

La première preuve directe de l'existence d'un trou noir

En 1994, par une belle nuit de printemps, Félix Mirabel du SAp et Luis Rodriguez, de l'Observatoire National de Radioastronomie des États-Unis, qui surveillent de près (si l'on peut dire, pour un corps céleste éloigné de 40 000 années-lumière) l'objet GRS 1915+105 décelé deux ans auparavant par le télescope « gamma » SIGMA, le voient cracher deux énormes boules (environ un tiers de notre Lune chacune) à une vitesse qui semble supérieure à celle de la lumière (voir n° 21 de ScintillationS, page 4).

Ce n'est qu'une illusion d'optique due à la Relativité. Mais ces deux énormes boules vont quand même à la respectable vitesse de 276,000 km/s (92 % de la vitesse de la lumière). Quel est donc ce monstrueux cracheur cosmique capable d'une telle débauche d'énergie (une seule de ces expectorations couvrirait les besoins énergétiques de l'humanité pendant une durée supérieure à l'âge de l'univers !)?

Les deux découvreurs pensent à un trou noir en train d'ingérer petit à petit une étoile proche. Mais ils n'en n'ont pas la preuve directe. Jusqu'ici, on n'a jamais eu que des preuves indirectes de l'existence des trous noirs. Mais là, l'occasion est superbe. Ce brave GRS 1915+105 a la bonne idée d'être, astronomiquement parlant, un proche voisin : c'est un des seuls objets de ce type observé dans notre propre Galaxie.

Alors nos deux astrophysiciens demandent l'aide de Sylvain Chaty et Josep Martí pour l'ausculter sous toutes les

coutures pendant trois ans et analyser tous les rayonnements qu'ils arrivent à capter du monstre galactique : ondes radio, infrarouge et rayons X.

Le bilan de ces observations est annoncé dans les prestigieuses revues Science et Nature. Il est saisissant.

En effet il apparaît que ce bouillonnant cosmique vomit régulièrement, environ toutes les vingt minutes, un nuage de matière si chaude (des millions de degrés) que les atomes sont désagrégés en une purée de protons, de neutrons et d'électrons. La violence du phénomène disperse ces particules à des vitesses proche de celle de la lumière. Ce nuage de *plasma relativiste* se développe et ses électrons ainsi accélérés émettent un titanesque Niagara¹ de rayonnements électromagnétiques (ondes radio, en

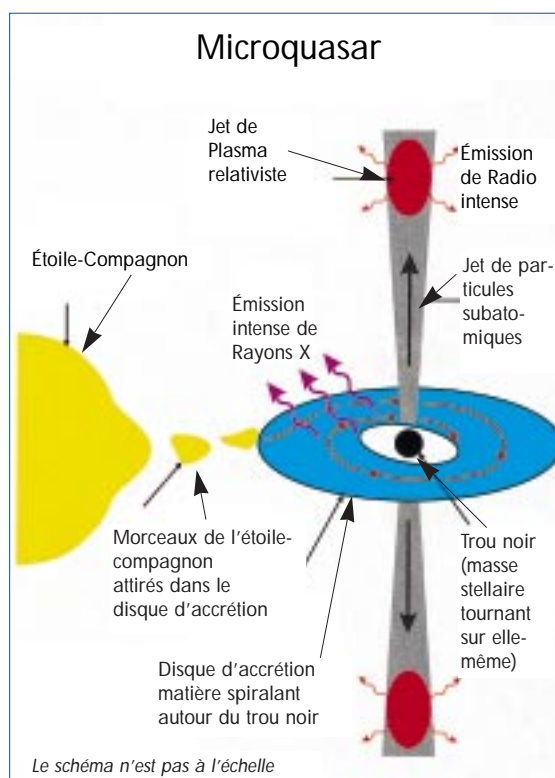
bleu sur le graphique, infrarouge en rouge) par effet synchrotron (analogue à celui produit par les électrons d'un accélérateur circulaire comme l'ESRF de Grenoble). Ces ondes sont la signature du plasma.

La mesure de la « luminosité » de ce nuage permet d'évaluer le nombre d'électrons qu'il renferme. On en déduit une valeur approchée de la masse du nuage, en supposant qu'il contient autant de protons que d'électrons. C'est environ la masse du Mont Everest. Le monstre éructe trois Everest à l'heure !

Au delà de l'horizon d'un trou noir ? Nos observateurs ne sont pas au bout de leurs surprises. Leurs détecteurs captent des bouffées extrêmement intenses de rayons X, émises

elles aussi toutes les 20 minutes. Leur luminosité oscille autour de 500 000 fois celle de notre soleil. Ces oscillations de grande ampleur et de période inférieure à la minute se voient très clairement sur le graphique de la page 2 (courbe noire). Quelle est l'origine de ces bouffées ?

Les astrophysiciens du SAp y voient le chant du cygne des morceaux de l'étoile, qui, avant d'être définitivement avalés par le trou noir, font quelques derniers tours de piste au sein de son disque d'accrétion. Un peu comme un navire enverrait des signaux avant de disparaître derrière l'horizon. Ce navire, les Anciens l'auraient cru perdu, tombé dans le grand gouffre au delà de la Terre qu'ils imaginaient plate. Saluons ces visionnaires : c'est le même sort, mais bien réel celui-là, que subit tout



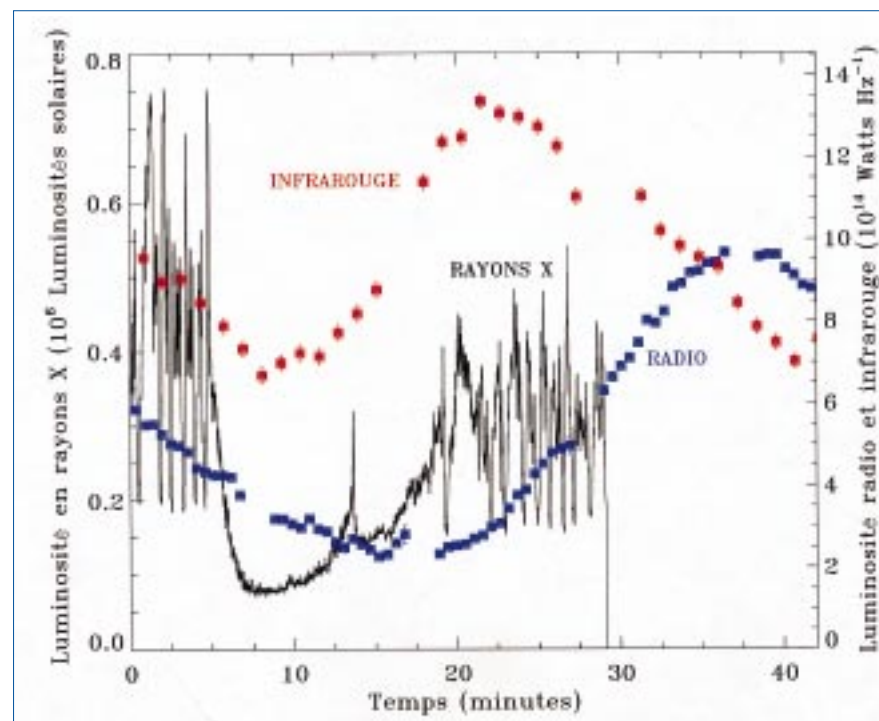
¹ Gare à l'averse du GRS ! (NDLR).

objet touchant au disque d'accrétion à la périphérie du trou noir, véritable zone de non retour. Qui s'aventure au-delà de cet horizon ne revient jamais.

Alors les astronomes imaginent le scénario suivant : le trou noir attire irrésistiblement fragment après fragment la substance de l'infortunée étoile-compagnon. Arrivés au contact du disque d'accrétion, les fragments sont happés dans un tourbillon fatal et spiralent de plus en plus vite autour de l'ogre noir si pressé de les engloutir qu'il en attrape le hoquet et recrache le plasma évoqué plus haut. Soumis à une effroyable accélération, les morceaux d'étoile émettent un rayonnement intense de rayons X qui peuvent encore s'échapper tant que n'est pas franchi le point d'où même la lumière ne revient pas.

Une fois ce point dépassé, une fois l'horizon traversé, plus rien. Le silence. Jusqu'à ce que d'autres substances tombent à leur tour dans le piège, remplissent le disque d'accrétion et relancent les émissions X, infrarouges et radio. Le cycle complet n'a pas pris plus de 20 minutes. Cette alternance d'émissions et de silence est la preuve directe de l'existence de l'horizon d'un trou noir, donc de l'existence du trou noir lui-même.

GRS 1915+105, un microquasar ? Ces émissions ne sont pas sans rappeler celles des quasars, ces « quasi-stellar objects » enfouis au plus profond des galaxies, sources d'une énergie bien plus colossale encore, et que les astrophysiciens estiment être de gigantesques trous noirs des millions de fois plus massifs que le soleil. Mais ces quasars sont tellement énormes qu'un cycle tel que celui qu'on vient de décrire dure plusieurs milliers d'années : il faudrait des dizaines de générations d'astrophysiciens pour observer son évolution jusqu'au « silence radio » suivi de la reprises des émissions. Or on pense que la durée d'un cycle complet est proportionnelle à la masse du trou noir. GRS 1915+105 est une fabuleuse aubaine : proche voisin, sa masse est assez « petite » pour qu'en quelques heures on observe assez de cycles et l'on ait ainsi la preuve qu'il s'agit d'un trou noir. Les calculs en cours tendent à lui attribuer une masse égale à une trentaine de fois celle du soleil. Celle d'un millionième de quasar. D'un microquasar. Bravo aux cher-



Cycle de "remplissage-disparition" dans le disque d'accrétion de GRS 1915+105, observé dans trois gammes de longueur d'onde : rayons X en noir, rayons infrarouges en rouge, ondes radio "centimétriques" en bleu. Les trois gammes de longueur d'onde sont observées de trois lieux différents.

Les rayons X sont émis par les fragments d'étoiles qui tourbillonnent dans le disque d'accrétion à quelques 50 000 kilomètres de distance du trou noir. Les oscillations rapides de la luminosité X sont probablement dues à cette rotation rapide. L'émission X cesse environ 7 minutes après le début des observations (temps zéro), au moment où ces fragments sont définitivement engloutis.

Au même moment, se produit l'éjection du nuage de plasma relativiste que signale la montée du signal (infra) rouge. Au fur et à mesure que le nuage se répand, il devient transparent aux ondes radio (bleu), qui partent alors pour la Terre et arrivent avec quelques 17 minutes de retard sur l'infrarouge.

Une nouvelle phase de remplissage du disque d'accrétion par de nouveaux fragments se voit à la remontée régulière de la courbe noire des X, jusqu'au début de nouvelles oscillations vingt minutes après le début des oscillations précédentes : la ronde fatale vient de commencer pour les nouvelles victimes...

Le cycle se répète régulièrement toutes les vingt minutes.

L'arrêt brutal de l'émission X, environ vingt-neuf minutes après le début des observations, est due à la rotation terrestre : la source cesse d'être visible. On « voit » donc un « coucher de soleil » de GRS 1915+105. Avec cette différence que les ondes qui nous en arrivent sont parties il y a 40 000 ans...

Valeur des longueurs d'onde :

- rayons X : entre 0,02 et 0,62 nanomètres (énergie entre 60 000 et 2 000 électron-volt)
- infrarouge : 2,2 micromètres ($1 \mu = 10^{-6} \text{ m}$. Les longueurs d'onde de la lumière visible varient de $0,75 \mu$ pour le rouge à $0,40 \mu$ pour le violet)
- ondes radio : quelques centimètres.

cheurs du SAp qui viennent de rendre moins troublants les trous noirs.

Joël Martin (SPhN & ScintillationS) "briefé" par Félix Mirabel et Sylvain Chaty (SAp)

Après le Prix Scientifique du CEA 1994 partagé avec Jacques Paul (SAp) et Pierre Mandron (CNRS), Félix Mirabel a obtenu le Prix Bruno Rossi 1996 décerné par la High Energy Astrophysics Division et l'American Astronomical Society.

La logique floue dans les automatismes du SIG

Les termes écrits en rouge sont explicités dans le glossaire.

Qu'est-ce que la logique floue ?

La logique floue (fuzzy logic) est une théorie qui, appliquée dans un ordinateur, permet de gouverner une régulation, comme le ferait manuellement un opérateur expert. Cette manière de programmer une machine vise à coller au plus près du savoir-faire et de la sensibilité d'un être humain en reproduisant ses « gestes de conduite ». L'homme a ses limites et la machine qui l'imité lui devient supérieure par sa rapidité et sa constance de fonctionnement.

La description du comportement que doit avoir un système automatisé pour remplir sa fonction s'articule autour de **règles** « si »... « alors »... Ces règles relient les variables d'entrée : « **conditions** », et les variables de sortie : « **conclusions** ».

Malgré un solide support mathématique, le terme « flou » a beaucoup nui à cette technique par sa connotation négative. Il signifie ici que le passage d'une règle à l'autre s'effectue sans à-coups. La logique floue est une logique *continue*.

Applications réalisées au DAPNIA

Il s'agit essentiellement du remplacement de régulations insuffisamment performantes. Trois exemples :

Régulation du compresseur de cycle d'hélium pour le liquéfacteur 4003 du STCM

Les démarrages du compresseur étaient étroitement tributaires des conditions initiales et demandaient souvent plusieurs essais¹. À présent, la gestion **multivariable** des phénomènes transitoires à partir du savoir-faire d'un expert garantit l'absence de faux-départs en toute sécurité pour l'installation. En prime, le flou minimise la consommation électrique, tout

en conservant la performance initiale du compresseur. Pour arriver à ce résultat, la régulation nécessite la mesure de 4 conditions qui, par l'intermédiaire de 21 règles agissent sur 3 conclusions.

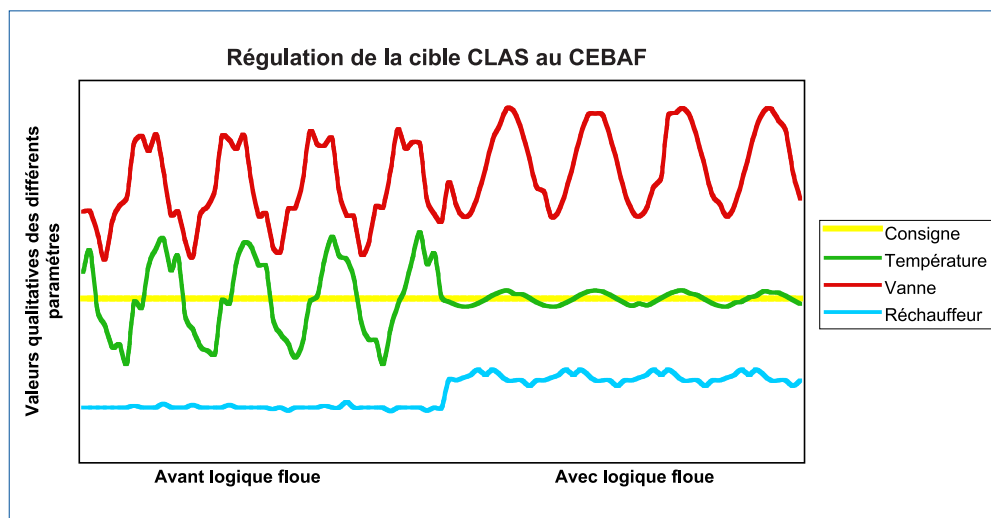
Régulation de niveau du réfrigérateur 1,8 K de la station d'essais LHC au STCM

Une bonne stabilisation à 1,8 K passe par le maintien de ce niveau. La logique floue a permis de réduire d'un facteur 25 les fluctuations du niveau : de $\pm 25\%$, on est passé à

Un fruit de la R&D du SIG

Pour réaliser ces performances, le groupe automatisme du SIG a acquis l'expertise de la logique floue au cours d'une R&D de cinq années et développé deux outils logiciels :

– Le **moteur** qui calcule la régulation à partir d'une base de données spécifique. Ce moteur est intégré dans l'automate industriel C370 de la gamme CEGELEC, mais il est aussi disponible en langage C. Un module de base offre une régulation de 4 conclusions en fonction de 8 condi-



$\pm 1\%$. Elle améliore aussi la robustesse de la régulation lors des changements de mode de fonctionnement. Pour obtenir ces performances, on utilise 1 condition, 5 règles et 1 conclusion.

Régulation de la température de la cible d'hydrogène pour l'expérience CLAS au CEBAF²

La stabilité de la température était de ± 150 mK, ce qui était insuffisant pour les physiciens³. La logique floue a réduit les fluctuations à ± 20 mK en agissant de façon non-symétrique en cas d'augmentation ou de baisse de la température. Cette régulation travaille avec 2 conditions, 9 règles et 2 conclusions.

¹ Dans certaines conditions de fonctionnement, le compresseur peut se trouver dans une situation dangereuse pour l'installation (pression trop basse et donc entrée d'air dans l'hélium). L'automate déclenche alors un arrêt de sécurité.

² CEBAF : Continuous Electron Beam Accelerator Facility (voir *ScintillationS* n° 20).

³ Pour la précision et la fiabilité de leurs mesures, les physiciens ont besoin que la quantité de matière traversée par le faisceau de l'accélérateur soit la plus constante possible. Or la densité de l'hydrogène varie notablement avec la température. De ce fait, pour une épaisseur de cible déterminée, la quantité d'hydrogène que rencontrent les électrons du faisceau fluctue avec la température. En minimisant ces fluctuations, la logique floue aide à améliorer la précision des mesures physiques.

tions via 128 règles.

Il est possible d'utiliser plusieurs modules simultanément.

– Le **configurateur** pour programmer la base de données avec les paramètres de chaque régulation. Il s'utilise sur PC. Il offre le confort d'une visualisation graphique et

évite les incohérences de la saisie.

Un exemple de collaboration avec l'industrie

Un contrat de transfert technologique vient d'être signé avec CEGELEC. Il prévoit que notre partenaire

intégrera le fruit de nos développements dans ses outils d'automatisme. En contrepartie de ce savoir-faire, CEGELEC nous fournira des outils industrialisés et plus ergonomiques.

Jean Belorgey (SIG)

Un exemple simple de régulation par la logique floue

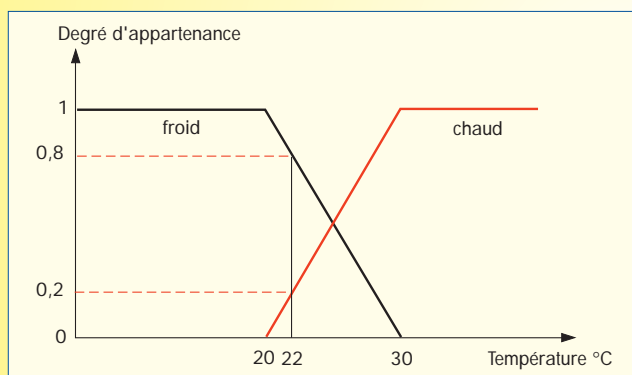
Comment éviter la douche écossaise trop forte ou trop maigrelette ? En termes plus scientifiques, comment maintenir constants la température et le débit d'eau d'une douche en agissant sur les robinets d'eau chaude et d'eau froide ?

Une fois qu'il a ouvert « au pifomètre » ses deux robinets, le baigneur dispose de deux instances de régulation biologique pour gérer l'averse : la sensation de chaud ou de froid et celle de la puissance du jet d'eau. Si, par exemple (cas n° 1, voir plus bas), ça coule trop fort et trop chaud, il fermera un peu le robinet d'eau chaude (une opération). S'il n'y a qu'un filet d'eau tiède (combinaison des cas n° 2 et n° 3), il va ouvrir les deux robinets, l'eau chaude plus que l'eau froide (combinaison de deux opérations). Etc.

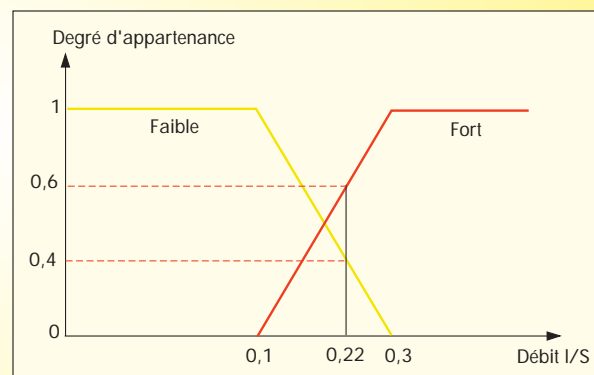
Si le monsieur qui prend sa douche est un logicien flou*, il choisit quatre configurations de base pour décrire l'ensemble des paramètres. Nouvel Archimède, il s'écrie « ηυρηκα ! » (en français « eureka ») et va codifier les 4 cas qu'il va appeler **règles** qui, à partir des deux **conditions** température et débit, agiront sur les deux **conclusions** : degré d'ouverture des robinets d'eau chaude et d'eau froide :

1) Si	eau chaude et débit fort	alors	fermer eau chaude
2) Si	eau chaude et débit faible	alors	ouvrir eau froide
3) Si	eau froide et débit faible	alors	ouvrir eau chaude
4) Si	eau froide et débit fort	alors	fermer eau froide

À partir de ces définitions et de l'état du système, la régulation consiste, pour chaque cycle, à combiner judicieusement ces opérations pour se rapprocher du résultat souhaité. Et pour ce faire, le traitement informatique consiste à déterminer comment pondérer les différentes règles puis à calculer les actions à appliquer sur chaque robinet.



Graphique a : température



Graphique b : débit

Les deux graphiques (a) et (b) aident à se faire une idée de ce traitement. On définit pour chaque entrée (température et débit), deux zones (froid, chaud – faible, fort) qui se recouvrent partiellement. On n'a donc plus affaire à une logique pure et dure : froid ou chaud, droite ou gauche, blanc ou noir. Il y a le tiède, le centre et le gris. Tenir compte de ces nuances, c'est une possibilité de la logique floue.

Supposons qu'à un instant donné, la température soit 22°C et le débit de 0,22 litres par seconde (l/s).

La température de 22°C appartient au domaine froid à 80% et au domaine chaud à 20% (graphique a). Le débit de 0,22 l/s appartient au domaine faible à 40% et au domaine fort à 60% (graphique b). Le traitement fournit les sorties, actions à mettre en œuvre pour obtenir les valeurs désirées. Dans le cas présent :

- ouvrir le robinet d'eau chaude de 1/8 de tour
- fermer le robinet d'eau froide de 1/20 de tour.

Cette régulation, très simple en logique floue est assez délicate avec l'outil de régulation classique **PID**.

D'une façon générale, la logique floue s'applique aux régulations difficiles (5% des cas traités par le SIG) que l'on ne peut (ou ne veut) pas modéliser, de type **multivariable**, ou **monovariable** avec une large plage de points de fonctionnement.

*C'est sous la douche que le logicien flou savonne son gant.



Glossaire

La logique floue est un *langage* qui manipule des *variables linguistiques* (**conditions** et **conclusions**) reliés par des *liens linguistiques* (**les règles**).

Conclusion : c'est une variable linguistique représentant la sortie de la régulation floue (fuzzy) et destinée à être traduite numériquement (défuzzification) pour être appliquée sur un actionneur (vanne, réchauffeur, etc.)

Condition : variable linguistique représentant l'entrée de la régulation floue et provenant de la traduction (fuzzification) de la valeur numérique d'un capteur (température, pression, débit etc.)

Configurateur : outil permettant de charger dans le **moteur** générique (voir ci-après) les paramètres spécifiques de chaque configuration à traiter, sous forme d'une base de données.

Moteur : programme générique qui réalise les calculs de la régulation floue. Pour s'adapter à chaque cas particulier, il utilise

les paramètres fournis par le **configurateur** dans une base de données.

Multivariable : une régulation multivariable nécessite plusieurs variables d'entrée et/ou de sortie. Ces variables ne peuvent être utilisées de façon indépendante (Si je vais vite au moment d'aborder un virage serré, je freine et je tourne le volant. Si je coordonne mal ces deux actions, je me plante). A contrario, une régulation **monovariable** agit sur une seule sortie en fonction d'une seule entrée (Dans le brouillard, je règle ma vitesse en fonction de la visibilité).

PID : méthode de régulation monovariable simple qui produit une sortie en fonction de

l'entrée, de sa dérivée et de son intégrale (deux grandeurs mathématiques qui caractérisent l'évolution et l'intensité de la grandeur physique), multipliées par des coefficients réglables. Le PID convient dans 95% des cas que traite le SIG. Il a trois avantages : peu gourmand en temps de calcul, utilisable de façon simple et méthodique, connu de tous les automaticiens.

Règles : Lien linguistique entre les **conditions** (C) et les **conclusions** (CI). Elle s'écrit sous la forme :

[si C1 et C2... , alors CI1 et CI2...]

L'ensemble des **règles** décrit toutes les actions à effectuer dans tous les cas possibles.

Paul Delecroix (STCM) devant le compresseur du cycle d'hélium pour le liquéfacteur 4003 du STCM. Il (le compresseur, pas Paul) fournit un débit de 45 g/s à une pression de 16 bars (900 m³/h aux conditions atmosphériques). Il est composé de deux étages et consomme une puissance électrique de 200 kW.



Suite de l'article de Chris LLEWELLYN-SMITH

3 Les bénéfices de la science de base

• Contributions à la culture

Nos vies sont enrichies, notre horizon modifié, par exemple par la connaissance du système héliocentrique, du code génétique, du fonctionnement du soleil, du pourquoi le ciel est bleu, de l'expansion de l'Univers. C'est ce qu'illustre avec élégance, mais non sans arrogance, la réponse de Bob Wilson (le premier directeur du Laboratoire Fermi, grand laboratoire d'accélérateurs et de physique des particules près de Chicago) à une question d'un comité du Congrès « *Quelle sera la contribution de votre laboratoire*

à la défense des US ? » : « *Aucune, si ce n'est qu'à cause de lui, cela vaudra la peine de les défendre* » Pourtant en général les scientifiques surprennent par leur timidité à avancer des arguments culturels ; c'est d'ailleurs un phénomène très ancien, comme on peut s'en rendre compte dans ce dialogue de *La République*¹ de Platon :

Socrate – *Et maintenant l'astronomie sera-t-elle la troisième science ? Que t'en semble ?*

Glaucon – *C'est mon avis, car savoir aisément reconnaître le moment du mois et de l'année où l'on se trouve est chose qui intéresse non seulement l'art du laboureur et l'art du pilote, mais encore, et non moins, celui du général.*

Socrate – *Tu t'amuses ; en effet, tu sembles craindre que le vulgaire ne te*

reproche de prescrire des études inutiles

J'estime que les scientifiques devraient avancer l'argument culturel plus hardiment. En particulier, les dépenses publiques pour la physique des particules peuvent et devraient être justifiées en grande partie par des raisons culturelles. La mondialisation de la physique des particules y contribue, et il est relativement facile de convaincre la plupart des gens que l'humanité dans son ensemble doit continuer à explorer les frontières de la connaissance, et a les moyens de le faire. Pour justifier la physique des particules, il est tentant de mettre en avant les retombées, comme le World Wide Web (je donnerai d'autres exemples plus loin), mais

¹ Livre VII, traduction de R. Baccou, édition Garnier-Flammarion (NdT).

selon moi, ces arguments ne sont que secondaires, et la contribution au savoir devrait être mise en avant. De fait, le grand public trouve généralement l'argument culturel au moins aussi convaincant, sinon plus, que celui des retombées ; il est en outre dangereux de s'appuyer sur des exemples de retombées qui risquent de ne pas résister à une analyse détaillée.

• **Possibilités de découvertes d'énorme importance économique et pratique**

Il n'est pas difficile de montrer que les dépenses au titre de la science fondamentale conduisent souvent à des découvertes d'une énorme importance économique ou pratique, qu'elle sont hautement profitables et se sont aisément amorties. Casimir, le théoricien renommé, qui fut directeur de la recherche de Philips, a donné une splendide série d'exemples [9] :

"J'ai ouï dire que le rôle de la recherche académique dans l'innovation est minime. C'est peut-être l'absurdité la plus patente qu'il m'ait été donné d'entendre.

On peut assurément spéculer futilement pour savoir si les transistors auraient pu être découverts par des gens qui n'étaient pas rompus, et n'avaient pas contribué, à la mécanique ondulatoire ou à la théorie quantique des solides. C'est cependant un fait que les inventeurs du transistor étaient versés dans la théorie quantique des solides, à laquelle ils avaient contribué.

On peut se demander si les circuits de base des ordinateurs auraient pu être trouvés par des gens cherchant à construire des ordinateurs. Il s'avère qu'ils ont été découverts dans les années trente par des physiciens occupés à compter des particules nucléaires, parce qu'ils s'intéressaient à la physique nucléaire.

On peut se demander s'il y aurait eu l'énergie nucléaire juste parce que des gens voulaient de nouvelles sources d'énergie, ou si la nécessité urgente de nouvelles sources d'énergie aurait conduit à la découverte du noyau. Peut-être - seulement cela ne s'est pas passé ainsi.

On peut se demander si l'industrie électronique

aurait pu exister sans qu'auparavant Thomson et H.A.Lorentz ne découvrent l'électron. Encore une fois, cela ne s'est pas passé ainsi.

On peut même se demander si les bobines d'induction dans les véhicules à moteurs auraient pu être fabriquées par des entreprises cherchant à motoriser le transport, et si dans ce cas elles seraient tombées sur les lois de l'induction. Mais les lois de l'induction avaient été trouvées par Faraday de nombreuses décennies auparavant.

Ou si, dans un souci de mettre au point de meilleures communications, on aurait pu trouver les ondes électromagnétiques. Ce n'est pas ainsi qu'elles ont été trouvées. Elles ont été trouvées par Hertz qui mettait en avant la beauté de la physique, et qui basait ses travaux sur les considérations théoriques de Maxwell. Je ne pense pas qu'il y ait seulement un exemple d'innovation du vingtième siècle qui ne soit pas ainsi redevable à la pensée scientifique de base."

Les exemples cités par Casimir ont plusieurs points communs :

- les applications des nouvelles connaissances furent très profitables ;
- elles étaient totalement imprévues au moment où les découvertes sous-jacentes ont été faites ;
- un long laps de temps a séparé les découvertes fondamentales et leur exploitation ;

- les découvreurs ne se sont, en général, pas enrichis.

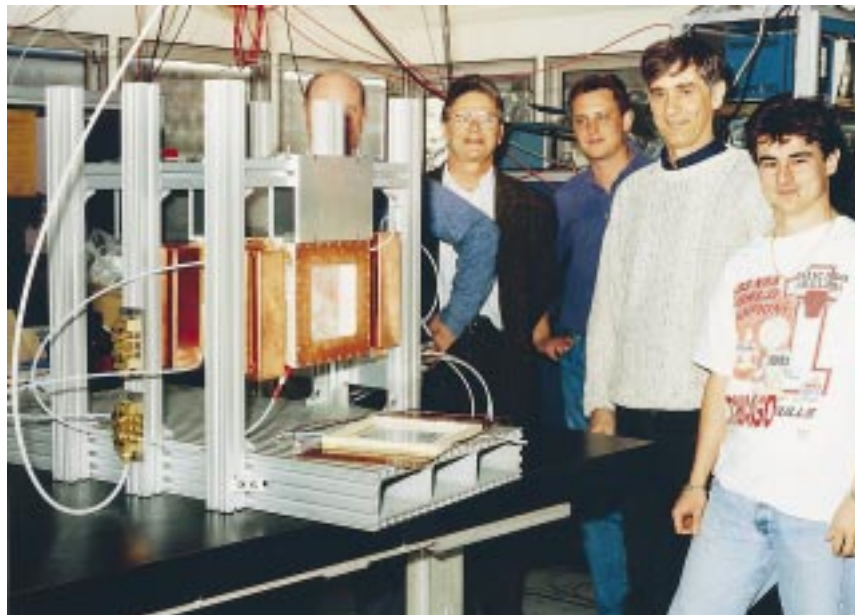
Nous reviendrons plus loin sur quelques conséquences de ces constatations.

Quelques tentatives ont été faites visant à évaluer les énormes profits dus à la recherche fondamentale; j'en mentionnerai trois ² :

1) Une étude récente de la NSF (Fondation nationale pour la science, USA) a permis de constater que 73% des documents cités dans les brevets industriels ont été publiés en tant que textes de "science publique", c'est-à-dire, dans leur immense majorité des articles de recherche de base rédigés par des chercheurs universitaires de premier plan et des laboratoires d'État.

2) Dans le premier article que j'ai écrit sur ce sujet, avec l'économiste bien connu John Kay, nous estimions - sur la base de l'hypothèse prudente que, sans l'électricité, le revenu national actuel serait au moins inférieur de 5% à ce qu'il est que le gain d'un an dans le développement - de l'électricité par Faraday, Maxwell et d'autres aurait rapporté à l'économie du Royaume Uni au moins 40 milliards de livres sterling. Cet exemple est devenu par la suite un argument de choc de Mme Thatcher qui aimait à dire que la valeur des travaux de Faraday était supérieure à celle de la capitalisation boursière britannique.

3) Une étude de Mansfield [10] en 1991, abondamment citée, visait à montrer que l'investissement public en science de base engendre un retour de 28%. Ce résultat de Mansfield était déduit d'un échantillon de 75 grandes firmes américaines dans sept secteurs de l'industrie de transformation (traitement de l'information, équipements électriques, chimie, instruments, pharmacie, métallurgie et pétrole). Il obtint des informations, auprès des responsables de la R & D de ces entreprises, sur la proportion des



Jean-Pierre Robert (SED), Claude Kochowski (SPP), Philippe Rebourgeard (SED), Yannis Giomataris (SED) et G. Puill (SED) devant MICROMEGAS, nouveau type de chambre à fils capable de supporter de hauts flux de particules, développée au DAPNIA.

nouveaux produits et procédés commercialisés entre 1975 et 1985, qui, selon eux, n'auraient pu être développés (du moins non sans un retard considérable) en l'absence d'une recherche académique effectuée dans les quinze ans précédant la première apparition de l'innovation. Le travail de Mansfield démontre clairement l'existence de forts retours, mais son analyse repose sur un grand nombre d'hypothèses et le chiffre qu'il avance doit être accepté avec beaucoup de circonspection. En effet, étant donné le caractère fortement non-linéaire du lien entre la recherche et le produit final, il est clair qu'une estimation quantitative est fondamentalement impossible.

On dit parfois que ces exemples sont convaincants, mais qu'on ne saurait attendre un quelconque bénéfice majeur de sciences ésotériques telles que la physique des particules. En fait, les recherches citées par Casimir étaient tenues pour tout aussi ésotériques en leur temps et le danger de ce genre d'arguments *a priori* est illustré par l'utilisation récente de la théorie des nombres en cryptologie, qui aurait été considérée, il y a 20 ans à peine, comme l'une des moins "applicables" des branches des mathématiques.

Il est vrai qu'à ce jour les découvertes en physique des particules n'ont donné lieu à aucune application directe, mais dans certains cas il s'en est fallu de peu. Par exemple, si le

muon (une particule instable découverte dans les années 1940), avait une durée de vie un peu plus longue avant sa désintégration, il pourrait être utilisé pour catalyser la fusion nucléaire, ce qui produirait une quantité d'énergie gigantesque. La découverte de particules chargées à longue durée de vie qui catalyseraient la fusion n'est pas inimaginable. Pour donner un autre exemple possible, certaines théories de "grande unification" des forces connues présentent l'existence de monopôles, qui pourraient être utilisés pour catalyser la désintégration du proton, fournissant par là une source d'énergie illimitée.

L'application des connaissances apportées par la physique des particules n'est donc pas inimaginable, même si elle est peu probable. Ce qui est certain en revanche, c'est qu'il ne sera pas possible d'exploiter des lois et des propriétés de la nature qui n'auront pas



Marie Géléoc (SED), devant le banc de test de cristaux scintillants développés pour l'expérience CMS au LHC.

été découvertes.

Traduction de Yves Sacquin

- [9] H.G.B. Casimir, Contribution to Symposium on Technology and World Trade, US Department of Commerce, 16 November 1966.
- [10] Academic Research and Industrial Innovation, E. Mansfield, Research Policy 20, 1, 1991.

² Voir la référence [4] (donnée dans la première partie, n° 34) pour un examen plus complet.

BRÈVES ... BRÈVES ... BRÈVES ... BRÈVES ...

Auto-Gluons d'Honneur

Dans le n° 34 de *ScintillationS*, une longueur s'est retrouvée exprimée en « manomètres » (légende de la photo du bas de la page 2). Le coupable devra calculer en hectopascals la pression de 69 newtons par mano... euh! pardon, nanomètres carrés.

Autre gluon d'honneur maison. Dans le n° 63 des *Défis du CEA*, page 8, à propos d'une manip sur le quark étrange à CEBAF, un petit encadré est ainsi libellé :

« Un proton est constitué de trois quarks de valence dont la charge électrique totale est nulle... »

Le proton est donc présenté

comme un nucléon neutre. C'est, bien sûr une coquille dont les trois physiciens du SPhN nommés dans l'article ne sont pas responsables, pas plus qu'ils ne le sont de l'importance que semblait leur donner l'article dans sa forme finale. Ils l'ont découverte en lisant le journal. Ils rappellent que la « petite équipe du SPhN », que mentionnent à juste titre *Les Défis*, œuvre au sein d'une grosse collaboration internationale.

Les physiciens dans la rue

Le 21 janvier dernier, un étrange spectacle a eu lieu dans les rues de Paris : plus de cent chercheurs du CEA, dont une appréciable délégation du DAPNIA, se sont rassemblés rue de la Fédération tôt le

matin, à l'appel de la coordination de Saclay pour la défense des thèses au CEA. Malgré le froid vif, l'ambiance était bon enfant, et la troupe, décorée de badges interpellateurs (*les policiers se sont gratté le pif devant nos posters railleurs, NDLR*),

On rappelle que le proton possède deux quarks « up » portant chacun la charge $+2/3$ et un quark « down » muni d'une charge $-1/3$. Charge totale : $+1$ (une unité de charge élémentaire positive, soit $1,6 \cdot 10^{-19}$ coulombs). Le neutron, quant à lui, recèle deux quarks down et un quark up. Charge totale : zéro. Comme son nom l'indique, le neutron est neutre. L'électron, pour sa part, possède une charge élémentaire négative -1 (fois $1,6 \cdot 10^{-19}$ coulombs).

a patiemment attendu une délégation venue plus tôt rencontrer l'Administrateur général. Vers 10h, après que cette dernière eût rendu compte de l'entrevue, le cortège s'est ébranlé en direction du ministère de l'Éducation Nationale et de la Recherche, par un itinéraire quelque peu contournant, en raison de la présence de Yasser Arafat dans le quartier du Champ de Mars. Soigneusement encadrée par des forces de police aussi efficaces que discrètes, la petite troupe est arrivée à destination sans encombre, et non sans provoquer la curiosité des badauds (*Encore une manif de chômeurs ? a-t-on pu entendre*). Là, après une attente, une délégation, toujours aussi badgée (*"La Recherche va virer à l'aigre !"*), a pu entrer au ministère pour y exposer ses doléances. La rédaction de ScintillationS est la seule de toute la presse à avoir suivi pour vous cette manifestation, et vous renvoie à vos journaux et tracts préférés pour savoir où en est l'affaire des thèses au CEA. Le rythme de parution de la revue ne nous permet pas en effet d'assurer avec toute la rigueur possible une information encore à jour au moment de la sortie de ce numéro.

Après la rue, le bar (des Sciences) !

Après les tirs de qualification du congrès de la SFP (en juillet dernier) et de la Science en Fête (en octobre), les Bars des Sciences, lancés par les divisions de Physique Nucléaire et des Champs et Particules de la Société Française de Physique, se mettent en orbite stable. Les rendez-vous sont fixés à Paris les vendredis 6 mars, 3 avril, 5 juin et 3 juillet au *Petit Riche*, 25 rue Le Peletier dans le 9ème arrdt, à 19h30, et aux Ulis le jeudi 7 mai au café Le Radazik (Esplanade République), à 19h30 également. L'organisation est abritée par l'association Sciences Ressources, d'Orsay, avec le soutien de la SFP, du CEA, du CNRS, de France Info et de la revue Eurêka. Fidèle au rendez-vous, la talentueuse Marie-Odile Monchicourt animera les sessions parisiennes. D'autres bars sont également organisés à Caen et Lyon. Vaton voir la France se saouler de science et les chercheuses s'adonner aux plaisirs du bar ?

Rendez à César ce qui est à Angèle, Arlette et Christine

Dans l'« Ours », de la version française du Rapport d'Activité 1995-1996 manquaient les noms de nos maquetistes¹.

Rappelons qu'avec le concours efficace et apprécié de Danielle Rousseau pour la partie photo, nos deux collègues se sont entièrement investies pendant six mois dans la « maquettisation » de la version anglaise de ce travail de titan où elles figurent en bonne place, et que la version française a été ultérieurement sous-traitée à un imprimeur.

Il suffit de comparer les deux versions pour voir tout ce que la maquette de la version française doit à celle de la version anglaise, travail de Christine Marteau et d'Arlette Dauba (SGPI). Or, Pan! sur le becquerel, un seul de ces noms figurait sur l'Ours fourni à l'imprimeur. Mais même ce nom a disparu de la version définitive. L'imprimeur a édité un rectificatif en autant d'exemplaires que le Rapport version française, soit 1200. Nos deux collègues vont donc reprendre dans l'Ours la place qu'elles méritent.

Pan! sur le becquerel

L'imprimeur n'est pour rien, par contre, dans une autre absence de l'Ours du Rapport en français : celle d'Angèle Séné (DAPNIA/DIR), à « Coordination Technique et Rédactionnelle », activité dans laquelle elle s'est très fortement impliquée. Les membres de l'équipe de « ScintillationS » qui ont œuvré pour le rapport peuvent témoigner de la qualité, et de la constance du travail d'Angèle dont l'absence de l'Ours n'est due qu'à un oubli de l'un d'entre nous et au manque de vigilance des relecteurs. Nous ne savons comment nous excuser auprès d'Angèle que l'imprimeur a gracieusement accepté de mentionner dans son rectificatif, à la rubrique « Coordination Technique et Rédactionnelle », bien que l'erreur sur Angèle ne lui incombe pas.

Autre **Pan! sur le becquerel** : la première partie de l'article de Chris Llewellyn-Smith parue dans le n° 34 n'était pas l'ultime version peaufinée (ah! peaufiner...) par Yves Sacquin et ses collègues traducteurs du CERN. Nos plus vives excuses à l'auteur dont le texte intégral en français est disponible sur demande.

Bravo Franz et Marc !

Ces deux récidivistes ont encore eu un prix.

Marc Lachièze-Rey (SAp) a obtenu le Prix DSM de la Communication.

Franz Lehar (SPP) s'est vu décerner le Diplôme d'Honneur du JINR (Institut Unifié pour la Recherche Nucléaire) de Dubna, dont il est membre du Conseil

Scientifique.

Un grand bravo à tous les deux et ça s'arrose !

Va -et-Vient

Novembre 1997 – Nicolas Pétrou (SAp) saute sur son orbite de retraite. Pierre Pailler (STCM) est détaché au CERN, Sylvie Maron est mutée du SED vers le SIG, Isabelle Richard est mutée au SPHN, venant de DSM/DIR. Nous accueillons aussi trois nouveaux recrutés : Françoise Loubère au SAp, Irakli Mandjavidze au SEI et Romain Teyssier au SAp. Bonne chance ou bienvenue suivant le cas.

Décembre 1997 – Quatre retraites : Jeannette Barathieu (SPHN), Claude Dufaire (SEI), Jean Dupuy (DAPNIA/DIR) et Jean Heitzmann (SED). On la leur souhaite semée de roses (non NDLR). Emmanuel Polacco est muté du SPHN au DRECAM. C'est pas loin, reviens nous voir ! Bienvenue à Florence Kubiak recrutée au GRH (DAPNIA/DIR) et à Fabrice Simon recruté au STCM.

Faute de place les nombreuses mutations de janvier 1998 sont reportées au N°37.

Pour mémoire, les passages d'annexe 2 en annexe 1 en 1997 : Christelle Bonnin (SAp) et Emmanuelle Bougamont (SED) en avril, Michel Combet (SED), en janvier et Jean-Marie Hisleur (DAPNIA/DIR) en juillet. Bravo et nos excuses aux oublié(e)s.

Bienvenue

À Thierry Fogliozzo (SAp) qui rejoint l'équipe de ScintillationS.

¹ L'imprimeur s'est sans doute emmêlé les maquettes à la vue de ces beaux noms... (NDLR)

CEA - DIRECTION DES SCIENCES DE LA MATIÈRE

DIRECTEUR DE LA PUBLICATION :

Joël FELTESSE

COMITÉ ÉDITORIAL :

Joël MARTIN (porte parole),

Claire ANTOINE,

Pierre BORGEAUD,

Michel BOURDINAUD,

François BUGEON, Rémi CHIPAUX,

Nathalie COLOMBEL,

Thierry FOGLIOZZO

Elizabeth LOCCI, Marc PEYROT,

Franç QUATREHOMME, Yves SACQUIN,

Angèle SÉNÉ, Hubert VAN HILLE,

Christian VEYSSIÈRE

Secrétaire de RÉDACTION :

Marylène BESSON

MAQUETTE ET MISE EN PAGE :

Christine MARTEAU

Dépôt légal mars 1998

7!