise une micro-vanne d'entrée, un capteur de pression et un régulateur de débit en sortie.

Vanne multivoie, pompage et séchage de l'air

En amont du tiroir analyseur, une vanne multivoie à 16 entrées permet de sélectionner le gaz ou l'air à analyser selon la séquence de mesure programmée. Cette vanne est pilotée par le PC. Chaque prise d'air est équipée d'un filtre pour éviter que des poussières ou des insectes ne bou-



Le tiroir analyseur.

chent les tuyaux. Elle est généralement installée sur un pylône plus ou moins haut. L'air est capté par une pompe de circulation à haut débit puis une deuxième pompe en prélève un échantillon, que sèche ensuite un déshumidificateur. Dans le cas d'une station qui capte à différentes hauteurs, chaque hauteur est sélectionnée à l'aide d'électrovannes.

Le sécheur est composé d'un réfrigérateur classique et d'un refroidisseur à sec (*cryocooler*). Le « frigo » n'est nécessaire que si l'humidité est moyenne ou importante et sert à en piéger environ 80 %. Le *cryocooler*, indispensable, termine le séchage en refroidissant l'air à - 60°C, température à laquelle on estime que toute l'eau aura disparu de l'échantillon. À Hanle, dans l'Himalaya, où l'air est très sec, le réfrigérateur est superflu.

Nous utilisons actuellement un *cryocooler* du commerce, qui se bouche relativement souvent; il a besoin d'une surveillance quotidienne et d'une maintenance mensuelle. Le SIS a développé son propre déshumidificateur, en attente d'être installé car il n'a pas encore obtenu l'aval du LSCE.

Étalonnage

Le Licor fournit une tension en millivolts que l'on convertit en concentration. L'étalonnage consiste à établir le facteur de conversion sur toute la gamme de mesure de l'instrument. On obtient ainsi sa « *courbe de réponse* » qui donne la concentration en fonction de la tension. Pour ce faire, on mesure automatiquement et périodiquement la concentration en CO₂ connue d'un jeu de bouteilles étalons, pour laquelle on lit la tension affichée.

Néanmoins, ce facteur de conversion n'est pas stable dans le temps. Il dépend de nombreux paramètres physiques pouvant influencer sur le comportement de la station. Par expérience, nous avons fixé la périodicité de cette opération à 8 jours, mais elle peut être déclenchée « à la volée » si l'analyse, faite 2 fois par jour, du contenu d'une bouteille test révèle une dérive.

Architecture informatique

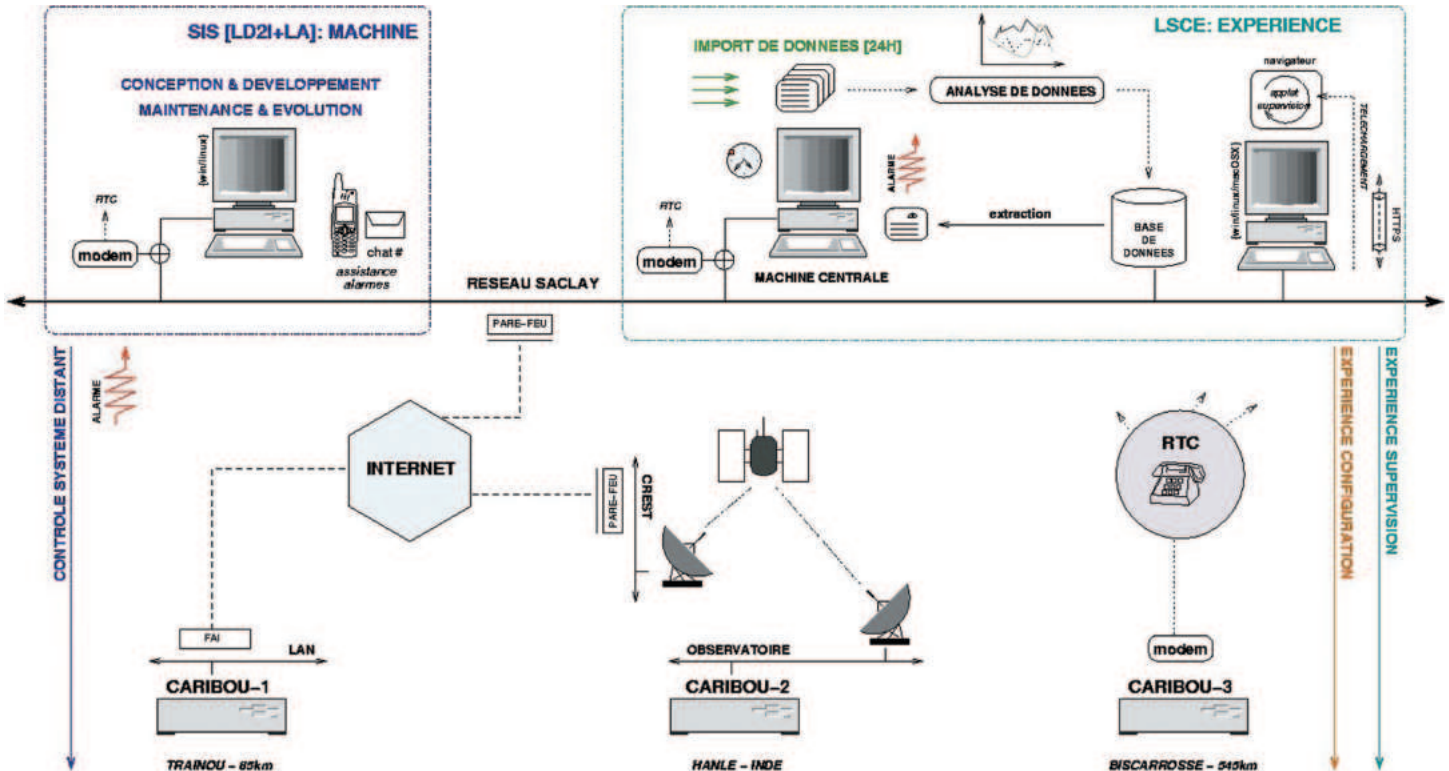
Contrôle commande

Chaque station Caribou est munie d'un système de contrôle commande identique, constitué d'un automate programmable industriel, d'un ordinateur PC, d'une centrale de mesures de température et éventuellement d'une ou plusieurs centrales de mesures météorologiques. Ces éléments dialoguent via un réseau de terrain FIP (voir *ScintillationS* n° 23 et 27).

Supervision, configuration, transfert des résultats à distance et maintenance

La supervision et la configuration des instruments se fait à distance depuis Saclay, *via* un logiciel qui permet une maintenance logicielle et matérielle très souple, ainsi que des diagnostics rapides de dysfonctionnements. Le transfert des résultats est quotidien.

Leurs données sont transmises à un poste de supervision situé à l'Orme des Merisiers à 3 km de Saclay, qui joue le rôle d'interface avec la base de données Ramces implantée sur un autre poste. Cette base de données fournit aux Cari-



Architecture informatique d'un réseau de 3 Caribous.

bous les informations nécessaires à leurs configurations matérielles, comme le nom et le contenu des bouteilles : toutes les bouteilles et tous les détendeurs sont répertoriés afin d'assurer la traçabilité d'une campagne de mesures. Un poste informatique situé au SIS permet de suivre le fonctionnement des instruments et d'intervenir, si nécessaire, pour des mises à jour ou des modifications de réglages.

Le troupeau des Caribous en activité et en projet

Temporairement installé à Saclay, Caribou 1 sera mis en œuvre vers avril 2006 au Trainou, à 15 km d'Orléans, dans un local situé au pied d'une tour de télévision haute de 200 mètres. Il analysera l'air capté à 50, 100 ou 180 m. Deux points de mesures météorologiques y seront associés. Le local sera climatisé et sera connecté à Internet par modem téléphonique. Cette station entre dans le cadre du projet « Chiotto » (se prononce comme « Kyoto »), qui a pour but de mettre sur pied un réseau de 8 hautes tours en Europe pour l'observation des gaz à effet de serre.

Caribou 2 a été installé en août 2005 à 4 517 mètres d'altitude à Hanle, au Ladakh en Inde, en collaboration avec les

instituts indiens du C-MMACS et de l'IIA de Bangalore. L'air y est très sec et très peu pollué. Il y a déjà un télescope, donc une infrastructure technique et humaine de qualité. La station est composée d'une seule prise d'air, sans station météo. Les contraintes liées au site nous ont conduits à modifier notre distribution électrique, vu la faible puissance électrique fournie (solaire). L'absence de chauffage et de climatisation nous a obligés à mettre en place des paramètres de régulation « saisonniers ». La baie a été conçue pour être particulièrement robuste. Cela n'a pas empêché la dégradation de matériels lors du transport par camion entre Bangalore et Hanle, sur 4 000 km de routes pleines de nids de poule. À ce jour, la station est opérationnelle, mais il faudra un an pour bien connaître son fonctionnement.

Caribou 3 a été installé en mai 2005 à Biscarrosse dans une tour hertzienne du Centre militaire d'essais des Landes. Cette station est constituée de 2 prises d'air sans station météo. Le local est chauffé mais pas climatisé. Il possède une distribution électrique très fiable et une connexion Internet par modem téléphonique. La première campagne de mesures a été menée de début mai à fin juin 2005 dans le cadre du projet européen « CarboEurope ».

D'autres stations sont envisagées. Deux nouveaux instruments ont été commandés en 2006 et 2 autres sont projetés pour 2007 et 2008. Prévue pour remplacer la station 1 quand elle partira pour le Loiret, la station 4 restera à Saclay comme station de tests. La station 5 doit être installée en début 2007 au sud du Groenland.



Local de Caribou 2 à Hanle.

Bilan, résultats et perspectives

Les premiers résultats sont encourageants. Ils respectent le cahier des charges. Nous attendons cependant d'avoir assez de recul pour connaître le fonctionnement des stations dans la durée. Quelques problèmes sont apparus ces dernières semaines, comme la dégradation des réglages en fonction de la température extérieure. Pour restaurer la qualité des résultats, nous avons dû réduire de dix degrés la fourchette des températures de fonctionnement pour retrouver une plus grande stabilité. Notre principe de régulation de température sera très certainement à revoir.

Comme nous l'avons vu plus haut, la réussite technique des Caribous 1, 2 et 3, même si quelques améliorations sont nécessaires, a incité le LSCE à demander au SIS d'en fabriquer quatre autres, pour les trois ans à venir.



© Météo France

La recherche climatologique et environnementale est devenue cruciale pour tout le genre humain. Le Dapnia, désormais, y participe.

Olivier Cloué (SIS)

Merci à Michel Ramonet (LSCE)
pour sa relecture



© Météo France

On pense déjà à l'après-LHC Le temps d'un Clic...

Dans un peu plus d'un an, sauf imprévu, le LHC¹ fera s'entrechoquer deux faisceaux de protons de chacun 7 TeV tournant chacun dans un sens dans son anneau de 27 kilomètres. Fortes de leurs 14 millions de millions d'électronvolts, ces collisions vont matérialiser des particules jamais vues. La porte du Graal où s'ébatent boson de Higgs et particules supersymétriques va peut-être s'entrouvrir. C'est, pour les physiciens des particules, la grande aventure des deux prochaines décennies, le temps de « faire les manip » et de les « dépouiller ».

Mais, une fois les particules découvertes, il restera à étudier finement leurs propriétés, de même que, une fois les bosons Z et W découverts par le SPS² du Cern, en 1983, il fallut disposer du LEP³ pour en produire des myriades et en mesurer les caractéristiques. L'histoire va se répéter un quart de siècle plus tard, mais avec des énergies disponibles 10 à 20 fois plus élevées : une machine à protons, le LHC, descendant du SPS, s'aventurera dans des terres inexplorées, puis des années après, dans la lignée du LEP, une machine à électrons, peut-être le Clic (*voir plus loin*), prendra le relais pour l'exploration fine du territoire ainsi défriché.

Au minimum, le LHC va moissonner tout au long des prochaines quinze années. Quinze ans, il n'y a rien de trop pour concevoir une nouvelle génération d'accélérateurs, bâtir des prototypes aptes à tester les nouveaux concepts d'accélération, et enfin, construire ces nouvelles machines à faire reculer l'ignorance.

Les chercheurs ès accélérateurs sont depuis longtemps au travail et de grands projets internationaux émergent. Piloté par le Cern, Clic (Compact Linear Collider) est l'un d'eux. Il s'agit d'un grand collisionneur linéaire d'électrons (e^-) et de positons (e^+) de 3 à 5 TeV d'énergie. Linéaire, car à ces énergies, courber la trajectoire des électrons est bien trop pénalisant en termes de perte d'énergie. Une première étape du Clic est son prototype, le « CTF3 » (Clic Test Facility, version 3). On espère évaluer ses résultats vers 2010. Le Dapnia est responsable de l'étude et de la réalisation d'une pièce essentielle de ce prototype : l'accélérateur linéaire *Califes* dont l'IN2P3 fournira la source : un canon à électrons déclenché par laser. Cet accé-

lérateur produira le faisceau « sonde » simulant le faisceau principal du Clic.



Dans le prochain numéro de *ScintillationS*, vous sera révélé le nouveau concept d'accélération à deux faisceaux, la seule technique actuellement capable de fournir des faisceaux linéaires d'électrons de plusieurs TeV, sans avoir besoin de les accélérer sur des centaines de kilomètres : un accélérateur construit sur ce principe totalement novateur sera capable de fournir, tous les mètres, 150 millions d'électronvolts (MeV) aux particules. Mais cette technique ambitieuse présente de nombreux défis technologiques, que détaillera Alban Mosnier du SACM.

Contact : alban.mosnier@cea.fr

On peut d'ores et déjà en savoir plus à l'adresse :

http://www-dapniai.cea.fr/Phoce/Vie_des_labos/Ast/ast_fm.php?id_ast=902

(1) LHC : Large Hadron Collider, collisionneur géant de protons du Cern, mis en service courant 2007.

(2) SPS : Super synchrotron à protons, machine du Cern atteignant 500 GeV (0,5 TeV).

(3) LEP : Large Electron Positron, collisionneur d'électrons et d'antiélectrons (positons) atteignant 100, puis 150, puis 200 GeV. Afin de laisser son tunnel au LHC, il fut arrêté fin 2000, après avoir peut-être entrevu le bout du nez du boson de Higgs...

(4) L'accélérateur linéaire de Saclay (ALS, voir *ScintillationS* n° 1), construit en 1965, fournissait un faisceau d'électrons de 720 MeV sur une longueur de 200 mètres. Si tout marche bien, Clic fournira la même énergie en moins de cinq mètres !

Le nuage cosmique cachait l'accélérateur

Hess débusque un accélérateur cosmique « récent » au centre de la Voie lactée

Grâce au réseau de télescopes H.E.S.S.¹, en Namibie, une collaboration internationale² vient d'observer pour la première fois un flux très intense de photons gamma (voir glossaire) hautement énergiques, émis par un nuage gazeux géant situé vers le centre de notre Voie lactée (image 1). Hess a mesuré le flux et la répartition en énergie (le spectre, en jargon de physicien) de cette émission gamma. La précision angulaire et la sensibilité de Hess ont permis d'établir clairement une corrélation entre l'émission du nuage et les flux de photons observés (voir l'image 2 et sa légende). Tout semble indiquer que les photons sont produits par chocs, sur les molécules du nuage, de particules cosmiques accélérées. Par quel accélérateur? Soit un sursaut d'activité du trou noir supermassif du centre de la Voie lactée, soit l'onde de choc de l'explosion d'une supernova proche de celui-ci.

Ces particules accélérées ne sont pas des électrons, qui émettraient aussi des rayons X. Or on n'observe aucune source X dans cette région. Il s'agit plutôt de protons qui produisent des mésons pi neutres (π^0) lors des chocs avec les molécules du nuage. Chaque π^0 produit ensuite deux photons dont l'énergie est directement liée à celle du proton initial. Autrement dit, le spectre des

protons est corrélé à celui des photons que Hess vient de mesurer dans la gamme des très hautes énergies, allant de 250 milliards d'électronvolts ($2,5 \cdot 10^{11}$ eV) à plusieurs centaines de téraélectronvolts ($1 \text{ TeV} = 10^{12}$ eV).

Scoop: le spectre des protons déduit des mesures de Hess possède une caractéristique particulière: la proportion des protons de très haute énergie (*protons durs*, en jargon physicien) est supérieure à celle que l'on observe dans le rayonnement cosmique « courant » dans la Galaxie, lequel est vieux de plusieurs millions d'années. Or, au cours du temps, ce sont les photons les plus énergiques qui perdent le plus d'énergie. Dans leur jargon, les physiciens disent que *le spectre devient de moins en moins dur*. Un rayonnement cosmique jeune est plus « dur » qu'un rayonnement cosmique vieux. Vu son niveau de dureté, le rayonnement que vient de mesurer Hess n'a pas plus de 10 000 ans, une poussière de temps à l'échelle cosmique.

Avec 25 000 ans de retard – le temps que la « lumière » gamma nous parvienne du centre galactique – Hess vient de débusquer un accélérateur cosmique en train de fonctionner.

Image 1 – L'image du haut montre l'émission gamma de la région du centre galactique observée par Hess. Deux sources intenses dominent: une source mystérieuse plein centre, et un peu à gauche, un reste de supernova. L'image du bas est la même, mais après la « soustraction » des deux sources intenses. Il apparaît alors une émission gamma beaucoup plus faible qui s'étend le long du plan galactique (indiqué par la ligne blanche pointillée) jusqu'à une autre source mystérieuse, en bas à droite. Les cercles blancs indiquent les positions des deux sources soustraites. C'est grâce à son extrême sensibilité que Hess a pu faire apparaître cette très faible émission gamma.

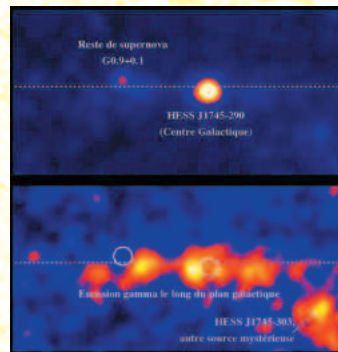


Image 1

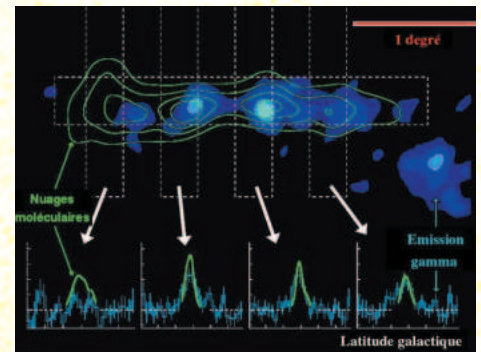


Image 2

Image 2 – Image du haut: superposition de l'émission gamma de très haute énergie observée par Hess (en bleu) avec les contours identifiant le nuage moléculaire (tracé vert) d'une taille de 600 années-lumière, et de masse 50 millions de fois celle du Soleil. Une claire corrélation apparaît entre les deux émissions: l'émission du nuage³ dont les variations d'intensité révèlent celles de la densité de matière du nuage, et l'intensité du signal gamma présentent quatre maxima aux mêmes positions (image du bas). Cette corrélation a pu être mesurée grâce à l'excellente précision angulaire de Hess (environ un cinquième de diamètre solaire).

Glossaire

Rayons cosmiques - Les rayons cosmiques sont des particules de haute énergie sillonnant l'espace. Ils bombardent l'atmosphère terrestre en permanence, venant de toutes les directions, et leur énergie peut dépasser largement celles qu'atteignent nos accélérateurs de particules. Depuis leur découverte par Victor Hess en 1912, et malgré bientôt un siècle d'étude intensive, leur origine reste mal connue.

Rayons gamma - Le rayonnement gamma est constitué de photons, comme la lumière visible ou le rayonnement X, mais il est beaucoup plus énergétique. La lumière visible a une énergie de l'ordre de un électronvolt (1 eV^4). Les rayons X ont une énergie d'un millier à un demi-million d'eV. Hess détecte des rayons gamma de très haute énergie, atteignant un million de millions d'eV (un téraélectronvolt, ou

TeV). Ces photons de très haute énergie sont très rares: même émis par une source astrophysique intense, le flux de tels photons gamma pénétrant dans l'atmosphère terrestre est d'environ un par mois et par mètre carré.

Site à débattre:

<http://www-dapnia.cea.fr/Sap/>

Contacts: Philippe Goret (SAP)
et Loïc Rolland (SPP)

(1) High Energy Stereoscopic System, Hess, pour les intimes, du nom de Victor Hess, le découvreur des rayons cosmiques (voir *ScintillationS* n° 67).

(2) Afrique du Sud, Allemagne, Arménie, France (Dapnia, CNRS/IN2P3 et Insu), Irlande, Namibie, République Tchèque et Royaume-Uni.

(3) C'est une émission électromagnétique due à un changement d'état de molécules de *monosulfure de carbone* (CS) du nuage. Une molécule de CS est composée d'un atome de carbone et d'un atome de soufre. Fréquence de l'onde émise: 97,981 gigahertz (1 GHz: un milliard de vibrations par seconde) ce qui correspond à une longueur d'onde de 3,062 millimètres. Les astrophysiciens parlent d'ondes radio millimétriques.

(4) Un électronvolt vaut $1,6 \cdot 10^{-19}$ joule. Certains rayons cosmiques atteignent 1 millionième de joule!

Cocase 2, le retour

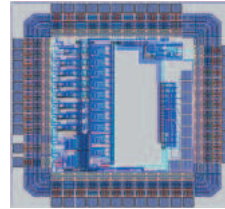
L'installation d'irradiation Cocase (« Co » comme cobalt, « case » comme casemate) est destinée à tester sous radioactivité, avec débit de dose faible et de longue durée, des composants de détecteurs et d'électronique. Il s'agit d'une source radioactive confinée dans une casemate de béton située dans un ancien hall du synchrotron Saturne¹, à Saclay.



Source de COBALT.



CASEmate.



Circuit de test avec IDeF-X.

Cocase a été construite en 1994 au bâtiment 534 du Sédi. Partie « CO » : une source radioactive de cobalt-60 (20 curies, soit 740 gigabecquerels). Elle remplaça dans l'« irradiateur » (gamelle orange sur la photo 1) une sœur aînée de 6 curies ayant servi à étalonner le calorimètre électromagnétique de l'expérience UA1 auprès du SPS au Cern. Partie « CASE » : une casemate de blocs de béton inactifs de l'ALS². Cocase a servi activement pendant 10 ans. Elle a, entre autres, testé la tenue sous rayonnement des cristaux de tungstate de plomb (PbWO₄) du calorimètre électromagnétique de CMS, du LHC, au Cern, et l'électronique DMILL³.

Suite aux atteintes irrémédiables du temps⁴ et aux contraintes réglementaires d'homologation des sources radioactives, Cocase a été stoppée fin 2003. Il fut prévu pour mi-2004 de remplacer sa source radioactive et de construire pour l'accueillir dans l'ancien hall de l'alternateur de l'accélérateur Saturne, une nouvelle casemate en réutilisant cette fois des blocs de béton de Saturne classés TFA (très faible activité), ce qui permettait de financer l'opération...

Après de longs retards dus à l'évolution de la réglementation, la source de cobalt n'a finalement été remplacée que l'été dernier, et l'irradiateur, muni d'une

nouvelle source de 17 curies (629 GBq), a rejoint sa place définitive en novembre 2005. Ayant satisfait aux contrôles de réception, voilà Cocase prête à délivrer ses photons gamma pour les besoins du Dapnia ou d'ailleurs. Les premières expériences ont débuté fin janvier. Elles concernent les asic IDeF-X⁵ développés au Sédi. Cette famille de puces intégrera l'ensemble de la chaîne de lecture analogique et logique de détecteurs en CdTe (tellure de cadmium) du SAP, destinés notamment aux missions spatiales SimbolX⁷ et EclairS⁸.

Contact : Rémi Chipaux (Sédi)

(1) Voir *ScintillationS* n° 25, 34, 39, 43

(2) Accélérateur Linéaire de Saclay, voir *ScintillationS* n° 1 et la note 4, page 5.

(3) *ScintillationS* n° 43.

(4) L'activité du cobalt-60 décroît de moitié en 5 ans et trois mois. En dix ans, son activité a donc été réduite de trois-quarts.

(5) Asic : Application Specific Integrated Circuits. Circuits intégrés voués à un but précis. C'est la puce à la carte ! But des IDeF-X : décoder les mesures des détecteurs au CdTe des spectromètres gamma.

(6) Le tellure de cadmium est un excellent matériau pour faire de la spectrométrie gamma.

(7) Voir http://www-dapniai.cea.fr/Sap/Phocea/Vie_des_labos/Ast/ast_technique.php?id_ast=451

(8) Voir http://www-dapniai.cea.fr/sedi/Phocea/Vie_des_labos/Ast/ast_technique.php?id_ast=385

(9) Voir http://www-dapniai.cea.fr/sedi/Phocea/Vie_des_labos/Ast/ast_technique.php?id_ast=435

Naissance de la première ligne d'Antarès



Photo 1. Une ligne en cours de montage.

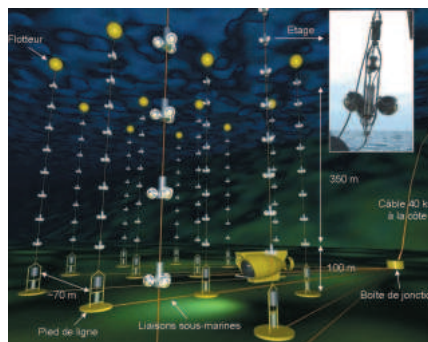


Photo 2. Vue d'artiste d'Antarès au fond de la mer. Incrustation: un étage à 3 yeux en voie d'immersion.

La première ligne complète de détection (il y en aura 12) du télescope sous-marin Antarès¹ (*ScintillationS* n° 33 et 41) a été assemblée, testée et étalonnée au CPPM (Centre de Physique des Particules de Marseille, IN2P3). Cette ligne est composée de 25 étages de 3 modules optiques (photos 1 et 2).

Le Dapnia a fortement contribué à cette réalisation en fournissant les modules optiques (les « yeux » d'Antarès), une

(1) Antarès (acronyme de Astronomy with a Neutrino Telescope and Abyss environmental REsearch), est une collaboration de 23 laboratoires européens (Allemagne, Espagne, France, Italie, Pays-Bas, Russie) regroupant plus de 150 scientifiques. Instituts français : CEA/Dapnia, CNRS/IN2P3 (Marseille et Strasbourg), CNRS/INSU (Villefranche-sur-Mer et Marseille), Université de Haute Alsace, APC (Astroparticules et Cosmologie, laboratoire mixte Paris VII) et Ifremer.

grande partie de l'électronique pour lire et transmettre les données, ainsi que les câbles « cordons ombilicaux » de la ligne. Le Dapnia a également assumé la responsabilité de l'assemblage.

La ligne attend dans les installations de La Seyne-sur-Mer (*photo 3*) le moment d'être déployée. Ce déploiement aura lieu début 2006 et sera immédiatement suivi par une connexion, grâce au sous-marin « Victor » de l'Ifremer, aux installations déjà en place au fond de la Méditerranée, où une ligne prototype disposant d'un étage complet avec trois yeux, prend déjà des données depuis 9 mois.



Photo 3. Un étage à trois yeux sous ceux, attentifs, d'un spécialiste.

Implanté à 40 kilomètres au large de Toulon, sous 2500 mètres d'eau de mer, balayant en un jour grâce à la rotation terrestre 87 % du ciel total, Antarès est voué à la détection de muons issus de neutrinos de très haute énergie venant du cosmos. Comme ces muons se propagent dans l'eau plus vite que la lumière dans le même liquide, ils produisent des cônes de lumière bleutée (effet Tchérenkov, voir *ScintillationS* n° 23, 29 et 67 et *photo 4*), que détectent les modules optiques. Le but est de découvrir des sources cosmiques de neutrinos de très haute énergie. Sillonnant l'univers sans pratiquement aucune interaction, de tels neutrinos témoignent e phénomènes déployant une énergie colossale, comme les noyaux actifs de galaxies ou

les sursauts gamma. On espère ainsi mieux comprendre la production de rayons cosmiques de très haute énergie (voir aussi l'article sur Hess, page 6).

À plus basse énergie, Antarès détectera peut-être des WIMPs (littéralement « mauviettes », hypothétiques particules de matière noire à interactions très faibles, voir n° 55) et des oscillations de neutrinos atmosphériques (voir n° 18, 19, 22, 29, 33, 38, 41, 57, 60, 61).

Site à déballer :

<http://antares.in2p3.fr/>

Contacts : Patrick Lamare (Sédi)
et Thierry Stolarczyk (SPP)

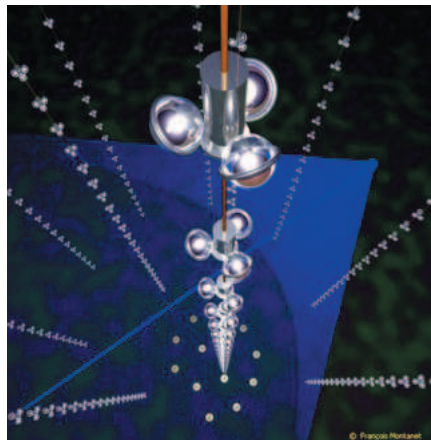


Photo 4. Un muon fait du bleu Tchérenkov.

Va-et-vient

Décembre 2005 – Sandrine Cazaux et Michaël Carty (tous deux du Sédi) passent Annexe 1. Toutes nos félicitations ! Thomas Dalla-Foglia est recruté au SACM. Caroline Lahonde est mutée au Sédi en provenance du Cesta où elle travaillait à la DAM au DLP (Département lasers de puissance). Christine Leroy est recrutée au Sédi, Viatcheslav Sharyy, au SPP et Olivier Tuske, au SACM. Bienvenue au Dapnia à tous ces arrivants !

Janvier 2006 – Les retraités de l'an nouveau : Jean-Jacques Darennes (SACM), Jacques Fabre (SIS), Marie-Claude Lemaire (SPP), Maria-Luisa Turluer (SPP) et Claude Volant (SPhN). Bonne route et revenez nous voir ! Les mutés du mois : Valérie Gautard va du SIS vers le Sédi, Vincent Moreau, spécialiste en robotique de Fontenay-aux-Roses vient au SAP, Philippe Nardin va du SACM au

LSCE et Henri Safa, va du SPhN à la direction scientifique du CE Saclay (DEN). Bonne route dans les deux sens ! Côtés arrivant(e)s : Anne-Claire Gouze revient à Dapnia/DIR après un congé, Jérôme Amiaux est recruté au SAP et Franck Peauger, au SACM. La plus cordiale bienvenue et bonne année aux venants ainsi qu'aux allants.



Attache « va-et-vient ».

Pan! Sur le becquerel

Page 2 du n° 69 de *ScintillationS*, on peut lire ceci : « Il y a même violation maximale de la parité car seuls des électrons droits (leur spin est orienté dans la même direction et dans le même sens que leur vitesse) sont émis, les électrons gauches, leurs « frères en parité », sont absents des détecteurs... ».

Les rédacteurs devaient regarder ailleurs en écrivant ces lignes, sans doute dans un miroir, car ce sont des électrons gauches et non droits qui sont émis, les électrons droits étant aux abonnés absents.

Les lecteurs qui ont signalé cette coquille gagnent un abonnement gratuit à notre journal et sont invités à boire une bonne bouteille à condition de l'ouvrir avec un tire-bouchon pour gaucher...



CEA - DIRECTION DES SCIENCES DE LA MATIÈRE

DIRECTEUR DE LA PUBLICATION : Jean ZINN-JUSTIN
COMITÉ ÉDITORIAL : Joël MARTIN (porte-parole), François BUGEON, Rémi CHIPAUX, Philippe CONVERT, Françoise GOUGNAUD, Christian GOUIFFES, Pierre GUICHON, Christophe MAYRI, Alain MILSZTAJN, Xavier-François NAVICK, Yves SACQUIN, Angèle SÉNÉ, Didier VILANOVA
MAQUETTE : Christine MARTEAU
MISE EN PAGE : GRAPHOTEC
CONTACT : Joël MARTIN - Tél. 01 69 08 73 88 - Fax : 01 69 08 75 84 - E.mail : joel.martin@cea.fr

<http://www-dapnia.cea.fr/ScintillationS/>

Dépôt légal mars 2006