

# African Skies



# Cieux Africains

No. 9

ISSN 10278389

July 2005



*Comet Bennett, discovered in 1969 by South African Amateur Astronomer Jack Bennett.  
(Image © Akira Fujii/David Malin Images)*

#### **In this Issue:**

- Les Comètes; • International Space University (ISU);
- The Launch of NigeriaSat-1; • L'expérience NEIGE de Géodésie Spatiale Autour de Mars; • North-South Mediterranean Bridge-Building in Astroparticle Physics;
- Centre Régional de Télédétection des Etats de l'Afrique du Nord; • The Baldwin Effect: Broad Emission Lines from the Surface of Accretion Disks Around Quasars

## The Working Group on Space Sciences in Africa

The Working Group on Space Sciences in Africa is an international, non-governmental organisation founded by African delegates at the 6<sup>th</sup> United Nations/European Space Agency Workshop on Basic Space Science held in Bonn on 9–13 September 1996. The scientific scope of the Working Group's activities is defined to encompass: (a) astronomy and astrophysics, (b) solar-terrestrial interaction and its influence on terrestrial climate, (c) planetary and atmospheric studies, and (d) the origin of life and exobiology.

The Working Groups seeks to promote the development of the space sciences in Africa by initiating and coordinating various capacity-building programmes throughout the region. These programmes fall into a broad spectrum ranging from the promotion of basic scientific literacy in the space sciences to the support of international research projects. The Working Group also promotes international cooperation among African space scientists and acts as a forum for the exchange of ideas and information through its publications, outreach programmes, workshops, and scientific meetings.

The Working Group receives financial support from foundations and institutes committed to its objectives. One of its principal forms of support, however, is the time contributed freely by individual scientists.

### WGSSA Officers for the period 2004–2006

P. Martinez	<i>South Africa</i>	Coordinator Regional Coordinator for Southern Africa <i>wgssa@saa.ac.za</i>
P. Okeke	<i>Nigeria</i>	Deputy Coordinator for West Africa <i>misunn@aol.com</i>
P.M. Okouma	<i>Gabon</i>	Deputy Coordinator for Central Africa <i>okouma@hotmail.com</i>
M. Shaltout	<i>Egypt</i>	Deputy Coordinator for North Africa <i>mamsbaltout@frcu.eun.eg</i>
L. Kebede	<i>Ethiopia</i>	Deputy Coordinator for East Africa <i>observatory.aau@telecom.net.et</i>
N. Issur	<i>Mauritius</i>	Independent Island States Representative <i>nalini@uom.ac.mu</i>

### African Skies/Cieux Africains

*Editor:* P. Martinez

*Associate Editors:* M. Benna, S. Davis, L. Kebede, P. Okeke

*African Skies/Cieux Africains* is published by the Working Group on Space Sciences in Africa. This publication is distributed free of charge to individuals involved in research and education in the space sciences in Africa. All text and illustrations not under copyright may be reproduced provided that the author(s) and *African Skies/Cieux Africains* are credited as the source. Articles, letters and announcements are welcome. Prospective authors should consult the Advice to Contributors section on the inside back cover. All contributions should be addressed to:

The Editor, African Skies/Cieux Africains,  
c/o South African Astronomical Observatory, Box 9, Observatory 7935, South Africa  
Telephone: +27 21 447 00 25, Telefax: +27 21 447 36 39  
email: [wgssa@saa.ac.za](mailto:wgssa@saa.ac.za) <http://www.saa.ac.za/~wgssa>

# Editorial

Peter Martinez

---

The oldest fossil evidence for anatomically modern humans is about 130 000 years old in Africa. Molecular methods have also tended to point to an African origin for all modern humans. If *homo sapiens* arose in Africa, it is reasonable to suppose that the first people who pondered the mysteries of the night sky were Africans. Certainly, the Egyptians of classical antiquity, who followed much later, were accomplished astronomers. There is also ample evidence of astronomical knowledge in other cultures in Africa as well. It is therefore fitting that after being an astronomical backwater for the past half century, the African continent should once again host one of the largest telescopes in the world. This issue of *African Skies/Cieux Africains* goes to press as engineers put the finishing touches to the Southern African Large Telescope (SALT) and astronomers commence commissioning tests on what will be the largest single telescope in the southern hemisphere. SALT is the result of ten years of hard work by an international consortium of scientists and engineers who lobbied for the construction of such a telescope, and then accomplished a remarkable feat of engineering in just five years. It is rare indeed for a large telescope to be completed on time and on budget by such a small team. This is a tribute to the skills of the project team and local industry in Africa.

Training of the next generation of space scientists is one of the objectives of the Working Group on Space Sciences in Africa. This Working Group supports capacity-building by raising funding for projects and also by raising awareness of opportunities for training. The International Space University (ISU) provides training to graduate space professionals and access to a wide network of space professionals on all continents. Over the past decade, a significant number of African students have received training at ISU. In this issue, Morla Milne of the ISU describes the University and its programmes and past ISU student, Ayodele Faiyetole (Nigeria) describes his experiences as an ISU student. Faiyetole has returned to his native Nigeria where he now applies his new knowledge and skills for the development of space activities in Nigeria.

A key development in the African space arena was the launch of NigeriaSat-1 on 27 September 2003. Nigerian engineer Francis Chizea's article in this issue describes the development and launch of NigeriaSat-1. The data returned by NigeriaSat-1 and other satellites is only useful when it is turned into information of practical value. Therefore facilities to receive, analyse and interpret satellite data are of key importance in Africa. Rachid Abidi describes activities of the Regional Centre for Remote Sensing in North Africa. The Editors plan to feature the other regional centres in future issues.

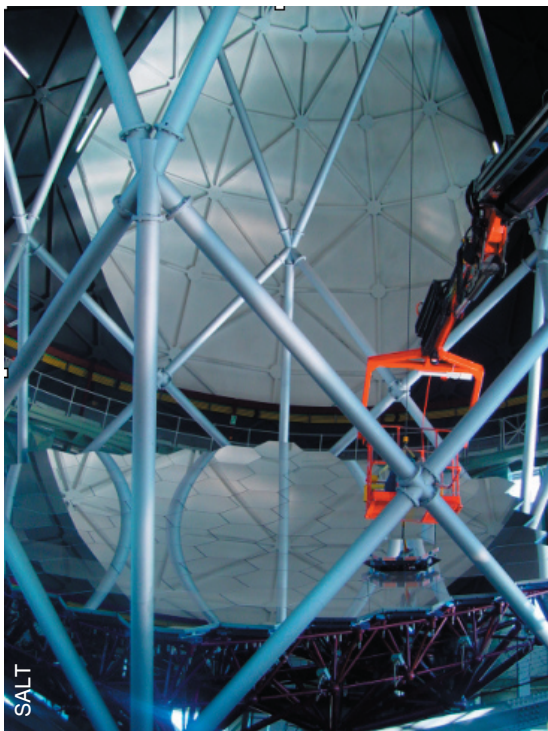
Other articles touch on planetary and cometary astronomy and astrophysics. I am pleased to note that approximately 50% of the content of this issue is in French. This is encouraging and addresses the under-representation of French in the past few issues. It is my privilege to thank all the contributors to this issue. The next issue of *African Skies/Cieux Africains* will focus on African preparations for the International Heliophysical Year in 2007.

La plus ancienne trace fossile d'humains anatomiquement modernes a été découverte en Afrique et remonte à plus de 130 000 ans. Les méthodes d'analyse moléculaire pointent également vers une origine africaine de l'homme moderne. Si les homo-sapiens ont effectivement surgit en Afrique, il est raisonnable de supposer que les premiers peuples qui ont réfléchi aux mystères du ciel étaient aussi des Africains. Il ne fait plus de doute que les Egyptiens de l'antiquité classique, qui ont suivi beaucoup plus tard, étaient des astronomes accomplis. Il y a également suffisamment d'évidences démontrant les connaissances astronomiques d'autres cultures en Afrique. Il est donc bien logique qu'après avoir été en retard en sciences spatiales durant le demi-siècle passé, le continent africain puisse de nouveau accueillir l'un des plus grands télescopes au monde. Ce numéro de *Cieux Africains* sera consacré au grand télescope sud africain (SALT) au moment même où les ingénieurs achèvent les dernières mises au point et les astronomes débute les essais de mise en service de ce qui sera le plus grand télescope de l'hémisphère sud. SALT est le fruit de dix ans de dur travail d'un consortium international de scientifiques et d'ingénieurs qui ont poussé à la construction d'un tel télescope, et qui, depuis ont accompli un exploit remarquable en réalisant ce projet en juste cinq ans. En effet, Il est rare qu'un grand télescope soit réalisé par une si petite équipe en respectant les délais et le budget alloué. Cette édition est un hommage aux talents de cette équipe et aux exploits de l'industrie locale en Afrique.

La formation de la prochaine génération de scientifiques de l'espace est l'un des objectifs du Groupe de Travail sur les Sciences de l'Espace en Afrique. Ce groupe de travail soutient la le processus de formation en récoltant les fonds nécessaires et en sensibilisant la communauté scientifique africaine aux opportunités de formation.

L'université internationale de l'espace (ISU) offre la formation ainsi qu'un large réseau d'échange aux professionnels spécialistes de l'espace. Durant la décennie passée, un nombre significatif d'étudiants africains ont bénéficié de la formation de l'ISU. Dans ce numéro, Morla Milne de l'ISU décrit l'université et ses programmes. Ensuite, Ayodele Faiyetole, un étudiant de l'ISU (Nigeria) relate son expérience en tant qu'étudiant de cette université. Faiyetole est revenu au Nigeria pour appliquer ses nouvelles connaissances et qualifications et promouvoir le développement de l'espace dans son pays.

Une réalisation importante dans le secteur spatial africain est le lancement de NigeriaSat-1 le 27 septembre 2003. L'article de Francis Chizea, un ingénieur nigérian, décrit le développement et le lancement de NigeriaSat-1. Les données retournées par NigeriaSat-1 et par d'autres satellites ne sont utiles que quand elles sont transformées en informations pratiques. Par conséquent les équipements pour recevoir, analyser et interpréter les données des satellites sont d'une importance cruciale en Afrique. Dans ce numéro Rachid Abidi décrit les activités du centre régional pour la télédétection en Afrique du Nord. Les activités d'autres centres régionaux seront traitées dans les futures numéros. Plusieurs articles abordent des thèmes de l'astronomie et de l'astrophysique planétaire et cométaire. Nous sommes heureux que la langue française constitue 50% de la matière de ce numéro. Ceci pallie la sous-représentation du français dans les numéros passés. Nous voulons remercier tous les auteurs qui ont contribué à ce numéro. La prochaine édition *African Skies/Cieux Africains* abordera les préparatifs en Afrique de l'année internationale de la physique solaire en 2007.



**Fig. 1.** Engineers lower the last of 91 mirror segments onto the primary mirror truss of SALT.

**SALT Mirror Completed**

The Southern African Large Telescope (SALT) accomplished another significant milestone on 29 April 2005 when the last of 91 mirror segments was lowered into place on the primary mirror truss. SALT is an international project led by South Africa, with partners in Germany, New Zealand, Poland, the United Kingdom and the United States. The telescope is being built at Sutherland in the Northern Cape province of South Africa, which is known among astronomers as being one of the world's best astronomical sites.

Construction on the US\$30 million project at the South African Astronomical Observatory's Sutherland facility started in 2000. SALT will be able to record images of distant stars and galaxies a billion times fainter than can be seen with the naked eye – as faint as a candle flame on the moon. This light may have taken more than 10 billion years to reach Earth.

The primary feature of this telescope is its hexagonal 11-metre mirror array made up of 91 mirror segments. Each segment is one metre wide, 50 mm thick and weighs approximately 100 kg. The mirror surface is polished to an accuracy of 0.033 microns, equivalent to one three-thousandth of the thickness of a human hair. The huge steel truss supporting the mirror has an overall accuracy of 2 mm, with no variation between any two nodes of the truss greater than 0.5 mm, and no variation greater than 0.2 mm between any three nodes of the truss which actually hold one of the mirror segments.

In order to maintain the spherical shape of its primary mirror, SALT uses edge sensors mounted on each of the 91 mirror segments. These sensors detect minute changes in the relative height and gap between adjacent mirror segments. This

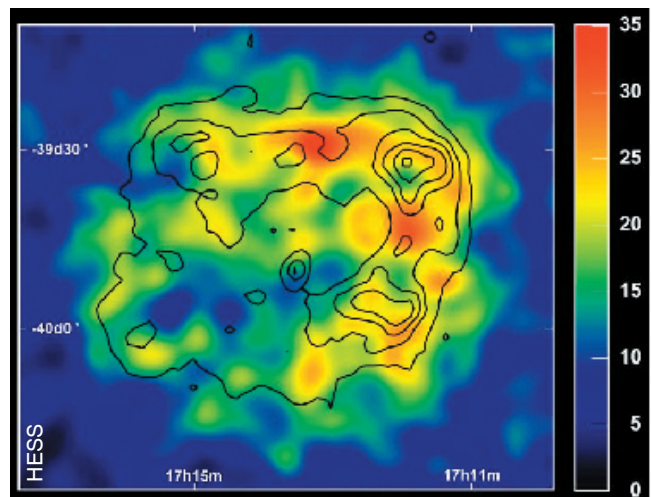
information is relayed to a computer which calculates the adjustments that have to be made to keep the mirrors perfectly aligned using 273 actuators mounted on the 91 mirrors. In this way, the position of each segment is maintained to a tolerance of 50 nanometres. That is equivalent to maintaining a light spot reflecting from the mirror's optical surface to within a circle with a radius of one third of a millimetre over a distance of one kilometre.

The completion of the SALT mirror is an important milestone towards the completion of this project. SALT project scientist Dr David Buckley says, "We're in a very hectic phase of commissioning, and getting everything to work perfectly is going to take us through to late this year." Buckley said they were increasingly using the telescope to do small test observations or "commissioning observations".

SALT will be inaugurated on 10 November 2005.

**Origin of the Galactic Cosmic Rays Revealed by HESS Telescope in Namibia**

In November 2004, an international team of astronomers published in *Nature* the first-ever image of an astronomical object using high energy gamma rays, helping to solve a 100 year-old mystery – the origin of cosmic rays. The astronomers produced this image using the High Energy Stereoscopic System (HESS) in Namibia.



**Fig. 2.** Supernova remnant RXJ1713.7-3946.

The image above shows the supernova remnant RXJ1713.7-3946, formed when a star exploded some 1000 years ago, leaving behind an expanding shell of debris which, seen from the Earth, is twice the diameter of the Moon. The gamma-ray intensity is brightness-coded in the picture. Superimposed for comparison are the contours of the X-ray emission observed with the ASCA satellite. North is at the top and west to the right in this image. At an estimated distance of 3000 light-years, the supernova remnant measures about 50 light-years across and lies near the galactic plane. These results provide the first unequivocal proof that supernovae are capable of producing large quantities of galactic cosmic rays; something

astronomers have long suspected, but were unable to confirm. HESS is an array of four imaging Cherenkov telescopes located in the Khomas Highland region, near Windhoek. The HESS collaboration consists of scientists from Germany, France, the United Kingdom, the Czech Republic, Ireland, Armenia, South Africa and Namibia. The HESS telescopes each feature mirrors of area 107 square metres, and are equipped with highly sensitive and very fast 960-pixel light detectors in the focal planes. Construction of the telescope system started in 2001; the fourth telescope was commissioned in December 2003. A description of HESS was published in the January 2001 issue of *African Skies/Cieux Africains*.

### Nigerians Sign Agreement to Access SALT

In November 2004, the South African Astronomical Observatory (SAAO) and the Centre for Basic Space Sciences (CBSS) at Nsukka, Nigeria, signed a Cooperation Agreement in terms of which Nigerian scientists will have access to the South African portion of time on SALT until November 2006. Commenting on this agreement, SAAO astronomer Peter Martinez said, "This agreement is an important step forward in promoting greater cooperation in space sciences in Africa. We regard SALT and SAAO as African facilities and we have hosted a number of colleagues from the continent, and from Nigeria over the past years. We are pleased that the good relations that have developed over the past few years have been cemented by this agreement."

In terms of the Cooperation Agreement, Nigeria will pay an annual contribution to South Africa which will fund travel and subsistence costs of Nigerian scientists and engineers visiting South Africa to access SALT. The first Nigerian scholars are expected to arrive in South Africa within the next few months.

### IAU Symposium 232: Scientific Requirements for Extremely Large Telescopes (ELTs) to be held in Cape Town, South Africa, from 14 – 18 November 2005

The International Astronomical Union (IAU) will organise its second Symposium in Africa in Cape Town from 14 – 18 November 2005 on the topic of Extremely Large Telescopes. The venue and timing of the meeting have been chosen to follow closely on the official opening of the Southern African Large Telescope on 10 November 2005. This event is expected to draw large numbers of distinguished astronomers to the region.

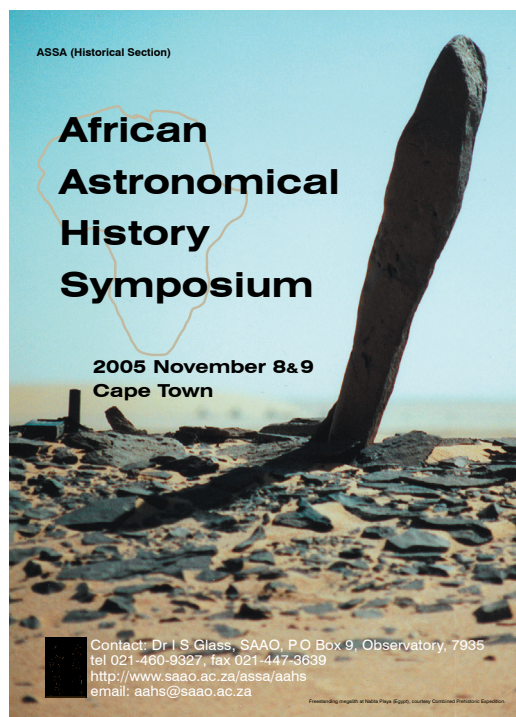
The five-day meeting will focus on the scientific uses of Extremely Large Telescopes (ELTs), rather than on the technology in these telescopes. Participants will discuss the impact of ELTs on fundamental physics through their ability to allow observations of the faintest and most distant (hence oldest) objects in the Universe. Other topics include:

- The first objects in the Universe and the re-ionisation history;
- Large scale structure and star formation history at high redshift;
- Formation of galaxies;

- Enrichment of the intergalactic medium;
- Ages, merging history and stellar mass function in galaxies out to Virgo; and
- Exoplanets, protoplanetary disks, earth-like planets and signatures of life.

The meeting, which is expected to draw astronomers from large telescopes around the world, will also analyse the lessons that can be learnt from the current generation of 10-m telescopes.

The meeting is being organised by the South African Astronomical Observatory. Further details are available at: <http://www.sao.ac.za/IAUS232>.



### African Astronomical History Symposium

The Astronomical Society of Southern Africa will hold the first-ever symposium on African Astronomical History from 8 – 9 November 2005 as one of the festivities surrounding the opening of the Southern African Large Telescope (SALT) on 10 November 2005.

The Symposium will cover all African aspects of astronomy, from ancient times to the present, including recent discoveries concerning the astronomical knowledge of the indigenous peoples of the continent. The first day will include presentations on archaeo-astronomy and ethno-astronomy. The second day will deal with achievements during the colonial and post-colonial periods. There will also be a poster session.

Participants will include several well-known international experts on African astronomical history, as well as experts from the Continent. Besides invited presentations, the programme will also include shorter contributed talks and posters. For more information, visit the Symposium's web page at <http://www.sao.ac.za/assa/aahs>.

# Les Comètes

Mehdi Benna

NASA - Goddard Space Flight Center, Greenbelt, MD 20770, USA  
e-mail: mehdi.benna.1@gsfc.nasa.gov

**Sommaire.** Les comètes constituent les reliquats de la matière primitive à partir de laquelle s'est formé le système solaire. Ils ont joué un rôle essentiel non seulement au cours de ce processus de formation, mais peut-être aussi dans l'évolution biologique. Les comètes sont supposées provenir de deux nuages à la périphérie du système solaire. De temps à autre, des perturbations gravitationnelles propulsent l'une d'entre elles à l'intérieur du système solaire. On pense qu'une fraction importante de la matière organique terrestre, à partir de laquelle se sont constituées les briques élémentaires de la vie, a pu être apportée par les comètes. Cet article est consacré à la présentation des comètes dans leur aspect le plus général. La présentation est conduite sous la forme d'un scénario relatant la formation, la vie, et la mort de ces astres. Nous nous sommes basés, tout au long de notre récit, sur les théories et les visions les plus couramment admises en science cométaire. Notre but n'est nullement de discuter le degré de validité de ces théories, mais plutôt de présenter la vision générale que nous avons aujourd'hui des comètes en partant de la transformation de leurs grains de poussières dans les nuages interstellaires jusqu'à leur mort lente ou subite.

**Abstract.** Comets are the remainders of primitive matter from which the solar system was formed. They played an essential role not only during the formation of the solar system, but perhaps also in the biological evolution of the earth. Comets are thought to come from two clouds in the periphery of the solar system. From time to time, gravitational perturbations eject a comet from one of these clouds into the solar system. It is believed that a significant fraction of the terrestrial organic matter, which gave rise to life on earth, could have been introduced by comets. This article is devoted to the presentation of comets in their most general aspect. The presentation is given in the form of a scenario reporting the formation, the life, and the death of these objects. All the hypotheses are based on the most accepted theories in cometary science at present.

## Historique

Quand une comète apparaissait dans le ciel, les hommes ont toujours souhaité y voir un message. Autrefois les astrologues croyaient que l'apparition imprévue d'un tel phénomène, souvent très impressionnant, leur révélait quelque chose d'important sur le futur. Des tablettes cunéiformes nous apprennent que, plusieurs millénaires avant notre ère, les Babyloniens attribuaient déjà aux comètes un pouvoir sur les récoltes: l'apparition d'une comète était, en effet, considérée comme un présage de pluie; sa disparition annonçait une bonne ou une mauvaise récolte de sésame, selon qu'elle se produisait vers le sud ou vers le nord. Chez les grecs, Aristote (384–322 av. J.-C.) pensait que les comètes annonçaient vent et sécheresse, conformément à la nature météorologique qu'il leur attribuait. On les rendit responsables de la disparition des deux villes d'Achaïe, Hélice et Bura, englouties sous les eaux du golfe de Corinthe, à la suite d'un tremblement de terre, en 373 av. J.-C. Pour Diodore de Sicile et Plutarque, les comètes pouvaient être d'heureux présages puisque, selon ces deux auteurs, la comète de l'an 344 av. J.-C. aurait annoncé le succès de l'expédition de Timoléon de Corinthe contre la Sicile. Chez les Romains, les comètes annonçaient les guerres et les épidémies. On y associa la mort de Jules César en 43 av. J.-C. quand à son décès on vit une brillante comète dans le ciel (Fig. 1). Les chroniques anciennes nous apprennent que des comètes annoncèrent de même la mort d'autres célèbres rois et empereurs comme celle de l'empereur Constantin (366), de Maurice, empereur de Byzance (602), du prophète Mahomet (632), de Louis II (875), de Henri I<sup>er</sup>, roi de France (1060), du pape Alexandre III (1181), de Richard I<sup>er</sup>, roi d'Angleterre (1198), du pape Innocent IV (1254), de Charles le Téméraire (1476), de Philippe le Beau, père de Charles Quint (1505), de François II, roi de France (1560), etc.

Parallèlement à cette mystification des phénomènes que constitue l'apparition des comètes, les hommes ont toujours

cherché à identifier leur nature et leur origine. S'ils furent de bons observateurs, ni les Babyloniens ni les Chinois ne semblent avoir conçu de théories très élaborées sur les comètes. Les savants et les philosophes de la Grèce ou de la Rome antique, au contraire, n'ont pas manqué de s'interroger sur la nature des comètes. Leurs conceptions nous sont connues surtout par Aristote et Sénèque (4 av. J.-C.-65 apr. J.-C.) qui, chacun, ont fait une étude critique des hypothèses avancées par leurs prédécesseurs et leurs contemporains avant d'exposer leurs propres idées sur la question.



Fig. 1. Pièce de monnaie romaine frappée après la mort de Jules César où le défunt est symbolisé par une comète (crédit Barber Institute).

Pour certains comme les pythagoriciens, les comètes étaient des corps permanents ayant, comme les planètes, un cours régulier mais ne s'élevant jamais beaucoup au-dessus de l'horizon et étant, de ce fait, rarement visibles. D'autres, comme Anaxagore (500–428 av. J.-C.) et Démocrite (460–370 av. J.-C.), au contraire, déniaient aux comètes toute existence réelle et expliquaient leur apparence par le rapprochement très



Fig. 2. Fragment du *Livre de soie*, manuscrit chinois datant probablement du IV<sup>e</sup> siècle av. J.-C., contenant la plus ancienne classification de comètes découvertes à ce jour<sup>[30]</sup>.

serré de deux planètes dans le ciel, conjuguant ainsi leurs éclats et pouvant donner l'illusion d'un astre unique allongé ou d'une traînée lumineuse.

Aristote dans sa *Météorologie* réfute tour à tour ces deux conceptions et souligne le caractère imprévisible et irrégulier de l'apparition des comètes, qui s'oppose à sa conception philosophique de la nature permanente des cieux. Ainsi il est finalement conduit à considérer les comètes comme des phénomènes survenant dans l'atmosphère terrestre: des feux allumés par une sorte de tourbillons d'air. Cette théorie va peu à peu s'imposer et prévaut jusqu'à la Renaissance.

L'étude scientifique des comètes débute réellement après la Renaissance. Les progrès de l'astronomie cométaire entre le XVI<sup>e</sup> et le XVII<sup>e</sup> siècle coïncident avec une époque de grand renouveau scientifique et se distinguent par des découvertes clés qui furent décisives. Nous en retiendrons les plus importantes, à savoir:

- la confirmation de l'orientation de la queue cométaire dans la direction anti-solaire par le médecin allemand Jérôme Fracastor en 1531,
- la mesure de la distance d'une comète par l'astronome danois, Tycho Brahé, en 1577 plaçant ainsi définitivement ces astres à des positions au-delà de l'orbite lunaire.

L'heure de gloire de la science cométaire sonna lorsque le jeune astronome anglais Edmond Halley publia en 1705 son mémoire intitulé *Astronomiae Cometicae Synopsis*<sup>1</sup> où il annonça que les comètes vues en 1456, 1531, 1607 et 1682 n'étaient qu'une seule et même comète dont il prédit le retour pour le 25 décembre 1758. Cette comète qui porte aujourd'hui son nom, fut effectivement repérée par un astronome amateur de Saxe le soir de Noël de l'an 1758 et par Charles Messier à Paris le 21 janvier 1759. Pour la première fois de l'histoire, le retour d'une comète est observé après avoir été prédit et calculé. Depuis, la science cométaire n'a cessé de progresser, et des découvertes importantes ont permis de mieux comprendre la physique de ces astres et d'en tirer des informations sur la naissance et l'évolution de notre système solaire.

### Le Scénario de la Vie des Comètes

C'est à la formation du système solaire que remonte l'origine des comètes. Selon la théorie laplacienne aujourd'hui admise, le système solaire s'est formé à partir d'un nuage de gaz et de poussières, appelé la "nébuleuse pré-solaire"<sup>[26]</sup> (Fig. 3). Ce nuage s'est contracté sous sa propre gravitation, et la température et la densité en son centre ont atteint des

valeurs suffisantes pour que les réactions thermonucléaires se déclenchent, permettant la naissance du Soleil. En se contractant, le nuage, en rotation autour du proto-Soleil, s'est aplati, formant un disque épais.

Pendant que se forme le Soleil, les collisions entre les grains provoquent leur agglomération en particules de plus en plus grosses. Cette agglomération, ou accréation, des grains et des particules résultantes produit finalement des blocs de quelques kilomètres de diamètre, embryons de planètes ou "planétésimaux". Les planètes et probablement les innombrables astéroïdes se formèrent par agglomération de ces planétésimaux. On conçoit aisément alors la somme de renseignements qu'une analyse de ces grains devrait nous apporter sur l'histoire de notre système solaire. Malheureusement, les grains originels n'existent probablement plus; ceux qui ne se sont pas agglomérés ont été probablement dispersés et rejetés du système solaire par le vent solaire ou happés par les planètes.

Aujourd'hui on sait que l'histoire de notre système solaire n'est pas perdue à tout jamais. En effet, nous avons la quasi-certitude que des planétésimaux ayant échappé à l'agglomération en planètes subsistent aux confins de notre système solaire. Trop petits et trop loins du Soleil pour évoluer géologiquement, ils conserveraient probablement une structure physique et chimique à peine modifiée qui nous renseignerait beaucoup sur la nébuleuse primitive. De temps en temps, sous l'effet de perturbations gravitationnelles internes ou externes du système solaire, l'un d'eux plonge vers le Soleil et nous rend visite: il s'agit alors d'une comète.

Comment certains planétésimaux ont-ils pu échapper à la formation des planètes? Il peut s'agir des "blocs de construction" inutilisés et rejetés par les planètes géantes. En effet, dans la partie externe du système solaire, la formation de planètes a peut-être été gênée, et même empêchée du fait que la densité des planétésimaux restant était trop faible, ce qui rendait la formation de planètes plus difficile.

Quoi qu'il en soit, des planétésimaux ont dû échapper à la formation planétaire. De plus, s'étant formés loin du Soleil, donc à basses températures, ils sont restés dans le froid extrême de ces régions lointaines, ce qui leur a probablement permis de conserver la composition quasi-exacte des grains primordiaux, y compris les éléments les plus volatils.

Selon le modèle de l'astronome néerlandais Oort<sup>[17]</sup>, un vaste réservoir de tels planétésimaux existerait au-delà de l'orbite

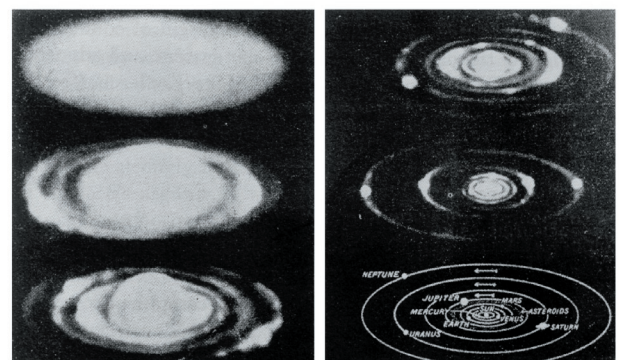


Fig. 3. La séquence chronologique du modèle laplacien de formation du système solaire à partir de la nébuleuse primitive<sup>[28]</sup>.

de Neptune et s'étendrait de 20 000 u.a. à probablement plus de 100 000 u.a.<sup>2</sup> Ce cocon, baptisé depuis "le Nuage de Oort", occupant un volume en forme de vaste et épaisse coquille plus ou moins sphérique centrée sur le Soleil, pourrait comprendre  $10^{10}$  à  $10^{12}$  objets. Chacun d'eux circulerait sur une orbite dont la période peut se chiffrer en millions d'années et les dimensions en plusieurs dizaines de milliers d'u.a. En complément à cette théorie, Kuiper proposa l'existence d'un second réservoir trans-neptunien à des distances plus proches du Soleil (~50 u.a.)<sup>[12,28,2]</sup>. Ce second réservoir est nommé "Ceinture de Kuiper".

Chacun des blocs de glaces et de poussières est si éloigné, si petit, qu'il émet trop peu de lumière pour être observé avec les moyens actuels. Mais heureusement, ce réservoir géant n'est pas tout à fait stable. Sous l'influence continue du champ gravitationnel de notre Galaxie, d'une perturbation brusque produite par une étoile ou d'un nuage interstellaire passant à proximité du système solaire et du mouvement d'oscillation du Soleil sur son orbite, les orbites des planétésimaux du nuage de Oort se transforment. Selon les cas, elles peuvent s'ouvrir sur l'espace interstellaire, projetant les planétésimaux hors du système solaire, ou bien au contraire les transférer vers les parties internes du système solaire. Dans ce second cas, l'attraction gravitationnelle des planètes agit elle aussi, transformant les orbites longues des planétésimaux en orbites de périodes beaucoup plus courtes (d'une période de quelques millions d'années jusqu'à quelques années seulement).

Cette évolution atteint un stade décisif lorsque le planétésimal s'approche du Soleil. La chaleur de notre étoile commence alors à volatiliser les glaces emprisonnées, de sorte que le planétésimal s'entoure d'une sorte d'atmosphère formée par des gaz et des poussières en expansion vers le vide de l'espace interstellaire. Cette atmosphère de plus en plus épaisse cache en son centre le planétésimal (son noyau) et développe des queues formées par les poussières et les gaz repoussés par la lumière et le vent solaire. La comète prend alors sa forme caractéristique et son noyau commence à évoluer physiquement.

Le phénomène comète ne peut se maintenir que pendant un temps limité (~1 000 – 10 000 passages), car la perte de matière induite par l'évaporation des volatils et la libération des poussières à chaque passage près du Soleil diminue petit à petit la masse du noyau.

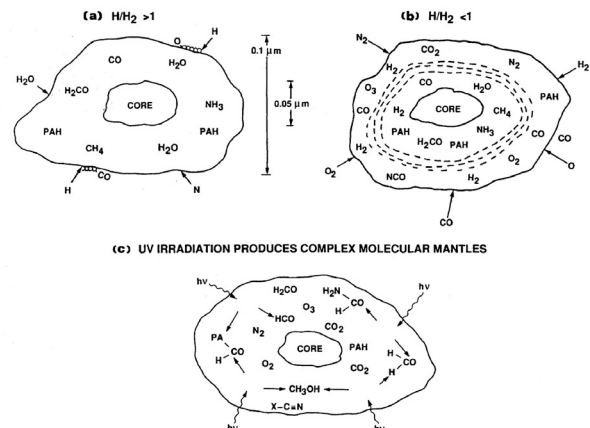
Dans les détails, ce scénario comporte évidemment des points sombres et des lacunes, mais semble expliquer dans sa globalité et d'une manière assez cohérente, la physique de formation des noyaux cométaires et leur évolution. Nous allons dans la suite détailler plus amplement ce scénario. Nous ne présenterons que les éléments de la théorie les plus largement répandus car notre démarche n'est pas de confronter les divers modèles de formation, mais plutôt de donner une conception assez plausible et réaliste de la vie d'une comète.

### Formation des Noyaux Cométaires

#### Les Grains de la Nébuleuse Primitive

Pour mieux comprendre la structure des noyaux cométaires il faut remonter à la structure des briques de base qui les constituent: les grains.

Comme nous l'avons mentionné, la nébuleuse primitive est faite de gaz et de poussières. Le gaz se compose surtout d'hydrogène et d'hélium. Les poussières – petits grains de dimension micrométriques – se composent de matériaux réfractaires (métaux, silicates, graphite, substances organiques plus ou moins complexes) et de substances volatiles. Parmi ces volatils<sup>3</sup> on trouve majoritairement, et en quantités très mal connues, de la glace d'eau ( $H_2O$ ), de la glace de dioxyde de carbone ( $CO_2$ ), de la glace de monoxyde de carbone ( $CO$ ), d'ammoniac ( $NH_3$ ), de méthane ( $CH_4$ ), etc.



**Fig. 4.** Les types de grains de poussières présents dans les nuages moléculaires: (a) Dans les régions où le taux  $H>H_2$ , l'hydrogène atomique du nuage réagit avec les diverses molécules et atomes présents à la surface des grains produisant un manteau de volatils comme  $CH_4$ ,  $NH_3$  et  $H_2O$ ; (b) dans le cas où le nuage moléculaire est dense ( $H<H_2$ ), le grain va s'entourer d'un manteau riche en éléments non hydrogénés comme  $CO$ ,  $O_2$  et  $N_2$ ; (c) l'irradiation et le chauffage des grains créent dans le manteau des molécules plus complexes<sup>[20]</sup>.

Ces grains pourraient avoir été formés par condensation, lors du refroidissement d'un nuage reliquat de l'atmosphère d'une étoile géante rouge en fin de vie. Un tel nuage abonde en éléments chimiques synthétisés par les réactions nucléaires au cours de la vie de l'étoile. Les réfractaires se condensent en premier formant le coeur des grains. Ceux-ci sont ensuite soufflés vers l'espace interstellaire par le vent solaire de la géante rouge<sup>[3,25]</sup>.

Les grains ainsi formés passent alors des centaines de millions d'années, ou plus, en orbite dans la galaxie, où leurs trajectoires les mènent successivement à travers des milieux différents. Dans certaines zones, la densité du gaz et des grains est très élevée. Il se forme alors une région appelée "nuage moléculaire" où les atomes du gaz se combinent en molécules (essentiellement  $H_2$ , mais aussi  $CO$ ,  $H_2O$ ,  $NH_3$ ,  $OCS$ ,  $SiO$ , etc.)<sup>[20]</sup>. Étant donnée la basse température qui règne dans ce nuage moléculaire (quelques dizaines de degrés absolus), la poussière réfractaire s'enveloppe d'une couche de glace de volatils (volatils condensés tels que  $H_2O$ ,  $CO_2$ ,  $CH_4$ ,  $H_2CO$ , etc.). Au cours de sa vie, le grain peut se retrouver dans des régions moins froides, de plus basse densité. La lumière ultraviolette des étoiles environnantes casse alors les molécules en radicaux libres très réactifs (par exemple  $OH$ ,  $NH_2$ ,  $CN$ ,  $CH$ ,  $HCO$ , etc.), ce qui dépose de l'énergie latente (sous forme d'énergie de liaison chimique) à la surface du grain. Cette énergie se libérera à l'occasion d'une élévation de température, entraînant des réactions chimiques qui transformeront le matériau volatil en une couche de substances carbonées



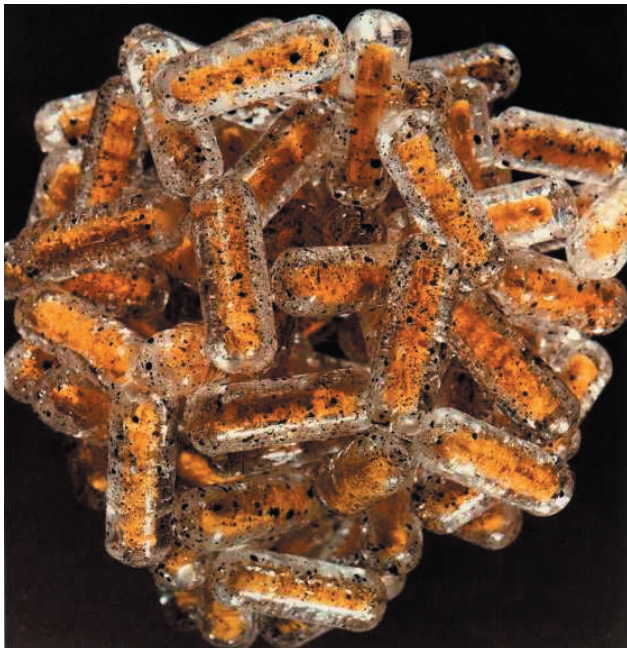
relativement réfractaires (voir Fig. 4). Ce processus peut se répéter plusieurs fois jusqu'à ce que le grain arrive enfin à un nuage moléculaire particulier, celui qui formera le Soleil.

La contraction de ce gigantesque nuage donne ensuite naissance, par fragmentation, à plusieurs nébuleuses pré-stellaires évoluant chacune pour former une étoile accompagnée généralement d'un disque proto-planétaire. L'une d'entre elles est notre nébuleuse proto-solaire, composée des gaz et des grains précédemment décrits. Ces grains vont ensuite pouvoir s'agglomérer et former les planétésimaux. À ce stade, il est important de noter qu'avant même d'être incorporés dans les planétésimaux, les grains peuvent stocker de l'énergie sous diverses formes, énergie qui par la suite modifiera l'évolution des planétésimaux.

### L'Énergie Latente des Grains Primitifs

Les grains stockent de l'énergie selon divers processus. De ces processus, nous n'évoquerons que les trois principaux.

Une première manière provient du fait que l'évolution de la nébuleuse proto-solaire fut probablement affectée par celle de ses voisines. En effet, les plus massives des étoiles voisines émettent un intense rayonnement ultraviolet de sorte que, avant de s'agglomérer à ses partenaires, un grain a reçu une dose d'énergie sous cette forme. Il devient alors différencié<sup>4</sup>: un cœur dense réfractaire (comptant pour environ 30% de la masse totale du grain) est entouré d'un mince manteau de glaces.



**Fig. 5.** Modèle de structure d'agrégat en « nid d'oiseau ». Cet agrégat est composé de particules de taille sub-micrométrique. Chaque particule est formée d'un noyau de silicates recouvert d'un manteau de composés organiques et de glaces de volatils<sup>[5]</sup>.

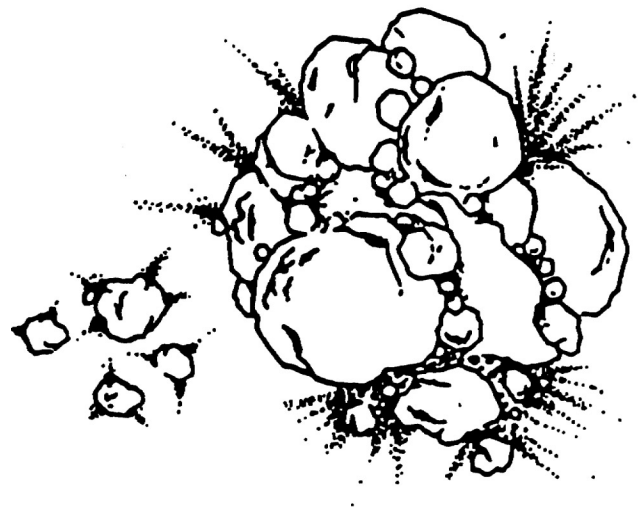
La seconde manière d'acquérir de l'énergie latente provient de l'explosion de certaines étoiles massives – des supernovae – à proximité du Soleil en formation. Une anomalie isotopique de l'oxygène observée dans certains grains (ne contenant que <sup>16</sup>O) le suggère<sup>[13]</sup>. En effet, l'explosion d'une supernova disperse de nombreux isotopes radioactifs susceptibles de contaminer les grains de la nébuleuse primitive et de les alimenter en énergie par leurs désintégrations radioactives. Ainsi ces grains seraient

de véritables sources de chaleur, qui pourraient chauffer l'intérieur des planétésimaux dans lesquels ils sont incorporés. Parmi ces isotopes, <sup>26</sup>Al<sup>5</sup>, identifié dans certaines météorites, est l'un des plus « célèbres ».

Dans les grains microscopiques, la chaleur interne due à la radioactivité est efficacement évacuée vers l'extérieur par rayonnement. Mais ce n'est pas le cas lorsque le grain est « enterré » dans un gros corps comme un planétésimal. Le troisième mode d'acquisition d'énergie provient de l'eau. Composée de deux des éléments les plus abondants dans l'Univers, la glace d'eau (H<sub>2</sub>O) est un constituant très important des grains. L'une de ses propriétés particulières a sans doute beaucoup influencé l'évolution du matériau cométaire: condensée à des températures inférieures à 90°K, la glace se présente sous forme amorphe<sup>6</sup>. Cette forme est instable à plus haute température (on ne la trouve pas sur Terre) : vers 125°K, la glace amorphe se cristallise irréversiblement, par une transition de phase exothermique dégageant de l'énergie<sup>[9]</sup>. Juste après la naissance du Soleil, la nébuleuse primitive s'est réchauffée et ce n'est que dans les régions froides éloignées du Soleil, que la glace amorphe a pu survivre. Les planétésimaux du nuage de Oort contiendraient ainsi de grandes quantités de cette glace d'eau amorphe. En somme, ces grains sont de véritables sources potentielles d'énergie: soit grâce aux désintégrations des isotopes radioactifs, soit grâce à l'eau qu'ils contiennent, prête à se cristalliser en libérant son énergie, soit encore par la présence des radicaux très réactifs. Toutes ces sources d'énergies latentes vont influencer fortement l'évolution ultérieure de ces planétésimaux.

### L'accrétion

L'agglomération des grains s'est produite lorsque, par rencontres mutuelles au cours des mouvements turbulents de la nébuleuse, les grains se sont progressivement collés les uns aux autres, formant des sortes d'agrégats (Fig. 5) assez lâches appelés « nids d'oiseaux »<sup>[4]</sup>. Ces agrégats, de dimension centimétrique, se sont rassemblés au fur et à mesure des rencontres. Leur taille a progressivement augmenté pour aboutir à des mini-boules très poreuses appelées « cométésimaux ». À partir de ces mini-boules, des planétésimaux, de quelques kilomètres de dimension, peu denses, poreux et globalement homogènes entre eux se sont finalement formés



**Fig. 6.** Un des modèles de structure de noyau cométaires. Le noyau est composé d'un assemblage de cométésimaux poreux<sup>[27]</sup>.

(Fig. 6)<sup>[27,1,14]</sup>. Au-delà des planètes actuellement connues, la croissance des planétésimaux s'est arrêtée au bout de quelques millions d'années, à cause de la raréfaction des rencontres et de la gêne que les planètes géantes voisines ont commencé à exercer.

### L'évolution des Planétésimaux aux Confins du Système Solaire

Loin du Soleil, la surface du planétésimal reste froide, tandis que le dégagement interne d'énergie accroît la température centrale (comme dans les planètes telluriques chauffées par la radioactivité des roches profondes). Ces transformations physico-chimiques, même à basse température, modifient les matériaux et produisent probablement une migration des gaz vers l'extérieur, suivie de sa recondensation près de la surface<sup>[23]</sup>. Bien que ce scénario soit plus ou moins généralement accepté, les détails de ces processus sont encore très mal définis, et il est très difficile pour l'instant de relier la chimie d'une comète aux modèles de formation du planétésimal. Nous pouvons aussi envisager que dans certains cas extrêmes, la chaleur dégagée peut être suffisante pour faire fondre la glace; il en résulte un remplissage des vides de la structure par les liquides issus de la fusion, d'où une augmentation de la densité et une migration des particules lourdes vers l'intérieur du planétésimal. Le résultat se traduit par une différenciation du corps. Aujourd'hui il est très probable que ces planétésimaux ont eu assez de temps depuis leur formation pour qu'ils puissent dissiper toute la chaleur générée dans leur profondeur.

Outre la transformation de leur intérieur, les planétésimaux ont vu aussi leur surface évoluer. En effet, la surface d'un planétésimal est exposée à toutes les agressions venues du cosmos. Les particules de haute énergie venues du milieu cosmique et du Soleil pénètrent les couches superficielles des planétésimaux. Là, il réagissent avec les molécules des volatils gelés, déclenchant la synthèse d'éléments encore plus volatils et des résidus polymérisés<sup>[16]</sup>.

### Dynamique du Nuage de Oort et de la Ceinture de Kuiper

Diverses études de l'évolution dynamique du nuage de Oort et de la ceinture de Kuiper ainsi que leur relation ont été achevées. Un scénario assez vraisemblable se distingue et semble faire le consensus parmi les planétologues. L'évolution des planétésimaux est différente, selon qu'ils appartiennent à la partie centrale ou externe du nuage de Oort, ou qu'ils appartiennent à la ceinture trans-neptunienne de Kuiper et aux régions les plus internes du nuage de Oort.

Les planétésimaux du nuage de Oort sont les plus instables. Une étoile passant à proximité peut fortement perturber les éléments de cette région, éjectant certains éléments dans l'espace interstellaire et en projetant d'autres à l'intérieur du système solaire<sup>[21]</sup>. Les comètes aux longues périodes orbitales fraîchement arrivées de ces régions lointaines, sont appelées "nouvelles". Elles présentent généralement une importante activité due aux volatils accumulés dans leurs couches superficielles et qui s'évaporent lors de leurs premiers passages près du soleil. Une fois dans la région interne du système solaire, ces comètes subissent l'influence de Jupiter. Cette perturbation peut, soit les éjecter du système solaire, soit baisser l'aphélie de leur orbite leur accordant un nouveau

passage près du Soleil et une nouvelle intervention de Jupiter. Un processus chaotique s'installe faisant évoluer aléatoirement le demi-grand axe de l'orbite cométaire<sup>[18]</sup>. Les calculs montrent que dans le cas général ces comètes finissent par être éjectées du système solaire. Dans des cas relativement rares, quelques comètes finissent par se faire capturer sur des orbites un peu plus stables avec des périodes plus courtes. Parmi les membres les plus représentatifs de ce type de comètes nous citerons les célèbres comètes de Halley et de Halle-Bopp.

Quant aux planétésimaux de la région interne du nuage de Oort et ceux de la ceinture de Kuiper qui sont à des distances plus proches, ils suivent une route différente de celle du reste des membres du nuage de Oort. Le transfert de ces planétésimaux est beaucoup moins brusque et se fait par un phénomène long de diffusion chaotique. Ceci les amène progressivement :

- soit à des orbites plus hautes alimentant probablement ainsi le nuage de Oort,
- soit à des orbites plus basses avec des périhélie au voisinage de l'orbite de Neptune et d'Uranus, de sorte que l'influence gravitationnelle de ces planètes, depuis longtemps négligeable, commence à agir.

La perturbation causée par une planète peut alors devenir efficace. Pour peu que les conditions soient favorables, la planète gouverne l'évolution orbitale de la comète. Lorsqu'une planète a réduit suffisamment la distance périhélique de l'orbite cométaire, c'est la planète suivante (plus proche du Soleil) qui prend le contrôle, et le processus se répète. Ce transfert arrive à son terme lorsque la distance aphélique de la comète se réduit à près de 5 u.a., rayon de l'orbite de Jupiter, et sa distance périhélique à environ 1-2 u.a. Ces comètes sont dites de la "famille" de Jupiter.

Aujourd'hui, on connaît beaucoup de comètes dont l'orbite est en pleine évolution. Un exemple est celui de la comète Schwassmann-Wachmann 1 dont l'orbite est entre Saturne et Jupiter. Un autre exemple est Chiron, découvert il y a plus de 20 ans et classé comme astéroïde (numéro 2060). Son orbite entre Saturne et Uranus s'est révélée instable, et d'ici 100 000 ans il se sera probablement rapproché du Soleil<sup>[6]</sup>. De plus, on lui a détecté une augmentation de luminosité, interprétée comme une activité cométaire<sup>[24]</sup>.

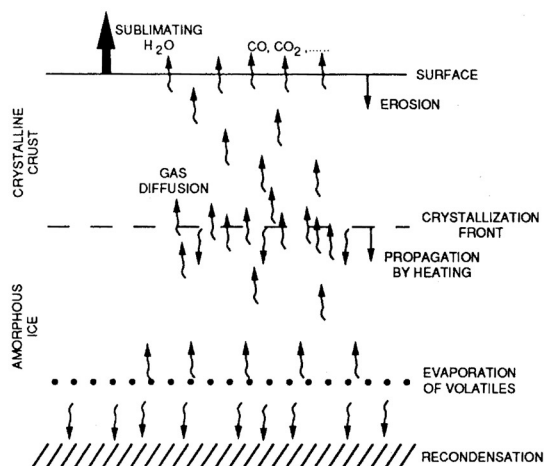
La capture d'une comète, telle qu'on vient de la décrire, est un processus lent comportant des retours en arrière. Pendant ce transfert, et particulièrement au cours des dernières phases, le planétésimal subit sans doute déjà une évolution interne qui fera perdre à son noyau toute mémoire de son passé dynamique.

### Évolution des Comètes au Voisinage du Soleil

Le point décisif de l'évolution de l'orbite d'une comète est atteint quand le périhélie de l'orbite cométaire descend sous les 5 u.a. La température à la surface du noyau cométaire approche les 200°K et la glace d'eau commence à se sublimer de plus en plus vite. Une queue commence alors à se former et ce qui n'était qu'un planétésimal devient une "comète". Le noyau cométaire commence alors à subir une évolution physico-chimique plus profonde qui dépendra de sa structure originelle.

La chaleur commence à pénétrer à l'intérieur du noyau essentiellement par conduction thermique. Ce processus est d'autant plus lent que le noyau est poreux et la glace initiale est amorphe<sup>7</sup>. Il n'est donc pas sûr que le réchauffement se propage jusqu'au centre du noyau et il est probable que les comètes possèdent pour la plupart un coeur froid.

Sous la surface la chaleur cristallise la glace d'eau amorphe qui à son tour dégage de la chaleur et vient cristalliser les couches sous-jacentes. Un front de cristallisation progresse donc de plus en plus profondément à l'intérieur du noyau (Figure 7). Son comportement dépend essentiellement de la teneur du noyau en poussière. En effet, cette dernière va consommer une partie de l'énergie calorifique pour atteindre son équilibre thermique, ralentissant ainsi plus ou moins le front de cristallisation dans sa progression. Divers modèles montrent même que ce front se stabilise à une profondeur plus ou moins importante selon le cas, formant ainsi une couche de glace cristalline<sup>[11,10]</sup>.



**Fig. 7.** Modèle de différenciation physico-chimique du noyau cométaire. Ce modèle est basé sur la cristallisation de la glace d'eau amorphe libérant les volatils emprisonnés et dégageant de la chaleur. Une partie des gaz libérés s'échappe vers l'extérieur alors qu'une autre se recondense dans des régions plus profondes du noyau<sup>[19]</sup>.

Vu la porosité du noyau, les gaz provenant de la sublimation des composants volatils diffusent à travers les pores, soit pour s'échapper dans l'espace, soit pour se recondenser plus en profondeur. Une partie des plus fines poussières est immédiatement emportée par le flux gazeux contribuant à la brillance de la chevelure et de la queue. Des modèles montrent que la condensation en éléments volatils comme CO ou CO<sub>2</sub> augmente vers l'intérieur, tandis que la proportion des composants réfractaires est plus forte près de la surface. Selon la dynamique de rotation du noyau et de son relief, une différenciation locale de la surface peut survenir et dans les cas extrêmes une croûte de matériau réfractaire peut même se former. Cette différenciation peut se traduire par la formation de zones "inactives" par opposition aux zones "actives" où la couche de poussière n'est pas assez continue et dense pour étouffer la production de gaz<sup>[14]</sup>. La présence de grandes régions inactives explique probablement la faible production de gaz constatée dans certaines comètes comme P/Encke.

Le dégazage plus ou moins localisé dans les régions actives du noyau, exerce une force de réaction sur ce dernier. Le couple

résultant modifie la rotation; celle-ci à son tour détermine la distribution de l'énergie solaire à la surface du noyau et donc l'évolution des régions actives et inactives. Cette force de réaction est faible, mais ses effets cumulés sont révélés par les modifications observées dans les mouvements orbitaux des comètes de courtes périodes. C'est Whipple<sup>[28]</sup> qui attribua cet effet constaté sur P/Encke au dégazage anisotrope du noyau et aux forces non-gravitationnelles qui en résultent.

## La Mort des Comètes

Le stade final de cette évolution physico-chimique dépend de la balance entre les deux phénomènes antagonistes que sont : la sublimation des volatils et la formation d'une croûte isolante à la surface du noyau. Deux destins extrêmes en découlent<sup>8</sup>: celui de "la perte de volatils" et celui de "l'étouffement".

Le premier suppose que la taille du noyau diminue inexorablement par sublimation jusqu'à l'épuisement de toute la réserve de volatils ou la disparition totale du noyau. Il en subsistera comme seule trace un courant de météorites en orbite autour du Soleil. Le noyau peut aussi se fragmenter en plusieurs morceaux (P/Biela en 1844, P/West en 1976, SL9 en 1994 ou LINEAR 1999S4 en 2000)<sup>[22,8]</sup>.

Le second cas suppose que la surface du noyau cométaire se charge de plus en plus de poussières formant une couche de plus en plus épaisse et isolante étouffant ainsi toute activité de dégazage. La comète "s'éteint". Il en résulte un objet s'apparentant à un astéroïde sur une orbite cométaire. Plusieurs astéroïdes, en particulier quelques-uns du groupe Apollo-Amor comme 1983 SA ou 1983 XF, sont soupçonnés d'être de tels objets<sup>[7]</sup>. Cette mort peut n'être que provisoire en attendant une évolution de l'orbite et un passage plus rapproché du Soleil qui relancerait un dégazage plus intense capable de briser la croûte de poussières.

## Références

1. Donn, B.D., 1990, The formation and structure of fully cometary nuclei from random accumulation of grains. *Astronomy and Astrophysics*, 235: 441-446.
2. Fernández, J.A., 1980, On the existence of a comet belt beyond neptune. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 192: 481-491.
3. Gehrz, R., 1989, Sources of stardust in the galaxy. In *Interstellar Dust. Proceedings of the 135<sup>th</sup> Symposium of the International Astronomical Union*.
4. Greenberg, J.M. and Hage, J.I., 1990, From interstellar dust to comets - a unification of observational constraints. *Astrophysical Journal*, 361: 260-274.
5. Greenberg, J.M., Mizutani, H., and Yamamoto, T. 1995, A new derivation of the tensile strength of cometary nuclei: application to comet Shoemaker-Levy 9. *Astronomy and Astrophysics*, 295: L35-L38.
6. Hahn, G. and Bailey, M.E., 1990, Rapid dynamical evolution of giant comet chiron. *Nature*, 348: 132-136.
7. Hahn, G. and Rickman, H., 1985, Asteroids in cometary orbits. *Icarus*, 61: 417-442.
8. Hughes, D.W. and McBride, N., 1992, Short-period comet splitting. *Journal of the British Astronomical Association*, 102(5): 256-268.
9. Jenniskens, P. and Blake, D.F., 1998, Amorphous water ice. In *Solar System Ices*, p. 139-155. Kluwer Academic Publishers.

10. Klinger, J., 1999, Thermal evolution of comet nuclei. *Advances in Space Research*, 23(7): 1309–1318.
11. Klinger, J., Levasseur-Regourd, A.-C., Bouzini, N., and Enzian, A., 1996, Toward a model of cometary nuclei for engineering studies for future space missions to comets. *Advances in Space Research*, 44(7): 637–653.
12. Kuiper, G., 1956, The formation of the planets, Part III. *Journal of the Royal Astronomical Society of Canada*, 50: 158–176.
13. Lattimer, J.M., Schramm, D.N. and Grossman, L., 1978, Condensation in supernova ejecta and isotopic anomalies in meteorites. *Astrophysical Journal*, 219(1): 230–249.
14. Möhlmann, D., 1995, Cometary activity and nucleus model. *Advances in Space Research*, 43(3): 327–332.
15. Möhlmann, D., 1996, Origin of Comets in the Extended Pre-planetary Disk. *Planetary and Space Science*, 7: 731–743.
16. Moore, M.H. and Donn, B., 1982, Studies of irradiated ice mixtures – laboratory synthesized residue. *Bulletin of the American Astronomical Society*, 14: 605.
17. Oort, J.H., 1950, The structure of the cloud of comets surrounding the solar system and a hypothesis concerning its origin. *Bulletin of the Astronomical Institute of the Netherlands* 11: 91–110.
18. Petrosky, T.Y. and Broucke, R., 1988, Area-preserving mappings and deterministic chaos for nearly parabolic motions. *Celestial Mechanics*, 42(1): 53–79.
19. Rickman, H., 1991, On the properties of comets, asteroids, and terrestrial planet impactors. *Advances in Space Research*, 11(6): 7–18.
20. Sandford, S.A., 1996, The inventory of interstellar materials available for the formation of the solar system. *Meteoritics and Planetary Science*, 31: 449–476.
21. Scholl, H., Cazenave, A., and Brahic, A., 1982, The effect of star passages on cometary orbits in the oort cloud. *Astronomy and Astrophysics*, 112(1): 157–166.
22. Sekanina, Z., 1968, Disruption of comet p/biela and explosive mechanisms of cometary splits. *Bulletin of the Astronomical Institute of Czechoslovakia*, 19: 63.
23. Sirono, S. and Yamamoto, T., 1999, Internal evolution of an icy planetesimal: the evolution of the temperature, chemical composition and mechanical properties. *Advances in Space Research*, 23(7): 1299–1308.
24. Tholen, D.J., Hartmann, W.K., Cruikshank, D.P., Lilly, S., Bowell, E. and Hewitt, A., (1988), Chiron. IAU Circular, 4554.
25. Tielens, A.G., 1991, Characteristics of interstellar and circumstellar dust. In Origin and Evolution of Interplanetary Dust. *Proceedings of IAU Colloq. 126*.
26. Weidenschilling, S.J., Donn, B. and Meakin, P., 1989, The physics of planetesimal formation. In The Formation and the Evolution of Planetary System. Cambridge University Press.
27. Weissman, P., 1986, Are Cometary Nuclei Primordial Rubble Piles? *Nature*, 320: 242–244.
28. Whipple, F.L., 1950, A comet model. I. The acceleration of comet Encke. *Astrophysical Journal*, 111: 375–394.
29. Whipple, F.L., 1972, The origin of comets. In The Motion, Evolution of Orbits, and Origin of Comets. *Proceedings from IAU Symposium no. 45*.
30. Xi, Z.Z., 1984, The cometary Atlas in the Silk Book of the Han tomb at Mawangdui. *Chinese Astronomy and Astrophysics*, 8(1): 1–7.

---

<sup>1</sup> Synopsis d’astronomie cométaire.

<sup>2</sup> u.a.: l’unité astronomique est la distance moyenne Terre-Soleil, soit 149 598 500 kilomètres; à titre de comparaison, la plus proche étoile, Proxima Centauri, se trouve à moins de 250 000 u.a.

<sup>3</sup> On désigne par volatils, les substances s’évaporant à basse température par opposition aux matériaux réfractaires qui eux fondent à très haute température.

<sup>4</sup> Sa composition chimique et ses propriétés physiques varient avec la profondeur dans le grain.

<sup>5</sup> L’isotope <sup>26</sup>Al a une durée de vie voisine de 700 000 ans.

<sup>6</sup> Sous la forme amorphe et contrairement à la forme cristalline, un solide n’est pas ordonné, et les molécules qui le constituent s’arrangent plus ou moins aléatoirement.

<sup>7</sup> L’une des propriétés de la glace amorphe est sa mauvaise conductivité thermique.

<sup>8</sup> Dans le cas où le noyau cométaire n’a pas fini par chuter sur le Soleil ou se faire éjecter dans le milieu interstellaire.

# L'expérience NEIGE de Géodésie Spatiale Autour de Mars

Jean-Pierre Barriot

Observatoire Midi-Pyrénées, 14 Avenue Edouard Belin, 31400 Toulouse, France  
email: jean-pierre.barriot@cnes.fr

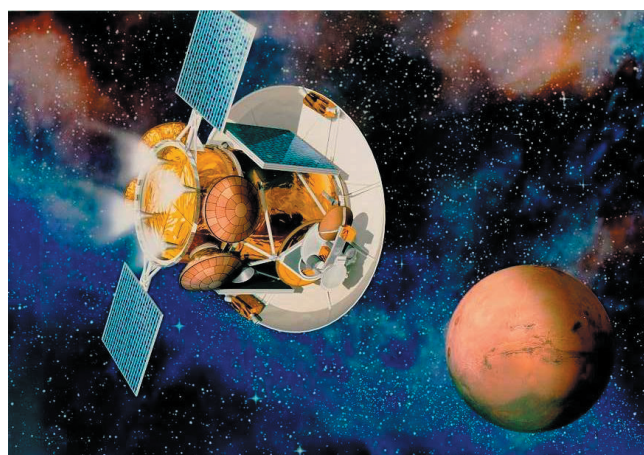
**Abstract.** The NEIGE experiment (*Netlander Ionosphere and Geodesy Experiment*) will perform ultra-precise measurements of the radio Doppler shifts between a set of small stations on the surface of Mars and an orbiter, and between this orbiter and the Earth. From the analysis of these measurements, we will be able to model the gross internal structure of Mars and monitor the balance of volatiles (ice caps versus atmosphere) during the course of the Martian year. The NEIGE experiment will run in 2007–2009.

**Sommaire.** L'expérience NEIGE (*Netlander Ionosphere and Geodesy Experiment*) procèdera à des mesures ultra-précises des effets Doppler affectant les liaisons radio entre un ensemble de petites stations à la surface de Mars et un orbiteur, ainsi qu'entre cet orbiteur et la Terre. A partir de l'analyse de ces mesures, nous pourrions modéliser la structure interne à large échelle de Mars et suivre l'équilibre des échanges entre réservoirs de volatiles (calottes polaires et atmosphère) tout au long de l'année Martienne. L'expérience NEIGE aura lieu en 2007–2009.

Le mot NEIGE est l'acronyme de « Netlander Ionosphere and Geodesy Experiment », et est le sigle d'une expérience de géodésie planétaire, qui volera avec la mission franco-américaine Mars Premier en 2007 vers la planète Mars. Lors de cette mission, quatre petites stations de 20 kg seront déposées à la surface de Mars pour réaliser de la science dite « de réseau », c'est-à-dire impliquant plusieurs stations. Elles emporteront en particulier des sismomètres, qui permettront « d'ausculter » les entrailles de Mars. La sonde principale restera en orbite martienne pour assurer le relais vers la Terre de ces petites stations et pour observer Mars.

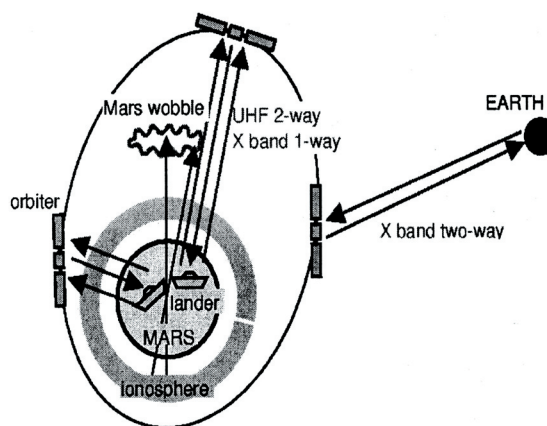
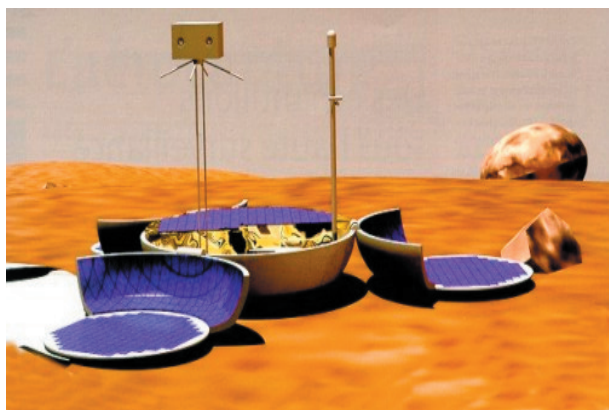
Cette « auscultation » sera aussi assurée, de manière complémentaire, par l'expérience NEIGE, mais d'une façon très différente, en observant l'orientation de Mars par rapport aux étoiles. En effet, les lois de la mécanique nous enseignent que le mouvement de rotation d'une toupie est fonction de ce que l'on appelle ses moments d'inertie, c'est-à-dire de la répartition de la matière dans la toupie.

Mars peut être considéré comme une telle toupie, certes gigantesque. Les quatre stations Netlander matérialiseront à la surface de Mars un repère, au sens mathématique du terme, que l'on positionnera par rapport à un repère dit « absolu », par rapport auquel les lois de la mécanique newtonienne sont valables. Il y aura donc deux problèmes à résoudre : celui du



**Fig. 1.** La sonde Mars Premier, arrivant au voisinage de Mars en Octobre 2007. On remarque les quatre stations Netlander, nichées à l'arrière de la sonde mère.

positionnement du repère fourni par les stations, et celui de la réalisation du repère absolu. La solution du premier problème, celui du positionnement des stations Netlander, sera assurée par une poursuite radio de ces stations depuis l'orbiteur martien Mars Premier. Le principe de cette poursuite réside dans la mesure de l'effet Doppler affectant (comme le décalage vers le rouge de la lumière émise par les galaxies) ces liaisons radio. Pour donner une idée, on est capable d'estimer ces vitesses



**Fig. 2.** Vue d'artiste d'une station Netlander à la surface de Mars, et principe de l'expérience NEIGE.

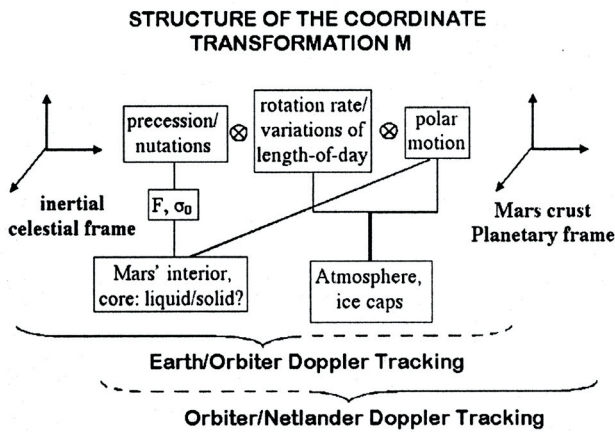


Fig. 3. Principe d'analyse des données de l'expérience NEIGE.

relatives, de l'ordre de plusieurs kilomètres par seconde, avec une précision de 0.1 mm/s, soit une précision de l'ordre de  $10^{-8}$ .

On mesurera de la sorte la vitesse d'une station particulière par rapport à l'orbiteur suivant la ligne de visée qui les joint. Cette vitesse relative est la différence des vitesses de la station et de l'orbiteur, par rapport au repère absolu, différence projetée sur la ligne de visée les joignant. La vitesse de l'orbiteur ne présente pas d'intérêt, du moins en ce qui concerne NEIGE, et il faut donc la retrancher de cette vitesse relative pour avoir accès à la vitesse de la station Netlander par rapport au repère absolu. Cette vitesse de l'orbiteur sera mesurée par rapport à la Terre, par des moyens analogues de poursuite Doppler. La différence est que le temps de propagation des ondes radio, de quelques millisecondes pour la liaison station Netlander/orbiteur, atteint plusieurs dizaines de minutes pour la liaison orbiteur/Terre.

Bien sûr, on ne mesurera que la vitesse relative orbiteur/Terre, mais comme l'on connaît de façon extrêmement précise la vitesse et la position de la Terre par rapport aux étoiles,

on aura dès lors accès à la vitesse de l'orbiteur par rapport au repère « absolu », résolvant par là le deuxième problème mentionné plus haut. *In fine*, on obtiendra la vitesse d'une station Netlander par rapport aux étoiles, par composition successive des vitesses et des positions des stations Netlander à la surface de Mars, puis de l'orbiteur Mars Premier et enfin de la Terre. En considérant l'ensemble des stations Netlander, on pourra ainsi étudier l'orientation absolue de la « toupie » Mars.

On n'aura accès en fait qu'aux projections des vitesses relatives suivant les lignes de visée d'un objet à l'autre, mais cela sera compensé par le fait que l'on pourra étudier de nombreuses géométries de ces lignes de visée, car les révolutions de la sonde Mars Premier autour de Mars s'effectueront en environ deux heures.

Ainsi que dit au tout début de ce court article, la mesure de l'orientation de Mars par rapport aux étoiles permettra de caractériser la structure interne de Mars, donc en particulier la taille et la densité de son noyau, et de savoir s'il est liquide ou solide, car cela se traduira par une très légère modification des mouvements dits de « nutation » de la planète, mais cette très légère modification sera néanmoins accessible à la mesure. D'autre part, Mars est caractérisée par la présence de calottes polaires, qui se subliment ou se condensent suivant le rythme des saisons. Cela entraîne des variations du moment d'inertie dit « polaire », et donc de la longueur du jour, que l'expérience NEIGE verra aussi très facilement. On pourra ainsi littéralement « mesurer » en termes de masse, les échanges entre les calottes polaires et l'atmosphère de la planète.

L'expérience NEIGE résulte d'une collaboration entre les équipes de l'Observatoire Midi-Pyrénées (Toulouse, France), de l'Observatoire Royal de Belgique (Bruxelles, Belgique), du Jet Propulsion Laboratory (Pasadena, USA), du Centre d'Etudes des Rayonnements Terrestres et Planétaires (Saint Maur des Fossés, France) et du Centre National d'Etudes Spatiales (Toulouse, France).

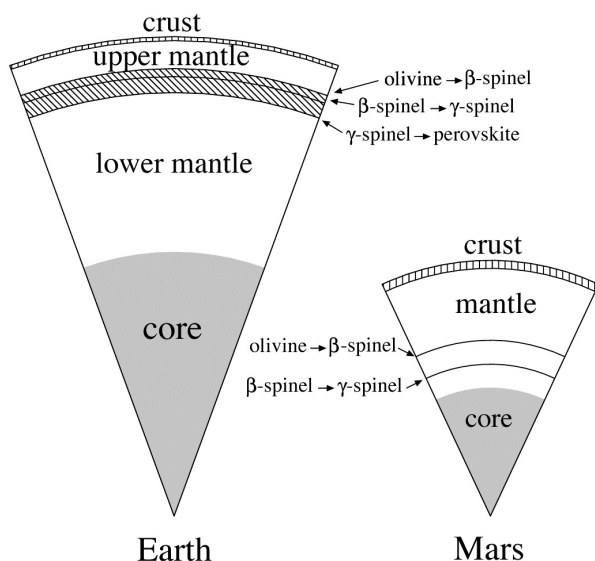


Fig. 4. Gauche: Structures comparées de la Terre et de Mars (structure interne supposée pour Mars), Droite: Mars et ses calottes polaires vues par le télescope spatial Hubble.

# International Space University (ISU)

Morla Milne

*International Space University, Parc d'Innovation, 1 rue Jean-Dominique Cassini,  
67400 Illkirch-Graffenstaden, France  
email: Milne@isu.isunet.edu*

**Abstract.** The International Space University (ISU) provides training for postgraduate space professionals in an international, inter-disciplinary and inter-cultural environment. This paper describes the ISU and its academic programmes and provides an account of the ISU experience by an African student who attended ISU in 2003.

**Sommaire.** L'Université Internationale de l'Espace (ISU) assure la formation des professionnels du secteur spatial ayant un niveau universitaire dans un environnement international, multidisciplinaire et multiculturel. Cet article décrit l'ISU et ses programmes académiques et relate son expérience à travers le récit de l'un de ses étudiants africains de 2003.

## Introduction

The International Space University (ISU) is an institution founded on the vision of a peaceful, prosperous and boundless future through the study of space for the benefit of all humanity. ISU specialises in the education of postgraduates and professionals to prepare them for work in the exciting and progressive space sector. Future leaders and influential thinkers need new skills and a global perspective to make them ready to meet the challenges lying ahead in a constantly evolving world. Using a 3-I educational philosophy (international, interdisciplinary and intercultural), ISU gives students a uniquely comprehensive picture of the space sector. They learn to manage all aspects of programs – scientific, engineering, economic, regulatory, political and organisational – and to appreciate the interactions among different disciplines, which is essential in order to approach the development and utilisation of space from a global perspective. ISU imparts this interdisciplinary knowledge and understanding. Developing teamwork, leadership and decision-making skills in a truly international environment is key to enabling professionals to cooperate efficiently in the preparation and implementation of multinational enterprises. These skills are key to enabling professionals to cooperate efficiently in the preparation and implementation of multi-national enterprises. ISU provides this international experience and expertise. Sharing different cultural backgrounds and learning to appreciate different approaches to solving problems and dealing with conflicting objectives are fundamental in preparing to live and work within a multicultural framework. ISU teaches this intercultural insight and open-mindedness.

Becoming an ISU student means:

- broadening knowledge in the exciting, progressive field of space;
- pursuing a profession or changing career emphasis in this sector;
- developing skills in international team-working, team-building and management; and
- joining an extensive and active international professional network.

## Academic Programmes

The International Space University (ISU) has two main programmes: the Summer Session Programme and the Master's Programme.

### Summer Session Programme

An intensive two-month postgraduate course, the Summer Session Programme (SSP) provides an overview of the various disciplines which comprise space studies including science, engineering, policy and law, business and management. A team project allows students to integrate their learning in these disciplines as part of an interdisciplinary, international and intercultural team. The geographic location of the SSP changes annually. The practical training is useful for early and mid-career professionals starting or changing emphasis in their space careers and for persons in other high technology fields or pursuits tangentially related to space such as medicine, journalism, law and business.

### Master's Programme

This leads to a Master of Space Studies (MSS) or a Master of Space Management (MSM).

An intensive twelve-month postgraduate programme, the Master's provides a broad education in all major space-related disciplines, expanding on specialist knowledge gained through traditional university undergraduate studies. It is based at the Central Campus in Strasbourg, France.



**Fig. 1.** The SSP 2003 Class at the "Space and the Environment" Exhibition at the Palais Universitaire, Strasbourg, France.

*"ISU is an institution which recognises the importance of interdisciplinary studies for the successful exploration and development of space. [It is] dedicated to international affiliations, collaboration, and open, scholarly pursuits related to outer space exploration and development [and] is a place where students and faculty from all backgrounds are welcomed; where diversity of culture, philosophy, lifestyle, training and opinion are honored and nurtured."*  
– ISU Credo

## ISU – Space Education for the Next Generation!

The International Space University is a place where the best in their careers and their fields of study are attracted. With astronaut Chiaki Mukai of JAXA (Japan Aerospace Exploration Agency), Jeff Hoffman, the NASA astronaut who repaired the Hubble Space Telescope, Drs. Ben Finney, Jim Dator, Michael Rycroft, Michel Bousquet, Sheryl Bishop and others, along with a host of dedicated permanent faculty staffers, it shows that the University must be doing something excellent!

Three visionaries founded ISU in 1987 on a three-I philosophy: International, Intercultural & Interdisciplinary. In her short history, ISU has mastered the art of being all-inclusive internationally and has become one of the best examples of a truly intercultural setting. Students and lecturers alike come from the East to the West: Russia, China, Japan, Canada, Europe and the United States; the world simply converges on ISU.

It is obvious the world has become small with globalisation. Day by day, with the continuous research and findings in the fields of nano-technology and advancement in mobile internet, the world gets smaller. As such, cultures systematically merge and nations that fail in being international in their outlook become isolated in the globally smaller world. ISU brings people together, irrespective of their ancestry, developed or developing, space-faring or space-dreaming, for a goal of a peaceful, prosperous and boundless future through the study, exploration and development of space for the benefit of all humanity.

All fields of study are welcome in ISU, but the individual must be space interested. At ISU, one's degree is space customised with courses including space physical sciences, space life sciences, space and society, space policy and law, space engineering, satellite applications and space system analysis and design. Engineers are given the understanding of the policy formulation/regulations behind satellite launches and space lawyers have the understanding of science behind the rockets. One is left with a broad understanding of space and its interdisciplinary nature and are part of the network of space professionals all around the earth and in orbit.

ISU co-ordinates two world-class programmes: the nomadic intense two months Summer Session Program (SSP) and the one-year Masters of Space Studies (MSS). The SSP is a vigorous programme, which has been held in Europe, Japan, North and South America and Asia. The 2005 Summer session will take place in Vancouver, Canada from 22 June to 24 August 2005.

In Strasbourg, during the summer of 2003, the Alsacian region was 'cosmified' by over 200 space professionals – students and lecturers alike. Time was scheduled for everything that makes for an excellent education. Receiving lectures from contemporary space experts/researchers and space pioneers are opportunities every student appreciates.

Workshops and professional visits to some of the industry's pride establishments are added advantages. From the astronauts' panel that involved five top astronauts from NASA, CSA, ESA, JAXA (NASDA) and the Russian Space Agency; to the Space Strategy for Europe Panel, with top-level people from the European, French and German space agencies and the European Commission, to the Space industry in Europe and the USA panel which saw top professionals from EADS, SNECMA, Lockheed Martin and the Boeing Company amongst others. These were highly informative, interactive and educational events for both ISU students and the general public. The robotic competition and the rocket launch were also highlights, along with the presence of a lunar sample collected by the first man on the moon, astronaut Neil Armstrong during the Apollo 11 landing.

It was through a scholarship opportunity that I was able to attend ISU. I was seeking funding and found out about the Jim and Lin Burke Scholarship through The Planetary Society. Though I applied for it with high hopes, I eventually received funding from the ISU Alumni Scholarship Fund. Only through this assistance was I able to attend.

For two months, a period I termed "orientation for my life", I met and worked with some of the soundest minds I have ever come across. From young but very matured and smart minds, like Yuki Takahashi, Su-Yin Tan and others to Peter Martinez (also a student), whom a friend honourably called the 3<sup>rd</sup> co-chair of his project group, for his awesome intellectual prowess and contribution. The fun-loving Scandinavians – remixing James Brown's, "I feel Good" in one of the social gatherings, the highly civilised Canadians and the great Americans, the Japan-crew, the Chinois, forward-looking people and high technology nations and the European friends who will stand the test of time – all were an important part of my experience! And, of course, 'developing' Africa was represented, and a special mention of my gentle friend, Aimad from Morocco. The diversity is demonstrated in real life teamwork on international topics with individuals from diverse backgrounds – culturally and academically. Within a tight timescale, they must produce a rich and influential team project report.

After completing the SSP, I wanted to continue my space education. I decided to remain in Strasbourg to follow the Masters of Space Studies (MSS), which is a one-year programme run on the University's ultra-modern permanent campus. The MSS programme lectures go even deeper into the 3-Is. Students are also given the opportunity of doing a three-month internship in space companies, organisations or agencies around the globe irrespective of one's origin. This gives students the opportunity of a real-life work environment, which serves as an individual project.

The main objective of ISU is building a barrier-free world and open-minded people. *Space: the Final Frontier. ISU: building the next-generation for Space!*

*Ayodele Faiyetole (Nigeria) is an SSP and MSS alumnus of the International Space University, France.*



# North-South Mediterranean Bridge-Building in Astroparticle Physics and F. Dyson as a Role Model for Scientists\*

J. Mimouni<sup>1</sup> and N. Guessoum<sup>2</sup>

<sup>1</sup>University of Constantine, Physics Department, Algeria

<sup>2</sup>American University of Sharjah, Physics Unit, UAE

email: <sup>2</sup>nguessoum@ausharjah.edu

**Abstract.** As a contribution to the Final Round-table of the Oujda Workshop on Astroparticle Physics, this article discusses the consequence of the fusion of astrophysics with particle physics on scientists of the “South”, on the one hand, and the role these scientists should be playing in educating their societies with regard to their own (advanced and often purely theoretical) research and its importance in the long term to human development, on the other hand. The article argues that astrophysicists and particle physicists of the South must first learn to widen our interests and horizons and not confine them to dangerously obscure areas. Along this line of thought, it calls on the “Northern” astroparticle community to help in achieving this goal. The second part of the article argues for a greater involvement of scientists, both in the North and South, in their societies to benefit both the general public and the scientists themselves.

**Sommaire.** Présenté comme une contribution à la Table-ronde Finale du Colloque de Oujda en Astrophysique des Particules, cet article discute, d’un côté, des conséquences de la fusion de l’Astrophysique avec la Physique des Particules sur les scientifiques du «Sud», et d’un autre côté du rôle que ces scientifiques doivent jouer dans l’éducation de leurs sociétés quant à leurs recherches (avancées et souvent purement théoriques). Selon la vision des auteurs, les astrophysiciens et physiciens des particules du «Sud» doivent d’abord élargir leurs intérêts scientifiques pour prendre compte de cette nouvelle fusion et collaboration entre ces deux domaines précédemment distincts; il faut donc surtout éviter de se confiner dans des sujets obscures. Dans cette optique, l’article appelle la communauté d’astrophysique des particules du «Nord» à l’aide en organisant, par exemple, des colloques dans les pays du «Sud», ou bien encore superviser un certain nombre d’étudiants en thèses du «Sud» dans les centres de recherche du «Nord». La seconde partie de l’article est consacrée au rôle que doivent jouer les scientifiques dans leurs sociétés. Les auteurs insistent sur une plus grande participation de leurs collègues dans les affaires qui touchent la science dans leurs pays, et cela dans l’intérêt du grand public, des responsables et des scientifiques eux-mêmes. Les auteurs rejettent comme un mythe l’argument selon lequel les scientifiques sont trop occupés à faire de la recherche; ils présentent tout simplement certains exemples de grands scientifiques du vingtième siècle qui furent en même temps des chercheurs de premier ordre et de grands éducateurs, communicateurs et popularisateurs de la science.

---

## A New Era in Physical Sciences

It is no exaggeration to state that physical sciences such as Astrophysics, cosmology and particle physics are developing and undergoing such a deep fusion that a new name has been coined: *astroparticle physics*. Physicists have long realised that the Universe is the largest laboratory one could ever dream of; however, only in the past decade have they actually started using it as such. They have now started effectively “running experiments” and taking data on particles and phenomena that used to be considered pure theory.

As sub-Mediterranean physicists, the authors of this modest contribution to the Oujda discussion wish to address the crucial question “How could/should this new situation impact on the way particle physicists in the Maghreb, Arab, and even wider ‘third world’ regions practice their research?”

## Taking Heed of Where the Action Is

The first point we wish to make is that we and our colleagues have some serious in-house reordering to undertake. As a preliminary step, we believe there is a pedagogical, didactical task to be performed, namely that of informing our high energy community, the theoretical physicists, and even the

nuclear physicists, that a whole new field has opened up and that it is in their best interests to move in that direction.

There is, indeed, a noticeable feature of Maghrebian particle physics that is particularly true for Algeria, namely that due to the relative scientific isolation from which they suffer, scientists tend to steer their research toward more and more theoretical bearings. As an example of this “escalation in abstruseness” we cite the case of the theoretical physics department at Constantine University, where a number of physicists have taken the SUSY-Superstring train, then headed toward quantum algebra, leading them to non-commutative geometry, and more recently, to non-associative geometry. Research in general relativity has turned to the non-symmetric gravity of Moffat *et al.*, when even Moffat himself has given up on it. And, needless to say, there is not a single experimental particle physicist on duty

There is, of course, nothing wrong with researching theoretical particle physics *per se*, only that the number of researchers in this area compared to those in particle astrophysics could be compared to the proportion of dark matter to ordinary baryonic matter.

Clearly, theoretical particle physicists south of the Mediterranean Sea must take heed of the fact that particle astrophysics has opened up new horizons with a multitude of applications capable of fertilising particle physics. And, if this scientific argument is not strong enough, we can convince everyone by pointing out that this new field is also where

---

\*Contribution to the Round-Table NATO Advanced Research Workshop on Astroparticle Physics, Oudja 2001.

research money, positions and collaboration are to be found. To sum it up, it is where the excitement and the action are.

### **A Plea for More Involvement and More Support**

If we wish to help this redeployment of particle physics towards particle astrophysics in the Maghreb the way it has already taken place in Europe, it is important to have more physicists from these countries participate in workshops and conferences on the subject. To be more specific, we would like to see more of Oujda-like meetings in one of the Maghrebian countries every two to three years.

Last but not least, if we are to constitute a group of critical size in particle astrophysics in our countries, it is crucial that some of our advanced students be given an opportunity to do their research theses in European centres. It is often difficult for young researchers engaged in a new field to find proper scientific guidance at their home institutions. The time they would spend abroad doing high-level research and interacting with top scientists in their fields will be crucial to the beginning of their careers.

We wish to point out that in our countries, students in theoretical physics are usually among the smartest and best-motivated students who can reach high levels of achievement. Of course, providing financial support for such short- or long-term visits may be a delicate matter (often such internship funds are available only to Europeans), but if we are to turn into reality this good intention of rearing a Maghrebian astroparticle research community and programme, we will have to be bolder and more imaginative in finding sources of support. Just like an east-west logic for science support was found after the fall of the Berlin Wall, a north-south solution should be sought, with the integration of both banks of the Mediterranean lake in our common scientific endeavours being a strong incentive.

### **Science and Society: F Dyson as a Role Model for Both North and South Scientists**

Another important issue we would like to raise and emphasise is the role of scientists in our societies: a role that must be multidimensional and not just confined to producing papers.

Scientists everywhere, but even more so in the developing countries, must first listen to their societies and their needs and then respond with adequate, informed, visionary proposals

that seek not only to enlighten the society in general, but also to lead it to higher levels of development in all areas.

We certainly cannot do justice to the topic of science and society in developing countries in just a few paragraphs, but we wish to stress that scientists cannot logically complain that their societies “ignorantly” refuse to support research and development while they make little effort to explain why what they do is important and how they can truly be of use to their societies’ current needs.

We have often heard the argument that scientists “have no time to waste” explaining research, human development and proper science policies, because they are “too busy” actually producing science. We have also heard (from scientists, unfortunately) that researchers must choose between being at the forefront of research and being active in communicating science and advising society in various ways.

Fortunately, we have many examples from the 20th century to prove the contrary. We would like to present just one such role model of a great science communicator, scientist, humanist, thinker and advisor to society at large, Freeman Dyson, very appropriately here since he is from our own field of astroparticle physics.

Although Dyson never received more than a Bachelor’s degree, he has been one of the most highly respected physicists for the last half century; indeed he has received at least 17 honorary degrees from universities such as Oxford and Princeton, as well as prestigious awards (the Hughes Medal, the Max Planck Medal, the Wolf Prize, and the Enrico Fermi Award).

What is more is that in parallel to a sterling career of scientific contributions and achievements, Dyson dedicated a major part of his life to informing the public about the various trends science was taking in every decade. His books, from “Disturbing the Universe” and “Weapons of Hope” to most recently, “The Sun, the Genome, and the Internet”, have all been influential and popular. In addition, he never stopped lecturing; indeed many of his powerful contributions to humanity have come from lecture series later published as books, for example “Infinite in All Directions” and “Imagined Worlds”.

Needless to say, Dyson fully deserved the Britannica Award for dissemination of knowledge (1990) and the Templeton Prize for Progress in Religion (2000). More importantly, Dyson has shown how a scientist can be in tune with his society and with humanity and how we can truly be prophets of our times.

# Centre Régional de Télédétection des Etats de l'Afrique du Nord (CRTEAN)

Rachid Abidi

*Centre Régional de Télédétection des Etats de l'Afrique du Nord (CRTEAN),  
55, Av. Mouaouia Ibn Abi Sofiane, El Menzah 6, 1004 Tunis, Tunisie  
dg.crtean@crtean.intl.tn*

**Sommaire.** La création en octobre 1990 du Centre Régional de Télédétection des Etats d'Afrique du Nord (CRTEAN) reflète la volonté de ses différents Etats Membres de disposer d'un organe de coordination et d'échange de savoir-faire ainsi que de valorisation des potentialités existantes dans la sous région, et ce dans les domaines de la télédétection, des Systèmes d'Information Géographique, de la Cartographie ainsi que de leurs applications. L'organisation du CRTEAN, ses missions ainsi que son programme d'activités reflètent un souci constant d'assurer une complémentarité utile et efficace dans les domaines sus cités, dans l'intérêt de ses Etats Membres.

**Abstract.** The creation of the "Centre Régional de Télédétection des Etats de l'Afrique du Nord" (CRTEAN) in October 1990 reflected the will of its different member states to have a structure for coordination and exchange of know-how, and also for validation of existing capabilities in the sub-region in the fields of remote sensing, GIS, mapping and their applied activities. The organisation of the CRTEAN, its missions and its programme of activities illustrate CRTEAN's continuous mandate to assure a useful and efficient complementarity in the above fields for the benefit of its member states and associated members.

## Creation

Le Centre Régional de Télédétection des Etats d'Afrique du Nord, par abréviation « CRTEAN », a été créé le 06 octobre 1990 après signature de son Acte Constitutif par la plupart des Etats concernés, à savoir: l'Algérie, la Libye, le Maroc, la Mauritanie, la Tunisie; l'Egypte et le Soudan ont adhéré respectivement en novembre 2001 et mars 2002.

Cette création répondait aux recommandations de la réunion extraordinaire des Plénipotentiaires de l'Organisation Africaine de Cartographie et de Télédétection (OACT) tenue à Alger en mai 1989 et à celle des Etats de l'Afrique du Nord à Tunis en octobre 1989.

Le CRTEAN constitue l'un des centres régionaux spécialisés de l'OACT. Il jouit au pays de son siège (Tunisie), des privilèges et immunités dévolues aux organisations internationales.



Fig. 1. Siège du CRTEAN.

## Organisation

Le CRTEAN se compose des organes suivants:

**Le Conseil d'Administration:** organe suprême, il est constitué des représentants des différents Etats Membres qui disposent chacun d'un droit de vote, ainsi que des représentants:

- de la Commission Economique des Nations Unies pour l'Afrique (CEA);
- de l'Organisation de l'Unité Africaine (OUA);
- de la Ligue Arabe;
- de l'Organisation Africaine de Cartographie et de Télédétection (OACT),

ainsi que des représentants d'organismes associés et d'institutions internationales (UNESCO, ALECSO etc.).

Parmi les attributions du Conseil d'Administration, nous citerons:

- l'élaboration de la politique régissant les activités du Centre;
- la nomination du Directeur Général et des hauts fonctionnaires;
- l'examen et l'approbation des programmes d'activités et du budget;
- la fixation des taux de contributions annuelles des Etats Membres.

**La Direction Générale:** organe exécutif, elle est constituée d'un Directeur Général assisté:

- d'un expert chargé des activités scientifiques et techniques;
- d'un Responsable administratif et financier;
- d'un chargé de l'exploitation et de la gestion de la documentation,

nommés par le Conseil d'administration pour des mandats à durée déterminée.

Le Directeur Général est le seul représentant du droit du Centre. Il nomme les fonctionnaires autres que ceux désignés par le Conseil et s'assure de la gestion de l'institution.

**Le Conseil Scientifique:** organe consultatif, son rôle est de formuler les recommandations nécessaires à la réalisation du programme scientifique du Centre.

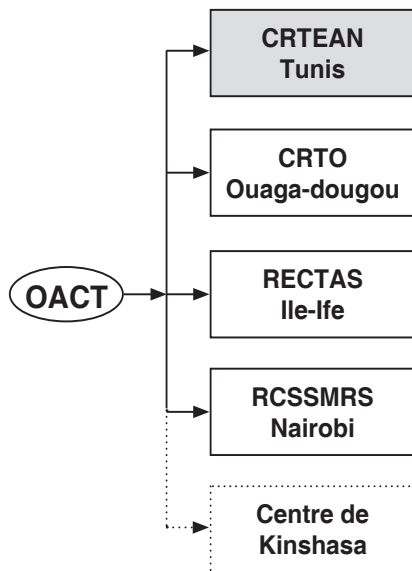


Fig. 2. Position du CRTEAN à l'échelle Africaine.

### Missions

La vocation première du Centre est d'assurer une complémentarité utile et efficace par rapport aux différentes institutions nationales spécialisées des Etats de l'Afrique du Nord.

Chargé de promouvoir, encourager, coordonner, harmoniser et assister les politiques des Etats Membres en matière de télé-détection et Système d'Information Géographique, le CRTEAN exécute, pour atteindre ses objectifs, les missions suivantes:

- Favoriser la mise en place de projets régionaux en télé-détection appliquée et assurer la coordination en vue d'améliorer l'exploitation, l'inventaire et la mise en valeur des ressources naturelles nationales;
- Permettre l'accès des Etats Membres à toutes les techniques de Télédétection et assurer la coordination de la formation continue et de haut niveau en la matière;
- Susciter et veiller à la prise en charge, en collaboration avec les organismes coopérant, des actions de formation continue et de formation de haut niveau pour les ressortissants des Etats membres ainsi que l'organisation aux niveaux, national et régional, de conférences, séminaires, expositions traitant de tous les aspects liés à la télédétection;
- Agir auprès des organisations internationales, régionales et autres organismes coopérants, pour être nécessairement et efficacement associé à la coordination des actions et projets d'intérêt communs visant les territoires des Etats Membres;
- Promouvoir le développement des activités de Télé-détection dans les Etats Membres et les encourager

à créer des structures nationales spécialisées en la matière;

- Encourager l'établissement de relations étroites entre les Etats Membres dans les domaines de la Télédétection, aux niveaux bilatéral et multilatéral, et promouvoir dans ce contexte les échanges du personnel et de savoir-faire.

Une des récentes décisions prises par le Conseil d'Administration, à la lumière des résultats enregistrés, a été d'étendre les prérogatives du Centre, au-delà de la télédétection proprement dite, à la cartographie de base, la cartographie thématique et aux grands thèmes liés à la protection de l'environnement, la connaissance et le suivi des différents écosystèmes naturels ainsi que le développement durable.

### Programme d'Activites

Il couvre trois chapitres essentiels:

- maîtrise de l'outil
- développement de l'aspect thématique;
- formation – information.

#### Maîtrise de l'outil

Dans ce chapitre, l'objectif du CRTEAN est de fournir un état de l'art sur toutes les questions se rapportant à la télédétection et aux Systèmes d'Information Géographique. L'action porte sur la recherche de produits nouveaux liés à la connaissance, la compréhension et l'évaluation des méthodes et programmes de traitement d'images satellitaires et des SIG, avec un accent sur les produits à caractère didactique.

Les relations de partenariat ou de coopération entretenues par le Centre avec les pôles d'intérêt extérieurs de conception et/ou de recherche constituent un des moyens pour atteindre son objectif.

Ainsi, chaque année, le CRTEAN diffuse aux Etats Membres un certain nombre de produits sous différents supports (CD-disquettes) concernant:

- des logiciels de traitement d'images satellitaires pour évaluation ou pour exploitation;
- des Programmes SIG;
- des bases de données sur les couvertures des satellites météorologiques ou d'observation de la terre;
- des bases de données sur les applications SIG;
- des programmes descriptifs des nouveaux systèmes de satellites, de leurs capteurs et de leurs applications.

Par ailleurs, le CRTEAN travaille actuellement sur la réalisation d'un lexique de traduction simultanée des termes de télédétection et de photogrammétrie, dans les trois langues: Arabe, Français et Anglais.

#### Développement de l'aspect Thématique

Ce volet couvre les thèmes d'intérêt de la sous région Afrique du Nord, qui font appel aux techniques de télédétection et présentant des incidences économiques évidentes.

L'objectif du CRTEAN est d'encourager la création de projets régionaux d'étude ou de recherche et d'en assurer la coordination, ainsi que l'harmonisation des approches méthodologiques.

Un important projet dont le CRTEAN a assuré la mise au point concerne le suivi de la dynamique de la désertification en zones arides et semi-arides d'Afrique du Nord à partir des données satellitales (projet Suddan). Celui-ci s'inspire des différents projets nationaux établis par chaque pays de la sous-région, et propose un ensemble de sites d'études complémentaires au niveau des facteurs prépondérants de désertification ainsi qu'une approche harmonisée.

Dans ce cadre, il faut signaler que le CRTEAN s'est impliqué à la mise en œuvre de la Convention Internationale de lutte contre la désertification des Nations Unies (CCD), à travers le plan d'Action sous régional (PASR) pour l'Afrique du Nord, en accord avec l'OACT et le Secrétariat Général de l'UMA, dépositaire de la Convention.

Un autre projet, inscrit dans son nouveau programme, a trait à la réalisation d'une carte à petite échelle (1/2.500.000) portant sur la répartition des aires forestières en Afrique du Nord.

Par ailleurs, le CRTEAN est impliqué dans la mise en œuvre d'autres projets sous régionaux ou régionaux, tels "AFRICOVER" de la FAO.

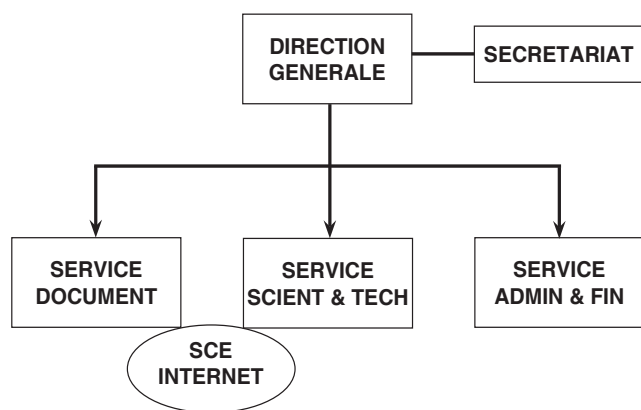


Fig. 3. Organigramme du CRTEAN.

### Formation – Information

**Formation:** l'objectif du CRTEAN est de bénéficier de possibilités de formation de courte et moyenne durée (bourses, prises en charges) auprès de centres d'excellence intra ou extra régionaux, au profit de la communauté scientifique des Etats Membres.

Ainsi, des accords de coopération existent entre le CRTEAN et l'Université Internationale de l'Espace "ISU" de Strasbourg, le Groupement pour le Développement des Techniques Aérospatiales (GDTA) de Toulouse, le Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS) français, ainsi qu'avec les divers centres de recherche et de formation des Etats Membres (CNTS-Algérie, CRTS-Maroc, CNT-Tunisie, SDL-Libye).

Afin de mettre en valeur les potentialités intellectuelles existantes dans notre sous-région, le CRTEAN a entrepris la réalisation d'un annuaire des institutions nationales d'Afrique

du Nord versées dans l'utilisation des données satellitales et des SIG pour l'étude et le suivi des milieux.

**Information:** l'objectif du CRTEAN est de créer une véritable synergie entre les Etats Membres, en matière d'échange d'informations scientifiques et de savoir-faire.

Ainsi, il a à son actif:

- l'édition chaque semestre d'un recueil d'informations scientifiques et techniques subdivisé en trois parties : Télédétection – SIG & Cartographie – Applications;
- la publication, avec le soutien de l'UNESCO, de la "Lettre du CRTEAN", dont les deux premiers numéros, accompagnés de leurs numéros spéciaux, ont été consacrés respectivement au suivi de la désertification, ainsi qu'aux ressources en eau en Afrique du Nord.

Le CRTEAN organise aussi, en coopération avec ses partenaires, des journées scientifiques sur les nouvelles méthodes de traitement cartographique.

### Organisation Fonctionnelle

Soucieux de jouer pleinement le rôle qui lui a été dévolu par ses Etats Membres, le CRTEAN s'est doté des moyens nécessaires pour optimiser ses activités et son rendement. Ainsi, il dispose de structures appropriées:

- un service des activités scientifiques et techniques, pourvu de moyens informatiques adéquats: Pentium III, Monitor 17 "et 29", imprimante, graveur de CD, et disposant des originaux des programmes et logiciels acquis, sous différents supports (CD ou disquettes);
- un service Internet et courrier électronique, muni des moyens informatiques pour la recherche, l'exploitation et le stockage d'informations scientifiques: PC, Imprimante couleur.
- un service de documentation constitué d'un fond documentaire (périodiques et ouvrages) spécifique, enrichi régulièrement. Ce service dispose aussi de moyens informatiques appropriés: Pentium II, Scanner, Imprimante couleur.

Un service des activités administratives et financières ainsi qu'un secrétariat de direction générale assurent le soutien complémentaire pour le bon fonctionnement.

### Conclusion

En dépit de moyens limités, le Centre Régional de Télédétection s'enrichit des Etats d'Afrique du Nord a pu de nouvelles structures fonctionnelles qui ont contribué à optimiser ses activités, conformément à ses attributions et ce, dans l'intérêt de ses Etats Membres.

Sa volonté de s'ouvrir à l'environnement intra et extra régional lui a permis de se faire connaître et de contribuer à valoriser les potentialités intellectuelles existantes dans notre sous-région.

# The Launch of NigeriaSat-1

Francis D Chizea

*National Space Research and Development Agency, Nigeria.  
email: fchizea@nasrda.gov.ng*

**Abstract.** This article describes the structure and operation of NigeriaSat-1, launched on 27 September 2003.

**Sommaire.** Cet article décrit la structure et le fonctionnement du satellite NigeriaSat-1 mis en orbite le 27 septembre 2003.

## Introduction

In recognition of the need to have a coordinated and focused space programme, the Federal Executive Council of Nigeria at its meeting in May 2001 approved the National Space Policy and Programme. The vision of the policy is to make Nigeria build indigenous competence in developing, designing and building appropriate hardware and software in space technology as an essential tool for its socio-economic development and enhancement of the quality of life of its people.

The Federal Executive Council at its meeting on 13 October 1999 approved the design, building and launch of a microsatellite for earth observation (NigeriaSat-1). The Ministry of Science and Technology on behalf of Government signed the contract for the building of NigeriaSat-1 with Surrey Satellite Technology Limited (SSTL) of the United Kingdom on 7 November 2000.

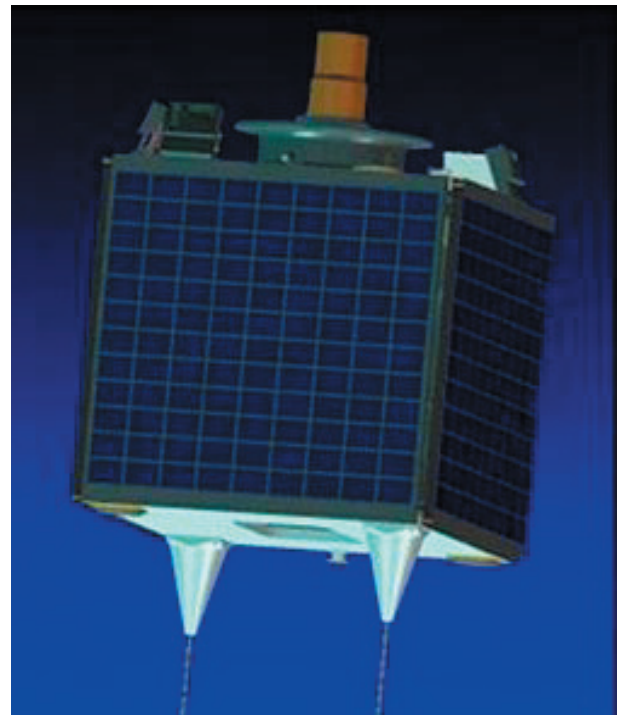
The 98-kg microsatellite which was jointly designed and built by a team of engineers from SSTL and Nigeria was launched into a 686-km Sun-synchronous orbit on 27 September 2003 at 7.07 GMT on board a Cosmos launch vehicle from Plesetsk, Russia.

The first command issued from the Mission Control ground-station was to turn on the spacecraft two hours after launch. All subsystems were turned on and tested during subsequent passes of the spacecraft over the groundstation. All subsystems are working perfectly.

NigeriaSat-1 carries an imaging payload that provides satellite images of 32-m resolution with a swath width of 600 km using push-broom scanning in three spectral bands (red, green and near infra red) and 3–5 days revisit and a daily revisit when in constellation with four (4) other satellites.

The spacecraft is equipped with two 0.5 Gbyte solid state data recorders for data storage during imaging and a main receiver frequency (RF) downlink at S-band frequencies with a data rate of 8Mbps using store and forward communications. A 3.7-m dish Mission Control Ground Station manned by Nigeria is installed in Abuja for the telemetry, telecontrol and command of the spacecraft.

On-board power generation is provided by body-mounted solar arrays when the satellite is in the sunlight, and by a NiCd



**Fig. 1.** NigeriaSat-1.

battery pack when in eclipse. It also carries a butane propulsion system (designed to last for a minimum of five years) which provides a minimum delta-V of 12m/s for orbital corrections and maintenance.

It also has a space-borne Global Positioning System (GPS) receiver for orbit determination. A combination of sun sensors, magnetometres, magnetorquer rods, reaction wheels and a 6-meter gravity gradient boom comprises the Attitude Determination and Control Systems.

On-board data processing is done by the two on-board computers with the core on-board telemetry and telecommand handled via a Controller Area Network bus.

Image download from the spacecraft is processed from low-level data (bits and bytes) into full false colour images and made available to users in soft copy. Data interpretation involves further analysis by professionals to meet specific applications.

## **Know How Technology Training**

The contract for the building of the NigeriaSat-1 also included the training of fifteen Nigerian scientists and engineers in a Know How Technology Training (KHTT) Programme.

The KHTT programme involved fifteen months of intensive training in the design and building of all subsystems of the NigeriaSat-1 spacecraft. The training will enable them to design and build subsequent generations of satellites with only minimal supervision.

Training was completed in April 2003 and all the trainees have returned to Nigeria and are presently deployed to the Center for Satellite Technology Development, Abuja, where the NigeriaSat-1 Mission Control Centre is located.

## **Disaster Monitoring Constellation Consortium**

The Disaster Monitoring Constellation (DMC) consortium is a novel international partnership between Nigeria, the United Kingdom, Turkey, Algeria, China, Vietnam and Thailand. Each of the DMC partners is to provide a spacecraft with almost identical configuration to work in a constellation. The constellation would provide a global coverage and daily revisit with provision of real time data. Only four of the DMC satellites are in orbit presently, namely:

- Alsat 1 – belonging to Algeria
- NigeriaSat-1 – belonging to Nigeria
- UK-DMC – belonging to UK
- Bilsat-1 – belonging to Turkey

The other satellites of the DMC will join the constellation soon.

Nigeria's collaboration in the DMC will enable her to acquire advanced micro-satellite technologies for business opportunities, such as low-cost low Earth orbit (LEO) micro-satellite technology, constellation technology and remote-sensing satellite technology. Low-cost microsatellite technology with constellation technology is considered to be the future technology of space in the coming decades and for the provision of commercial business opportunities.

Through the Nigeria-United Kingdom collaboration in LEO microsatellite and the DMC arrangement, Nigeria will be able to have national independence, accessible, inexpensive, flexible and dynamic remote-sensing capabilities. It will stimulate remote-sensing applications for agriculture, the environment,

water management and oil pipeline monitoring amongst other things. In particular, Nigeria will have access to dynamic remote-sensing capabilities which many super-space powers and developed countries do not have. This capability could also generate income for the Nigerian space industry.

The spatial and multi-spectral resolutions of the images provided by DMC satellites are similar to those of LANDSAT; however, the DMC satellites provide higher temporal resolution and shorter revisit time than that of LANDSAT. The DMC satellites are able to provide daily images in contrast to LANDSAT which provides images every seventeen days. Thus, the DMC satellites' data will have very good commercial value.

The DMC technology will initiate a new market for dynamic remote-sensing applications, for example, monitoring fast changing phenomena on Earth. The DMC would make operational remote sensing services possible because of its short revisit time.

Without sharing of assets, each partner would only have one receiving ground station and one satellite, allowing only a maximum of 236 000 images over 5 years. The potential for co-operative use of the DMC satellite's data with a maximum of 1.2 million images in the same period, facilitated by daily revisit frequency, is overwhelming. The revenue generated by the commercial sales of the DMC data can be used to offset the cost of the next satellite for a sustainable national space programme.

Since inception, the DMC has held four meetings. The first meeting was held in December 2001 in the United Kingdom, the second in Algeria in April 2002, the third in Nigeria in April 2003 and the fourth in Turkey in November 2003.

The DMC has reached the following agreements:

- Commitments to working in constellation;
- Coordinated operations of the DMC satellites;
- The phasing of the DMC satellites into the same orbit;
- Provision of 5% of total DMC capacity or data for disaster monitoring and management at no charge;
- Sharing of ground stations and the space segment between partners.
- To set up a constellation operation infrastructure implemented by individual partners with capability by April 2004;
- In principle, agreement on a central sales process and exploration of the market; and
- To explore how to raise funds to cover constellation coordination set up costs.

# The Baldwin Effect: Broad Emission Lines from the Surface of Accretion Disks Around Quasars

Brian C. Jones

Department of Applied Mathematics, National University of Science and Technology,  
P.O. Box AC939, Ascot, Bulawayo, Zimbabwe  
email: bjones@nust.ac.zw

**Abstract.** The Baldwin effect, the negative correlation between the equivalent width of emission lines and continuum luminosity, is investigated for a sample of low-redshift quasars in terms of an accretion disk model. The inclination angle of the disk is estimated using the observed ultra-violet and X-ray luminosities, assuming that the X-ray luminosity is isotropic. The fitting of the model leads to the conclusion that the Ly  $\alpha$  emission line radiation originates in both clouds around the central source and the accretion disk surface. The model predicts that this Baldwin effect should be more pronounced in lower mass objects, as the contribution of the disk component increases with increasing mass.

**Sommaire.** On étudie l'effet Baldwin dans lequel la largeur équivalente des raies d'émission est inversement corrélée à la luminosité du continuum, dans le cas d'un échantillon de quasars de faibles *redshifts*, en considérant un modèle de disque d'accrétion. Pour estimer l'angle d'inclinaison du disque on utilise les luminosités observées en ultraviolet et en rayons X, en supposant que la luminosité en rayons X est isotrope. Le modèle permet de conclure que la radiation de la raie d'émission Ly  $\alpha$  provient de deux nuages situés autour de la source centrale et la surface du disque d'accrétion. Le modèle prédit que cet effet Baldwin pourrait être plus prononcé dans les objets de masse plus faible, puisque la contribution de la composante disque croît avec une masse croissante.

## Introduction

Quasars and active galactic nuclei are generally thought to be fuelled by accretion of material into a supermassive black hole at the centre of a galaxy<sup>[16]</sup>. The energy released during the accretion is released as radiation across the frequency range, from high energy X-rays to radio. With the general rotation of material within the galaxy, it might be expected that the inflowing material forms an accretion disk around the central black hole, but the spectrum of continuum radiation produced does not fit the approximately flat spectrum up to ultra-violet frequencies predicted by the standard accretion disk model<sup>[18]</sup>, being a power-law of index approximately one from infra-red to ultra-violet frequencies or even to X-ray frequencies. However, there is an indication that the inflow is not spherical, with the presence of directed jets of outflowing material<sup>[11]</sup>, and with the discovery of the Big Blue Bump<sup>[12]</sup> in the near ultra-violet. This latter blackbody-like emission does seem consistent with that expected from an accretion disk<sup>[10]</sup>. Another characteristic of the spectra of quasars and other active galactic nuclei are the strong broad emission lines, indicating velocities of several thousand kilometres per second. These are generally thought to be caused by the photo-ionisation of material in a region outside the main source of the continuum radiation, though the line ratios observed are not consistent with simple photoionisation models<sup>[6]</sup>. Of particular interest is whether the emission lines are produced in clouds which are distributed approximately spherically around the continuum source or whether they are produced on the surface of the accretion disk. In the former case, the clouds would be moving randomly with velocities of the order of the escape velocity at the radius so that they would not all move outwards or fall towards the central object. In the latter case, the material would be rotating in approximately Keplerian orbits, with gravity being balanced by centripetal forces. The ionising photons would either be intercepted directly from the central 'bulge'<sup>[2]</sup> or they could be scattered back by a relatively hot medium surrounding the central object<sup>[9,15]</sup>. Osterbrock<sup>[15]</sup> ruled out a pure disk model for the

emission lines due to the absence of quasars with very narrow emission lines. However, many authors have investigated disk models or models where the clouds may have originated from material breaking away from the disk<sup>[5,6,4]</sup>. Rudge & Raine<sup>[17]</sup> have convolved the observed distribution of line widths with the distribution of quasar X-ray luminosities to infer that the distribution may be consistent with that expected from an accretion disk model. Brotherton and Wills<sup>[3]</sup> concluded that the line profiles themselves are best explained in terms of a two-component model.

We assume, as seems likely from observation, that the majority of the optical and ultra-violet continuum radiation originates from the accretion disk, in the form of the Big Blue Bump. The remainder of the continuum radiation, probably produced by some non-thermal process, is assumed to originate in the central region around the black hole.

There is considerable variation observed between the many quasars observed, in terms of the relative strengths of their emission lines and in their continuum spectra<sup>[19]</sup>. If quasars are represented by a model similar to that shown in Figure 1, we would expect variation in the spectrum produced primarily because of varying black hole mass and accretion rate. Unfortunately, neither of these is observable, though the luminosity produced will be directly related in some way to

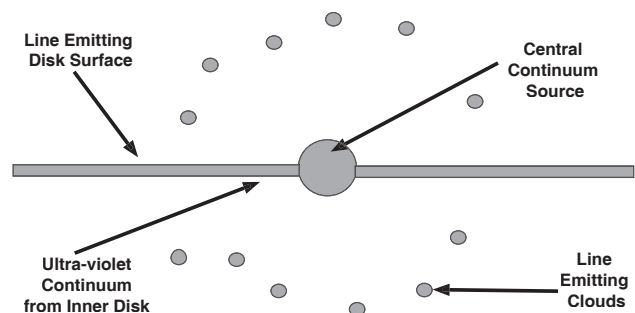


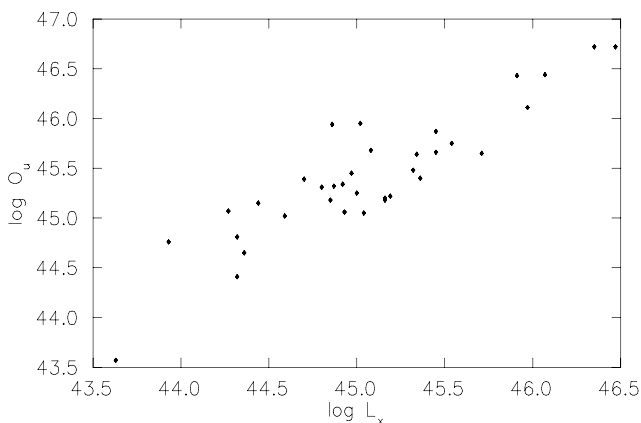
Fig. 1. A schematic diagram of the accretion disk model.



them. The radiation produced may also depend on the angular momentum of the accreted material – it may, for example, determine the number and properties of line producing clouds. The spectrum we observe will also be influenced by the history of the object, in particular how much material surrounds it, and by the inclination angle at which we view it. It is this latter effect, together with varying black hole mass, that is investigated in this paper. To do so we use the data on a sample of 41 low-redshift quasars reported in Wilkes et al.<sup>[19]</sup>

### The Inclination Angle

Several relationships have been identified between the emission line and continuum properties of quasars<sup>[17]</sup>. Generally, the continuum luminosities in the different regions of the spectrum correlate with each other, e.g. objects with high ultra-violet luminosity tend to have high X-ray luminosity (Fig. 2). There are similar expected correlations between the equivalent widths and between the widths of various emission lines. The correlation of particular interest is the Baldwin effect, first noted by Baldwin<sup>[1]</sup>, where the equivalent width of several emission lines is inversely correlated with the ultra-violet continuum luminosity, whereas a simple photo-ionisation model would predict no correlation. Netzer<sup>[13,14]</sup> has explained this effect in terms of a model where the ultra-violet ionising continuum originates from the accretion disk, but the emission lines come from clouds distributed spherically. In this paper, we investigate the effect for the Ly  $\alpha$  line. If we are viewing the approximately flat disk at a large angle to the perpendicular to the disk,  $\theta$ , we will see much weaker disk radiation due to the change of projected surface area and limb darkening. We assume simply that the intensity varies as the cosine of the angle. However, the clouds will be distributed above the disk and should give roughly equal radiation in all directions. Similarly, radiation from the central, probably more spherical, region should radiate approximately isotropically.



**Fig. 2.** Relationship between the observed ultra-violet luminosity and the X-ray luminosity.

The equivalent width of an emission line is the ratio of the line luminosity to luminosity per unit wavelength at the same wavelength.

If we consider the effect of variation in viewing angle and assume that the intensity of radiation from the disk varies as  $\cos \theta$ , then  $O_{uv} = 2L_{uv} \cos \theta$ , where  $O_{uv}$  is the continuum luminosity per unit frequency (at a frequency close to that of the Ly  $\alpha$  line) from the disk, inferred assuming spherical symmetry, and  $L_{uv}$  is the actual continuum luminosity per unit frequency from the disk.

If we assume, as seems likely from observation, that the region of spectrum in the ultra-violet region of the spectrum is dominated by radiation from the disk, then, multiplying by frequency,  $O_u = 2L_u \cos \theta$ , where  $O_u$  is the ultra-violet luminosity, inferred assuming spherical symmetry (as given in Wilkes et al.<sup>[19]</sup>) and  $L_u$  is the actual ultra-violet luminosity.

We do not know  $L_u$ , but we expect it to be principally a function of the mass of the black hole and the accretion rate. We now assume that the primary causes of variation in the observed luminosities are the inclination and the black hole mass; essentially we are assuming that the accretion rate is approximately a constant multiple of the black hole mass. We also assume that the X-ray luminosity is a measure of the black hole mass – it is likely to come from the central, probably more spherical, regions of the source<sup>[7]</sup>.

Hence  $L_u = f(L_x)$ , which we approximate as  $L_u = kL_x^\alpha$  over the limited range of observed X-ray luminosities and

$$O_u = 2L_u \cos \theta = 2kL_x^\alpha \cos \theta$$

Since we do not then expect the inclination angle to be a function of X-ray luminosity, regressing  $\log O_u$  on  $\log L_x$  gives us an estimate of  $a$  as 0.89.

The graph of  $\log O_u$  against  $\log L_x$  is shown in Figure 2. Hence, we can estimate  $\cos \theta$  for each object, choosing  $k$  such that the mean value of  $\cos \theta$  is  $1/2$ .

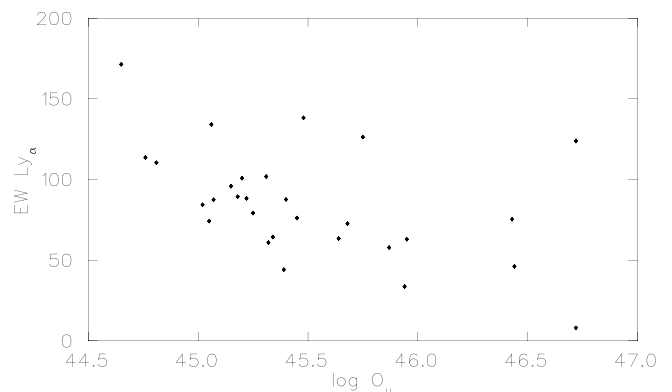
### The Baldwin Effect

The Baldwin effect, the negative correlation between the equivalent width of many quasar emission lines and the continuum luminosity in the optical and ultra-violet was first noticed by Baldwin<sup>[1]</sup>. The equivalent width for the Ly  $\alpha$  line in the sample of Wilkes et al.<sup>[19]</sup> is plotted against  $\log O_u$  in Figure 3.

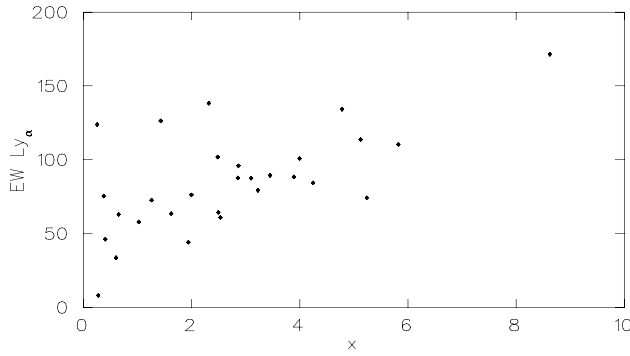
The best-fit line is given by

$$EW \text{ Ly } \alpha = \beta_1 - \beta_2 \log O_u$$

with values (and standard errors) for the coefficients  $\beta_1$  and  $\beta_2$  of 1463.2 (487.5) and 30.4 (10.7), respectively, which are significantly different from zero, but with an explained sum of squares of only 21.1%.



**Fig. 3.** The Baldwin Effect: negative correlation between equivalent width and ultra-violet continuum luminosity.



**Fig. 4.** Ly  $\alpha$  equivalent width against the predictor variable  
 $x = L_x^{-0.6} \sec \theta$ .

We consider a model where the optical/ultra-violet continuum near the Ly  $\alpha$  frequency is dominated by radiation from the accretion disk, again assuming that the intensity of radiation from the disk varies as  $\cos \theta$ , but where the Ly  $\alpha$  radiation comes from both clouds distributed approximately spherically around the black hole and from the surface of the disk.

The equivalent width, the ratio of the observed line luminosity to the continuum luminosity per unit wavelength at that frequency, will then be given by

$$EWLy\alpha = \frac{O_l}{O_\lambda} = \left( \frac{c}{v^2} \right) \frac{O_l}{O_v} = \lambda \frac{O_l}{O_u},$$

where  $O_l$  is the Ly  $\alpha$  luminosity from Wilkes et al.<sup>[19]</sup>, assuming spherical symmetry,  $O_\lambda$  is the continuum luminosity per unit wavelength at the line wavelength,  $\lambda$ , and  $O_v$  is the continuum luminosity per unit frequency at the line frequency.

Now,  $O_l = L_{l1} + 2L_{l2} \cos \theta$  where  $L_{l1}$  is the isotropically emitted Ly  $\alpha$  luminosity from the clouds and  $L_{l2}$  is the Ly  $\alpha$  luminosity from the disk surface.

We write  $L_{li} = f_i L_u$ ,  $i = 1, 2$ , as we expect the Ly  $\alpha$  luminosity from both the clouds and the disk to be related in some way to the ionising luminosity and hence to the ultra-violet luminosity. Then, since  $O_u = 2L_u \cos \theta$  we have:

$$EWLy\alpha = \lambda \left( \frac{f_1}{2} \sec \theta + f_2 \right).$$

We can consider the factors  $f_i$  to consist of two components,  $f_i = \alpha \beta_i$ . Firstly, we write the effective ionising luminosity as  $L_{ion} = \alpha L_u$ . In a simple photoionisation model,

$$L_{ion} = h\nu_L \int_{\nu_L}^{\infty} \frac{L_\nu}{h\nu} d\nu = L_u \int_{\nu_L}^{\infty} \frac{\nu_L}{\nu} \frac{L_\nu}{L_u} \frac{1}{\nu} d\nu,$$

where  $\nu_L$  and  $\nu_\alpha$  are the Lyman limit and the Ly  $\alpha$  frequencies, and  $L_\nu$  and  $L_\alpha$  are the luminosities per unit frequency at frequency  $\nu$  and at the Ly  $\alpha$  frequency respectively. If all the energy beyond the Lyman limit contributed to line emission, then

$$L_{ion} = \int_{\nu_L}^{\infty} L_\nu d\nu.$$

The factor  $\beta_i$  would then represent the proportion of this ionising luminosity that appears as Ly  $\alpha$  line radiation.

Now, we would expect the factor  $\alpha$  to be a decreasing function of X-ray luminosity, because of the lowering of the effective temperature of radiation from the disk with increasing black hole mass<sup>[18]</sup>. Also, we might expect the line emission from the disk to become of greater significance as the black hole mass increases, again due to the lower temperature which enables emission lines to be produced at proportionately smaller disk radii<sup>[9]</sup>. Thus, we might expect the factor  $\beta_2$  to be an increasing function of X-ray luminosity.

We therefore fit a model to the data of the form:

$$EWLy\alpha = k_1 L_x^a \sec \theta + k_2 L_x^b,$$

where  $L_x$  is the X-ray luminosity (in units of  $10^{45}$  ergs/sec),  $\sec \theta$  is obtained from the previous section and  $k_1$ ,  $k_2$ ,  $a$  and  $b$  are parameters to be estimated from the data of Wilkes et al.<sup>[19]</sup>.

The fitting was carried out using a numerical method, carrying out linear regression of  $EWLy\alpha$  on  $L_x^a \sec \theta$  and  $L_x^b$  for iterated values of  $a$  and  $b$ , minimising the sum of squares of the errors. The optimum values of  $a$  and  $b$  were found to be  $-0.6$  and  $0.0$  respectively, to one decimal place, and the regression model then gave estimates (and standard errors) of  $k_1$  and  $k_2$  as  $55.7$  ( $8.8$ ) and  $10.9$  ( $2.6$ ). This model explained  $38.6\%$  of the variation in equivalent width. The graph of  $EWLy\alpha$  against  $x = L_x^{-0.6} \sec \theta$  is shown in Figure 4. Note that both the coefficients are highly significantly greater than zero, indicating that Ly $\alpha$  radiation comes from both the spherical cloud region and from the disk surface. For small mass black holes and X-ray luminosities, line radiation from the clouds dominates, for larger masses disk radiation is likely to predominate.

## Conclusions and Discussion

In this paper, we have concluded that the variation in quasar Ly  $\alpha$  equivalent width with ultra-violet and X-ray luminosity is well explained in terms of a two component model, with the lines originating from clouds distributed approximately spherically around the central continuum source and from the surface of an accretion disk.

We used the assumption that the inclination angle of the accretion disk should be independent of X-ray luminosity to obtain estimates of that inclination angle; obtaining from a regression model that

$$\cos \theta \propto \frac{O_u}{L_x^{0.89}}$$

We might have expected the power of  $L_x$  to be less than unity because of the increase in luminosity per unit frequency at optical/ultra-violet frequencies expected from an accretion disk model as the effective temperature, and maximum frequency, decreases<sup>[18]</sup>. Using this estimator of inclination angle, we then used linear regression techniques to explain the Baldwin effect for Ly  $\alpha$  line radiation, the model increasing the explained sum of squares to  $38.6\%$ . The results show that both spherically distributed clouds and the disk surface contribute to emission line radiation, with the cloud contribution decreasing with black hole mass. A prediction of the model is that the Baldwin effect should be less noticeable for more massive black hole systems. This assumes that the

accretion rate is a constant multiple of black hole mass and that the fraction of ionising radiation intercepted by the clouds and the disk is only dependent on black hole mass. A modification to the model to include a variation in accretion rate relative to black hole mass and in the fraction of ionising radiation intercepted by the clouds and the disk is likely to explain more of the variation in equivalent width. For large black hole masses it may be that the ionising flux may become dominated by the power law continuum, as the maximum disk temperature drops. It is also noticeable that, in figure 4, those objects with high Ly  $\alpha$  luminosities as compared to the model predictions also have high Ly  $\alpha$  to  $H\beta$  ratios - the line radiation is not produced by simple photoionisation with constant Ly  $\alpha$  to  $H\beta$  ratio. Modelling of the line emitting regions to include other factors, such as collisional excitation and high optical depth in the lines is required.

This paper has assumed a flat thin disc for the region producing emission line radiation, so that the intensity varies simply as the cosine of the inclination angle. Although this may be a reasonable approximation for Ly $\alpha$ , the increasing thickness of the outer disc with radius needs to be taken into account for lower excitation lines, such as the Balmer lines<sup>[4]</sup>. It is also assumed that the ionising ultra-violet radiation originates from a flat thin disc. Models of the inner disc region suggest that a gradual relative thickening occurs as the centre is approached<sup>[7,8]</sup>. This is unlikely to affect the general conclusions of the paper, but a more detailed model of the

inner disc region is required, together with an understanding of the production of the power-law spectrum and the X-ray luminosity.

## References

1. Baldwin, J.A., 1977, *ApJ*, 214, 679.
2. Begelman, M.C., McKee, C.F., 1983, *ApJ*, 271, 89.
3. Brotherton, M.S., Wills, B.J., 1994, *ApJ*, 423, 131.
4. Cassidy, I, Raine, D.J., 1996, *Astron. Astrophys.*, 310, 49.
5. Collin, S., Dumont, A.M., 1990, *Astron. Astrophys.*, 229, 292.
6. Dumont, A.M., Joly, M., 1992, *Astron. Astrophys.*, 263, 75.
7. Eggum, G.E., Coroniti, F.V., Katz, J.I., 1987, *ApJ*, 323, 634.
8. Eggum, G.E., Coroniti, F.V., Katz, J.I., 1988, *ApJ*, 330, 142.
9. Jones, B.C., Raine, D.J., 1980, *Astron. Astrophys.*, 81, 128.
10. Laor, A., Netzer, H., 1989, *MNRAS*, 238, 897.
11. Livio, M., 1997, *Space Science Telescope Reprint Series*, 1178.
12. Malkan, M.A., Sargent, W.L., 1982, *ApJ*, 254, 22.
13. Netzer, H., 1985, *MNRAS*, 216, 63.
14. Netzer, H., 1987, *MNRAS*, 225, 55.
15. Osterbrock, D.E., 1977, *ApJ*, 215, 733.
16. Rees, M.J., 1984, *Ann. Rev. Astr. Ap.*, 24, 472.
17. Rudge, C.M., Raine, D.J., 1998, *MNRAS*, 297, L1.
18. Shakura, N.I., Sunyaev, R.A., 1973, *Astr. Ap.*, 24, 337.
19. Wilkes, B.J., Kurasziewicz, J., Green, P.J., Mathur, S., McDowell, J.C., 1999, *ApJ*, 513, 76.

# Dissertation Abstract

---

**Mehdi Benna**

**Génération et inversion de données de propagation d'ondes radio à travers un noyau cométaire (Simulation de l'expérience CONSERT).**

*Planétologue et ingénieur en techniques spatiales tunisien, thèse en Septembre 2002; Université Paul Sabatier, Toulouse, France*

## RÉSUMÉ

Ce mémoire présente les modélisations directe et inverse entreprises dans le cadre de la préparation de l'exploitation scientifique de l'expérience CONSERT de la mission spatiale ROSETTA. Nous nous sommes intéressés à la modélisation de la propagation d'ondes radio dans le cas simplifié d'un noyau cométaire à géométrie bidimensionnelle. à cette fin, une technique de tracé de rayons (Ray Tracing Method, RTM) a été développée et validée par comparaison avec les résultats d'une méthode spectrale (Pseudo Spectral Time Domain, PSTD). Cette technique a été ensuite étendue au cas plus complexe d'une géométrie tridimensionnelle, aboutissant à la réalisation d'un simulateur pour l'instrument CONSERT. Le problème inverse a été abordé dans le cas d'une géométrie bidimensionnelle à faibles perturbations de permittivité en utilisant la méthode de régularisation de Tikhonov. Son étude a montré son caractère mal posé et fortement non linéaire, ainsi que le rôle important des informations *a priori* lors de la reconstruction d'image.

---

**Mehdi Benna**

**Data generation and inversion simulation of radio-waves propagating through a comet nucleus (Simulation of the CONSERT experiment).**

*Tunisian planetologist and engineer in space technology, thesis accepted in September 2002; Paul Sabatier University, Toulouse, France.*

## SUMMARY

This thesis presents the direct and inverse simulations made in the framework of the CONSERT experiment (Comet Nucleus Sounding Experiment using Radio wave Transmission). This experiment is part of the scientific package of the ROSETTA space mission. We modeled the propagation of electromagnetic waves through a comet nucleus model in a two-dimensional setting using a Ray Tracing technique (RTM). This algorithm was validated with respect to the Pseudo-Spectral Time Domain (PSTD) method and was extended to the three dimensional case. We emulated as closely as possible the true CONSERT data to achieve a complete instrument simulator. For the inverse problem, we used a Tikhonov-like inverse RTM method based on weak permittivity assumptions. We demonstrated that the tomographical problem is an ill-posed non-linear problem. Reconstruction results showed the importance of the *a priori* information to enhance the quality of the imaging.

---



## GROUPE DE TRAVAIL SUR LES SCIENCES DE L'ESPACE EN AFRIQUE

*South African Astronomical Observatory, P O Box 9, Observatory 7935, South Africa*

*wgssa@sao.ac.za      <http://www.sao.ac.za/~wgssa>*

*Tel: +27 21 447 0025      Fax: +27 21 447 3639*

### Liste et/ou Formulaire d'Affiliation des Membres

#### ETAT CIVIL

Nom:

Prenom:

Date de Naissance:

Sexe:

Nationalité:

#### COORDONNÉE

Adresse:

Téléphone:

Fax:

Adresse électronique:

#### INFORMATIONS UNIVERSITAIRES/PROFESSIONNELLES

##### Enseignement Supérieur:

Université	Diplôme	Discipline	Date
------------	---------	------------	------

##### Affiliations Professionnelles:

Veuillez noter les organisations professionnelles dont vous êtes membre, ainsi que votre rôle dans ces organisations:

Organisation	Type d'affiliation
--------------	--------------------

#### ACTIVITES PROFESSIONNELLES ACTUELLES

##### Intérêts Scientifiques Actuels:

##### Activités Professionnelles Principales Actuelles:

Enseignement

Recherche

Administration

Autre

#### AFFILIATION au GROUPE de TRAVAIL sur les SCIENCES de L'ESPACE en AFRIQUE

Veuillez cocher (x) votre choix:

J'ai fourni des informations que je souhaite voir incluses dans la liste des scientifiques de l'Espace en Afrique. **Cependant, je ne souhaite pas me joindre au Groupe de Travail.**

Je suis intéressé(e) par les objectifs du Groupe de Travail **et je souhaite en devenir membre.**



## WORKING GROUP ON SPACE SCIENCES IN AFRICA

South African Astronomical Observatory, P O Box 9, Observatory 7935, South Africa

wgssa@sao.ac.za <http://www.sao.ac.za/~wgssa>

Tel: +27 21 447 0025 Fax: +27 21 447 3639

### Inventory and/or Membership Form

#### PERSONAL DETAILS

First Name:

Surname:

Date of Birth:

Male  Female

Nationality:

#### CONTACT INFORMATION

Address:

Telephone:

Fax:

Email address:

#### ACADEMIC/PROFESSIONAL INFORMATION

##### Higher Education:

University

Degree

Discipline

Date

##### Professional Affiliations:

Specify the professional organisations of which you are a member, as well as your role in those organisations:

Organisation

Membership Type

#### CURRENT PROFESSIONAL ACTIVITIES

##### Current Research Interests:

##### Current Main Professional Activities:

Teaching

Research

Administration

Other

#### WGSSA MEMBERSHIP

Please mark (x) one of the following:

I have supplied information, which I wish to have included in the WGSSA inventory of space scientists in Africa. **However I do not wish to join the Working Group.**

I am interested in the objectives of the WGSSA **and wish to become a member.**

## Advice to Contributors

The purpose of this publication is to provide a forum for communication among space scientists in Africa. In addition to recording the activities of the Working Group, *African Skies/Cieux Africains* features articles on current research developments in the space sciences in Africa as well as educational material intended for general readers and science educators. Contributions relevant to these themes will be considered for publication in *African Skies/Cieux Africains*. Shorter communications will be considered for publication in the News, Letters or Announcements sections of *African Skies/Cieux Africains*.

The official languages of *African Skies/Cieux Africains* are English and French. Contributions in either of these languages are acceptable. Authors fluent in both these languages are encouraged also to provide a translated one-page summary of their contribution. Papers in Arabic are also acceptable provided that (i) they are accompanied by a summary in one of the two official languages and (ii) a camera-ready copy of the Arabic text is submitted.

Contributions may be submitted by electronic mail, fax, or post to the address inside the front cover. Line drawings and photographs may be submitted for publication. Where possible, electronic copies of illustrations should also be submitted. Line drawings submitted electronically should preferably be in PostScript format. Photographs or other images should be scanned at the highest possible resolution to produce images in a common graphics image format.

## Acknowledgements

The compilation of this issue of *African Skies/Cieux Africains* was made possible by the generous support of the South African Astronomical Observatory, which provided the necessary computing and communications infrastructure. Airmail distribution was sponsored by the United Nations Office for Outer Space Affairs. We would like to acknowledge the invaluable assistance of Ms Di Cooper in the design, layout and typesetting of this publication.

# African Skies / Cieux Africains

---

No. 9

July 2005

---

## CONTENTS

Editorial .....	1
<i>P. Martinez</i>	
News / Nouvelles .....	2
Les Comètes .....	4
<i>M. Benna</i>	
L'expérience NEIGE de Géodésie Spatiale Autotour de Mars .....	11
<i>J.-P. Barriot</i>	
International Space University (ISU) .....	13
<i>M. Milne</i>	
North-South Mediterranean Bridge-building in Astroparticle Physics and F. Dyson as a Role Model for Scientists .....	15
<i>J. Mimoumi and N. Guessoum</i>	
Centre Régional de Télédétection des Etats de l'Afrique du Nord (CRTEAN) .....	17
<i>R. Abidi</i>	
The Launch of NigeriaSat-1 .....	20
<i>F.D. Chizea</i>	
The Baldwin Effect: Broad Emission Lines from the Surface of Accretion Disks around Quasars .....	22
<i>B.C. Jones</i>	
Dissertation Abstract .....	26
<i>M. Benna</i>	
WGSSA Membership Application Forms in French and English	

---

## Working Group on Space Sciences in Africa

c/o South African Astronomical Observatory, Box 9, Observatory 7935, South Africa  
Telephone: +27 21 447 00 25, Telefax: +27 21 447 36 39  
email: [wgssa@sao.ac.za](mailto:wgssa@sao.ac.za)      <http://www.sao.ac.za/~wgssa>