

A la poursuite de la Matière Noire, avec LabVIEW et CompactFieldPoint

**Par Gabriel Chardin, Direction des Sciences de la Matière au CEA de Saclay
Philippe Gandit, Centre de Recherche des Très Basses Températures de Grenoble (CNRS)
Paul Lotrus, Direction des Sciences de la Matière au CEA de Saclay**

L'objectif : la matière ordinaire ne représente que 4% du contenu de l'univers. Cosmologistes et physiciens des particules cherchent à observer matière noire et énergie noire, qui composent le pourcentage restant.

La solution : trois automates programmables et un superviseur, développés entièrement sous LabVIEW, vont piloter un cryostat, qui contient les détecteurs de particules de Matière Noire, et permet d'atteindre la température d'un centième de degré absolu.

Le Dapnia, laboratoire de recherches sur les lois fondamentales de l'Univers, un département de recherche fondamentale appartenant à la Direction des Sciences de la Matière du CEA, et le CRTBT du CNRS à Grenoble participent tous deux au projet Edelweiss, l'une des meilleures expériences au monde dans le domaine de la recherche de la Matière Noire.

Détecter la Matière Noire

Avoir une connaissance la plus complète possible de l'univers, et notamment de sa composition n'est pas un travail de tout repos. Encore aujourd'hui, les données en notre possession sont bien floues. Seule certitude, la matière ordinaire ne représenterait qu'à peine 4% du contenu de l'univers. Le reste se partage entre 24% de matière encore inconnue et environ 72% d'une mystérieuse énergie noire accélérant l'expansion de l'univers.

A force de persévérance, les équipes d'Edelweiss sont en passe de franchir une étape importante. S'il est probable que les particules qui composent ces fameux 24% de matière non identifiée vont être découverts dans les accélérateurs du CERN, de notre côté, nous allons tenter de détecter directement les collisions de ces particules de matière noire, produites à l'origine de l'univers.

Seulement comme pour toute expérience physique, au fil des mesures effectuées, il faut accroître toujours plus la précision des mesures pour détecter cette matière noire qui interagit très peu avec la matière ordinaire. Depuis plusieurs dizaines d'années les travaux se heurtent à des défis technologiques redoutables malgré la pureté des matériaux employés.

Premier frein, les rayons cosmiques qui interagissent et masquent les interactions de la Matière Noire. Pour réduire ces interactions, il fallait installer le laboratoire dans un lieu souterrain. C'est ce qui a été réalisé sous le tunnel du Fréjus, avec un laboratoire installé à 1.650 mètres sous la roche. Le procédé est radical, les rayons cosmiques sont diminués d'un facteur de plus d'un million.

Sous le tunnel du Fréjus, le laboratoire installé à 1.650 mètres sous la roche permet de diminuer, d'un facteur de plus d'un million, les rayons cosmiques.

Dans le laboratoire souterrain, à l'abri des rayons cosmiques, les détecteurs à très basse température mesurent à la fois la charge électrique produite lors du choc de la particule avec la matière, ainsi que l'élévation de température qui en résulte. A température ordinaire, le "bruit thermique" empêche tout relevé d'informations utilisables. L'unique solution consiste à baisser la température au maximum, et à utiliser des détecteurs cryogéniques. Le zéro absolu reste une limite qui n'a jamais été atteinte, ce 0 K de l'échelle Kelvin est égal à -273,15 degrés Celsius. A cette température, plus aucun mouvement ne se produit.

Et si votre congélateur domestique plafonne à 250 degrés, l'azote liquide se situe à 77 degrés, l'hélium liquide à 4 degrés. Dans le cas présent, le moyen d'obtenir les informations recherchées est d'atteindre une température de

10 à 20 millièmes de degrés. A une telle température, le choc d'une seule particule produit une élévation de température d'un millionième de degré, que peut détecter Edelweiss.

Les ingénieurs de notre projet produisent des réfrigérateurs qui n'existent nulle part ailleurs dans le monde ! D'où un intérêt croissant pour le monde scientifique, mais également industriel. Cette maîtrise de la cryogénie intéresse des sociétés comme l'Air Liquide ou Cryoconcept qui commercialisent une partie du savoir-faire développé dans les laboratoires de recherche de Grenoble et de Saclay.

Le Cryostat

Un cryostat, c'est beaucoup de plomberie avec une gestion sévère de la descente en température. Il faut une bonne semaine pour avoir une chance de descendre à la température proche du zéro absolu recherchée.

Il faut s'imaginer plusieurs réfrigérateurs, les uns emboîtés dans les autres. Du coup, le cycle démarre avec une descente en froid qui passe de la température extérieure à une température d'environ 50 kelvins, déjà inférieure à celle de l'azote liquide. L'étage suivant permettra d'atteindre la température de l'hélium liquide, ensuite la machine suivante descend jusqu'à 1 degré absolu. Enfin, il reste un dernier frigo qui permettra de descendre jusqu'à 1 centième de degré.

A la recherche d'un automatisme pilotable à distance ayant une sécurité interne importante

Pour automatiser toutes ces étapes, ce sont trois automates, ayant strictement le même programme, deux FieldPoint et un CompactFieldpoint, qui gèrent l'ensemble. Seuls deux fichiers annexes varient en fonction des automates, l'un décrit la configuration et l'autre les différents états. Les fichiers de configuration décrivent les entrées-sorties, mais il est possible de définir d'autres variables telles que des sécurités ou des PID. Les fichiers d'états sont écrits en langage textuel et permettent de définir les règles de gestion et de régulation.

C'est la quantité d'entrées-sorties, autour de 200 dont beaucoup de numériques, qui a déterminé le nombre de trois automates. Au départ, nous pensions que deux automates suffiraient, mais à force de rajouter des entrées-sorties, un troisième automate s'est vite imposé.

Concrètement, chaque automate est en charge d'une partie du contrôle-commande avec une répartition en fonction des étapes. L'un a en charge uniquement le dernier étage de réfrigération, un autre s'occupe des étapes précédentes et le troisième gère la surveillance. Chacun a une fonction bien définie, et il ne s'agit en aucune manière de redondance entre automates.

L'équipe de développement a défini un protocole de communication spécifique entre les automates, chacun pouvant récupérer les valeurs des autres. Au lieu d'attendre une information en provenance d'un capteur de température, l'automate reçoit directement de son homologue les informations en amont, de quoi anticiper un comportement.

Au-dessus de ces trois automates, une application de supervision, développée spécifiquement, dialogue avec chaque automate considéré alors comme un serveur TCP/IP. Cette supervision a été développée sous LabVIEW, elle contrôle et commande les paramètres d'entrées-sorties ou d'autres variables d'un automate, mais aussi définit le type de régulation à appliquer.

Avoir un ensemble piloté et développé avec LabVIEW permet de garder la maîtrise totale de l'application.

Cette homogénéité était un élément critique du cahier des charges. Sans être un professionnel des automatismes, il fallait que tout chercheur, qu'il se trouve à Paris, à Lyon ou dans le laboratoire souterrain, puisse utiliser la machine. Avoir un ensemble piloté et développé avec LabVIEW nous permet de garder cette maîtrise. L'arrivée de National Instruments dans le monde des automatismes a été une bouffée d'air.

Et garder la main sur le processus reste primordial pour ces chercheurs qui manipulent des produits comme l'hélium liquide. L'automatisme a un rôle vital dans la phase de refroidissement : l'hélium liquide étant instable par nature, la boucle de régulation ouvre et ferme en permanence l'écoulement de l'hélium. Ce sont 250 litres d'hélium liquide qui sont présents à 1.650 mètres sous terre, et la sécurité passive autant qu'active est essentielle pour limiter les risques de ces installations cryogéniques. D'autant que l'investissement global du projet représente déjà 5 millions d'Euros, hors salaires.

Pour plus d'informations, vous pouvez contacter

Gabriel Chardin
Direction des Sciences de la Matière
CEA/Saclay
91191 Gif-sur-Yvette Cedex
gabriel.chardin@cea.fr