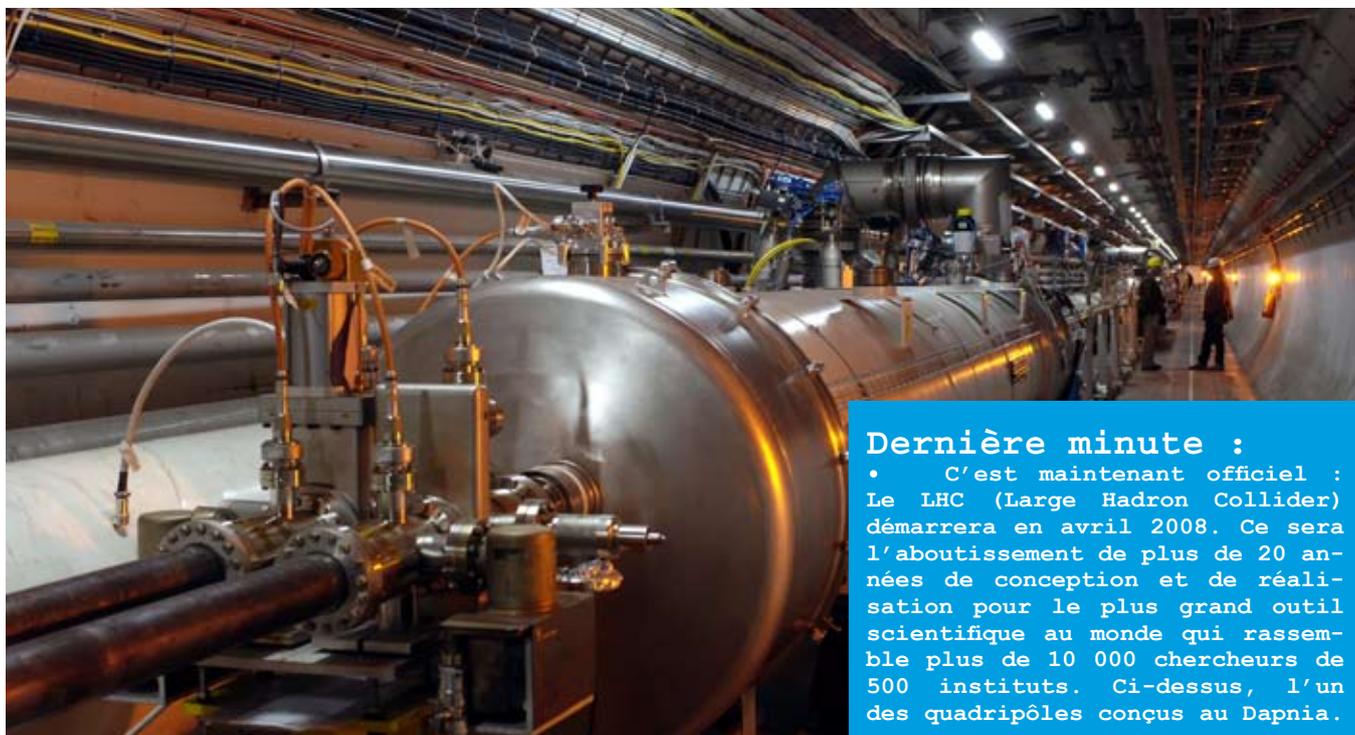


Scintillation2

Laboratoire de recherche sur les lois fondamentales de l'Univers

Juin 2007



Dernière minute :

• C'est maintenant officiel : Le LHC (Large Hadron Collider) démarrera en avril 2008. Ce sera l'aboutissement de plus de 20 années de conception et de réalisation pour le plus grand outil scientifique au monde qui rassemble plus de 10 000 chercheurs de 500 instituts. Ci-dessus, l'un des quadripôles conçus au Dapnia.

ÉDITO

Voici donc le Scintillations nouveau. La gestation a été plus longue que prévue, mais le bébé valait bien que l'on s'attarde un peu. Nous espérons que la nouvelle présentation de notre journal vous plaira. Il y a beaucoup de travail derrière une nouvelle maquette...

Et comme il est le premier de son genre, ce 74^e Scintillations a droit à un second éditio (p.2) dans lequel Alain Milsztajn, le directeur scientifique de notre équipe, nous dévoile sa conception de notre publication. Ce numéro est surtout une affaire d'accélérateurs :

Avec H.E.S.S. par exemple, qui nous avait déjà fait découvrir un accélérateur cosmique dans le numéro 67. Christian Gouiffès et Philippe Goret nous décrivent cette fois-ci comment cette expérience nourrie d'éclairs dans un ciel sans nuage révolutionne l'astrophysique des hautes énergies.

Les travaux d'Egle Tomasi-Gustafsson sont une belle utilisation de résultats acquis grâce aux accélérateurs, son article nous révèle l'intimité du proton. Le chef du Dapnia, Jean Zinn-Justin, nous explique ensuite pourquoi le Dapnia a voulu créer un nouveau service, le service d'ingénierie Ifmif Eveda (Siiev), afin de relever le défi des accélérateurs de demain pour la recherche et la production d'énergie. Alban Mosnier, le nouveau chef du Siiev, vous en dira plus.

Vous découvrirez que les expériences de physique des particules se pensent des dizaines d'années à l'avance. Dans le dossier Clic/ILC, Alban Mosnier et Olivier Napoloy nous montrent que des affrontements chauds ou froids, mais pacifiques, ont déjà lieu à ce sujet.

Les accélérateurs s'arrêtent un jour, et ce n'est pas simple de gérer la fin de ces monstres d'acier et de béton. C'est l'affaire du Sénac que son chef Guy Cordero nous détaille.

La publication de résultats, comme ceux d'Egle, est essentielle pour la science. Angèle Séné nous décrit comment le modèle économique de l'édition scientifique va bientôt se trouver bouleversé.

Bonne découverte et bonne lecture à tous !

François Bugeon (SIS)

Sommaire

EN BREF

▼ Faits marquants, p. 2

MOTS

▼ Alain Milsztajn, p. 2

DOSSIER

Les accélérateurs du futur

- ▼ Clic/ILC : Le futur du LHC, p. 7
- ▼ Ifmif : accélérateur pour la fusion, p. 9
- ▼ Senac : Expertise recherchée, p.10

ACTUALITÉS

- ▼ Une nouvelle fenêtre sur l'Univers, p. 3
- ▼ Proton intime, p. 4
- ▼ Fête des aimants et Mirabelle, p. 6
- ▼ Scoap3, une révolution dans l'édition, p.11

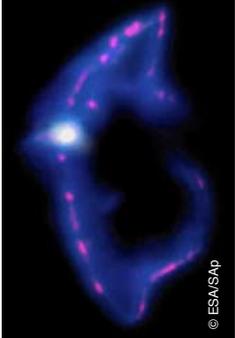
dapnia

cea

saclay

Faits marquants

d'avril et mai 2007, à lire sur <http://www-dapnia.cea.fr/>



© ESA/SAP

Matière fantôme dans les galaxies naines

En observant les débris d'une collision entre deux galaxies et en simulant cet événement sur ordinateur, une équipe internationale d'astrophysiciens codirigée par le Service d'astrophysique du Dapnia et le laboratoire AIM a montré que les galaxies naines produites par cette rencontre sont trois fois plus massives que prévu. Elles contiennent donc une importante quantité de matière invisible. <http://www-dapnia.cea.fr/Fm/1470.html>

Un monde moins macho

Les machos, ou astres massifs compacts du halo galactique, restent introuvables dans toute notre galaxie. Tel est le verdict - politiquement correct - établi après plus de douze ans d'observations, par le programme Eros, auquel le Dapnia a apporté une contribution déterminante.

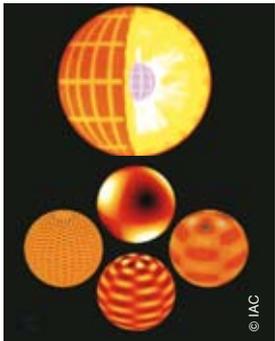
<http://www-dapnia.cea.fr/Fm/1469.html>



© ESO

Battements de cœur solaire

Un examen « clinique » de dix années effectué grâce à l'instrument Golf embarqué sur le satellite SoHO, révèle que notre astre serait doté d'un cœur nucléaire tournant plus rapidement que prévu. C'est le constat d'une équipe internationale d'astrophysiciens incluant des chercheurs du Dapnia. <http://www-dapnia.cea.fr/Fm/1467.html>



© IAC

CEA - DIRECTION DES SCIENCES DE LA MATIÈRE

Dapnia - Laboratoire de recherche sur les lois fondamentales de l'Univers

Directeur de la publication : Jean Zinn-Justin

Directeur scientifique : Alain Milsztajn

Rédacteur en chef : François Bugeon

Rédacteur en chef adjoint : Claude Reyraud

Comité éditorial : Shebli Anvar, Maryline Besson, François Bugeon, Rémi Chipaux, Olivier Cloué, Philippe Convert, Philippe Daniel-Thomas, Antoine Drouart, Christian Gouiffès, David Lhuillier, Christine Marteau, Christophe Mayri, Alain Milsztajn, Xavier-François Navick, Claude Reyraud, Yves Sacquin, Angèle Séné, Pierre Vedrine, Didier Vilanova

Secrétariat : Maryline Besson

Maquette : Christine Marteau, Claude Reyraud

Photographies : Jean-Jacque Bigot

Mise en page : Christine Marteau

Contact : François Bugeon, 01 69 08 34 30
francois.bugeon@cea.fr
<http://www-dapnia.cea.fr>

Dépôt légal juin 2007



Un directeur scientifique pour Scintillations, à quoi bon ? Après tout, nous sommes au Dapnia presque tous des scientifiques. Et, bien entendu (!), nous savons écrire des textes scientifiques. Seulement, un texte de vulgarisation n'est pas un texte scientifique comme un autre : il doit s'adresser à l'ensemble des agents du Dapnia, avec toute la variété des niveaux qui coexiste, y compris à ceux qui sont nos gestionnaires, et donc pas des scientifiques. Eh bien, cet aspect de Scintillations est une chance pour ceux qui écrivent dans notre revue ; nous pouvons ainsi pratiquer la vulgarisation et nous y entraîner pour en faire profiter ultérieurement d'autres, à l'extérieur. Nous sommes en effet un certain nombre à aimer cet aspect de notre travail et à le pratiquer avec une dose raisonnable d'efficacité. J'évoque « cet aspect de notre travail » non pas pour dire que tout un chacun au Dapnia doit s'y adonner, ni y passer la totalité de son temps, mais parce qu'il s'agit d'une sorte de devoir collectif que nous avons en tant que groupe humain. Nous savons que notre activité est importante pour la société : faisons le savoir !

Et voilà où intervient le directeur scientifique : pas pour avoir un titre ronflant, mais pour s'assurer, avec ses critères forcément critiquables, que les textes soumis seront compréhensibles tout en maintenant le niveau d'exigence scientifique qui doit être celui de notre journal. Évidemment, cela ne va pas sans problèmes car l'auteur a rarement la même vision que le comité de rédaction (et il est souvent attaché à l'organisation de son texte d'une manière presque « parentale »). Que les auteurs nous pardonnent, mais avec un peu de bonne volonté et beaucoup de discussions, nous croyons que le résultat final est meilleur que ce que l'auteur seul ou un membre du comité seul aurait pu écrire. On ne peut d'ailleurs que remercier tous nos auteurs, sachant le temps qu'ils passent sur leurs textes. Nous découvrons ensemble qu'un texte de vulgarisation, ce n'est pas : A implique B qui implique C et D (CQFD).

Enfin, si certains d'entre nous peuvent accéder à la presse écrite, voire à la radio ou aux podcasts, ce qui garantit une large audience, il demeure un créneau qu'il ne faut pas négliger et pour lequel la demande existe : écoles primaires, collègues, lycées, sociétés savantes en Île de France ou plus loin, voire n'importe quelle bonne volonté.

Là aussi nous devons être présents si nous le pouvons ; le contact direct est plus riche que l'écrit car il permet l'échange. Je me souviens d'une triste disparité lors de l'opération « parrainage scientifique en Essonne » : quatre demandes de professeurs pour un chercheur disponible. Sans commentaire ! Même là, Scintillations peut jouer son rôle : il y a les « séminaires Scintillations », qui doivent continuer à exister et à être encouragés.

Finalement, Scintillations nous offre la chance de combiner communication écrite et orale. Le comité est ouvert aux critiques et suggestions des lecteurs (mais oui !) et tâche, chaque fois qu'il le peut, de les prendre en compte. Merci d'avance à toutes les bonnes volontés.

Alain Milsztajn (SPP)

À l'heure où nous mettons sous presse, nous apprenons qu'Alain vient de décéder. Toutes nos pensées vont vers sa famille.

Une nouvelle fenêtre de l'Univers

La collaboration franco-allemande H.E.S.S.¹, qui exploite en Namibie un réseau de quatre télescopes sensibles au rayonnement gamma, vient de voir ses travaux récompensés par le prix Descartes 2006 attribué par la Commission européenne pour ses résultats qui ont « révolutionné l'astrophysique des très hautes énergies ». Moins de quatre années se sont écoulées entre le premier coup de pioche dans la savane namibienne en août 2000 et la mise à poste du réseau complet en 2004, un record. Depuis, les observations de H.E.S.S. ne cessent de dévoiler une facette entièrement nouvelle et surprenante du ciel gamma.

Dans la décennie précédant la mise en service de H.E.S.S., plusieurs expériences, dont Cat (projet français) et Hegra (collaboration allemande), ont utilisé la technique du Tcherenkov atmosphérique (voir encadré ci-dessous) pour étudier le ciel au-delà de quelques centaines de GeV. Ces expériences ont découvert des noyaux actifs de galaxies (NAG) ainsi que deux restes de supernovae. L'avènement de H.E.S.S. a changé radicalement le panorama dans ce domaine, l'astronomie gamma des très hautes énergies. D'une part, l'implantation de l'expérience en Namibie,

à une latitude de 23° Sud, permet d'accéder aux régions centrales de notre Galaxie, où l'on s'attend à trouver plus de sources. D'autre part, la stratégie adoptée par la collaboration H.E.S.S., consistant à coupler les techniques d'imagerie fine (une caméra électronique composée de petits éléments et développée pour Cat) et l'observation de la lumière Tcherenkov par plusieurs télescopes

(stéréoscopie utilisée dans Hegra), permet d'augmenter considérablement la résolution angulaire et la sensibilité de détection. Le troisième facteur novateur dans le succès de cette expérience est son champ de vue important, de 5° de diamètre, qui permet de scruter en un seul pointé une vaste région du ciel. Trois ans après la mise en service de H.E.S.S. et au vu du nombre et de la diversité des sources découvertes, quatre grands thèmes d'investigation émergent. Le premier concerne l'origine du rayonnement cosmique puisque tout objet émetteur de rayonnement gamma signe la présence de particules chargées accélérées, électrons et protons. Hormis les restes de supernovae, candidats « historiques » pour les sources de rayonnement cosmique, H.E.S.S. a révélé d'autres classes d'objets, comme, par exemple, des régions très compactes de formation d'étoiles. Le deuxième thème traite de l'Univers lointain que cette expérience permet d'explorer par l'observation des NAG (une vingtaine est à ce jour détectée). La cartographie détaillée de la Voie lactée, une première à ces énergies, constitue également un objectif majeur de H.E.S.S. Ce programme a déjà conduit à la découverte de nombreuses sources dont la plupart ne sont pas encore identifiées. Ces dernières sont l'objet d'une traque faisant appel à d'autres moyens d'observations, des télescopes radio aux satellites tels que XMM-Newton ou *Integral*. Le dernier thème porte sur la recherche de matière

noire dont on prédit la présence au centre de la Galaxie, mais également dans les halos de galaxies proches.

H.E.S.S.-1, H.E.S.S.-2 et CTA

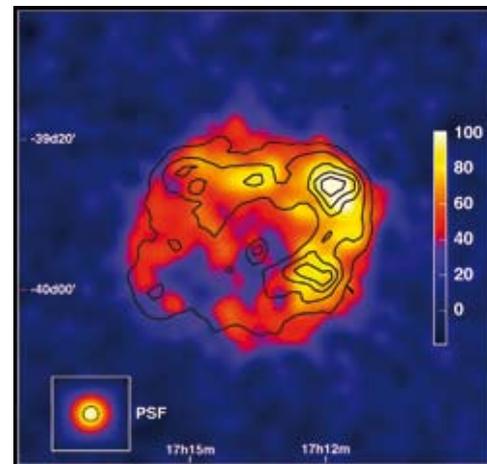
L'expérience H.E.S.S. livre ainsi des résultats nouveaux et quelquefois décisifs. Il reste néanmoins à approfondir cette nouvelle vision de l'Univers en particulier en corrélant ces résultats à ceux obtenus dans d'autres longueurs d'onde. On pense en premier lieu à la synergie avec l'expérience Glast (dont le lancement est prévu pour fin 2007), un instrument sensible entre 10 MeV et 100

GeV. La collaboration H.E.S.S. a ainsi entrepris la construction de H.E.S.S.-2, un miroir géant de près de 30 mètres de diamètre. Munie d'une caméra composée de 2000 tubes photomultiplicateurs et d'une électronique de lecture dernier cri réalisée en partie par le Dapnia², cette expérience verra son seuil en énergie abaissé à 20 GeV. La première lumière de ce super télescope situé au centre du réseau actuellement en opération est prévue pour 2009. À plus long terme, une

collaboration européenne s'est constituée pour étudier la réalisation d'un projet beaucoup plus ambitieux, le CTA³. Il s'agit ici ni plus ni moins que de disposer de deux observatoires, l'un situé dans l'hémisphère Nord, l'autre dans l'hémisphère Sud, dotés chacun de plusieurs dizaines de télescopes géants. Ce réseau bicéphale permettra d'avoir accès à la totalité de la voûte céleste entre 10 GeV et 100 TeV. Son déploiement pourrait commencer dès 2012. L'exploration du ciel gamma dont l'expérience H.E.S.S. vient de livrer quelques secrets, a sans nul doute de beaux jours devant elle, ou plus exactement de belles nuits.

Philippe Goret et
Christian Gouiffès (SAP)

Carte de l'émission gamma au-delà de 300 GeV du reste de supernova G347.3+0.5, vestige de l'explosion d'une étoile, il y a quelques milliers d'années. Les couleurs représentent le nombre de rayons gamma détectée par H.E.S.S. (échelle de droite) et les contours noirs tracent l'intensité de l'émission en rayons X. Les cartes se superposent remarquablement, signature d'une origine commune des particules responsables de l'émission observée.



Les cartes se superposent remarquablement, signature d'une origine commune des particules responsables de l'émission observée.

- (1) H.E.S.S. : High Energy Stereoscopic System. Cette expérience est le fruit d'une collaboration principalement franco-allemande qui associe en France des laboratoires du CNRS et du CEA-Dapnia (SAP, Sédi et SPP).
- (2) Voir CEA Technologies, N° 84, 2007.
- (3) CTA : Cherenkov Telescope Array, réseau de télescopes Tcherenkov.



Après une thèse à l'Université de Padoue et un séjour postdoctoral à l'université de Munich, Egle Tomasi-Gustafsson participe à plusieurs expériences avec des faisceaux d'ions lourds au Ganil et soutient une thèse d'état sous la direction de Michel Mermaz. Résidente au laboratoire national Saturne à partir de 1989, elle en assure la coordination et conduit des expériences sur la structure des noyaux légers avec des faisceaux polarisés et des polarimètres tels que Pomme, Hypom et Polder. À la fermeture du LNS, en 1997, Egle rejoint le SPHN et collabore aux expériences T20 et GEp au Jefferson Laboratory, avant d'être intégrée au groupe théorie. Dans ce cadre, elle développe des collaborations très productives avec Dubna (Russie) et Kharkov (Ukraine).

Le proton intime, courant et aimant

Love like a shadow flies, when substance Love pursues, Pursuing that that flies, and flying what pursues.
« Amour comme ombre fuit, quand substance Amour poursuit, poursuivant ce qui fuit et fuyant ce qui poursuit »
W. Shakespeare, The Merry Wives of Windsor, II.2, 201-202.

Des mesures récentes de haute précision révèlent à l'intérieur du proton une énigme sur laquelle les physiciens se cassent les dents : charge électrique et magnétisme semblent agir tantôt de façon similaire et tantôt de façon différente. Une nouvelle approche proposée par une physicienne du Dapnia et ses collaborateurs de Dubna résout cette contradiction apparente.

Le proton est le plus léger des noyaux, celui de l'hydrogène. Avec le neutron, l'autre nucléon, il constitue l'essentiel de la masse de la matière visible. Loin d'être ponctuel, ce nucléon est un véritable zoo où grouillent quantité de particules : des quarks et des gluons. Les quarks portent une charge électrique, et donc créent des courants électriques et du magnétisme. Leurs différentes répartitions – les phy-

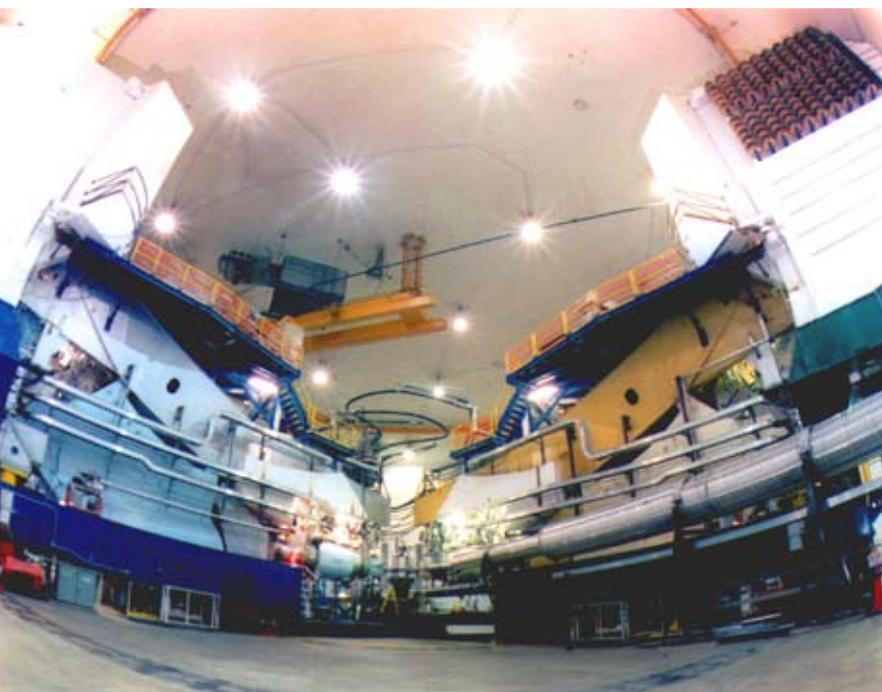
siciens parlent de « distributions » – au sein du proton portent le nom de « facteurs de forme ». Ces distributions sont directement accessibles, mesurées par l'expérience et calculées par la théorie. Elles deviennent donc un outil privilégié pour comprendre la matière dans son intimité la plus profonde.

Pour « voir » à l'intérieur du nucléon, les physiciens utilisent des accélérateurs qui conduisent un faisceau d'électrons sur une cible d'hydrogène (voir Scintillations n° 42, 55 et 69). La réaction étudiée ici est la plus élémentaire qu'on puisse imaginer : la diffusion élastique. L'électron est dévié par un proton de la cible, auquel il transfère une partie de son énergie et de sa quantité de mouvement. L'adjectif élastique signifie en particulier que le proton recule sans se casser et sans émettre d'autres particules, comme dans le choc de deux boules de billard. L'angle et l'énergie du proton sortant dépendent de la façon dont les charges contenues dans le proton ont interagi avec la charge de l'électron. C'est pourquoi ces mesures sont sensibles aux facteurs de forme.

Plus l'énergie du faisceau est grande, plus le « microscope » est puissant et plus les détails, qu'il permet de voir à l'intérieur du proton, sont fins. Envers de la médaille : de même que deux voitures ont d'autant moins de chance de sortir « intactes » d'un accident que le choc est violent, la probabilité d'observer une diffusion élastique

Vue du Hall A, au Jefferson Laboratory avec ses deux bras de spectromètres presque identiques. Un bras détecte l'électron tandis que le second, équipé d'un polarimètre, détecte le proton éjecté lors de la diffusion élastique électron-proton.

diminue quand augmente l'énergie du faisceau. Les particules produites par ces chocs parviennent aux « yeux de l'observateur » que sont les détecteurs, capables de mesurer leurs propriétés, masse, charge électrique, énergie, impulsion.



Pour «voir» sans être ébloui : la polarisation

Deux types de mesures sont désormais possibles : la mesure de la probabilité (section efficace) qu'un électron soit diffusé à un angle donné avec une énergie donnée, et la mesure de la polarisation du proton diffusé quand le faisceau d'électrons est lui-même polarisé¹.

La probabilité, dépend des facteurs de forme. La contribution magnétique est plus grande que celle d'origine électrique et sa contribution relative augmente avec l'énergie. Résultat, elle masque le terme électrique. Dans les années 1970, il a été montré par A. I. Akhiezer et M. P. Rekalo, à l'Institut de physique et technique de Kharkov², que, si l'on utilise un faisceau polarisé longitudinalement – *i. e.* les spins des électrons pointent dans la direction du faisceau – et si l'on mesure la polarisation du proton diffusé, on accède à une quantité qui a la remarquable propriété d'être très sensible au terme électrique, et ce, malgré la petitesse de ce dernier. Il n'est devenu possible de mettre en pratique cette méthode que vers l'an 2000, grâce aux développements techniques liés aux recherches sur les faisceaux polarisés de haute intensité, sur la détection et sur les polarimètres.

Une apparente contradiction

Un problème majeur est apparu dans les résultats : alors que les mesures de section efficace indiquaient que les distributions électriques et magnétiques semblaient se répartir de manière similaire à l'intérieur du proton, les mesures polarisées montraient, elles, que le facteur de forme électrique décroissait plus rapidement lorsque l'impulsion transférée croissait (voir Scintillations n° 54).

Depuis la publication de ces résultats, les physiciens cherchaient à comprendre cette divergence, à la fois par l'expérience et par la théorie. Les deux mesures sont reproductibles et, dans les deux cas, la détermination des facteurs de forme se fait en supposant que le proton et l'électron interagissent par l'échange d'un photon. Aussi, l'une des hypothèses avancées pour expliquer ce phénomène était que cet échange ne concernait pas qu'un unique photon, mais deux, voire plusieurs. Pour que les facteurs de forme déduits de ces deux sortes de mesures soient en accord, ce mécanisme devrait intervenir au moins à la hauteur de 5%.

Avec le professeur E. A. Kuraev et ses étudiants V. V. Bytyev et Yu. M. Bystriskiy, du Laboratoire Bogoulioubov de Dubna (Russie), nous avons fait un calcul exact de l'échange de deux photons, en remplaçant le proton par un muon, particule ponctuelle, comme l'électron, mais de masse environ deux cent fois plus élevée. Nous avons ensuite calculé

cette contribution pour le proton, à l'aide d'approximations par excès – un calcul exact n'est possible que si l'on connaît la structure intime du proton ; or, c'est justement ce que nous voulons mesurer. Résultats : ces calculs montrent que l'échange de deux photons est bien trop petit pour résoudre le problème. L'énigme reste entière.

Enfin la lumière vint... de la lumière

Ce n'est évidemment pas l'accélérateur qui « voyait double » en donnant des résultats différents pour le même phénomène (voir n° 62), mais nous, pauvres humains... Il se trouve que, dans un désir de faire des mesures de plus en plus précises, les physiciens avaient oublié que les corrections à leur apporter deviennent parfois tellement grandes qu'elles finissent par occulter la quantité que l'on souhaite mesurer... En d'autres termes, dans une mesure sans polarisation, à force de diminuer quand l'énergie augmente, le facteur de forme électrique finit par s'évanouir, alors qu'il pointe à nouveau son nez dans une mesure avec polarisation. La nature n'aime pas qu'on la violente en voulant, par exemple, à toute force extraire deux paramètres de la section efficace, alors que cette dernière n'est sensible qu'à un seul. Elle se venge parfois en faisant apparaître des contradictions. Restait à

savoir où celles que nous constatons prenaient naissance...

Or notre électron n'est pas seulement dévié par le proton ; il émet aussi des photons. C'est le principe bien connu des lignes de lumière du synchrotron Soleil (voir Scintillations n° 73). Pour calculer la probabilité d'une diffusion, les physiciens tiennent donc compte de ce rayonnement, en faisant des « *corrections radiatives* ». Malheureusement, ces dernières, telles qu'on les appliquait à plus basse énergie, ne sont plus adaptées aux mesures actuelles, où l'énergie est bien plus élevée et la précision bien plus grande.

Un peu d'histoire

Saclay a beaucoup contribué à l'avancement de ce domaine de recherche.

À commencer par les travaux pionniers d'Anatole Abragam sur la polarisation de la matière. L'accélérateur Saturne de Saclay a fourni les faisceaux polarisés de protons et de deutons les plus intenses au monde. Grâce à eux, il a, par exemple, été possible d'étudier les diffusions élémentaires nucléon-nucléon et leur dépendance à l'orientation des spins ou de mettre au point des polarimètres pour mesurer la polarisation des hadrons³. Ces polarimètres ont ensuite servi à d'autres expériences de physique. Ainsi Pomme, qui a été transporté à Dubna, et Hypom, dont la cible devenait de l'hydrogène liquide au lieu du carbone. Ils ont montré la faisabilité des expériences nécessitant une mesure de la polarisation des protons jusqu'à 6 GeV d'énergie. Quant à Polder⁴, il a permis de mesurer les facteurs de forme du deuton⁵.

Construit au Dapnia, le polarimètre Compton donne la polarisation du faisceau d'électron. Il a largement été utilisé dans les expériences dont il est question ici (voir Scintillations n° 30).

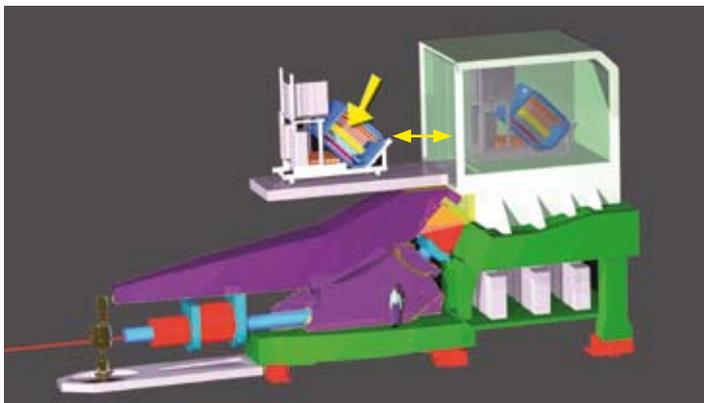
(1) Il s'agit ici de la polarisation liée au spin des particules, une grandeur quantique représentée classiquement par leur rotation sur elles-mêmes. Pour un faisceau, la polarisation indique la proportion des particules dont le spin pointe dans une même direction.

(2) NSC-KFTI : National Science Center – Kharkov Physical Technical Institute, à Kharkov, Ukraine.

(3) Hadron : particule régie par l'interaction forte et composée de quarks et de gluons.

(4) « POLarimètre à DEutons de Recul »

(5) Deuton : Noyau du deutérium formé d'un proton et d'un neutron.



Polarimètre hadronique au plan focal d'un spectromètre.

On reconnaît des plans de détecteurs avant et après un bloc de graphite (en jaune dans l'image) pour mesurer avec précision la trajectoire des particules émises de la cible.

Scintillations

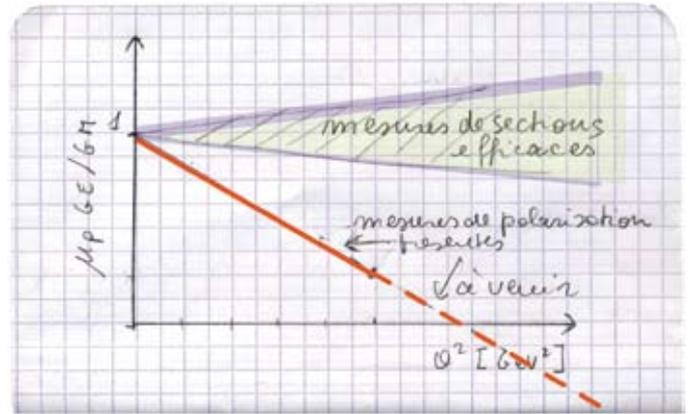
Nous avons donc utilisé une méthode dite des « fonctions de structure », qui permet de trouver la probabilité qu'après avoir émis un nombre *quelconque* de photons, un électron reste toujours un électron, à une énergie et un angle donné. La correction à appliquer est grande pour les mesures sans polarisation, alors qu'elle est négligeable pour celles avec polarisation. En outre, cette correction est différente pour les termes électriques et magnétiques. Au final, les valeurs obtenues permettent enfin de mettre en accord les deux types de mesure.

Notre connaissance de l'intimité du proton se précise quand augmente l'énergie de la sonde, mais au prix de corrections radiatives de plus en plus précises. Il faudra dorénavant prendre cela en compte pour déterminer toutes quantités physiques à partir de ce type d'expérience !

Les mesures de polarisation donnent clairement une image plus fiable de la structure intime du proton : quand l'énergie croît, le facteur de forme électrique décroît bien plus rapidement que le facteur de forme magnétique, jusqu'à, peut-être, devenir nul ou négatif. On le saura bientôt, la suite des mesures étant programmée avant la fin de l'année au Jefferson Laboratory⁶.

Egle Tomasi-Gustafsson (SPhN)

(6) Laboratoire Jefferson, jadis CEBAF, Newport News, Virginie (États-Unis)



Rapport des facteurs de forme électrique et magnétique en fonction de l'impulsion transférée. Les mesures non-polarisées sont schématisées dans une zone située autour de l'unité, mais qui s'élargit car les erreurs augmentent avec l'impulsion. Plus celle-ci est élevée, plus les mesures de polarisation s'écartent de celles des sections efficaces. L'expérience future devrait confirmer cette divergence.

Fête des aimants

Le 3 avril dernier, tous les partenaires du CEA célébraient l'achèvement des projets du Dapnia concernant les aimants fabriqués pour le LHC : Atlas, CMS et les quadripôles. La contribution du Dapnia à cette entreprise internationale est loin d'avoir été négligeable. Notre département a ainsi eu en charge l'étude, le suivi de production et l'installation du solénoïde le plus grand du monde dans le détecteur CMS qui a récemment achevé son voyage au fond de sa caverne. Le Dapnia a aussi participé à

la conception et à la réalisation du *barrel toroïde* d'Atlas et, pour la machine LHC, c'est à Saclay qu'ont été conçus et mis au point les aimants quadripolaires qui maintiendront la focalisation des faisceaux. Les discours prononcés, notamment par Robert Aymar, directeur du Cern, et Yves Caristan, directeur des sciences de la matière, ont souligné l'implication et la solidarité entre les équipes de recherche engagées dans ces aventures hors du commun. Une photo presque familiale a mis un terme à cette cérémonie amicale et

chaleureuse. Les équipes attendent maintenant le test final de leurs efforts avec le démarrage du LHC. Quelques instants auparavant, tous les invités ont inauguré le hall Mirabelle au bâtiment 198, en souvenir de la grande chambre à bulles à hydrogène liquide construite ici dans les années 1960 et transportée en 1971 à Protvino près de Serpoukhov dans l'ex URSS. Cet équipement a permis au Dapnia de développer une partie de son savoir faire internationalement reconnu en matière de cryogénie.

Emmanuelle de Laborderie (SIS)



Vers les accélérateurs du futur

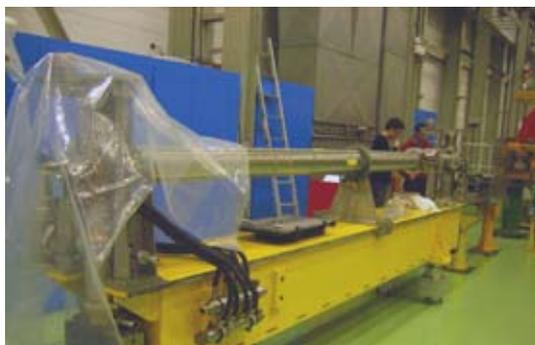
À l'heure où les physiciens se préparent à l'exploitation scientifique des données du LHC, certains pensent déjà au futur des grands accélérateurs de particules.

Quel sera le prochain grand instrument des physiciens des particules ? Les concepts s'affrontent. Pour certains chercheurs du Dapnia, un schéma inédit pourrait faire le futur de cette science : un accélérateur linéaire à deux faisceaux. Connue sous l'acronyme Clic, pour *Compact Linear Collider*, celui-ci pourrait combler les espérances des physiciens par ses performances tout en étant d'une construction relativement bon marché. Pour les autres, la continuité du LHC passe par un concept plus classique.

Dépasser le grand accélérateur européen et les futurs projets internationaux ne sera pas facile. Dès l'arrêt du LEP, à la fin de l'année 2000, les projets de collisionneur positon-électron fonctionnant à la limite actuelle des hautes énergies ont été mis en attente afin de permettre la construction du LHC. Ainsi, avant même le démarrage de ce dernier, il est déjà temps de penser à l'avenir : poursuivre l'étude détaillée du boson de Higgs qui devrait y être découvert et compléter les recherches de particules supersymétriques. Convaincus de l'utilité d'une telle machine, les physiciens ont regroupé tous les moyens disponibles dans le monde pour concevoir ce futur collisionneur doté de caractéristiques de haut vol : linéaire, il sera capable de produire une énergie de 1000 GeV dans le centre de masse électron-positon. Dès août 2004, l'ICFA¹ avait opté pour la technologie d'accélération par cavités RF supraconductrices développée par la collaboration Tesla. Cette décision a permis l'établissement d'une autre collaboration mondiale concentrée sur un seul projet de collisionneur visant une énergie de 500 GeV à 1 TeV. C'est ainsi qu'est né l'ILC (*International Linear Collider*) (voir encadré ci-contre). Une équipe internationale, le *Global Design Effort* (GDE), a été constituée et placée, en mars 2005, sous la direction de Barry Barish. Elle assemble les éléments d'un rapport technique détaillé, incluant une évaluation du coût de ce projet tout en continuant à promouvoir le développement des accélérateurs prioritaires.

L'ILC devrait être capable de prolonger la récolte du LHC par la caractérisation fine de ses découvertes et l'exploration exhaustive des phénomènes autour de l'échelle du TeV. Néanmoins, l'ILC n'est pas seul en lice et il faut compter avec son challenger, Clic, qui utilise un schéma novateur, appelé communément « accélération à deux faisceaux » (voir encadré *Un accélérateur à deux faisceaux*, p 8). Alors que l'ILC vise une gamme d'énergie limitée au téra électron-volt, Clic sera capable d'atteindre les 3 à 5 TeV grâce à un gradient accélérateur supérieur à 100 MV/m et une production de puissance RF à 12 GHz, tout cela en utilisant des cavités HF en cuivre, bien moins chères que celles de l'ILC.

En outre, le nouveau concept de Clic lui permet de rester très compact : s'il utilisait la même technologie



Vue de la pré-installation de la troisième section accélératrice (section ILL)

d'accélération que son concurrent, Clic aurait besoin, pour atteindre son énergie nominale, d'une longueur de 118 Km, soit 4 à 5 fois plus que celle du projet actuel. De plus, son nouveau schéma de production d'énergie évite l'utilisation de plusieurs milliers de klystrons et de systèmes sophistiqués de compression d'impulsion : il en faudrait plus de 24 000 pour un collisionneur de 3 TeV conçu dans un schéma conventionnel. Ce nouveau concept est le seul qui permette aujourd'hui d'atteindre des énergies de plusieurs TeV. Cependant, il reste très ambitieux et présente de nombreux défis technologiques, que le programme de R&D initié par le Cern se propose de relever. Ce programme s'attachera à démontrer la faisabilité technique du projet Clic sur des points critiques comme le test des structures accélératrices au gradient nominal et la génération de puissance RF à très haute fréquence (initialement fixée à 30 GHz, la fréquence a été ramenée à 12 GHz). Pour ce faire, une plateforme baptisée CTF3 – la troisième génération pour Clic – sera construite avant 2010 dans le cadre d'une collaboration internationale². Similaire à celles qui gèrent les grands détecteurs de physique, l'organisation de cette collaboration partage la responsabilité du projet entre les laboratoires et les instituts. Le Dapnia se charge ainsi de l'étude et de la réalisation de l'accélérateur linéaire Califes³ ; en collaboration avec l'IN2P3 qui fournit le canon à électrons déclenché par laser. Ce dernier devra générer un faisceau diagnostic – le *Probe Beam* – qui simulera le faisceau

Le collisionneur supraconducteur ILC

Le projet ILC est basé sur des accélérateurs linéaires à cavités supraconductrices en niobium massif avec des champs accélérateurs de 31 MV/m ou plus. Les techniques d'accélération RF¹ et de transport du faisceau qui seront mises en jeu sont testées dans plusieurs laboratoires dans le monde².

Pour atteindre la luminosité souhaitée ($2.10^{34} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$), des tailles transverses de 6 nm au point de collision et des puissances de 11 MW par faisceau sont requises. Les collisions mettront en œuvre de l'ordre de 3000 paquets par impulsion. Ces derniers seront contenus dans une impulsion RF de l'ordre de 1 ms, durée que la technologie supraconductrice permet d'atteindre. Cette courte impulsion autorise néanmoins la mise en œuvre de méthodes d'asservissement rapide (3 MHz) pour contrôler l'orbite de chacun des paquets au point de collision. Cet asservissement permettra de soulager les tolérances d'alignements, de focalisation et de vibration des éléments accélérateurs.

Olivier Napoly (Sacm)

- (1) ICFA : *International Committee for Future Accelerators*
- (2) Le CERN, l'Italie (LNFrascati), la France (Dapnia et IN2P3/LAL), la Suède (Uppsala University) et l'Espagne (Ciemat) sont les principaux contributeurs de Clic.
- (3) Califes : *Concept d'Accélérateur Linéaire pour Faisceau d'Electrons Sonde*.

- (1) RF : radio fréquence
- (2) Le linac Flash à DESY, l'ATF (Accelerator-Test Facility) et le STF (Superconducting Test Facility) à KEK, et bientôt l'ILCTA (ILC Test Accelerator) à FNAL (Fermi National-Accelerator Laboratory)

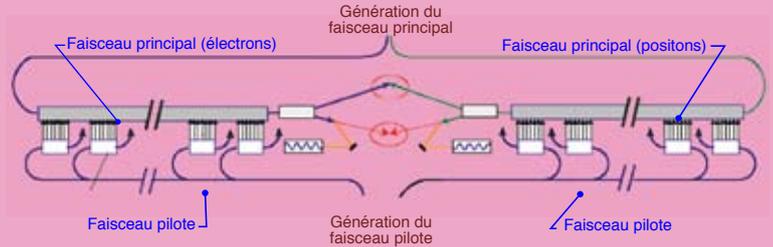
Un accélérateur à deux faisceaux

(1) HF : Haute fréquence.

Dans le schéma d'accélération à deux faisceaux, la puissance HF¹ de l'accélérateur linéaire principal est fournie par un faisceau pilote – le *Drive Beam* – de faible énergie (2,4 GeV au départ), mais de forte intensité (93 A). Ce dernier cède périodiquement sa puissance (280 MW de puissance crête à 12 GHz, par mètre de linac) à l'accélérateur principal au moyen de cavités résonantes, les PETS ou « structures d'extraction de puissance et de transfert ». Le faisceau pilote est accéléré à l'aide de sources de puissance conventionnelles – des « klystrons » comparables aux dispositifs produisant les ondes des radars. Ils fournissent des impulsions HF aux paquets d'électrons. Ces paquets voient ensuite leur fréquence multipliée grâce à la succession d'une boucle de retard – *Delay loop* – et d'un anneau de recombinaison – *Combiner ring*. Stocké dans la boucle, le premier train de paquets d'électrons se recombine au suivant. L'ensemble recombiné retourne dans la boucle, avant d'être distribué dans le train suivant et ainsi de suite jusqu'à la fréquence désirée pour les paquets. L'étape cruciale de ces recombinaisons repose sur un ingénieux déflecteur RF transversal, dont la fréquence est ajustée pour entrelacer les paquets. Ces recombinaisons

permettent d'atteindre les très hautes fréquences de l'accélérateur principal.

indépendants. Il suffit alors d'allonger la durée des impulsions du faisceau pilote pour permettre



Clic comprend deux faisceaux principaux face-à-face qui sont accélérés à partir de puissance RF issue de faisceaux pilotes parallèles. Chaque section de faisceau pilote transfère son énergie sur une portion de la ligne de faisceau principal afin d'accélérer les électrons et les positons jusqu'à la collision.

Autre astuce : au lieu d'utiliser une seule impulsion de faisceau pilote pour fournir de l'énergie à l'accélérateur principal, celle-ci est divisée en 26 parts distribuées à contre

courant sur une section limitée de ce dernier (de 800 m de longueur). Cette division raccourcit d'autant la durée des impulsions, leur conférant une puissance de crête plus élevée. La configuration permet d'augmenter l'énergie finale du collisionneur en ajoutant des sections comme on empilerait des mo-

des divisions supplémentaires. Plus besoin donc d'installer de nouveaux équipements RF pour monter en puissance. Grâce aux déflecteurs, il est même possible d'empiler plusieurs faisceaux, multipliant ainsi la puissance et la fréquence par un plus grand facteur. Clic comportera deux anneaux de recombinaison avec chacun un facteur 3 de multiplication. Enfin, une autre boucle de retard crée en amont le trou nécessaire pour respecter les « temps de montées » des déflecteurs de l'anneau, tout en multipliant la fréquence par deux. Au final, le facteur de multiplication total de Clic est donc de $3 \times 3 \times 2 = 18$. La fréquence des paquets passera ainsi de 667 MHz à 12 GHz !

(2) *Emittance : pour un faisceau de particule, c'est la grandeur qui caractérise à la fois le confinement des particules dans l'espace et l'homogénéité des vitesses individuelles acquises tout au long du déplacement.*

principal de ce futur collisionneur linéaire. De manière schématique, CTF3 se présente comme un convertisseur de puissance radio fréquence capable de multiplier par huit la fréquence d'accélération, passant de 1,5 à 12 GHz. Cette opération, qui demande tout simplement de réduire la distance entre les paquets d'un faisceau pilote utilisera des techniques originales de regroupement. Elles seront mises en œuvre à l'aide d'une boucle de retard et d'un anneau de recombinaison. Le faisceau diagnostic permettra de caractériser avec

précision les performances des futures structures accélératrices à 12 GHz de Clic. Pour atteindre de telles fréquences, les performances requises de ce faisceau de 200 MeV, en termes d'émittance², de dispersion en énergie et de longueur de paquet, exigent de recourir aux techniques les plus avancées (voir encadré ci-dessous). C'est à cette condition que l'accélérateur Califes délivrera le faisceau attendu pour la prochaine génération de grands accélérateurs.

Alban Mosnier (Siev)

Un concentré de technique de pointe

Le photo-injecteur de Califes extrait des électrons d'une cible à l'aide d'un laser pulsé. D'une stabilité excellente, il produira un train de paquets d'électrons intenses et de faible émittance². Afin de pouvoir générer l'onde HF dans les structures à 12 GHz, les paquets seront comprimés en temps – jusqu'à moins d'une ps – grâce à la modulation de leur vitesse dans une section de type « ondes progressives ». Cette compression temporelle résulte du réglage de l'injection. En

quadrature de phase avec l'onde RF, le paquet, qui n'est pas encore relativiste, glisse par rapport à elle : grâce au décalage de phase, les électrons de l'arrière du paquet seront plus accélérés que ceux de l'avant. Résultat : en sortie de section, le paquet, en phase avec la crête de l'onde RF, a une extension minimale ! Surfant sur cette onde, les électrons passent ensuite dans deux autres sections identiques où ils sont accélérés jusqu'à l'énergie finale de

200 MeV. Pour augmenter le champ accélérateur, les impulsions HF de l'alimentation en puissance hyperfréquence sont comprimées en temps, une technique qui permet un doublement de la puissance de crête. Reste à caractériser complètement ce faisceau, une tâche qui sera assurée par un système sophistiqué de diagnostic.

Tester les matériaux de la fusion

Température extrême et intense flux de neutrons... Comment se comporteront les matériaux au sein d'un futur réacteur à fusion ? L'accélérateur de l'Ifmif¹ reproduira à volonté ces conditions extrêmes. Notre département joue un rôle essentiel dans ce projet complexe, nous explique Alban Mosnier.

Alban Mosnier, chef de l'équipe européenne en charge de la réalisation d'Ifmif.

Directeur de recherche depuis 2003, il est un expert en accélérateur : pour les futurs collisionneurs linéaires à électrons, on lui doit la conception de cavités supraconductrices (collaboration Tesla) et les études de dynamique de faisceau (Clic/CTF3 et Califes); pour les accélérateurs de hadrons de forte intensité, la coordination des études du linac sur le projet de source de spallation européenne ESS; pour le synchrotron Soleil, la conception des cavités de l'anneau de stockage. Il a été chef de projet (phase APD) de l'installation de faisceaux exotiques intenses Spiral-2.



Scintillations : Pourquoi ne pas se contenter d'attendre le prototype de réacteurs pour tester les matériaux ?

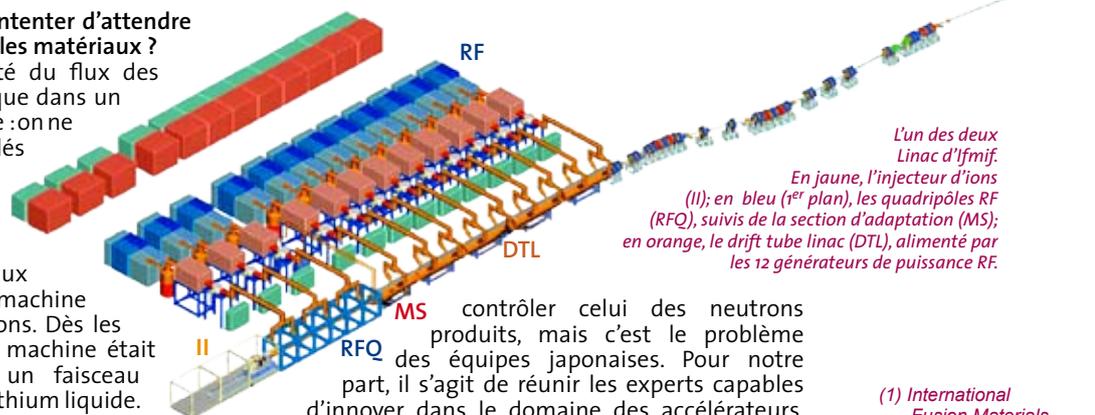
Alban Mosnier : Dans Iter, l'intensité du flux des neutrons sera beaucoup plus faible que dans un réacteur destiné à produire de l'énergie : on ne prévoit qu'une dizaine de DPA² cumulés dans sa première couverture alors que celle de Demo, la prochaine machine de fusion, devrait en subir 15 fois plus, ce qui est énorme. Il nous faut donc rechercher des matériaux adaptés et pour cela, développer une machine capable de simuler ce flux de neutrons. Dès les années 1990, le concept d'une telle machine était établi : un accélérateur délivrant un faisceau intense de deutons³ sur une cible de lithium liquide. En effet, le spectre des neutrons produits par la réaction deutérium - lithium est proche de celui d'un réacteur à deutérium - typiquement centré sur une énergie de 14 MeV. Il est cependant nécessaire que les deutons atteignent 40 MeV. Avec l'intensité très élevée de 250 mA, nécessaire pour accélérer les processus d'irradiation, on obtiendra 10 MW sur la cible, soit 1 GW/m² sur un jet de lithium liquide ! Ces caractéristiques représentent un vrai défi.

Comment se présentera cette machine ?

AM : Un seul accélérateur ne sera pas suffisant pour atteindre cette intensité. Ifmif comportera donc deux linacs, ce qui permettra par ailleurs d'expérimenter même si l'un des accélérateurs tombe en panne. Quant à la source de deutons, elle est déjà à l'étude et bénéficie de l'expérience du projet de recherche et développement Iphi, qui mettra en œuvre une source intense de protons. L'accélérateur se termine par une cible de lithium derrière laquelle seront placées les chambres d'expérimentation. Il s'agira d'une véritable usine à irradiation, unique au monde, dont dépendra la qualification des matériaux en termes de résistance aux conditions spécifiques de la production d'énergie par la fusion. Mais avant d'arriver à sa construction, nous devons franchir la phase de validation actuelle, dite Eveda⁴, qui consiste à construire un linac à l'échelle 1, capable de délivrer un faisceau de 9 MeV, mais avec une intensité nominale de 125 mA.

Quelles sont les difficultés d'une telle entreprise ?

AM : Un faisceau d'une telle intensité ne demande qu'à éclater sous l'effet des forces de répulsion (les « forces de charge d'espace »). Son accélération suppose donc une focalisation quasiment continue. C'est ce que réaliseront les tubes accélérateurs, ou *drift tube linac* (DTL), dont le Dapnia a la charge de la conception et de la réalisation pour Eveda. La cible présente aussi un réel défi : maintenir un flux constant et rapide de lithium afin de



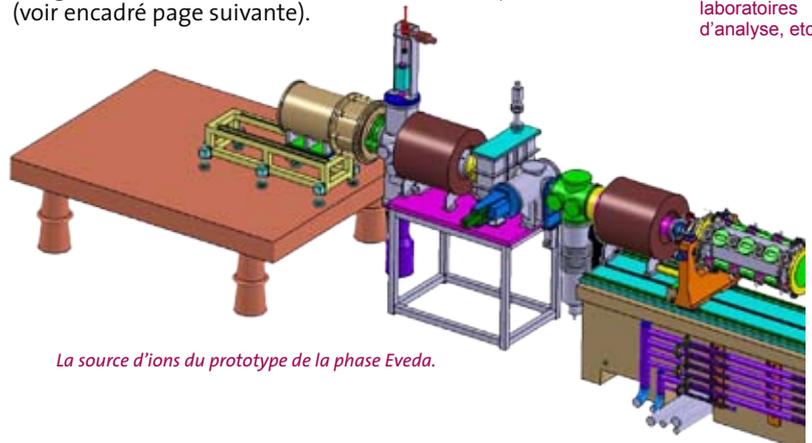
L'un des deux Linac d'Ifmif. En jaune, l'injecteur d'ions (II); en bleu (1^{er} plan), les quadripôles RF (RFQ), suivis de la section d'adaptation (MS); en orange, le drift tube linac (DTL), alimenté par les 12 générateurs de puissance RF.

contrôler celui des neutrons produits, mais c'est le problème des équipes japonaises. Pour notre part, il s'agit de réunir les experts capables d'innover dans le domaine des accélérateurs. Or, la France et les autres pays européens ont diminué leurs efforts dans ce domaine tandis que le nombre de projets augmentait. D'où une réelle difficulté à dénicher en temps et en heure les futurs collaborateurs du Siiev.

Comment se partagent les tâches ?

AM : Pour la phase Eveda, il y a deux objectifs : d'une part concevoir, construire et tester les prototypes; d'autre part, réaliser l'étude détaillée de l'installation d'Ifmif. Pascal Garin, ingénieur CEA installé à Rokkasho au Japon, est chef du groupe du projet Ifmif-Eveda, et moi-même, je suis à la fois chef du Siiev⁵ et chef de l'équipe européenne en charge de la conception et de la construction de l'accélérateur. En tant que laboratoires partenaires, le SACM, le SIS et le Senac sont impliqués dans cette phase du projet qui durera six années durant lesquelles, les équipes japonaises valideront le concept de la cible et construiront les bâtiments d'accueil et les servitudes⁶ d'Ifmif ainsi que le système global de contrôle et de sécurité. Ce projet international revêt donc une grande importance pour notre département et l'on comprend que la création du Siiev dans un contexte budgétaire morose soit une source de questions (voir encadré page suivante).

- (1) International Fusion Materials Irradiation Facility.
- (2) DPA : déplacements par atome (sous les impacts des neutrons).
- (3) Deuteron : noyau de deutérium (D⁺).
- (4) Engineering Validation and Engineering Design Activities.
- (5) Service d'Ingénierie Ifmif-Eveda, sur le centre CEA de Saclay.
- (6) Les bâtiments annexes : fourniture d'énergie, préparation des matériaux, laboratoires d'analyse, etc.



La source d'ions du prototype de la phase Eveda.

Scintillations

(7) Tokamak : réacteur à fusion par confinement magnétique de forme torique.

Quels sont les coûts prévisionnels et les contributions de chaque participant dans cette approche élargie ?

AM : L'approche élargie couvre trois grands projets de recherche. Outre le projet Ifmif-Eveda, le second projet concerne le tokamak japonais JT-60 qu'il s'agit de remplacer par un tokamak supraconducteur, le troisième désigne un centre de calcul destiné à développer les ressources de modélisation et de simulation nécessaires à

la conception de *Demo*. Sur l'ensemble, les contributions sont réparties à parts égales entre l'Europe et le Japon, mais pour le projet Ifmif-Eveda, l'Europe apporte 14,4% du budget total (680 M€), soit près du double de l'apport japonais (7,6 %).

Propos recueillis par Claude Reyraud

La création du Siiev

Quel est le contexte de la création du Siiev au sein du Dapnia ?

Jean Zinn-Justin : Dans le cadre de l'approche élargie de la fusion, un programme international se propose d'étudier les matériaux. Les arrangements complexes sur le plan diplomatique qui ont conduit au choix de Cadarache pour l'implantation d'Iter ont amené l'Europe, et la France en particulier, à une série d'engagements scientifiques et financiers. Dans ce contexte, la France a demandé au CEA d'abriter une équipe internationale chargée de réfléchir à la construction d'un grand accélérateur et, en particulier, de coordonner les travaux en Europe sur la construction d'un prototype du grand accélérateur d'Ifmif. Il y a donc deux tâches à réaliser : la coordination pour l'Europe et la création d'un prototype, lui-même constitué de deux objets, une source et une section de l'accélérateur. À partir de là, le CEA et la DSM avaient le choix entre créer un nouveau département destiné à recevoir les collaborateurs externes ou, ce qui était ma proposition, intégrer toute l'équipe projet au sein du Dapnia. En effet, la première solution aurait

été lourde pour la DSM et difficile à gérer, notamment à cause des relations complexes qui se seraient sans doute installées entre l'équipe externe et le Dapnia impliqué dans la construction des deux objets. Finalement, mon point de vue a été suivi. L'avenir nous dira si j'ai fait le bon choix.



Jean Zinn-Justin

L'intégration de ce service s'accompagne-t-elle d'un supplément budgétaire ?

JZJ : Les équipes d'Ifmif-Eveda fonctionneront avec les fonds internationaux mis à disposition par les pays participants. Cette activité ne devrait donc pas avoir d'impact sur le budget du département. Cependant, la nécessité de lui affecter des effectifs et des moyens et les difficultés financières auxquelles le département est confronté conduisent à une situation préoccupante.

Senac : Une expertise recherchée

Créé en 2005 à partir du service de démantèlement des accélérateurs, le Senac vient d'accueillir son nouveau patron. Le métier du démantèlement a pris corps et le Senac, ses lettres de noblesse avec une multitude d'opérations réussies. Le pari de la capitalisation des expériences porte ses fruits.



Guy Cordero

Formation en mécanique aux Arts et Métiers en calcul des structures. Début de carrière dans les travaux publics, à la construction des deux enceintes des réacteurs de Fessenheim. Une période africaine passée à la construction de ponts et de routes avant de se pencher sur la décontamination des piscines de Fessenheim. Entrée au CEA en 1985 pour s'occuper de la station de traitement des déchets de Saclay, puis, à Cadarache, de la cellule de sécurité d'un département qui comprenait 6 Inb¹. Passage à l'agence STMI, filiale du groupe Areva, qui s'occupe d'assainissement radioactif. En 1995, étude de déchets sur Chicade à Cadarache, au sein du DESD. En 1998, démantèlement du réacteur de Brennilis en Bretagne. Retour au CEA en 2002, à Bruyère le Châtel pour l'assainissement et du démantèlement de trois installations. Arrivé au Senac en septembre dernier, en remplacement de François Damoy, parti au LNHB².

Scintillations : Comment a débuté l'histoire du Senac ?

Guy Cordero : Le Senac est l'héritier du Service de démantèlement des accélérateurs qui a lui-même débuté sur l'ALS³ et le synchrotron Saturne, deux Inb dont les déclassements ont constitué la première mission du nouveau service, en 2005. Aujourd'hui, il reste à achever l'expédition au CsTFA⁴ de l'Andra de 220 blocs de bétons contenant des déchets anciens, soit encore la moitié du stock issu du démantèlement de Saturne. Cette opération qui se terminera cette année ou l'an prochain a permis à

nos équipes d'acquiescer un savoir faire qui nous propulse encore aujourd'hui.

En quoi consiste ce savoir faire ?

G. C. : Nous avons développé trois types de compétences. Tout d'abord, une compétence très théorique sur la modélisation des interactions particules-matière appliquée aux études de protection et aux études de déchets. Ensuite, deux autres savoir-faire : la gestion des déchets radioactifs et une compétence administrative et réglementaire sur celle des Inb et des ICPE⁵. Nous

- (1) Inb : Installation nucléaire de base.
- (2) Laboratoire national Henri Becquerel (Saclay).
- (3) ALS : l'Accélérateur linéaire de Saclay, déclassé le 19 septembre 2006.
- (4) CsTFA : Centre de stockage de déchets de très faible activité.
- (5) ICPE : installations classées pour la protection de l'environnement ; autrement dit, qui présentent un danger potentiel pour l'environnement.

avons donc trois métiers : la conception de nouvelles installations – notre vocation première, l'assistance aux exploitants et la préparation aux travaux de démantèlement.

Quels sont vos débouchés ?

G. C. : Dans la série des trilogies, nous avons trois types de clients : le Dapnia lui-même, la Direction des études nucléaires ou les autres unités du CEA et des entités extérieures, principalement le CNRS ou l'Institut Curie, mais aussi des industriels comme Daher, une entreprise qui gère le transport des déchets TFA pour le compte du CEA. Récemment, cette entreprise a dû créer une installation à côté du centre de stockage afin de pouvoir y entreposer des colis, des conteneurs pleins, ou faire des opérations de nettoyage sur des conteneurs vides. Cette ICPE a nécessité la constitution d'un premier dossier pour sa construction, puis d'un autre pour une extension, dossiers que nous avons contribué à réaliser à la suite de notre étude. Pour le projet Arronax⁵ du laboratoire Subatech du CNRS à Nantes, nous avons non seulement réalisé le calcul de radioprotection, l'étude d'impact sur l'environnement, en fonctionnement normal comme accidentel, et le dossier de demande d'autorisation auprès de la Drire⁶, mais aussi contribué à la définition du type de faisceau en fonction des radionucléides recherchés.

Comment êtes-vous intervenu ?

G. C. : Dès le stade de la conception, nous examinons les caractéristiques de la machine que le laboratoire veut monter et nous analysons les problèmes de radioprotection – principalement dus aux neutrons et aux rayons gamma – avant d'effectuer les calculs de protection biologique, sans oublier les problèmes de ventilation qui peuvent survenir en cas d'activation de l'air. Ensuite, nous nous penchons sur l'optimisation de la gestion des déchets par le choix des matériaux : ceux qui s'activent le plus difficilement et qui génèrent le moins de déchets avec l'activité la plus faible possible sont préférables. Enfin, nous rédigeons les dossiers

réglementaires nécessaires à la demande d'autorisation d'exploitation de ces installations.

Quels sont vos moyens et vos méthodes ?

G. C. : Nous utilisons les modèles des physiciens, principalement les codes MCNP⁷, pour l'étude des transports de particules dans les matériaux, et Cinder, pour les calculs d'activation. Ces outils de modélisation sont très puissants : par exemple, pour un réacteur, les caractéristiques du cœur nous permettent d'établir une modélisation de la répartition des flux dans l'espace. À partir de cette modélisation brute, de l'historique de fonctionnement et de la connaissance des différents matériaux, nous sommes capables de définir leur activité massique et de réaliser une modélisation complète extrêmement fine. Ainsi, pour certaines parties du réacteur Rapsodie⁸, notre précision atteint une division en secteurs de 3 cm de côté. Cette démarche d'affinage nous permet d'optimiser la gestion des matériaux et d'entrer dans le scénario du démantèlement avec l'assurance d'en réduire les coûts au maximum.

Qu'est-ce qui vous différencie des autres laboratoires d'expertise nucléaire ?

G. C. : En plus de notre capacité à accompagner les projets d'une manière globale depuis leur conception, notre méthodologie repose sur un point essentiel à mes yeux : nous validons systématiquement nos calculs auprès des physiciens. Pour eux, ces outils informatiques ne sont pas des boîtes noires et ils connaissent leur valeur ou leur faiblesse. Nous avons ainsi la parfaite maîtrise de ces phénomènes et des outils qui vont avec. Là où d'autres se contentent de donner les résultats, nous effectuons toujours une validation physique, soit à partir de mesures expérimentales, soit par une étude bibliographique mettant en regard des résultats expérimentaux pertinents. À chaque étape de modélisation, il y a une phase de validation. C'est là que réside notre force.

Propos recueillis par Claude Reyraud.

- (5) Arronax : un cyclotron permettant de fabriquer des radionucléides pour la médecine et de réaliser des expériences de physique.
- (6) Drire : Directions Régionales de l'Industrie, de la Recherche et de l'Environnement.
- (7) MCNP(X) : code de calcul d'interaction rayonnement matière développé à Los Alamos.
- (8) Rapsodie est un prototype de réacteur à neutrons rapides de 20 MW. Il a été arrêté en 1983 et son démantèlement a connu un grave accident.

Le Senac :

10 personnes : un directeur, une secrétaire, deux techniciens supérieurs, trois physiciens (l'un vient d'arriver) et trois ingénieurs chimistes de formation.

100 millions d'euros : économies visées par l'opération de reclassement des colis de l'INB 72 à Cadarache, grâce à INPho, une collaboration entre le SPhN, le Detects et le Senac.

Les études en cours : Phénix, Ifmif, Iter.

Les collaborations internationales : Institut de Bucarest (Roumanie - démantèlement d'un réacteur) ; Rosatom (Russie) ; Csk CEN Mol (Belgique - neutronique sur les réacteurs de 4^e génération).

SCOAP₃ : un tournant décisif

Quel responsable de laboratoire ne s'est pas ému devant la part de son budget documentaire consacrée aux souscriptions d'abonnements ? Initié au Cern, Scoap₃, l'audacieux projet de sponsorship des revues de physique des particules, pourrait bien insuffler un nouvel essor au monde de la publication scientifique.

Comment optimiser la diffusion des futures publications du LHC ? Faut-il remettre en cause le modèle traditionnel de l'édition scientifique ? Le constat est amer : quasi-monopole de certains éditeurs sur le marché des revues scientifiques et spirale inflationniste entraînée par une logique mercantile plombent le ciel de la publication. Résignées, les bibliothèques se voient contraintes et forcées de se séparer de leurs collections d'ouvrages de physique, et désormais, de payer des sommes très

importantes pour les contrats d'accès électroniques. Cette réflexion qui s'est engagée au Cern, il y a plus d'un an, a fait germer l'idée d'un consortium international établi entre les principaux acteurs de la recherche et de l'édition. Elle aboutit aujourd'hui à l'idée audacieuse d'une sponsorship des revues de physique des particules : le projet Scoap₃¹. Arguments justifiés ou non (l'augmentation des volumes d'articles provoquerait une hausse mécanique des charges éditoriales), force est de constater que

ACTUALITÉS



Angèle Séné, Ingénieur documentaliste, Responsable du groupe documentation (Direction).

(1) Sponsoring Consortium for Open Access Publishing in Particle Physics

les plus-values très confortables engendrées par ces quelques éditeurs et le déséquilibre notable du marché entravent singulièrement la diffusion des connaissances (voire l'impact des citations). Or c'est là le moteur principal de la recherche.

« Cette situation est un frein à la communication scientifique », rappelait Jean Zinn-Justin, directeur de laboratoire et accessoirement éditeur d'un journal en Open Access (O.A.) à l'occasion d'un débat national sur ce sujet (Journées CEA IST 2007). Et pour cause : les auteurs qui n'aspirent qu'à faire connaître leurs travaux se voient dépourvus de leurs droits d'exploitation, donc de diffusion. Quant aux lecteurs sans moyens suffisants pour accéder à la littérature, ils perdent tout simplement leur accès à la connaissance.

À cet état de fait, le projet Scoap3 propose une alternative qui pourrait bien provoquer un retournement de situation inespéré : réformer totalement le modèle économique éditorial en utilisant les sommes actuellement allouées aux abonnements par les institutions pour financer les revues à la source, avec en contrepartie un accès libre définitif à la publication numérique.

Ce concept d'Open Access n'a rien de nouveau, notamment en physique des particules (ArXiv). Cependant, l'atout principal de Scoap3 est de faire subventionner par toutes les parties prenantes – organismes de recherche et agences de financement –, les revues à comités de lecture, i.e. « peer review », dont la qualité des articles est certifiée par des experts et qui ont déjà acquis leur renommée dans le domaine de la physique des particules. Quelque six revues majeures parmi lesquelles *NIM*, *Physical Review* et *Physics Letters* sont concernées par ce projet.

Il reste maintenant à convaincre les éditeurs. Très

réticents au départ, certains d'entre eux ont finalement réajusté leur stratégie en proposant diverses variantes de modèles :

- La publication systématique des articles en O.A., avec accès numérique immédiat pour tous et sans frais supplémentaires pour l'auteur en dehors de ceux de la publication classique ; le « must » en la matière étant le journal entièrement financé par des commanditaires.

- Le modèle hybride maintient le mode traditionnel d'édition avec les abonnements papier et électronique, mais propose aux auteurs des solutions d'O.A. payantes (entre 900 \$ et 3000 \$ par article publié en accès libre). Conséquence attendue : une répercussion à la baisse sur les souscriptions d'abonnements. Sans cette compensation, le problème du financement multiple de la filière d'édition pourrait causer un double préjudice à la communauté scientifique.

Pour payer l'enveloppe globale, Scoap3 prévoit d'adopter une répartition des coûts par pays, laissant à chaque nation le soin d'organiser leur propre distribution de charges entre les différents organismes impliqués (répartition au prorata d'auteurs pour chaque publication). Chaque pays apportera sa contribution financière sur la base du pourcentage d'articles qu'il aura publié l'année précédente, les collaborations entre pays étant prises en compte.

Si ce projet novateur rencontre le succès, le modèle pourrait se généraliser à d'autres disciplines scientifiques. On ne peut donc qu'encourager cette belle initiative car son objectif est bel et bien de lever l'embargo sur la diffusion des connaissances. Le pari n'est pas facile : il faut à la fois promouvoir l'O.A. total, mais à un coût raisonnable, et limiter le facteur de risque de la période de mutation à venir.

Angèle Séné

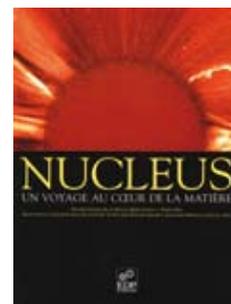
Pour en savoir plus : <http://indico.cern.ch/conferenceDisplay.py?confid=7168>

Plumes

Nucleus, un voyage au cœur de la matière

Ray Mackintosh, Jim Al-Khalili, Bjorn Jonson et Teresa Pena (Traduction et adaptation française de Daniel Guinet, Jean-Francois Mathiot, Alexandre Obertelli et Jean-Luc Sida).

La traduction française de *Nucleus, a trip into the heart of matter* est éditée chez EDP sciences. Le monde du noyau et les applications pratiques du nucléaire y sont expliqués avec un langage simple et des images pédagogiques.



Va et viens

LES ARRIVÉES...

FÉVRIER

Alexander Menshchikov et Huynh Duc-Dat au SAp ; Bertrand Renard au SACM et Nathalie Laurion à la Dir.

MARS

Azath Mohamed au SIS ; Frédéric Bournaud au SAp et Aymeric Van Lauwe au Senac.

AVRIL

Florence Calibre revient à la Direction tandis que Martine Baldini passe de la direction au SIS.

MAI

Christophe Flouzat, Thierry Moulin et Julien Migné.

Bienvenue aux nouveaux !

ERRATUM : Emmanuelle Daddi n'est pas « la petite nouvelle du SAp », comme écrit dans le *Va et viens* du 73, mais un monsieur de bonne taille prénommé Emanuele. Quant à Hubert Neyrial, il a malecontreusement été renommé « Meyrial ».

LES DÉPARTS...

FÉVRIER

Stéphane Feray du Senac pour la DAM/DIF/DP21 (Service Assainissement et Sécurité Nucléaire).

MARS

Marc Cazanou du SACM pour la DEN/DANS à Saclay et Pascale Beurtey du Sedi pour le Drecam.

AVRIL

Philippe Seguier du SIS ; Eric Lesquoy du SPP ; Jean Gosset du SPhN ; Thierry Montmerle du SAp et Arnaud Devred du SACM parti en détachement.

MAI

Elizabeth Poindron, Pierre Ouplomb, Bernard Mazeau et André Biagini.

Bonne retraite aussi riche d'activités diverses que l'ont été leurs années passées au Daphnia à Philippe, Eric, Jean, Thierry, Elizabeth, Bernard et André !