



**MEDEDELINGEN DER ZITTINGEN
BULLETIN DES SEANCES**

46 (3)

**KONINKLIJKE ACADEMIE
VOOR OVERZEESE WETENSCHAPPEN**

Onder de Hoge Bescherming van de Koning

**ACADEMIE ROYALE
DES SCIENCES D'OUTRE-MER**

Sous la Haute Protection du Roi

BERICHT AAN DE AUTEURS

De Academie geeft de studies uit waarvan de wetenschappelijke waarde door de betrokken Klasse erkend werd.

De werken die minder dan 32 bladzijden beslaan worden in de *Mededelingen der Zittingen* gepubliceerd, terwijl omvangrijkere werken in de verzameling der *Verhandelingen* kunnen opgenomen worden.

De manuscripten dienen gestuurd te worden naar het secretariaat, Defacqzstraat 1 bus 3, 1000 Brussel. Ze moeten conform zijn aan de aanwijzingen aan de auteurs voor het voorstellen van de manuscripten. Overdrukken hiervan kunnen op eenvoudige aanvraag bij het secretariaat bekomen worden.

De teksten door de Academie gepubliceerd verbinden slechts de verantwoordelijkheid van hun auteurs.

AVIS AUX AUTEURS

L'Académie publie les études dont la valeur scientifique a été reconnue par la Classe intéressée.

Les travaux de moins de 32 pages sont publiés dans le *Bulletin des Séances*, tandis que les travaux plus importants peuvent prendre place dans la collection des *Mémoires*.

Les manuscrits doivent être adressés au secrétariat, rue Defacqz 1 boîte 3, 1000 Bruxelles. Ils seront conformes aux instructions aux auteurs pour la présentation des manuscrits dont le tirage à part peut être obtenu au secrétariat sur simple demande.

Les textes publiés par l'Académie n'engagent que la responsabilité de leurs auteurs.

© Royal Academy of Overseas Sciences. All rights reserved.

Abonnement 2000 (4 nummers — 4 numéros) : 2 650 BEF

Defacqzstraat 1 bus 3
B-1000 Brussel (België)

rue Defacqz 1 boîte 3
B-1000 Bruxelles (Belgique)



**MEDEDELINGEN DER ZITTINGEN
BULLETIN DES SEANCES**

46 (3)

**KONINKLIJKE ACADEMIE
VOOR OVERZEESE WETENSCHAPPEN**

Onder de Hoge Bescherming van de Koning

**ACADEMIE ROYALE
DES SCIENCES D'OUTRE-MER**

Sous la Haute Protection du Roi

WETENSCHAPPELIJKE MEDEDELINGEN

COMMUNICATIONS SCIENTIFIQUES

**Fifth Raymond Vanbreuseghem Conference
on Tropical Pathogenic Fungi**

(Brussels, 10 March, 2000)

EXOTIC MYCOSES : PAST AND PRESENT

The Fifth Edition of the Raymond Vanbreuseghem Conference, organized in collaboration with the *Janssen Research Foundation*, took place at the "Fondation Universitaire", rue d'Egmont 8, 1000 Brussels, on Friday 10 March, 2000.

Programme :

J. CHARLIER : *Welcome*

H. VANDEN BOSSCHE : *Introduction*

D. SWINNE : *The Vanbreuseghem Mycotheque*

B. GOMEZ : *Recent Developments in the Serodiagnosis of Histoplasmosis*

A. HAMILTON : *Application of Monoclonal Antibodies to the Diagnosis of Tropical Dimorphic Fungal Pathogens*

H. VANDEN BOSSCHE : *Closure*

Welcome

by

Jacques CHARLIER
President of the Academy

Au moment où l'Académie Royale des Sciences d'Outre-Mer lui a conféré le titre de Secrétaire perpétuel honoraire (1982), le professeur Raymond Vanbreuseghem a demandé que les fonds rassemblés à cette occasion soient utilisés pour organiser une conférence consacrée aux champignons pathogènes de l'homme, des animaux et des végétaux, particulièrement en relation avec l'outre-mer.

De eerste twee conferenties werden georganiseerd op 6 november 1987 en 29 november 1990, in aanwezigheid van Confrater Vanbreuseghem, die de sprekers inleidde en de besluiten formuleerde. Op 3 december 1993 was hij er niet meer bij ; hij overleed een paar weken tevoren.

Vandaag zijn wij aan de vijfde uitgave toe en, net als op 16 november 1996, is het dankzij de steun van *Janssen Research Foundation* dat wij deze conferentie kunnen organiseren en een aantal buitenlandse sprekers hebben kunnen uitnodigen om het thema „Exotic Mycoses : Past and Present” te behandelen. In naam van de Academie wens ik Ir Hugo Vanden Bossche van *Janssen Research Foundation* en voorzitter van deze bijeenkomst ten zeerste te danken voor de vlotte en aangename samenwerking.

It is my pleasure to welcome Dr Beatriz Gomez and Dr Andrew Hamilton from the Dermatology Unit of the Guy's Hospital in London, Dr Eduardo Dei-Caz from the Pasteur Institute in Lille, and Dr Danielle Swinne from the Institute of Tropical Medicine and the Pasteur Institute of Brussels, whom I thank very much for their participation in the present Vanbreuseghem Conference.

Graag geef ik het woord aan de Heer Vanden Bossche, die de eerste spreker zal inleiden.

Introduction

by

Hugo VANDEN BOSSCHE
Janssen Research Foundation

Welcome to the fifth Vanbreuseghem Conference on "Exotic Mycoses : Past and Present".

From the programme, it is clear that the word "exotic" is taken in a wide meaning. But, in the first lecture, Professor Danielle Swinne will present us a number of not so common pathogenic fungi.

Dr Swinne started her career in 1967 in the laboratory of parasitology at the Free University of Brussels. She moved to the Unit of Mycology at the Institute of Tropical Medicine in Antwerp in 1969, where Dr Swinne had the honour to work with Professor Vanbreuseghem. At the moment she is working for some 40 % at the Tropical Institute and 60 % in the Mycology section of the Scientific Institute of Public Health-Louis Pasteur. She is charged with the incorporation of the RV-collection of fungi into the large Fungi Collection stored in Dr Nicole Nolard's laboratory. The title of Dr Swinne's presentation is "The Vanbreuseghem Mycotheque".

The second paper will be presented by Professor Eduardo Dei-Cas.

In 1975 Dr Dei-Cas obtained his medical doctor degree at the University of Montevideo in Uruguay. He obtained a degree in Tropical Pathology at the University of Lille in 1976 and two years later he got his Ph.D. at the same university. Dr Dei-Cas is assistant professor in Parasitology and Mycology and project leader in the Lille Pasteur Institute.

In 1989, at the third symposium on Topics in Mycology, "Mycoses in AIDS patients" (Pasteur Institute, Paris), Dr Don Mackenzie presented a paper with as title "*Pneumocystis carinii* : a nomadic taxon". Indeed at that time there were still supporters of a protozoan identity, whereas others provided evidence for a fungal identity of *P. carinii*. The title of Dr Dei-Cas' presentation, "*Pneumocystis* spp. : a new group of ubiquitous pathogenic microfungi", reveals that since 1989 a lot of knowledge on *P. carinii* has been gathered.

The third speaker is Dr Beatriz Gomez. She started her career at the Corporación para Investigaciones Biológicas in Medellín, Colombia, under Dr Angela Restrepo. Dr Gomez has recently completed a Ph.D. at Kings College, London, got a 3-month American Society of Microbiology/UNESCO scholarship in Dr Arturo Casadevall's laboratory at the Albert Einstein College in New

York and recently received a Wellcome Foundation grant. The title of Dr Gomez' presentation is : "Recent developments in the serodiagnosis of histoplasmosis".

The last speaker of this Vanbreuseghem conference is Dr Andrew Hamilton. Dr Hamilton obtained his Ph.D. from Imperial College, University of London, in 1986 and continued his career at the Imperial College, the London School of Hygiene and Tropical Medicine, and Guys Hospital, London, working first on *Plasmodium* and then on human fungal infections. He was made lecturer in medical mycology at Guys hospital, London, in 1996 and senior lecturer in 1998. The Dunhill dermatology unit at Guys hospital has been working for many years on differences in antigens expressed by the yeast and mycelial phases of *Histoplasma capsulatum*. For example, they isolated and characterized a yeast-phase specific glycoprotein homologous with a 80kDa antigen that appeared to be immunologically significant. More recently they have studied the use of monoclonal antibodies in the serodiagnosis of histoplasmosis and paracoccidioidomycoses and the interaction of *Penicillium marneffeii* conidia with fibronectin. The title of Dr Hamilton's today's presentation is : "Application of monoclonal antibodies to the diagnosis of tropical dimorphic pathogens".

The Vanbreuseghem Mycotheque*

by

Danielle SWINNE**

KEYWORDS. — Tropical Mycology ; Conservation ; Mycological Patrimony.

SUMMARY. — The "Vanbreuseghem Mycotheque", or more familiarly the "RV Collection", is made up of 12,500 fungi collected during the last fifty years by professor Raymond Vanbreuseghem and collaborators at the Prince Leopold Institute of Tropical Medicine in Antwerp. Two years ago, this private collection was included in the official BCCM-IHEM Fungi Collection stored in the Laboratory of Mycology of Dr Nicole Nolard at the Scientific Institute of Public Health Louis Pasteur in Brussels. At that time, the collection listed more than 72,000 reference numbers related in majority to clinical samples from all over the world. The RV Mycotheque was initiated in 1947 when R. Vanbreuseghem, coming back from Central Africa after a ten-year stay in the former Belgian Congo, decided to devote himself to medical mycology. Rich of a large experience in tropical dermatology, he first collected dermatophytes but very quickly showed interest in the tropical agents of subcutaneous or deep mycoses. Those isolates, which constitute the ancestors of our contemporary strains, have all been conserved in good condition under lyophilization and are today absolutely unique reference fungi.

MOTS-CLES. — Mycologie tropicale ; Conservation ; Patrimoine mycologique.

RESUME. — La «Mycothèque Vanbreuseghem» ou plus familièrement la «R.V. Collection» se compose de 12 500 champignons récoltés pendant les cinquante dernières années par le professeur R. Vanbreuseghem et ses collaborateurs à l'Institut de Médecine Tropicale d'Anvers. Cette collection privée a été, voici deux ans, incorporée dans la collection officielle BCCM/IHEM entreposée au Laboratoire de Mycologie du Dr Nicole Nolard à l'Institut Scientifique de Santé Publique Louis Pasteur à Bruxelles. A ce moment, on y dénombrait 72000 numéros de référence relatifs dans la plupart des cas, à des échantillons d'origine clinique en provenance du monde entier. Cette mycothèque a pris naissance en 1947 quand R. Vanbreuseghem, revenant d'Afrique Centrale, après un séjour d'une dizaine d'années au Congo Belge décida de se consacrer à la mycologie médicale. Particulièrement expérimenté dans le domaine de la dermatologie tropicale, il récolta tout d'abord des dermatophytes, mais très rapidement s'intéressa aux agents tropicaux des mycoses sous-cutanées et profondes. Ces isolats qui constituent les ancêtres de nos souches contemporaines ont été parfaitement conservés par la lyophilisation et constituent aujourd'hui un matériel unique de référence.

* Paper read at the Fifth Raymond Vanbreuseghem Conference held on 10 March 2000. Text received on 26 April 2000.

** Prof. Prince Leopold Institute of Tropical Medicine, Nationalestraat 155, B-2000 Antwerpen (Belgium) ; Institut Scientifique de Santé Publique Louis Pasteur, rue J. Wytsman 14, B-1050 Bruxelles (Belgium).

TREFWOORDEN. — Tropische mycologie ; Bewaring ; Mycologisch patrimonium.

SAMENVATTING. — *De Vanbreuseghemmycotheek*. — De Vanbreuseghemmycotheek, beter bekend als de „RV Collectie”, bestaat uit 12 500 zwammen die door professor R. Vanbreuseghem en zijn medewerkers aan het Antwerpse Instituut voor Tropische Geneeskunde de laatste vijftig jaar ingezameld werden. Twee jaar terug werd deze privé-collectie opgenomen in de officiële BCCM/IHEM collectie van het Laboratorium voor Mycologie van Dr. Nicole Nolard van het Wetenschappelijk Instituut Volksgezondheid - Louis Pasteur te Brussel. De collectie omvatte toen 72 000 referentienummers die hoofdzakelijk betrekking hadden op monsters van klinische oorsprong afkomstig uit de hele wereld. De RV Collectie ontstond in 1947 toen R. Vanbreuseghem, na een verblijf van een tiental jaar in Belgisch Congo, uit Centraal-Afrika terugkeerde en besliste zich te wijden aan de medische mycologie. Uitzonderlijk bedreven op het gebied van de tropische dermatologie, verzamelde hij in de eerste plaats dermatofieten, om vrij snel belangstelling te krijgen voor tropische verwekkers van subcutane of diepe mycosen. Deze afgezonderde stammen, die de voorlopers zijn van de huidige stammen, werden uitstekend bewaard door lyofilisatie en vormen vandaag absoluut uniek referentiemateriaal.

*
* *

R. Vanbreuseghem was born in 1909 in Monceau-sur-Sambre, and graduated as Doctor of Medicine at the State University of Liège in 1934. After his diploma from the Prince Leopold Institute of Tropical Medicine in Antwerp, he worked from 1935 to 1946 in the former Belgian Congo.

Until 1942, his activities were essentially dedicated to leprosy, a logical way to explain his progressive interest in dermatology and later on in medical mycology.

Back to Europe at the end of the Second World War, he was encouraged by Professor A. Dubois, director of the Institute of Tropical Medicine, to further develop his interest in medical mycology. He decided to go to Paris where he had the opportunity to work with famous mycologists such as M. Langeron and his friend E. Rivalier.

It was during his stay in Paris that he collected the first isolates of a collection of 12,145 specimens named the “Vanbreuseghem Mycotheque” or “R.V. Collection”. This huge collection was built in forty-five years, with isolates coming from 72,000 material samples : either clinical and environmental samples or also cultures received from all over the world. All the samples bore “RV” numbers and the first isolates were dermatophytes obtained in Rivalier’s laboratory.

1961 was a turning point for Belgian medical mycology. Under the suggestion of Professor P. G. Janssens, director of the Institute of Tropical Medicine, a laboratory for medical mycology headed by R. Vanbreuseghem was created and special credits were allocated to maintain and increase his collection of fungi and an annual specialized course in human and veterinary mycology was organized.

At the same time, J. Bosmans, the technician in charge of the collection, began freeze-drying the isolates. Many years were necessary to polish up the procedure and determine the best conditions to keep the isolates.

In 1973, he made a first statement showing that 80 % of the isolates were still living after ten years except for some primitive fungi such as some Chromista, for example *Saprolegnia* and *Pythium* isolates, or even some primitive Eumycota, for example *Basidiobolus* isolates.

Between 1961 and 1997, a total of 12,145 isolates were freeze-dried including 6,539 filamentous fungi, 5,499 yeasts and 107 bacteria with a majority of actinomycetes responsible for mycetoma.

In 1997, an agreement signed by Professor B. Gryseels, director of the Institute of Tropical Medicine, and Doctor G. Thiers, director of the Scientific Institute of Public Health Louis Pasteur, has officialized a scientific collaboration between both institutes and it was decided that the "R.V. Collection" would be incorporated into the official BCCM / IHEM collection stored in the laboratory of mycology of the Scientific Institute of Public Health, headed by Doctor N. Nolard.

The first group of fungi which drew the attention is the dermatophytes including 3,393 specimens collected all over the world. Most of the isolates, *i.e.* 1,716 strains, are coming from Africa which is a proof of R. Vanbreuseghem's interest in that continent. It should be mentioned that 115 strains are "test-tube" fungi as they were obtained by *in vitro* crossing of single ascospores.

Although the five genera of dermatophytes are well represented with 33 *Keratinomyces*, 61 *Epidermophyton*, 346 *Microides* isolates, the genera *Microsporum* and *Trichophyton* are predominant.

The collection of *Microsporum* includes 1,289 strains distributed among 22 different species. *Microsporum langeroni*, an anthropophilic tropical species frequently responsible for tinea capitis in Central Africa, keeps the first position, followed by *Microsporum canis*, a worldwide zoophilic species more frequently encountered in our countries. However, the biggest group of dermatophytes consists of 1,664 *Trichophyton* isolates belonging to 21 different species. Again the two most frequently represented species are two tropical anthropophilic species mostly responsible for tinea capitis: *Trichophyton violaceum* and *Trichophyton soudanense*. They are followed by another anthropophilic but worldwide dermatophyte, *Trichophyton rubrum*: 293 isolates from all over the world. The collection of dermatophytes also holds rarer specimens, for example a unique isolate of *Microsporum vanbreuseghemii* isolated from soil in New Orleans in 1961, or still a few cultures of *Trichophyton kuriangei*, which is another species isolated and described by R. Vanbreuseghem in 1961 in a small village called Kuriange, situated not far from Bujumbura. So far, this species has never been found elsewhere.

Collections are regularly "reorganized" as certain isolates sometimes need to be reclassified when new species are described. With the description of

Trichophyton raubitschekii for example, some of our tropical *T. rubrum* isolates had to be transferred to this new species. Some old species such as *Microsporium gypseum* and *Microsporium langeroni* are complexes and will probably be reclassified in the future.

Yeasts too are regularly reclassified. *Pityrosporum* or *Malassezia* species are potentially pathogenic lipophilic yeasts living on the skin of warm-blooded animals. Traditionally, they were seen as two different species, one related to man, *Pityrosporum ovale* which has recently been renamed *Malassezia furfur*, while the other, *Pityrosporum canis*, more related to animals, has been renamed *Malassezia pachydermatis*. In 1996, molecular biological techniques proved that *P. ovale* was a complex and had to be subdivided into six different taxa (GUEHO *et al.* 1996). This must be applied to the 227 *P. ovale* of the "R.V. Collection".

Trichosporon species are also concerned : indeed, there was one species traditionally called *Trichosporum cutaneum* or *Trichosporum beigelii*. But in this case again, the genus was subdivided into 19 taxa, 6 of them associated with clinical cases (GUEHO *et al.* 1992). That means that the 123 *Trichosporon* isolates of the "R.V. Collection" must be reclassified.

Another kind of problems arose with *Candida albicans*. This is an endosymbiotic yeast living in the digestive tract of mammals and birds and candidiasis of the oral mucosa is a disease recognized since antiquity. This yeast has gained renewed significance more recently as an infection often seen in AIDS patients.

Until recently, the identification of this species could be performed on the basis of morphological characteristics, *i.e.* the presence of big round spores called chlamydo-spores on special media : a cheap and quick method used to identify all the *C. albicans* isolates of the "R.V. Collection". But in 1995, D. J. Sullivan using molecular criteria described a new species named *Candida dubliniensis* which showed the same morphological characteristics as *C. albicans* (SULLIVAN *et al.* 1995).

The consequence of this is that DNA studies must be used to control the 1,055 *C. albicans* isolates of the "R.V. Collection".

Let us hope that the checking of the collection will also bring new interesting data.

We know that the oldest isolate was sampled in the United Kingdom in 1957. In 1998, F. Odds had the opportunity to check 2,489 isolates from the yeast collection of the Janssen Research Foundation in which the oldest isolates date from 1973 (ODDS *et al.* 1998). He concluded that 55 of the *C. albicans* isolates, *i.e.* 2 %, had been misidentified and were *C. dubliniensis*. New information was collected about the distribution of the new species, for example that *C. dubliniensis* could also be found in healthy persons, new information that will certainly be enhanced by the results obtained with the specimens of our "R.V. Collection" including isolates dating from the fifties.

The "R.V. Collection" also includes the largest collection of *Cryptococcus neoformans* from all over the world with 2,549 isolates. Both varieties, *neoformans* and *gattii*, are well represented.

Although cryptococcosis is a worldwide mycotic disease, most cases nowadays are associated with AIDS. This probably explains why so many isolates are coming from Central Africa where AIDS is burning: 689 isolates from Rwanda, 374 from Congo and 129 from Burundi.

The first cryptococcal cases were described at the end of the nineteenth century, the diagnosis being established by direct examination of the cerebrospinal fluid which usually shows the presence of round encapsulated yeast cells. But in the sixties, F. Gatti, a physician working in Leopoldville, isolated from the cerebrospinal fluid of a seven-year-old child a *Cr. neoformans* strain showing a particular morphology *in vivo*: a mixture of round and elongated cells (GATTI & ECKELS 1970).

This case was published in 1970, and the isolate described by R. Vanbreuseghem and M. Takashio was included in the "R.V. Collection" (VANBREUSEGHEM & TAKASHIO 1970). It was forgotten until 1975 when the discovery of two different sexual reproductions corroborated the existence of two different varieties *Filobasidiella neoformans* var. *neoformans* corresponding to the asexual variety *neoformans*, and *Filobasidiella neoformans* var. *bacillispora* corresponding to the asexual variety *gattii*.

The type-strain is still living today and has been incorporated into the new collection.

Many problems were also solved thanks to the "R.V. Collection". With the emergence of AIDS, *Cr. neoformans* isolates were tracked down for further studies, and it could, for example, be demonstrated that, from the early fifties until 1970, the variety *gattii* seemed predominant in Congo but that later this variety disappeared from that country and gave way to the variety *neoformans* which is the variety associated with AIDS.

By serotyping the African isolates, it could be demonstrated that serotype D, like the other serotypes A, B and C, could be responsible for cryptococcosis in Africa, a question that was shelved for a long time.

Cr. neoformans var. *neoformans* and var. *gattii* are both exosaprophytic yeasts. The variety *neoformans*, however, is most often recovered from soil mixed with pigeon droppings, which constitute the main source of contamination for patients. Apart from isolates from clinical cases, the "R.V. Collection" also includes 640 strains from diverse saprophytic origins and indeed also from pigeon droppings. Moreover, and this is more original, some strains were isolated in Africa from dust collected in houses of AIDS and non-AIDS-associated cryptococcosis patients. This is thus the ideal material to compare strains from patients with the isolates recovered from their environment.

Finally, the collection also includes numerous other fungi, many of them dimorphic with, for example, isolates of *Histoplasma duboisii*, the agent of

African histoplasmosis, a species described by R. Vanbreuseghem and dedicated to Professor Albert Dubois, more than one hundred *Sporothrix schenckii*, the agent of sporotrichosis, received from South American colleagues, and so on.

And if we do not have any isolate of *Rhinosporidium seeberi*, the agent of rhinosporidiosis, nor *Loboia loboii*, the agent of lobomycosis, it is only because those two organisms cannot be maintained in culture and are only known as parasites.

In conclusion, I am convinced that this collection is not only the witness of the past, but also biological material for the present and future, and that it is part of the world patrimonium.

REFERENCES

- GATTI, F. & EECKELS, R. 1970. An atypical strain of *Cryptococcus neoformans* (Sanfelice) Vuillemin 1894. Part 1 : Description of the disease and of the strain. — *Ann. Soc. belge Méd. trop.*, **50** : 689-694.
- GUEHO, E., MIDGLEY, G. & GUILLLOT, J. 1996. The genus *Malassezia* with description of four new species. — *Antonie van Leeuwenhoek*, **69** : 337-355.
- GUEHO, E., SMITH, M.T., DE HOOG, G.S. *et al.* 1992. Contribution to a revision of the genus *Trichosporon*. — *Antonie van Leeuwenhoek*, **61** : 289-316.
- ODDS, F.C., VAN NUFFEL, L. & DAMS, G. 1998. Prevalence of *Candida dubliniensis* isolates in a yeast stock collection. — *J. Clin. Microbiol.*, **36** : 2869-2873.
- SULLIVAN, D.J., WESTERNENG, T.J., HAYNES, K.A. *et al.* 1995. *Candida dubliniensis* sp. nov. : phenotypic and molecular characterization of a novel species associated with oral candidosis in HIV-infected individuals. — *Microbiology*, **141** : 1507-1521.
- VANBREUSEGHEM, R. & TAKASHIO, M. 1970. An atypical strain of *Cryptococcus neoformans* (Sanfelice) Vuillemin 1894. Part 2 : *Cryptococcus neoformans* var. *gattii* var. nov. — *Ann. Soc. belge Méd. trop.*, **50** : 695-702.

Recent Developments in the Serodiagnosis of Histoplasmosis*

by

Beatriz GOMEZ** & Andrew HAMILTON***

KEYWORDS. — Antibodies ; Antigens ; Classic Histoplasmosis ; *Histoplasma capsulatum* ; Monoclonal Antibodies ; Serodiagnosis.

SUMMARY. — Histoplasmosis is an important systemic fungal infection, with worldwide distribution, although it is more common in temperate and tropical climates. Its accurate diagnosis requires fungal isolation or the visualization of yeast in tissues or in biological samples. However, serological tests may play an important role in the rapid diagnosis of disease either by antibody or antigen detection. Immunodiffusion/complement fixation are the most widely tests used for the detection of antibody responses but cross-reactivity has been a traditional problem. However, recently several recombinant proteins have been produced but their application in serodiagnosis awaits investigation. For immunocompromised patients, the detection of antibody responses for both diagnosis and follow-up may be of limited use, whereas the detection of *H. capsulatum* antigen may be more effective. A radioimmunoassay (RIA) test for antigen detection in sera and urine is currently available although this suffers problems from cross-reactivity. More recently, using a monoclonal antibody (MoAb) which is directed against a 70 kDa antigen, an inhibition ELISA (inh-ELISA) for the detection of circulating antigen has been developed. This inh-ELISA is of particular use in monitoring non-AIDS patients with the acute/disseminated forms of histoplasmosis, and complements existing forms of follow-up.

MOTS-CLES. — Anticorps ; Antigènes ; Histoplasmose classique ; *Histoplasma capsulatum* ; Anticorps monoclonaux ; Sérodiagnostic.

RESUME. — *Développements récents dans le sérodiagnostic de l'histoplasmose.* — L'histoplasmose est une importante infection fongique systémique, présente dans le monde entier, quoique plus commune sous les climats tropicaux et tempérés. Afin d'établir un diagnostic précis, il est nécessaire de procéder à un isolement fongique ou à la visualisation de la levure dans les tissus ou dans les prélèvements biologiques. Néanmoins, les tests sérologiques peuvent jouer un grand rôle dans le diagnostic rapide de la maladie grâce au dépistage d'anticorps ou d'antigènes. La fixation du complément

* Paper read at the Fifth Raymond Vanbreuseghem Conference held on 10 March 2000. Text received on 26 April 2000.

** Dermatology Laboratory, St John's Institute of Dermatology, 5th Floor, Thomas Guy House, Guys Hospital, London SE1 9RT (United Kingdom). Corporación para Investigaciones Biológicas, A.A. 73-78, Medellín (Colombia).

*** Dermatology Laboratory, St John's Institute of Dermatology, 5th Floor, Thomas Guy House, Guys Hospital, London SE1 9RT (United Kingdom).

et l'immunodiffusion sont les tests les plus couramment employés afin de détecter les réactions aux anticorps, mais le problème habituel reste la réactivité croisée. Récemment toutefois, plusieurs protéines recombinantes ont été produites, mais leur application au sérodiagnostic implique des études approfondies. Concernant les patients immuno-déprimés, la détection des réactions aux anticorps tout autant pour le diagnostic que pour le suivi du patient peuvent s'avérer d'un usage limité, tandis que la détection de l'antigène *H. capsulatum* s'avère plus efficace. Un test radio-immunologique (RIA) pour la détection d'antigènes dans les sérums et l'urine est déjà disponible, mais il présente des problèmes de réactivité croisée. Plus récemment, par l'utilisation d'un anticorps monoclonal (MoAb) dirigé contre un antigène de 70 kDa, on a pu développer un test inhibiteur d'ELISA (inh-ELISA) pour la détection des antigènes circulants. Cet inh-ELISA est particulièrement utile pour la surveillance des patients non sidéens présentant des formes d'histoplasmose aiguës/disséminées, et complète les formes existantes de suivi.

TREFWOORDEN. — Antistoffen ; Antigenen ; Klassieke histoplasmose ; *Histoplasma capsulatum* ; Monoklonale antistoffen ; Sero diagnostiek.

SAMENVATTING. — *Recente ontwikkelingen in de histoplasmose sero diagnostiek.* — Histoplasmose is een belangrijke systemische schimmelinfectie, wereldwijd verspreid, hoewel vaker voorkomend in gematigd en tropisch klimaat. Een accurate diagnose vereist schimmelisolatie of het visualiseren van de gist in weefsels of in biologische monsters. Toch kunnen ook serologische tests een belangrijke rol spelen bij de snelle ziektediagnose door het opsporen van hetzij antistoffen, hetzij antigenen. Immunodiffusie / complementfixatie zijn de meest aangewende tests voor de opsporing van antistoffenproductie maar kruisreactie blijft een probleem. Onlangs werden echter verschillende recombinante proteïnen geproduceerd, maar hun toepassing in de sero diagnostiek moet nog onderzocht worden. Voor geïmmunodeprimeerde patiënten kan het waarnemen van antistoffenproductie zowel voor diagnose als voor opvolging van de patiënt slechts van beperkt belang zijn, terwijl het waarnemen van het *H. capsulatum*-antigen efficiënter blijkt. Een radio-immunologische test (RIA) voor het opsporen van antigenen in sera en urine is reeds voorhanden hoewel hier kruisreactieproblemen rijzen. Recenter werd een ELISA-inhibitor (inh-ELISA) voor het opsporen van circulerende antigenen ontwikkeld, gebruik makend van een monoklonale antistof (MoAb) gericht tegen een 70 kDa antigen. Deze inh-ELISA wordt vooral gebruikt bij het controleren van niet-AIDS-patiënten met acute/uitgezaaide vormen van histoplasmose, en is complementair aan de bestaande vormen van opvolging.

Introduction

Classic histoplasmosis is the infection caused by the thermally dimorphic fungus *H. capsulatum* var. *capsulatum* which has a worldwide distribution, but is a particular problem in central and south-eastern areas of the United States and in certain regions of Central and South America although it is more common in temperate and tropical climates (KWON-CHUNG & BENNETT 1992). The infection is acquired by the respiratory route (inhalation of airborne conidia) and leads to a broad spectrum of clinical conditions, ranging from the typical self-limiting

localized lung infection to the potentially fatal acute disseminated form, which is a particular danger to immunosuppressed individuals, particularly those with AIDS (BULLOCK 1995, WHEAT 1996). The lungs and the reticuloendothelial system are target organs ; mucous membranes, skin, adrenal glands and other organs may also be involved. The primary infection is usually asymptomatic but leaves calcified lesions. Clinical manifestations are variable and are especially severe in immunosuppressed patients, such as AIDS patients. Epidemic outbreaks are relatively common and histoplasmosis affects all ages and both genders with a slight predominance in males. In the immunocompetent population it is most common in persons whose jobs involve removal of soil, visiting caves, cleaning old houses and felling trees (DEEPE 2000).

Cultures, fungal stains and serological tests are useful for the diagnosis of histoplasmosis ; all are reasonably specific and can serve as the basis for diagnosis in patients with the corresponding clinical findings. However, each test has limitations which must be recognized if they are to be interpreted correctly. The gold standard for the diagnosis remains cultural isolation, with reported rates varying from 58 % for localized to 80 % for disseminated forms (BULLOCK 1995, WHEAT 1996). Microscopic identification of yeast cells in tissue is possible in approximately 60 % of cases of disseminated disease (50 to 75 % of bone marrow and 10 to 50 % of peripheral blood samples) (BULLOCK 1995). However, microscopic identification of the fungus in localized forms of infection is often extremely difficult and it may require invasive procedures (WHEAT 1994, BULLOCK 1995). In addition, differentiating *H. capsulatum* var. *capsulatum* yeast cells morphologically from *Candida glabrata* or *Pneumocystis carinii* (WHEAT 1996) or from *Penicillium marneffeii* (KAUFMAN *et al.* 1995) may constitute a problem. Serological methods provide rapid information which is both useful in confirming the diagnosis and in providing important information for the follow-up of treatment. Consequently, in recent years considerable efforts have been made in the development of techniques designed to improve the serodiagnosis of histoplasmosis utilizing both antibody and antigen tests.

Detection of Antibody Responses

Historically the identification of antibody responses in patients with histoplasmosis has proved useful in the diagnosis of disease. Immunodiffusion (ID) and complement fixation (CF) are the two most widely available tests (although a latex agglutination test kit was available at one time, excessive false-positive results were encountered and the test was abandoned). Complement fixation is the oldest test and has been extensively applied clinically. Most laboratories have used both histoplasmin and whole yeast antigens, and titres of 1:8 or higher are found in most patients with active histoplasmosis. It is of note that in many studies histoplasmin has proved less sensitive than yeast antigen. Cross-reactions

may occur with sera from patients with blastomycosis, coccidioidomycosis, paracoccidioidomycosis or other mycoses, while sera from patients with leishmaniasis may cross-react in CF when *H. capsulatum* yeast cells are used as antigen (KAUFMAN 1992). This cross-reactivity is a major problem: 25-50 % of patients with other fungal infections show false-positive reactions with tests for histoplasmosis (WHEAT *et al.* 1986a). Variability in commercial *Histoplasma* fixation antigens has been reported (LELAND *et al.* 1991), and special care must be taken in testing them with a panel of human sera known to be positive, when changing manufactures or when using home-made antigens.

HEINER (1958) pioneered the use of precipitin reactions in agar as a method of diagnosis of histoplasmosis. Immunodiffusion uses two antigens of particular note from histoplasmin [the filtrate of 3-6 month-old mycelium from cultures grown on synthetic medium (PINE 1977)]. These are the H antigen, against which antibodies are formed during active histoplasmosis, and the M antigen, which is abundant in the mycelial form and against which antibodies may be produced in active and chronic histoplasmosis. Both M and H antigens were regarded as species-specific proteins, although in the case of the M antigen this may be only true of its deglycosylated form (PIZZINI *et al.* 1999). When histoplasmin is used in ID and CF tests, up to 80 % of individuals with histoplasmosis will show some reaction (KAUFMAN 1992), and as such it is always recommended that CF and ID should be performed in parallel.

In the 1980s a number of attempts were made to increase the sensitivity and specificity of antibody-based diagnosis via the introduction of more advanced systems. Radioimmunoassay methods were introduced but demonstrated higher background positivity rates. Consequently, radioimmunoassay has not been validated sufficiently to replace ID and CF. In 1993, an ELISA system for use in diagnosis of acute histoplasmosis (TORRES *et al.* 1993) was described; this claimed to have a specificity of 91 %, although it was stated that this system was not useful in immunocompromised individuals. Immunoenzyme development of Western blots has also been examined as a means of diagnosis, using either whole antigen (TORRES *et al.* 1993), or M antigen (ZANCOPE-OLIVEIRA *et al.* 1994, PIZZINI *et al.* 1999). Torres *et al.* demonstrated antibodies against four different *Histoplasma* antigens: 91, 83, 70 and 38 kDa. Zancopé-Oliveira *et al.* and Pizzini *et al.* found the technique highly sensitive although the glycosylated form of the M antigen proved to be cross-reactive with sera from patients with PCM, blastomycosis, coccidioidomycosis and aspergillosis (ZANCOPE-OLIVEIRA *et al.* 1994). However, after periodate treatment the specificity of the test increased to above 91 % in the study by Zancopé-Oliveira; it was even higher (up to 100 %) in the data produced by Pizzini *et al.*

More recently recombinant M and H antigens have been made (DEEPE & DUROSE 1995, ZANCOPE-OLIVEIRA *et al.* 1999); these antigens have not yet been assessed for their suitability (either individually or in combination) in the development of user-friendly assays for the detection of specific anti-*Histoplasma*

antibodies. Another recombinant antigen (a 60 kDa determinant) also shows promise with recognition by 100 % of sera using Western blot (CHANDRASHEKAR *et al.* 1997). However, although the use of specific recombinant antigens in ELISA and other advanced assay systems will improve both the sensitivity and specificity of antibody detection in patients with histoplasmosis, there will be still problems associated with false positives, generated by previous exposure, and false negatives arising in immunosuppressed individuals, particularly those with advanced HIV-infection. Given such circumstances detection of the *histoplasma capsulatum* antigens is almost inevitably a more powerful tool in the diagnosis of histoplasmosis (HAMILTON 1998).

Detection of *H. capsulatum* Antigens

Although it is still worthwhile to attempt to detect antibody responses in immunosuppressed individuals with suspected *Histoplasma* infections, the perceived deficiencies of such an approach have stimulated work on the development of assays capable of detecting *Histoplasma*-derived antigens in body fluids of patients. The first, and until recently, the only such system, was initially developed in the mid-1980s (WHEAT *et al.* 1986b) and relies on rabbit polyclonal antibody raised against formalinized yeast cells. The antibody is used both as a capture antibody and, in its ¹²⁵I radiolabelled form, as a detector antibody, in a solid phase radioimmunoassay. Using this system it proved possible initially to detect antigen in 20 of 22 episodes of disseminated histoplasmosis that occurred in 16 patients; the detection rate in those with self-limited infection and cavitary histoplasmosis was substantially lower (WHEAT *et al.* 1986b). Antigen was detected in both the urine, where it appeared as a thermotolerant, low molecular weight polysaccharide, which was capable of binding con A, and less successfully, in the serum, where it appeared as a higher molecular weight species.

Subsequently, the *H. capsulatum* RIA has been used in a series of studies (FOJTASEK *et al.* 1994, WILLIAMS *et al.* 1994, WHEAT 1996) and antigenuria has been detected in 92 % of disseminated forms, 21 % of chronic pulmonary and 39 % of self-limited forms of the disease. These studies have been largely centred upon the tests' effectiveness in the detection of disseminated histoplasmosis in AIDS patients (WHEAT *et al.* 1989, 1990, 1991). However, the RIA has also been used to detect antigen in cerebrospinal fluid (CSF) from patients with *Histoplasma* meningitis (WHEAT *et al.* 1989) and in bronchoalveolar lavage fluid (WHEAT *et al.* 1992b). Antigenuria has been shown to decrease concurrently with effective therapy, particularly in patients with the acquired immune deficiency syndrome, who develop disseminated histoplasmosis. In these patients, it has been shown that falls in antigenuria correlate well with effective therapy, making it feasible to monitor treatment responses (WHEAT *et al.* 1991, WHEAT *et al.* 1992a, WHEAT 1996).

Currently, the RIA uses rabbit polyclonal antisera, although MoAbs have been used in an attempt to replace the polyclonal sera. However, the results arising from this modification were reported as being unsatisfactory (FOJTASEK *et al.* 1993). In an attempt to overcome the problems associated with the handling of radioisotopes used in the RIA, an initial attempt was also made to modify the detection system into an enzyme-linked immunosorbent assay, utilizing either alkaline phosphatase or horseradish peroxidase in the detection system (ZIMMERMAN *et al.* 1989). Unfortunately neither system proved as sensitive as the RIA. A more recent attempt, which utilizes biotin-conjugated detector antibody recognized by a streptavidin-horseradish peroxidase probe (DURKIN *et al.* 1997), gave similar results to the RIA. This is of particular note as it should enable the development of an assay kit which can then be readily applied in laboratories throughout the world; it has long been a logistical problem that the *Histoplasma* antigen test using the pre-existing RIA was only available from one laboratory in the United States.

Despite its reliance on the detection of a carbohydrate-based antigen and also been described as a highly specific assay, there are problems associated with the use of the RIA. Recently the test was more fully assessed for specificity using large number of sera from patients with disseminated coccidioidomycosis, blastomycosis, paracoccidioidomycosis (PCM) and penicilliosis marneffeii (WHEAT *et al.* 1997). This revealed cross-reactivity with 62 % of patients with blastomycosis, 88.9 % of patients with PCM, and 94.4 % of patients with disseminated *P. marneffeii* infection. These important cross-reactions are a problem for diagnosis especially in endemic areas where the different mycoses overlap, as is the case for histoplasmosis and PCM in Latin America.

One way in which *Histoplasma* antigen detection systems might be made more specific is through the application of monoclonal antibodies. Previous reports have demonstrated that it is possible to make such antibodies against both previously defined antigens (REISS *et al.* 1986) and yeast cell antigens (KAMEL *et al.* 1989). In addition, the incorporation of cyclophosphamide in immunization protocols has enabled species-specific monoclonal antibodies to be produced routinely. Using the latter technique, GOMEZ *et al.* (1997) have now produced a MoAb-designated H1C which recognizes an apparently species-specific epitope (by Western blot and ELISA) on a 70 kDa antigen. This MoAb has been used to develop an inhibition-ELISA which is capable of detecting the 70 kDa in sera from patients with histoplasmosis (in contrast to the histoplasma antigen RIA described, this assay appears to be less effective when urine is tested). The test demonstrated an overall sensitivity of just over 71 %, with highest detection rates in those patients with acute histoplasmosis (89 %) and lowest rates in individuals with chronic pulmonary forms of the disease (57 %). However, given the recent study demonstrating the extensive cross-reactivity of the RIA (over 88 % with sera from patients with PCM) it does appear as if the new ELISA offers advantages in terms of specificity, although the test still requires substantial val-

idation before it is accepted on the same terms of the RIA. In addition, since the ELISA is based on a non-radiolabelled MoAb rather than a polyclonal antibody, it does mean that this antigen detection system is perhaps better suited to a commercially available kit format. More recently, the prognostic value of monitoring the presence of the 70 kDa antigen was evaluated (GOMEZ *et al.* 1999) and proved useful for the monitoring of the progress of patients under treatment for acute pulmonary and disseminated forms of histoplasmosis. This is of particular significance given that there are not previous reports about the follow-up of these groups of patients by antigen detection techniques. Its effectiveness in AIDS patients with the disseminated form of histoplasmosis is less clear, as is the case with regard to patients with the chronic pulmonary form of the disease ; there is a need for an expanded study to encompass a larger number of such individuals. If this proves successful this may serve as an adjunct to the highly effective prognostic determination offered by the RIA.

Conclusions

Serology has been a vital instrument in the diagnosis of infection with *H. capsulatum* and historically the identification of antibody responses has proved useful in the diagnosis of disease. Inherent problems due to the use of crude antigens (low sensitivity, cross-reactivity) have started to be solved with the incorporation of purified/characterized and, hopefully, recombinant antigens. A major limitation of antibody detection tests is that even in the presence of active infection, they are negative in up to 50 % of immunosuppressed patients, especially those with AIDS and also antibody titres remain elevated months or even years even after successful therapy.

Antigen detection offers advantages over antibody detection in this context and one of the major advances has been the development and introduction of antigen detection assays that identifies antigens in either urine or sera. If the RIA itself could be more suitable for generally laboratory usage (which may have already happened with its adaptation to an ELISA format), and if the inh-ELISA is successfully validated, it is possible to envisage a system in which the two tests are performed in tandem, with the sensitivity of the carbohydrate-based detection system allied to the specificity and sensitivity of the 70 kDa antigen detection system. It is hoped that there will be some new developments in this area within the next few years.

REFERENCES

- BULLOCK, W.E. 1995. *Histoplasma capsulatum*. — In: MANDELL, G.L., BENNETT, J. & DOLIN, R. (eds.), Principles and practice of infectious diseases. Churchill Livingstone, New York, pp. 2340-2353.
- CHANDRASHEKAR, R., KURTIS, K.C., RAWOT, B.W., KOBAYASHI, G.S. & WEIL, G.J. 1997. Molecular cloning and characterization of a recombinant *Histoplasma capsulatum*

- antigen for antibody-based diagnosis of human histoplasmosis. — *J. Clin. Microbiol.*, **35** (5) : 1071-1076.
- DEEPE, G. Jr. 2000. *Histoplasma capsulatum*. — In : MANDELL, G.L., DOUGLAS, R.D. & BENNETT, J.E. (eds.), Principles and practice of infectious diseases (5th edition). Churchill Livingstone INC, New York., U.S.A., pp. 2718-2733.
- DEEPE, G. Jr & DUROSE, G.G. 1995. Immunobiological activity of recombinant H antigen from *Histoplasma capsulatum*. — *Infect. Immun.*, **63** (8) : 3151-3157.
- DURKIN, M.M., CONNOLLY, P.A. & WHEAT, L. J. 1997. Comparison of radioimmunoassay and enzyme-linked immunoassay methods for the detection of *Histoplasma capsulatum* var. *capsulatum* antigen. — *J. Clin. Microbiol.*, **35** (9) : 2252-2255.
- FOJTASEK, M.F., KAMEL, S., CONNOLLY-STRINGFIELD, P. & WHEAT, J. 1993. Monoclonal antibodies for the detection of *Histoplasma capsulatum* variety *capsulatum* antigens in patients with histoplasmosis. — *Serodiag. Immunother. Infect. Dis.*, **5** : 181-185.
- FOJTASEK, M.F., KLEIMAN, M.B., CONNOLLY-STRINGFIELD, P., BLAIR, R. & WHEAT, J. 1994. The *Histoplasma capsulatum* antigen assay in disseminated histoplasmosis in children. — *J. Clin. Microbiol.*, **30** : 381-385.
- GOMEZ, B.L., FIGUEROA, J.I., HAMILTON, A.J., ORTIZ, B.L., ROBLED0, M.A., RESTREPO, A. & HAY, R.J. 1997. Development of a novel antigen detection test for histoplasmosis. — *J. Clin. Microbiol.*, **35** : 2618-2622.
- GOMEZ, B.L., FIGUEROA, J.I., HAMILTON, A.J., DIEZ, S., ROJAS, M., TOBON, A., RESTREPO, A. & HAY, R.J. 1999. The detection of the 70-kDa *Histoplasma capsulatum* antigen in serum of histoplasmosis patients: correlation between antigenaemia and therapy during the course of follow-up. — *J. Clin. Microbiol.*, **37** : 675-680.
- HAMILTON, A.J. 1998. Serodiagnosis of histoplasmosis, paracoccidioidomycosis and penicilliosis marneffei : current status and trends. — *Medical Mycology*, **36** : 351-364.
- HEINER, D.C. 1958. Diagnosis of histoplasmosis using precipitins reactions in agar. — *Pediatrics*, **22** : 616-627.
- KAMEL, S.M., WHEAT, L.J., GARTEN, M.L., BARTLETT, M.S., TANSEY, M.R. & TEWARI, R.P. 1989. Production and characterization of murine monoclonal antibodies to *Histoplasma capsulatum* yeast cell antigens. — *Infect. Immun.*, **57** : 896-901.
- KAUFMAN, L. 1992. Laboratory methods for the diagnosis and confirmation of systemic mycoses. — *Clin. Infect. Dis.*, **14** (Suppl. 1) : S23- S29.
- KAUFMAN, L., STANDARD, P.G., ANDERSON, S.A., JALBERT, M. & SWISHER, B.L. 1995. Development of specific fluorescent-antibody test for tissue form of *Penicillium marneffei*. — *J. Clin. Microbiol.*, **33** : 2136-2138.
- KWON-CHUNG, K.J. & BENNETT, J.E. 1992. Histoplasmosis. — In : KWON-CHUNG, K.J. & BENNETT, J.E. (eds.), Medical Mycology, Lea and Febiger, Philadelphia, London, pp. 464-513.
- LELAND, D.S., ZIMMERMAN, S.E., CUNNINGHAM, E.B., BARTH, K.A. & SMITH, J.W. 1991. Variability in commercial histoplasma complement fixation antigens. — *J. Clin. Microbiol.*, **29** (8) : 1723-1724.
- PINE, L. 1977. Histoplasma antigens : their production purification and uses. — *Contrib. Microbiol. Immunol.*, **3** : 138-168.
- PIZZINI, C., ZANCOPE-OLIVEIRA, R.M., REISS, E., HAJEH, R., KAUFMAN, L. & PERALTA, J.M. 1999. Evaluation of a Western blot test in an outbreak of acute pulmonary histoplasmosis. — *Clin. Diag. Lab. Immunol.*, **6** (1) : 20-23.

- REISS, E., KNOWLES, J.B., BRAGG, S.L. & KAUFMAN, L. 1986. Monoclonal antibodies against the M-protein and carbohydrate antigens of histoplasmin characterized by the enzyme-linked immunoelectrotransfer blot method. — *Infect. Immun.*, **53** : 540-546.
- TORRES, M., DIAZ, H., HERRERA, T. & SADA, E. 1993. Evaluation of enzyme-linked immunosorbent-assay and western blot for the diagnosis of histoplasmosis. — *Revista de Investigaci3n enzimol3gica*, **45** : 155-160.
- WHEAT, L.J. 1994. Histoplasmosis: recognition and treatment. — *Clin. Infect. Dis.*, **19** : 19-27.
- WHEAT, L.J. 1996. Histoplasmosis in the acquired immunodeficiency syndrome. — *Curr. Trop. Med. Mycol.*, **7** : 7-18.
- WHEAT, L.J., CONNOLLY-STRINGFIELD, P.A. & BAKER, R.L. 1990. Disseminated histoplasmosis in the acquired immune deficiency syndrome: clinical findings, diagnosis and treatment, and review of the literature. — *Medicine*, **69** : 361-374.
- WHEAT, L.J., CONNOLLY-STRINGFIELD, P., BLAIR, R., CONNOLLY, K., GARRINGER, T. & KATZ, B.P. 1991. Histoplasmosis relapse in patients with AIDS: detection using *Histoplasma capsulatum* variety *capsulatum* antigen levels. — *Ann. Intern. Med.*, **115** : 936-941.
- WHEAT, L.J., CONNOLLY-STRINGFIELD, P., BLAIR, R., CONNOLLY, K., GARRINGER, T., KATZ, B. & GUPTA, M. 1992a. Effect of successful treatment with amphotericin B on *Histoplasma capsulatum* variety *capsulatum* polysaccharide antigen levels in patients with AIDS and histoplasmosis. — *Am. J. Med.*, **92** : 153-160.
- WHEAT, L.J., CONNOLLY-STRINGFIELD, P., WILLIAMS, B., CONNOLLY, K., BLAIR, R. & BARTLETT, M. 1992b. Diagnosis of histoplasmosis in patients with the acquired immunodeficiency syndrome by detection of *Histoplasma capsulatum* polysaccharide antigen in bronchoalveolar lavage fluid. — *Am. Rev. Respir. Dis.*, **145** : 1421-1424.
- WHEAT, L.J., FRENCH, M.L.V., KAMEL, S. & TEWARI, R. 1986a. Evaluation of cross-reactions in *H. capsulatum* serologic test. — *J. Clin. Microbiol.*, **23** : 493-499.
- WHEAT, L.J., KOHLER, R. & TEWARI, R. 1986b. Diagnosis of disseminated histoplasmosis by detection of *Histoplasma capsulatum* antigen in serum and urine specimens. — *N. Engl. J. Med.*, **314** : 83-88.
- WHEAT, L.J., KOHLER, R., TEWARI, R., GARTEN, M.L. & FRENCH, M.L.V. 1989. Significance of *Histoplasma* antigen in the cerebrospinal fluid of patients with meningitis. — *Arch. Intern. Med.*, **149** : 302-304.
- WHEAT, L.J., WHEAT, H., CONOLLY-STRINGFIELD, P., KLEIMAN, M., SUPPARANTPINO, K., NELSON, K., BRADSHAW, R. & RESTREPO, A. 1997. Cross-reactivity in the *Histoplasma capsulatum* variety *capsulatum* antigen assays of urine samples from patients with endemic mycosis. — *Clin. Infect. Dis.*, **24** : 1169-1171.
- WILLIAMS, B., FOJTASEK, M., CONNOLLY-STRINGFIELD, P. & WHEAT, J. 1994. Diagnosis of histoplasmosis by antigen detection during an outbreak in Indianapolis. — *Ind. Arch. Pathol. Lab. Med.*, **118** : 1205-1208.
- ZANCOPE-OLIVEIRA, R.M., BRAGG, S.M., REISS, E., WANKE, B. & PERALTA, J.M. 1994. Effects of Histoplasmin M antigen chemical and enzymatic deglycosilation on cross-reactivity in the enzyme-linked immunoelectrotransfer blot method. — *Clin. Diag. Lab. Immunol.*, **1** (4) : 390-393.

- ZANCOPE-OLIVEIRA, R.M., REISS, E., LOTT, T.J., MAYER, L.W. & DEEPE, G. Jr. 1999. Molecular cloning, characterization and expression of the M antigen of *Histoplasma capsulatum*. — *Infect. Immun.*, **67** (4) : 1947-1953.
- ZIMMERMAN, S.E., CONNOLLY-STRINGFIELD, P., WHEAT, L.J., MORRIS, L., FRENCH, M. & KOHLER, R.B. 1989. Comparison of sandwich solid-phase radioimmunoassay and two enzyme-linked immunosorbent assays for detection of *Histoplasma capsulatum* polysaccharide antigen. — *J. Infect. Dis.*, **160** : 678-685.

Application of Monoclonal Antibodies to the Diagnosis of Tropical Dimorphic Fungal Pathogens*

by

Andrew HAMILTON**, Beatriz GOMEZ*** & L. JEAVONS**

KEYWORDS. — Diagnosis ; Monoclonal Antibodies ; Dimorphics ; Fungal Pathogens.

SUMMARY. — Monoclonal antibodies (MoAbs) have played a major role in biomedical research and they have been used in the characterization and identification of diagnostically important antigens from a range of fungal pathogens, including the tropical dimorphic fungi. They have been applied to three areas, which are interrelated: a) antigen definition and characterization for use in detection of antibody responses, b) detection of diagnostically useful antigen in body fluids, and c) diagnosis by immunohistochemical detection. Thus MoAbs have now been applied in the serodiagnosis of *Histoplasma capsulatum*, *Paracoccidioides brasiliensis* and *Penicillium marneffei*, and developments with regard to the latter two organisms are described in this paper. Developments centre around the use of inhibition-ELISAs and dot blot assays, with the goal being the development of sensitive, specific and easy-to-use assays for the identification of fungal infections.

MOTS-CLES. — Diagnostic, Anticorps monoclonaux ; Dimorphismes, Pathogènes fongiques.

RESUME. — Application d'anticorps monoclonaux au diagnostic de pathogènes fongiques dimorphes tropicaux. — Les anticorps monoclonaux (MoAbs) jouent un rôle majeur dans la recherche biomédicale. Ils ont été utilisés pour la caractérisation et l'identification d'antigènes importants du point de vue diagnostic, extraits d'un grand nombre de champignons pathogènes, y compris de champignons tropicaux dimorphes. Ils sont impliqués dans trois domaines qui s'imbriquent les uns dans les autres : a) la définition de l'antigène et sa caractérisation en application à la détection de la production d'anticorps, b) la détection dans les fluides d'antigènes utiles au diagnostic, c) le diagnostic par détection immunohistochimique. Les MoAbs sont notamment appliqués au sérodiagnostic d'*Histoplasma capsulatum*, *Paracoccidioides brasiliensis* et *Penicillium marneffei*. et ce sont les travaux concernant ces deux derniers organismes dont nous traitons ici. La discussion est centrée sur l'emploi des tests d'inhibition d'ELISA et sur la réalisation d'hybridations

* Paper read at the Fifth Raymond Vanbreuseghem Conference held on 10 March 2000. Text received on 26 April 2000.

** Dermatology Laboratory, St John's Institute of Dermatology, 5th Floor, Thomas Guy House, Guys Hospital, London SE1 9RT (United Kingdom).

*** Dermatology Laboratory, St John's Institute of Dermatology, 5th Floor, Thomas Guy House, Guys Hospital, London SE1 9RT (United Kingdom) ; Corporación para Investigaciones Biológicas, A.A. 73-78, Medellín (Colombia).

moléculaires, le but étant la mise au point de techniques sensibles, spécifiques et faciles à réaliser pour la détection de ces infections fongiques.

TREFWOORDEN. — Diagnose ; Monoklonale antistoffen ; Dimorfen ; Pathogene zwammen.

SAMENVATTING. — *Toepassing van monoklonale antistoffen bij de diagnose van tropische dimorfe pathogene zwammen.* — Monoklonale antistoffen (MoAbs) spelen een bepalende rol bij biomedisch onderzoek ; zij werden gebruikt bij de karakterisering en identificatie van diagnostisch belangrijke antigenen afkomstig uit een reeks pathogene zwammen, de dimorfe tropische zwammen inbegrepen. Zij zijn betrokken in drie overlappende domeinen : a) de definitie en de karakterisering van het antigen toegepast bij de detectie van antistoffenproductie, b) de opsporing van diagnostisch nuttige antigenen in lichaamsvocht, en c) de diagnose door immunohistochemische opsporing. De MoAbs worden intussen toegepast in de serodiagnostiek van *Histoplasma capsulatum*, *Paracoccidioides brasiliensis* en *Penicillium marneffeii*. De werken m.b.t. deze laatste twee organismen worden in deze studie beschreven. De discussie is vooral gericht op het gebruik van de inhibitie Elisa-test en op het uitvoeren van moleculaire hybridisaties, gezien het de bedoeling is gevoelige, specifieke en gemakkelijk uit te voeren technieken op punt te stellen voor het opsporen van deze schimmelinfecties.

Introduction

The gold standards for the diagnosis of disseminated fungal infections are cultural isolation and positive histochemical identification. However, serological detection of infections arising from the tropical dimorphic fungi may be of great importance, both at the time of diagnosis and during the monitoring of patients' response to therapy. The latter is of particular importance in situations where cultural procedures fail, or where histochemical identification lacks sensitivity. Immunohistochemical identification can provide a useful aid to the latter, and it can increase both sensitivity and specificity.

Monoclonal antibodies (MoAbs) are potentially of use in both serodiagnosis and in immunohistochemistry. To some extent MoAbs have tended to replace existing polyclonal sera in diagnostic tests, a development which has arisen from the appreciation of the problems inherent in the use of polyclonal antisera, such as: a) batch variation, b) availability of limited sera stocks, c) absence of standardization between various antibody batches, with concurrent inability to compare the results of detection experiments, d) relative lack of sensitivity of the antisera, e) difficulties in identifying the actual antigen being detected, f) the potential lack of specificity of such reagents, necessitating cross-absorption. In contrast the supply of any given MoAb is unlimited, each MoAb has defined chemical reproducibility/specificity, and their production does not require access to a continuous supply of antigen.

However, the use of MoAbs is not problem free, and there are potential pitfalls in the application of these reagents due to intrinsic cross-reactivity resulting

from the presence of related chemical structures or shared determinants. Other problems resulting from low antibody affinity can also occur. However, the application of MoAbs has had a significant impact on the diagnosis of tropical dimorphic mycoses, and recent developments, particularly with regard to *Histoplasma capsulatum*, *Paracoccidioides brasiliensis* and *Penicillium marneffei*, suggest that the application of these reagents still has a great deal to offer. This review will deal with the application of MoAb technology to the latter two pathogens.

Paracoccidioides brasiliensis

Paracoccidioidomycosis (PCM), a disorder caused by the dimorphic fungus *P. brasiliensis*, is one of the most important systemic mycoses in Central and South America (BRUMMER *et al.* 1993). The disease primarily involves the lungs and then disseminates to other organs and systems. Secondary lesions frequently appear in the mucous membranes, skin, lymph nodes, and adrenals. Two main clinical forms are recognized: the acute or subacute form (juvenile type) and the chronic form (adult type) (FRANCO *et al.* 1987). Both the clinical presentation and the course of disease vary from patient to patient (BRUMMER *et al.* 1993), impeding prompt clinical diagnosis.

The definitive diagnosis of paracoccidioidomycosis can only be accomplished by laboratory procedures such as direct examination, culture and serodiagnosis (BRUMMER *et al.* 1993). To date, no serological method for the diagnosis of paracoccidioidomycosis has been made commercially available, despite the fact that serological procedures are of great value (MENDES GIANNINI *et al.* 1994). Many different tests have been employed for antibody detection and immunodiffusion and complement fixation are the most widely employed. Historically the majority of these tests suffered from cross-reactivity. Polyclonal antibodies have been utilized in antigen characterization, and have also been used in antigen detection (MENDES GIANNINI *et al.* 1994). The first report detailing the production of species specific MoAbs used a modification of the standard MoAb technology (FIGUEROA *et al.* 1990) although these MoAbs were not subsequently used in serodiagnosis. MoAbs produced against the gp43 antigen, which is considered to be the most diagnostically useful antigen (BRUMMER *et al.* 1993), have been applied in a capture enzyme immunoassay for the detection of specific human anti-gp43 immunoglobulin G in patients with paracoccidioidomycosis (CAMARGO *et al.* 1994). Using this assay the reactivities of patient sera were found to be significantly higher than those of control sera. More anti-gp43 MoAbs were produced and used to conduct a detailed study on the subcellular distribution of this antigen by immunoelectron microscopy (STRAUS *et al.* 1996); these reagents were also used for *in vivo* studies to modulate laminin-mediated fungal adhesion to epithelial cells and pathogenesis (GESZTESI *et al.* 1996), but have not, as yet, been used in serodiagnosis.

Several other *P. brasiliensis* antigens have now also been identified and characterized to a greater or lesser extension using MoAbs. These include the 58 kDa (FIGUEROA *et al.* 1995) and 22 kDa glycoproteins (FIGUEROA *et al.* 1994). The former was recognized by 81 % of immune human sera when tested by Western blot and the latter is of more interest as an immunohistochemical marker. More recently, work in the Dermatology Department at Guys Hospital has focused on the production of novel panels of MoAbs, with the use of cyclophosphamide incorporated into immunization protocols. Cyclophosphamide is used as an immunomodulator in this context, and acts by either killing proliferating B cells or by down-regulating them.

Thus, when a mouse receives an immunization with a complex mix of antigens (such as *H. capsulatum* cytoplasmic yeast antigen) a subset of B cells will begin to proliferate in response to the particular epitopes recognized by each. At that point administration of cyclophosphamide will effectively ablate the response of these B cells by initiating cell death or down-regulation. If, after a short period of recuperation, the mouse is then given a second immunization (for example of *P. brasiliensis* yeast cytoplasmic antigen) only specific B cells are in a position to respond, as those recognizing cross-reactive epitopes will have already been deleted. This provides a method of modulating an animal's B cell responses *in vivo*. Subsequently the chosen animal's spleen may be used to produce MoAbs using conventional hybridoma technology.

Accordingly, Balb/c mice were inoculated with a mixture of *H. capsulatum* and *Blastomyces dermatitidis* cytoplasmic yeast antigen and were then treated with cyclophosphamide. After a short delay mice then received sequential immunizations with *P. brasiliensis* yeast cytoplasmic antigen. Sera were then collected from the mice and were used to detect differential polyclonal antibody responses by ELISA. Mice with high responses to *P. brasiliensis* antigen and low responses to the other two antigens were then used in the fusion experiment; spleens were removed and B cells fused with the sp2/0 myeloma partner cell. Hybridomas were subcloned twice to ensure monoclonality and the resultant MoAbs were then tested for specificity using ELISA and Western blot. One MoAb, designated P1B, was found to be particularly useful in this context, and it demonstrated low cross-reactivity with a range of different fungal antigens. P1B recognized a single band at 87kDa by Western blot, which was absent in cytoplasmic antigens from *H. capsulatum* and other dimorphic fungal antigens.

P1B was then used to develop an inhibition ELISA based on previous studies using anti-*H. capsulatum* MoAbs (GOMEZ *et al.* 1997). This assay is based on the principle that free antigen in sera will bind to specific MoAbs and so prevent (inhibit) it binding to known concentrations of antigen bound to the bottom of a reaction plate. The inh-ELISA was then used to test sera from patients infected with a range of disseminated mycotic diseases; the overall sensitivity of the test was 80.4 %, whereas the specificity of the test was 81.6 % (GOMEZ *et al.* 1997).

Most interestingly, the assay was very useful in monitoring the clinical improvement of patients undergoing drug treatment, and decline in antigenemia correlated well with improvement in clinical score. The inh-ELISA is also currently being modified into an antigen-trap ELISA for use in field conditions.

As an adjunct to this work, PIB has been used successfully to detect *P. brasiliensis in situ* using immunofluorescence and immunoperoxidase labelling. Yeast cells can be easily identified using this technique, which is of considerable use to histopathologists. We have also noted that deposition of the 87kDa antigen may occur throughout *P. brasiliensis* granulomas, which confirms that the antigen is extracellular.

Penicillium marneffe

P. marneffe is an important dimorphic fungal pathogen that causes disseminated disease, particularly in individuals with AIDS (CHARIYALERTSAK *et al.* 1996). The recent rise in cases of infection can be attributed almost totally to the arrival of the AIDS pandemic in this geographical area. Infection with *P. marneffe* is fatal if untreated, and is typically manifested by skin lesions, with other symptomology including fever, weight-loss, skin lesions, and pancytopenia. The fungus is endemic in South-East Asia and the southern part of China, with many reported cases. There are also a growing number of reported cases in western countries, typically in tourists returning from the endemic zone. The precise environmental niche of *P. marneffe* is unknown, although it has been shown to also infect bamboo rats in Thailand. It is thought that individuals become infected after the inhalation of conidia, which are deposited in the lungs, and then initiate disease. The organism is relatively easy to culture from clinical samples, and the characteristic red pigment produced by the mycelial form is also diagnostically useful (DUONG 1996, DROUHET 1993). However, there remain obvious advantages to be gained from the early diagnosis of infection *prior* to the appearance of dermatological involvement. Research into the serodiagnosis of *P. marneffe* is still in its relative infancy, although several recent papers have identified a number of potentially useful antigens which may be recognized by patients sera (CHONGTRAKOOL *et al.* 1997, JEAVONS *et al.* 1998, CAO *et al.* 1998). Only one attempt has been made at antigen detection, involving the application of a rabbit polyclonal against fission arthroconidia filtrate (KAUFMAN *et al.* 1996).

Thus far the only published report on the application of MoAbs to the diagnosis of *P. marneffe* infections relates to MoAb EB-A1, which recognizes galactomannan in both *P. marneffe* and *Aspergillus* sp. (ARRESE ESTRADA *et al.* 1992). This antibody has been used in the immunohistochemical identification of *P. marneffe* in formalin fixed specimens; however its lack of specificity is an obvious problem. A pre-absorbed polyclonal antibody has also demonstrated the potential for immunohistochemical detection (KAUFMAN *et al.* 1995). There is

thus clearly scope for the production and use of *P. marneffe*i specific MoAbs as immunohistochemical tools, as reagents to define immunologically reactive antigens and as probes to use in antigen detection systems. Indeed efforts are currently under way in the Dermatology Laboratory at Guys Hospital to produce MoAbs against culture filtrate antigens of *P. marneffe*i [specifically the 50,54 and 88kDa antigens (JEAVONS *et al.* 1998)] and these reagents will, hopefully, have a significant impact on the diagnosis of *P. marneffe*i infections.

Other work has centred on the production of MoAbs using the cyclophosphamide ablation technique described above. Balb/c mice were inoculated with a mixture of *H. capsulatum* and *Aspergillus fumigatus* cytoplasmic antigens, and were then treated with cyclophosphamide. After a period of recovery mice then received sequential immunizations with *P. marneffe*i cytoplasmic antigen, and sera was collected and used to test their polyclonal antibody responses against the three immunizing antigens. The spleen from the mouse with the biggest differential antibody response (with the highest antibody reactivity to *P. marneffe*i), was then used in a fusion experiment using the mouse myeloma sp2/0 cell line.

After two subclonings a series of MoAbs were produced, using ELISA reactivity as the selection criteria. These MoAbs were designated 1D5, 4E3, 11G8 and 9H2 and were assessed for specificity against a range of fungal antigens using both ELISA and Western blot. 11G8 appears to be of particular significance, and it shows no recognition to antigens derived from *H. capsulatum*, *P. brasiliensis*, *A. fumigatus* or any other fungal antigen. By Western blot this MoAb recognizes a smear between 200-50kDa, which is suggestive of a repeat epitope, possibly carbohydrate in nature. This MoAb has accordingly been used to develop a dot blot assay in an attempt to detect antigen directly in the sera or urine from infected patients. Initially, whole cytoplasmic *P. marneffe*i antigen was spotted on to nitrocellulose paper strips and air-dried (at a range of concentrations from 10ug down to 10pg). Strips were then incubated with the MoAb 11G8, washed and then incubated with a commercial goat antimouse IgG peroxidase labelled conjugate followed by a chromogenic substrate which, when developed, yields a brown precipitate. This data indicated that the MoAb was sensitive down to 100pg of antigen.

Subsequently, *P. marneffe*i antigen was then used to "spike" normal human sera and the experiment was repeated - this indicated that the MoAb was able to detect as little as 5ng of antigen under these conditions. Accordingly, we are currently assessing this test using sera from patients with confirmed *P. marneffe*i infections - we are optimistic that we will then be able to detect antigen under these conditions. An important component of this will be an assessment of the specificity of the test under such circumstances and thus sera from patients with a range of fungal infections will also be tested.

Conclusions

It should be apparent from the preceding review that the application of MoAbs has added to our ability to diagnose tropical dimorphic mycoses, particularly in regard to the detection of *P. brasiliensis* and *P. marneffei* antigens in samples from patients. Antigen detection offers advantages over antibody detection, a factor that has been responsible for the growth in interest in this area. That is not to say that antigen detection offers a complete solution to the serological diagnosis of disseminated mycoses, and substantial problems may be encountered relating to immune complex formation, rapid clearance of antigen and indeed the release of low or very low quantities of antigen. Such problems might be overcome by the use of mixtures of specific MoAbs directed against different determinants, an approach that as yet has attracted little interest.

In terms of the actual production of MoAbs, care should be taken in ensuring that these reagents are made against antigens that are *actually* serodiagnostically useful. Thus there are now a substantial number of reports on the production of MoAbs against fungal antigens, and yet comparatively few of these reagents, at least until relatively recently, have been used to produce useful assays. The impact of MoAbs in terms of immunohistochemical diagnosis has been much less profound, and much remains to be done in this area. Finally, note should also be made with regard to the diagnosis of mycoses of the *potential* of the newer molecular biological-based technologies, such as PCR-based diagnosis, to augment or supersede serodiagnostic/immunohistochemical approaches. However, as yet the use of such methodologies is not generalized and as such there is still potential for an expansion of the application of MoAbs in the field of mycological diagnosis.

REFERENCES

- ARRESE ESTRADA, J., STYNEN, D., VAN CUTSEM, J., PIERARD-FRANCHIMONT, C. & PIERARD, G.E. 1992. Immunohistochemical identification of *Penicillium marneffei* by monoclonal antibody. — *Intern. J. Derm.*, **31** : 410-412.
- BRUMMER, E., CASTANEDA, E. & RESTREPO, A. 1993. Paracoccidioidomycosis: an update. — *Clin. Microbiol. Rev.*, **6** : 89-117.
- CAMARGO, Z.P., GESZTESI, J.L., SARAIVA, E.C., TABORDA, C.P., VICENTINI, A.P. & LOPES, J.D. 1994. Monoclonal antibody capture enzyme immunoassay for detection of *Paracoccidioides brasiliensis* antibodies in paracoccidioidomycosis. — *J. Clin. Microbiol.*, **32** : 2377-2381.
- CAO, L., CHAN, C.M., LEE, C., WONG, S.S. & YUEN, K.Y. 1998. MP1 encodes an abundant and highly antigenic cell wall mannoprotein in the pathogenic fungus *Penicillium marneffei*. — *Infect. Immun.*, **66** : 966-973.
- CHARIYALERTSAK, S., SIRISANTHANA, T., SUPPARATPINO, K. & NELSON, K.E. 1996. Seasonal variation of disseminated *Penicillium marneffei* infections in northern Thailand : a clue to the reservoir ? — *J. Infect. Dis.*, **173** : 1490-1493.

- CHONGTRAKOOL, P., CHAIYAROJ, S.C., VITHAYASAI, V., TRAWATCHAREGO, S., TEANPAISAN, R., KALNAWAKUL, S. & SIRISINHA, S. 1997. Immunoreactivity of a 38-kilodalton *Penicillium marneffei* antigen with human immunodeficiency virus-positive sera. — *J. Clin. Microbiol.*, **35** : 2220-2223.
- DROUHET, E. 1993. Penicilliosis due to *Penicillium marneffei*: a new emerging systemic mycosis in AIDS patients travelling or living in Southeast Asia. Review of 44 cases reported in HIV infected patients during the last 5 years compared to 44 cases of non-AIDS patients reported over 20 years. — *J. Mycol. Med.*, **4** : 195-224.
- DUONG, T.A. 1996. Infection due to *Penicillium marneffei*, an emerging pathogen: review of 155 reported cases. — *Clin. Infect. Dis.*, **23** : 125-130.
- FIGUEROA, J.I., HAMILTON, A.J., BARTHOLOMEW, M.A., HARADA, T., FENELON, L. & HAY, R.J. 1990. Preparation of species-specific murine monoclonal antibodies against yeast phase of *Paracoccidioides brasiliensis*. — *J. Clin. Microbiol.*, **28** : 1766-1769.
- FIGUEROA, J.I., HAMILTON, A., ALLEN, M. & HAY, R. 1994. Immunohistochemical detection of a novel 22-to 25-kDa glycoprotein of *Paracoccidioides brasiliensis* in biopsy material and partial characterization by using species-specific monoclonal antibodies. — *J. Clin. Microbiol.*, **32** : 1566-1574.
- FIGUEROA, J.I., HAMILTON, A.J., ALLEN, M.H. & HAY, R. 1995. Isolation and partial characterization of a *Paracoccidioides brasiliensis* 58 kDa extracellular glycoprotein which is recognized by human immune sera. — *Trans. R. Soc. Trop. Med. Hyg.*, **89** : 566-572.
- FRANCO, M., MONTENEGRO, M.R., MENDES, R.P., MARQUEZ, S.A., DILLION, N.L. & MOTA, N.G.S. 1987. Paracoccidioidomycosis: a recently proposed classification on its clinical forms. — *Rev. Soc. Bras. Med. Trop.*, **20** : 129-132.
- GESZTESI, J.L., PUCCIA, R., TRAVASSOS, L.R., VICENTINI, A.P., DE MORAES, J.Z., FRANCO, M.F. & LOPES, J.D. 1996. Monoclonal antibodies against the 43,000 Da glycoprotein from *Paracoccidioides brasiliensis* modulate laminin-mediated fungal adhesion to epithelial cells and pathogenesis. — *Hybridoma*, **15** : 415-422.
- GOMEZ, B.L., FIGUEROA, J.I., HAMILTON, A.J., ORTIZ, B., ROBLEDO, M.A., HAY, R.J. & RESTREPO, A. 1997. Use of monoclonal antibodies in diagnosis of paracoccidioidomycosis: new strategies for detection of circulating antigens. — *J. Clin. Microbiol.*, **35** : 3278-3283.
- GOMEZ, B.L., FIGUEROA, J.I., HAMILTON, A.J., ORTIZ, B.L., ROBLEDO, M.A., RESTREPO, A. & HAY, R.J. 1997. Development of a novel antigen detection test for histoplasmosis. — *J. Clin. Microbiol.*, **35** : 2618-2622.
- JEAVONS, L., HAMILTON, A.J., VANITTANAKOM, N., UNGPAKORN, R., EVANS, E.G.V., SIRISANTHANA, T. & HAY, R.J. 1998. Identification and purification of specific *Penicillium marneffei* antigens and their recognition by human immune sera. — *J. Clin. Microbiol.*, **36** : 949-954.
- KAUFMAN, L., STANDARD, P.G., ANDERSON, S.A., JALBERT, M. & SWISHER, B.L. 1995. Development of specific fluorescent-antibody test for tissue form of *Penicillium marneffei*. — *J. Clin. Microbiol.*, **33** : 2136-2138.
- KAUFMAN, L., STANDARD, P.G. & JALBERT, M. 1996. Diagnostic antigenemia tests for *penicilliosis marneffei*. — *J. Clin. Microbiol.*, **34** : 2503-2505.
- MENDES GIANNINI, M.J.S., DEL NEGRO, G.B. & SIQUEIRA, A.M. 1994. Serodiagnosis. — In : FRANCO, M., DA SILVA LACAZ, C. & RESTREPO, A. (Eds.), Paracoccidioidomycosis. CRC Press, Inc., Boca Raton, Fla. 345-363.

- STRAUS, A.H., FREYMULLER, E., TRAVASSOS, L.R. & TAKAHASHI, H.K. 1996. Immunochemical and subcellular localisation of the 43 kDa glycoprotein antigen of *Paracoccidioides brasiliensis* with monoclonal antibodies. — *J. Med. Vet. Mycol.*, **34**: 181-186.

Closure

by

Hugo VANDEN BOSSCHE
Janssen Research Foundation

It is my pleasure to thank the speakers for their interesting presentations. I am sure that it is the wish of all those present that I express thanks to our host, the Royal Academy for Overseas Sciences, and I would like to thank all of you for participating in the fifth Vanbreuseghem conference. I do hope that in 2003 we can commemorate again Raymond Vanbreuseghem at the 6th Conference.

Klasse voor Morele en Politieke Wetenschappen

Classe des Sciences morales et politiques

Les droits africains entre positivisme et pluralisme *

par

Jacques VANDERLINDEN**

RESUME. — Depuis plusieurs années les observateurs de la réalité juridique africaine constatent l'effondrement de la justice étatique héritée de la colonisation. Parallèlement naissent des systèmes juridiques dits erronément, aux yeux des pluralistes, «informels» alors qu'ils sont les seuls à fonctionner effectivement pour la grande masse de la population. Est-il possible, voire souhaitable, de réconcilier l'ordre positiviste étatique avec ce pluralisme ? Tel est sans doute le défi que pose aux droits africains le 21^e siècle.

SAMENVATTING. — *De Afrikaanse rechten tussen positivisme en pluralisme.* — Sedert verschillende jaren stellen de waarnemers van de Afrikaanse juridische realiteit de instorting vast van de van de kolonisatie overgeërfde staatsrechtspraak. Parallel hiermee ontstaan volgens pluralisten ten onrechte „informele” juridische systemen genoemd, terwijl zij de enige zijn die voor het grootste deel van de bevolking daadwerkelijk functioneren. Is het mogelijk, ja zelfs wenselijk, de positivistische staatsorde en dit pluralisme met elkaar te verzoenen ? Dit is waarschijnlijk de uitdaging van de 21ste eeuw voor de Afrikaanse rechten.

SUMMARY. — *The African Rights between Positivism and Pluralism.* — For several years, the observers of African legal reality have witnessed a collapse of the state law inherited from colonization. At the same time legal systems have appeared which are wrongly, according to pluralists, called “informal” even though these alone are really acting for the great majority of people. Is it conceivable, or even desirable, to reconcile the state positivist order with such pluralism ? This is probably the challenge addressed to the African rights in the 21st century.

1. Introduction.

A propos de positivisme et pluralisme

Depuis un peu plus d'un quart de siècle, le pluralisme juridique est revenu à la mode [1]** et le positivisme, qui a dominé les études juridiques pendant la

* Communication présentée à la séance de la Classe des Sciences morales et politiques tenue le 16 mai 2000. Texte reçu le 10 août 2000.

** Membre titulaire honoraire de l'Académie.

*** Les chiffres entre crochets [] renvoient aux notes et références, pp. 290-292.

grande partie du siècle précédent, est sur la défensive encore qu'il présente sur son rival un avantage certain : il fournit une définition du droit sur laquelle existe un consensus dans la plus grande partie du monde juridique et particulièrement dans les pays de tradition romaniste [2]. Pour faire simple — certains diront simpliste et ils n'auront sans doute pas tort — mais surtout pour faire bref, je poserai que cette définition comprend huit éléments : le Droit [3] positif est *unique* (il n'y en a qu'un dans le ressort qui est le sien), *étatique* (ce ressort est celui de l'Etat, seul producteur de droit), formé de *règles* (dispositions caractérisées par leur généralité et leur permanence) *abstraites* (elles sont souvent formulées au départ de concepts construits dans le cerveau des juristes) tendant à l'*objectivité* (ce qui découle en partie du caractère précédent) dans une *hiérarchie* (dont le respect est garanti par divers mécanismes de contrôle) dominée par la *loi* (à l'origine elle seule est source de droit et si un rôle est reconnu à la coutume il est quantitativement et qualitativement réduit) dont des *procédés déductifs* (on part du général pour aller au particulier) permettent de dégager la manière de résoudre des cas concrets. Le pluralisme, par contre, peut se caractériser par un ensemble d'antonymes des termes précédents. Au droit unique s'opposent des droitS [4] *multiples* ; à l'Etat, les collectivités, voire l'*individu* ; à la règle, le *processus* ; à l'abstraction, le cas *concret* ; à l'objectivité, la *subjectivité* ; à la hiérarchie des sources et des ordres juridiques, leur *égalité* ; à la loi, la *coutume* ou l'*acte* juridique ; à la déduction, l'*induction* qui remonte du cas concret vers la solution. Ce qui donne le tableau suivant :

POSITIVISME	PLURALISME
Le Droit unique étatique somme de règles abstraites objectives hiérarchisées issues exclusivement de la loi base de la déduction	Les droitS multiples collectifs ou individuels somme de solutions concrètes subjectives égales issues aussi bien de la coutume et l'acte au départ de l'induction

Ajoutons que, pour être fidèles à leur logique, les pluralistes ont considérablement évolué depuis que leur perception du droit est revenue à la mode [5], de même d'ailleurs que certains positivistes, mais ils sont infiniment moins nombreux, ont, eux aussi, parfois assoupli leur position [6]. Il n'en demeure pas moins qu'il y a sans doute aujourd'hui autant de conceptions du pluralisme qu'il y a de personnes qui s'y intéressent. Il est cependant possible de suggérer qu'il

existe en leur sein deux grandes catégories : celle de ceux qui estiment que, quelle que soit l'autonomie acquise ou reçue par divers ordres normatifs non étatiques, l'ordre normatif étatique, donc, en fait, le droit des positivistes, doit continuer à jouir d'un statut prééminent qui lui confère ce que certains appellent un rôle de chef d'orchestre [7] parmi les différents ordres normatifs existant dans l'espace contrôlé par l'Etat. Si on admet ce point de vue, les ordres normatifs non étatiques, aussi importants et effectifs soient-ils, ne jouissent pas de l'autonomie ; ils sont semi-autonomes. Par contraste, d'autres théoriciens estiment que s'il est exact que certains ordres normatifs sont éventuellement contrôlés par l'Etat, il en existe nombre d'autres qui ne le sont pas, tout en jouant un rôle capital dans les rapports entre individus, et qu'il est donc essentiel de les prendre en compte, qu'on les appelle ou non droits. Ces pluralistes, parmi lesquels je me range, sont parfois appelés radicaux par leurs collègues [8].

Ceci posé, mon propos est de m'interroger sur la place du pluralisme dans la longue durée de l'histoire des droits africains. En effet, maintenant que la parenthèse coloniale (au sens de la production du droit et d'un point de vue formel, s'entend) est fermée depuis presque un demi-siècle, on peut considérer que — comme dans le cas de la Russie et de la parenthèse communiste — le cours de l'histoire africaine reprend un cours, certes profondément modifié par l'irruption des Européens, mais, sans doute aussi, plus authentiquement africain, au niveau des valeurs qui sous-tendent la production du droit. Est-il besoin en effet d'insister longuement sur le caractère profondément différent du mode africain de production du droit lorsqu'on le compare à celui qu'ont importé sur le continent les puissances coloniales ? Est-il besoin de souligner également le fait que la réception des droits européens et des principes les sous-tendant n'a jamais été complète et que les valeurs des droits originellement africains n'ont jamais entièrement disparu pendant la colonisation ? Est-il enfin besoin de rappeler que des fractions non négligeables des populations africaines, particulièrement en milieu urbain, ont vu leur mode de vie considérablement transformé par le seul jeu du fait colonial et que le droit a suivi ces transformations culturelles, économiques et sociales pour aboutir à l'existence de situations particulièrement complexes à cheval sur deux, voire plus de deux mondes ? Je ne le crois pas, du moins au sein de notre assemblée. Abordons donc la longue durée de l'histoire des droits africains.

2. Avant la colonisation

Lorsqu'on parle de colonisation en Afrique, on pense le plus souvent à la colonisation européenne. On oublie toujours que les premiers colonisateurs en furent les Arabes au cours du premier millénaire de l'ère chrétienne. Leur domination, qui s'étendit jusqu'en Espagne et s'y maintint bien plus longtemps que la

colonisation européenne en Afrique, fut, semble-t-il [9], marquée, sur le plan juridique, par un pluralisme radical en ce qui concerne le statut personnel des peuples soumis. Ce pluralisme ne concernera pas que les peuples originellement africains — ces Berbères qui aujourd'hui encore affirment, au-delà de leur conversion à l'islam, certains aspects de leurs traditions juridiques précoloniales et qui occupaient les rives de la Méditerranée avant leur arrivée. Il s'appliquera aussi aux enfants d'Israël lorsque l'Inquisition et la *Reconquista* les chasseront d'Espagne au nom d'un catholicisme plus «positiviste» et «étatique» — donc plus totalitaire — que l'islam. Ainsi s'établira, en Afrique du Nord, pendant des siècles, un pluralisme de statuts personnels que l'on retrouve dans tout le bassin méditerranéen musulman en passant par l'Égypte, le Liban ou la Grèce, sans oublier l'actuelle Bosnie. Bien entendu, l'autonomie complète ainsi accordée, dans ce domaine précis, aux réseaux normatifs des peuples conquis n'empêche pas que la Sublime Porte entende exercer sur eux un pouvoir constitutionnel sans partage [10] tout au long de cet arc immense. Le pluralisme est donc limité par la matière juridique à laquelle il s'applique. Mais, dans le cadre de celle-ci, il est radical, puisque les statuts personnels sont laissés entièrement à la discrétion des détenteurs du pouvoir dans les communautés religieuses en cause, qu'elles soient juives ou chrétiennes.

Mais en va-t-il autrement dans l'ancien Empire éthiopien ? Sans doute la documentation nous fait-elle défaut. Mais, à en juger par la situation telle qu'elle se présentait au cours de la première moitié du 20^e siècle, elle ne semble pas avoir été tellement différente. Certes l'Église copte d'Alexandrie jouissait du privilège considérable de religion d'Etat. Certes, elle ne manquait aucune occasion d'encourager les peuples de l'empire à rejoindre la «vraie foi». Mais l'Etat ne se souciait pas plus d'intervenir dans le droit des communautés islamisées constituant un tiers au moins de la population du pays que dans celui de minorités aussi réduites que celle des «Juifs d'Ethiopie», ces Falachas qui ont longtemps constitué l'une des curiosités du «musée de populations» éthiopien, ou encore dans celui des catholiques sur lesquels régnait l'archevêque d'Addis-Abeba.

Plus au sud, dans l'Afrique que d'aucuns s'obstinent à appeler noire, les indications manquent quant à ce que pouvait être une éventuelle cohabitation de réseaux normatifs de nature juridique. Je souhaiterais cependant hasarder une hypothèse dont je ne dissimule pas qu'elle est évidemment le reflet de mes convictions pluralistes. J'insiste toutefois sur le fait que j'ai le sentiment de peut-être vouloir trop prouver. Et qu'à trop vouloir prouver... Faites comme je dis, mais ne faites pas comme je fais. J'ai souligné de nombreuses fois [11] quel choc avait constitué pour le jeune positiviste que j'étais, découvrant le droit africain auprès des Zande, le «ça dépend» qui accueillait certaines de mes interrogations quant à la règle [12] qui devait être suivie dans telle ou telle situation. Or qu'indiquait pareille réponse, si ce n'est que la solution au problème que je posais n'allait pas venir d'une règle unique préétablie, imposée du sommet vers la base, formulée de manière abstraite et prétendant à l'objectivité pour s'imposer face à toute

autre manifestation d'un sentiment quelconque quant au droit à appliquer. La parole serait d'abord au fait et du fait on remonterait inductivement vers une solution. N'est-ce pas là du pluralisme si je me réfère à ce que j'en ai dit dans mon introduction ? Je n'irai pas plus loin, car si errer est humain, persévérer n'est pas ... libre-exaministe.

3. Pendant la colonisation

Pendant la période coloniale, qui débute, à proprement parler, avec le partage de l'Afrique à Berlin en 1885 — et même si certaines puissances coloniales nourrissent, un fugitif instant, l'illusion de la possibilité d'une assimilation juridique complète de leurs nouveaux sujets avec la métropole au nom d'un égalitarisme, louable peut-être, mais utopique [13] — toutes introduisent dans leurs colonies un régime de pseudo-pluralisme, en ce sens que les droits locaux, voire les droits religieux importés, sont reconnus sous certaines conditions dont la principale est, sans doute, pour les droits originellement africains, qu'ils soient conformes aux principes de la «civilisation» (que de crimes on commet en ton nom !) importée. Les ordres juridiques «reconnus» sont, en fait comme en droit, incorporés à l'ordre juridique colonial dont ils constituent autant de variantes *ratione personae*. Et cet ordre juridique est lui-même positiviste. Il l'est d'autant plus qu'il ne laisse qu'une place réduite, sinon nulle, au pluralisme politique et que le pouvoir étatique colonial est, le plus souvent, un pouvoir «fort». Cette incorporation est telle que les droits laissés en place lors de l'arrivée des Européens vont perdre leur caractère originel, situation que ne manqueront pas de dénoncer ceux qui perçoivent que ce qu'on appelle les droits «indigènes» n'aura bientôt plus d'indigènes que le nom. Ainsi naît en Afrique du Nord française, sous l'impulsion de la Deuxième chambre de la Cour d'appel d'Alger, ce droit franco-musulman que les experts de l'islam se refusent à considérer comme musulman [14] ; de même les droits dont le mode de production dominant est la coutume deviennent un droit euro-coutumier [15]. Les plus grands et les plus respectables des juristes s'y laissent prendre. Ainsi d'Antoine Sohier qui ne craint pas d'écrire qu'avant l'arrivée des Européens les sociétés africaines étaient, comme celles d'Europe, constituées d'Etats [16]. Mais peut-on reprocher à un juriste, que ses qualités exceptionnelles conduiront successivement du poste de Procureur général dans la Colonie à celui de Premier Président de la Cour de Cassation de Belgique, de penser le droit en positiviste, donc à travers l'Etat ? Aussi serais-je le dernier à le reprocher à ce maître de toute une génération qui a tant fait pour approcher les droits africains et auquel je dois tant dans mon parcours personnel. N'oublions pas qu'à ce moment l'unanimité des juristes et même une grande partie des anthropologues n'avaient pas encore complètement perçu l'importance de l'acéphalisme qu'allaient mettre en lumière Middleton et Tait dans leur *Tribes without Rulers* [17].

La vision positiviste et pseudo-pluraliste du colonisateur ne peut par ailleurs empêcher, dans les faits, l'existence d'un pluralisme radical dans la mesure où, d'une part, les droits originellement africains se défendent face au contrôle que prétend leur imposer l'ordre colonial et que, d'autre part, celui-ci voit apparaître en son sein une concurrence non conforme aux principes qui sont les siens. Je précise en deux temps en citant deux exemples empruntés à mon expérience personnelle en pays zande.

La résistance des droits originellement africains d'abord. L'une des douze circonscriptions indigènes, et donc l'un des douze tribunaux indigènes sur lesquels ont porté mes recherches dans le pays zande, était celle des Avuru Bakengai [18]. L'examen systématique, portant sur trois années, de la jurisprudence des tribunaux, puis les entretiens avec la population, révélèrent une apparente absence de polygamie dans cette circonscription. Mais, par contre, les litiges portant sur divers aspects de l'union libre — appelée dans le langage du lieu et de l'époque, concubinage — abondaient. L'explication, qui apparut rapidement, lorsque les entretiens se firent plus détendus, était évidemment qu'absolument toutes les concubines en cause étaient en fait des épouses polygyniques. Mais comme «le Blanc» (et aussi les missions) avaient interdit que l'on ait désormais plusieurs femmes, on se satisfaisait d'une femme et d'un nombre indéterminé de concubines à l'intention desquelles fonctionnait une adaptation souple des coutumes relatives à la polygynie, tandis qu'était respectée, en façade, la volonté du colonisateur selon laquelle il n'était permis de n'avoir qu'une femme. Et le plus étonnant était sans doute que l'administration chargée du contrôle des juridictions indigènes n'y trouvait rien à redire. Ainsi coexistaient dans le pays zande, en matière de mariage, un mariage monogamique d'Etat, des unions religieuses, une coutume zande originelle sous contrôle de l'administration et ... la pratique des Avuru Bakengai. Mais il y avait aussi la pratique de certains administrateurs de territoire et procureurs du roi.

Il s'agit alors de concurrence au sein de l'ordre colonial. Je viens de mentionner le mariage religieux. Dans l'ordre positif du colonisateur belge, il n'a aucune valeur. Cérémonie purement privée, il doit nécessairement (sauf cas exceptionnel et funeste) suivre le mariage civil. En outre, si, selon l'ordre juridique qui lui est propre, il ne peut être dissous, dans l'ordre juridique colonial belge, il peut l'être selon les règles de ce que nous appelons le divorce. Transposés en Afrique, ces principes subissent des mutations et aboutissent à la création d'unions gouvernées à l'évidence par un autre droit que les deux qui viennent d'être mentionnés. Ainsi, en pays zande, du cas où des Africains se marient selon leur droit et doublent ce mariage d'un mariage religieux. D'une part, la mission va exercer tout son poids moral et matériel auprès des juridictions indigènes pour que le mariage dit coutumier devienne indissoluble ; combien de fois n'ai-je pas rencontré dans la motivation de certains jugements des phrases comme : «Autrefois, la femme qui ne voulait plus vivre chez son mari pouvait retourner chez ses parents. Aujourd'hui les missionnaires ne veulent plus

cela» comme fondement à un refus de divorce. Mais il y a plus sophistiqué. Certains administrateurs et procureurs du roi aux convictions chrétiennes (on devrait dire catholiques) fort affirmées ont ressuscité (ou créé de toutes pièces) en pays zande un mariage précolonial dit «par le sang», lequel aurait été indissoluble. Puis ils ont décidé que le mariage religieux en était l'équivalent actuel et ont donc, dans leur activité de contrôle des juridictions indigènes, refusé tout divorce aux couples mariés religieusement ! Il s'agit à l'évidence d'une forme inédite de régime matrimonial qui ne doit pas plus aux droits originellement africains qu'au positivisme colonial, mais qui introduit le pluralisme dans le système global gouvernant les relations personnelles de certains Zande en fonction de leur choix personnel pour une forme particulière de mariage.

Nous trouvons donc aux côtés du pluralisme hiérarchisé consacré par le législateur colonial et correctement appliqué par la majorité de ceux qui avaient pour responsabilité l'administration de la justice (ce n'est, selon moi, qu'un pseudo-pluralisme), la pratique des Avuru Bakengai et celle de certains administrateurs et procureurs du roi plus catholiques que le pape ; les deux derniers s'imposaient aux populations en dehors et même en sens contraire du droit positif colonial, et représentaient à ce titre une forme de pluralisme radical puisqu'ils constituaient, l'un comme l'autre, des réseaux normatifs autonomes qui s'opposaient à celui de l'Etat.

Enfin, je serais tenté de représenter les différents ordres juridiques en cause dans le cas des Avuru Bakengai, selon le schéma suivant qui les situe dans un processus dynamique.

Ordre juridique précolonial ← droit coutumier - droit religieux → ordre juridique
européen polygynique
monogamique

En effet, la rencontre du droit coutumier et du droit religieux provoque chez l'individu une tension résultant de l'incompatibilité des deux ordres en ce qui concerne la possibilité du divorce. Dans leur réaction à cette tension, les autorités issues du système précolonial et fidèles à celui-ci tendent à ramener les individus vers lui, tandis que les missionnaires et les autorités européennes dont les convictions religieuses sont fortes tendent à l'en arracher pour entraîner le Zande christianisé vers le modèle européen monogamique. Quant au justiciable, c'est en partie lui qui, en définitive, définit l'ordre auquel il adhère. Ainsi les individus en présence — autorités indigènes, missionnaires et étatiques, aussi bien que les parties en présence — contribuent tous de manière variable à la production du réseau normatif dans lequel s'inscrit l'union de ces dernières en dehors du cadre formel voulu par l'Etat. Ce me paraît bien être là une forme de pluralisme radical.

4. Après la colonisation

Moins d'un demi-siècle après la décolonisation, il apparaît de plus en plus que les droits africains, au sens positif du terme, tels qu'ils ont été hérités de la colonisation, sont de moins en moins capables de satisfaire l'aspiration des multiples sociétés africaines contemporaines à un minimum de normativisation de leurs relations sociales. Cette carence s'explique en grande partie par la crise aiguë — pour ne pas dire la disparition — de l'Etat africain [19] qui se constate en de nombreux endroits du continent.

Sur le plan de la production du droit, les vingt premières années qui ont suivi la plupart des indépendances africaines (grosso modo entre 1960 et 1980) ont été caractérisées par une accentuation du monisme colonial. Ce renforcement de la centralisation étatique était, entre autres, dû d'une part à divers dysfonctionnements du régime constitutionnel hérité de la colonisation, souvent liés entre eux, ayant caractérisé la période (sécessions, mauvais fonctionnement des institutions importées, rivalités personnelles, coups d'Etat militaires, etc.), d'autre part à la volonté des élites locales de conforter leur pouvoir, acquis souvent sans trop de difficultés du pouvoir colonial, à travers le symbole juridique de celui-ci, la loi. Il en résulta une accentuation du monisme colonial à travers la suppression du pseudo-pluralisme et la codification de nombreux domaines du droit (notamment droit de la famille, des biens et des successions) qui avaient été abandonnés par le colonisateur au droit dit coutumier. Certes, la législation nouvelle reproduisait souvent le contenu de certaines règles de ce droit, mais elle le faisait le plus souvent en les orientant vers le modèle européen. Les dispositions en matière de polygamie du code de la famille sénégalais qui permet de passer aisément du statut polygynique le plus étendu à la monogamie, tandis qu'il est impossible d'effectuer le chemin inverse de la monogamie à la polygynie la plus étendue, sont exemplaires à cet égard [20]. Il faut remarquer d'ailleurs que la Cour d'appel de l'Est africain britannique a suivi le même principe dans sa jurisprudence [21]. A ce moment, il existait certes déjà des signes de délitescence de l'Etat africain, mais l'image de régimes satisfaisant le plus souvent les tendances néocolonialistes en matière économique et les impératifs géopolitiques découlant de la guerre froide, avaient pour effet que l'attention du plus grand nombre des observateurs se concentrait au sommet de l'Etat sans mesurer toujours exactement son affaiblissement en profondeur. A moins d'ailleurs, comme le pensent certains, que cet affaiblissement en profondeur de l'Etat ait été voulu par certains, y compris la grande «bourgeoisie» prédatrice locale, dont les intérêts personnels et familiaux coïncidaient avec ceux de ses corrupteurs et des gouvernements «amis».

Au cours des vingt années suivantes, la situation s'est considérablement aggravée. De nouveau, les facteurs en cause furent multiples. Citons, à titre d'exemples toujours, la mise en accusation croissante des prédateurs, l'insistance des bailleurs de fonds sur la «bonne gouvernance», la misère croissante des po-

pulations, les guerres civiles tendant à se généraliser, et les interventions extérieures (est-il plus bel exemple de ces dernières que l'affrontement récent des troupes rwandaises et ougandaises pour le contrôle de Kisangani, sans que le gouvernement du Congo, où est située cette ville, soit directement partie à ce conflit qui se situe à des centaines de kilomètres des territoires des Etats qui s'affrontent). Ceci sans oublier les maux antérieurs qui, loin d'être guéris, prennent des formes exacerbées. Certes, «ils ne mourraient pas tous, mais tous étaient frappés», comme aurait dit le fabuliste. Que reste-t-il dans ces conditions de l'état de droit ? Invité par l'*Encyclopaedia of Africa* à préparer la notice relative aux droits du Burundi, du Congo et du Rwanda, je l'ai ouverte par cette phrase, peut-être hors de propos dans une encyclopédie, mais qui s'imposait à moi comme un cri compte tenu des événements du temps : «Une présentation des droits du Congo, du Rwanda et du Burundi peut apparaître, au mieux, comme un exercice futile, au pire, comme une insulte aux habitants de ces pays, compte tenu de l'état complet de non-droit qui y prévalut au milieu des années 1990» [22].

Cependant, la faillite de l'Etat et donc du droit positif — dont il est question dans ce texte — n'est pas synonyme d'anarchie. En effet, on constate qu'ils sont remplacés, partout en Afrique, lorsque le besoin s'en fait sentir, par des réseaux normatifs autonomes de substitution, soit préexistants, qu'ils soient actifs ou dormants, soit créés pour la circonstance. Ainsi en va-t-il des bandes d'enfants des rues de Kinshasa étudiées par Kuyu-Mwissa [23], de la justice de quartier étudiée par Rodriguez-Torres [24] à Nairobi ou des décisions de tribunaux à Kinshasa [25], des groupements divers, souvent religieux, ou encore des missions établies depuis longtemps dans les campagnes et devenues, comme au Moyen Age les abbayes, des points de ralliement culturels, économiques, «politiques» et sociaux pour des populations en désarroi ; tout ceci, sans oublier des formes plus ou moins traditionnelles d'autorité, maintenues ou non par l'Etat indépendant, et retrouvant éventuellement une autonomie qu'il ne leur avait pas, du moins sur le papier, conservée. Sans dire que les hommes et les femmes ont besoin d'ordres normatifs comme de pain, je voudrais seulement insister sur le fait que les sociétés qu'on appelle souvent «civiles» (serait-ce parce qu'elles sont formées de citoyens, l'adjectif retrouvant ainsi son sens original latin ?) sont aussi — et parfois mieux — capables de générer ces ordres normatifs que l'Etat et qu'elles ont horreur de l'anarchie comme la nature du vide.

C'est donc peut-être au départ de tout ce qui existe dans son immense diversité qu'il conviendra, demain, de repartir, y compris d'ailleurs au départ de ce qui, au plan de l'Etat, demeure susceptible de contribuer à l'entreprise. Je l'ai écrit en diverses circonstances : il ne peut être question de rejeter l'Etat. L'essentiel est de le rénover [26], de l'africaniser en intégrant dans une nouvelle perspective tout ce que la longue durée africaine est susceptible d'y apporter, mais aussi de le doter de tous les mécanismes indispensables pour permettre à l'Afrique de mieux se défendre dans le monde impitoyable de la mondialisation [27]. Le projet ne peut être passéiste, même s'il emprunte au passé ; il doit être

d'aujourd'hui sans être néocolonial sur quelque plan — culturel, économique, politique ou social — que ce soit, même si cette ambition, compte tenu des rapports de force existant dans le monde, peut — je dirais même doit — à l'heure actuelle sembler utopique.

5. Conclusion.

A propos des droits africains du deuxième millénaire

Si on admet ce constat, le problème demeure de le transférer demain dans la structure rénovée de l'Etat africain. Car il serait utopique de croire que l'Afrique pourrait devenir un conglomérat de sociétés civiles sans Etats. Le tout sera de déterminer la nature et les pouvoirs de ce dernier. C'est là l'un des multiples défis qui attendent les Africains du 21^e siècle. Mais pas eux seulement. L'Amérique, qui peut, qu'elle soit du Sud, du Nord ou centrale, de moins en moins ignorer ses «autochtones», l'Asie au sein de laquelle les zones de tension sont loin d'être absentes, le Pacifique dont l'actualité récente a montré à quelles difficultés étaient soumis les héritages coloniaux en des lieux qui sont trop souvent perçus comme des paradis touristiques, se trouvent confrontés à des problèmes de réinvention de leurs Etats, dont l'écrasante majorité est issue de la colonisation européenne. Et, bien entendu, c'est aux principaux intéressés eux-mêmes qu'il appartiendra de déterminer quel(s) ordre(s) normatif(s) leur conviennent le mieux. Ceci ne veut pas dire pour autant qu'ils ne puissent entendre le sentiment de tous ceux qui, au-delà de leurs appartenances culturelles, économiques, politiques et sociales, portent un intérêt à leurs problèmes et surtout à leurs populations dans un simple esprit de fraternité humaine.

L'essentiel est toutefois que toutes ces bonnes volontés acceptent une perspective pluraliste davantage que positiviste des choses. Le positivisme a, tout compte fait, conduit les sociétés africaines à trop d'impasses les éloignant de leur nature profonde pour qu'il faille en conserver les paradigmes. Le plus grave est d'ailleurs que les Européens ont réussi, au fil de la colonisation, à convaincre un certain nombre de ces Africains «formés à leur image» de l'excellence, voire de la nécessité d'accepter ces paradigmes. La décolonisation des mentalités, et particulièrement de celles des juristes, est plus que jamais à l'ordre du jour pour tous ceux qui approchent les ordres normatifs africains. De nouvelles formes d'enseignement de ces ordres doivent être trouvées [28]. Les projets récents de l'Académie africaine de théorie du droit d'ouvrir prochainement un *master* de théorie africaine du droit à Kinshasa vont dans ce sens. Mais le chemin à parcourir est semé d'embûches, l'entreprise de longue haleine et le défi formidable (dans son sens vieilli, mais combien d'actualité, de «qui est susceptible d'inspirer une grande crainte») [29].

Sur ce long chemin de leur devenir, oserais-je proclamer ma conviction que les droits africains du deuxième millénaire seront pluralistes ou ne seront pas ? Assurément oui. Mais j'irais plus loin.

On a souvent reproché aux juristes pluralistes le caractère sans issue de leur démarche dès qu'ils s'engageaient sur la pente savonneuse de la définition du droit. Un peu plus d'un an après m'être livré une énième fois à cet acrobatique exercice pour lequel le passage du temps n'améliore sans doute pas mes dons [30], je crois avoir enfin bouclé la boucle. Ne serait-il pas temps pour les juristes d'admettre que leur discipline n'est, tout compte fait, que ce que certains anthropologues ou sociologues leur disent depuis longtemps : une espèce au sein d'un genre, celui des réseaux sociaux normatifs. Dans cette perspective, le droit serait le réseau social normatif contrôlé par l'Etat aux côtés duquel cohabiteraient, sur un pied d'autonomie complète, une multitude d'autres, placés sous le contrôle de collectivités extrêmement diverses utilisant à cette fin des modalités extrêmement variables. Quant à la production des normes constitutives de ces réseaux, j'admettrais également qu'elles puissent être le produit aussi bien des membres du réseau chargés de son contrôle que d'autres organes ad hoc, voire — en premier lieu — des individus membres du réseau. Je rejoindrais ainsi, sur ce point, le pluralisme critique de Rod Macdonald.

Pareille démarche suppose évidemment, au-delà de sa simple affirmation sur le plan de la théorie, que l'ensemble des producteurs de réseaux normatifs et l'Etat, en premier lieu, renoncent à toute ambition totalitaire. Le droit ne peut continuer à se prétendre ce qu'il est aujourd'hui, c'est-à-dire source supérieure et, à la limite, unique de régulation des rapports sociaux. Il doit accepter de s'insérer dans une pluralité au sein de laquelle sa présence se justifie dans la mesure où des individus y adhèrent parce qu'ils y trouvent un intérêt. Personne ne nie en effet que la variante étatique de la normativisation des rapports sociaux présente un intérêt. Si elle n'existait pas, il faudrait l'inventer. L'essentiel est qu'elle occupe la place qui lui revient et celle-ci seulement. Remarquons d'ailleurs que, dans les pays européens, l'Etat perd progressivement de son importance au bénéfice soit d'organes supranationaux, soit d'institutions infranationales, qu'il s'inscrive dans un contexte confédéral, fédéral [31], d'autonomie ou de décentralisation. N'est-il pas temps, devant la faillite quasi totale des formules étatiques préconisées en Afrique il y a près d'un demi-siècle, que les Belges se rappellent qu'à ce moment l'Etat national commençait à être ébranlé dans cette nation dont nous avons essayé de convaincre les Congolais qu'elle vivrait « toujours grande et belle » et que son « invincible unité » aurait pour devise éternelle « l'Union fait la Force » ? Entre l'Europe et l'OTAN d'une part, entre les communautés et les régions de l'autre, qu'en reste-t-il au moment où nous nous convainquons qu'il est temps de réparer le gâchis que nous avons laissé derrière nous sur le plan constitutionnel et juridique en Afrique ?

De plus, l'Etat (ou les parties elles-mêmes) ne tend-il pas, même dans les pays européens et dans certains pays d'Amérique du Nord, à libérer les tribunaux surchargés et devant lesquels une fixation d'instance ne peut plus se faire qu'à plusieurs mois ou plusieurs années, voire même plus du tout [32], au bénéfice de procédures alternatives (arbitrage, conciliations, médiation, etc.) dans toutes

espèces de domaines. Et, dans ces procédures, ne voit-on pas également les parties contribuer activement à l'élaboration de solutions originales adaptées à chaque cas d'espèce. Dans ces cas, ne voit-on pas la règle s'effacer au bénéfice de solutions dans lesquelles le droit est davantage une construction subjective des sujets de droitS bien davantage que de l'Etat. N'est-ce pas là, une ébauche de pluralisme ? Dès lors, pourquoi ne pas revenir à une tradition originellement africaine plutôt que de mener le dernier combat en faveur de solutions que même ceux qui les ont imposées à l'Afrique et aux Africains pendant la colonisation abandonnent eux-mêmes ?

A l'heure où nous nous interrogeons sur l'avenir des systèmes normatifs africains, méditons un instant la pensée de ce grand positiviste, l'un des co-auteurs, mais sans doute le principal d'entre eux, du *Code civil des Français* [33], ce « bon génie de Napoléon » [34], Jean Etienne Marie Portalis. Il y a un siècle, conscient de l'importance de la longue durée et de laisser faire le temps au temps, il écrivait, parlant des codes, qu'à proprement parler, on ne les faisait pas ; qu'ils se faisaient avec le temps [35].

Je forme, aujourd'hui, le vœu que vive la longue durée africaine.

NOTES ET REFERENCES

- [1] Voir J. Vanderlinden, « Le pluralisme juridique, essai de synthèse », in *Etudes sur le pluralisme juridique* (Editions de l'Institut de Sociologie, Bruxelles 1972, pp. 19-56) et M. B. Hooker, *Legal Pluralism. An Introduction to Colonial and Neo-colonial Laws* (Clarendon Press, Oxford 1975).
- [2] Pour les membres de notre Classe, peu familiers avec le droit, je dirai simplement qu'il s'agit de ceux qui puisent leurs racines et leurs structures de pensée dans le droit romain tel que nous l'a légué la codification de Justinien au 6^e siècle de notre ère.
- [3] Le recours à la majuscule dans l'écriture du mot droit est révélateur de l'impensé du positiviste.
- [4] Sur cette graphie particulière à laquelle je tiens, voir mon « Vers une conception nouvelle du pluralisme juridique », in *Revue de la Recherche juridique — Droit prospectif* (1993, pp. 573-583).
- [5] Le lecteur qui s'égarerait dans mes deux textes précités s'en rendra compte ; qu'il me suffise de dire qu'ils se contredisent fondamentalement.
- [6] Voir notamment les réflexions de Philippe Jestaz à propos d'une image de la loi et du juge et mes propres réflexions « Le juriste et la coutume, un couple impossible ? » (bis) ou à propos de « Méthode d'interprétation et sources », contrepoint au départ d'une image française de la loi et du juge », in *François Gény, mythe et réalités* (Montréal/Bruxelles et Paris, Blais/Bruylant/Dalloz, pp. 55-100).
- [7] C'est le cas de deux amis, Norbert Rouland et Etienne Le Roy, ce dernier considérant que les pluralistes radicaux renforcent la tendance à « un individualisme qui devient forcené et destructeur du lien social » pour aboutir à « une normativité sans transcendance », à « une psychologisation du Droit peu différente d'un populisme ». Voir son « L'hypothèse du multijuridisme dans un contexte de sortie de modernité »,

in *Théories et émergence du droit : pluralisme, surdétermination et effectivité*, dir. A. Lajoie, R. A. Macdonald, R. Janda & G. Rocher (Montréal/Bruxelles, Thémis/Bruylant, 1998, p. 41) et mon commentaire dans «Dialogue d'un ingénu et d'un promeneur solitaire à propos d'un colloque de théorie du droit», *idem*, 201-266.

- [8] Bien plus intéressante est la qualification de critique qu'a donnée à ce pluralisme l'un de ses, sinon son représentant le plus éminent, Rod Macdonald. Voir son «What is critical legal pluralism» (avec M.-M. Kleinhans), in *Revue canadienne Droit et Société*, 1997, 12 (2) : 25-46.
- [9] L'expression est de rigueur étant donné le caractère incomplet de nos connaissances sur la cohabitation des systèmes juridiques pré-islamiques et de l'islam.
- [10] Dans les limites de l'effectivité de cette prétention, bien entendu.
- [11] Voir notamment mon *Anthropologie juridique* (Daloz, Paris, 1996).
- [12] Sorti de l'université depuis trois ans à peine, j'avais encore, à ce moment, une forte propension à penser le droit en termes d'un ensemble de règles.
- [13] C'est le cas du Portugal en Angola. Voir notamment mon *Essai sur les juridictions de droit coutumier dans les territoires d'Afrique centrale* (Mém. Académie royale des Sciences d'Outre-Mer, Bruxelles, 1959).
- [14] Voir J. Schacht, *An Introduction to Islamic Law* (Clarendon Press, Oxford, 1964, p. 99).
- [15] Voir, notamment, S. F. Moore, «History and the Redefinition of Custom on Kilimanjaro», in *History and Power in the Study of Law : New Directions in Legal Anthropology*, eds. J. Starr & J. F. Collier (Cornell University Press, Ithaca, 1989, pp. 277-301).
- [16] Voir son *Traité élémentaire de droit coutumier du Congo belge* (Larcier, Bruxelles, 1954, p. 9, 2^e éd.).
- [17] Routledge, London, 1976.
- [18] Sur l'arrière-plan, la conception et les résultats de cette recherche, voir mon *Coutumier, manuel et jurisprudence du droit zande* (Editions de l'Institut de Sociologie, Bruxelles, 1969).
- [19] Sur ce point, voir notamment *La création du droit en Afrique* (Karthala, Paris, 1998) et, dans ce volume, ma synthèse «A propos de la création du droit en Afrique – Regards d'un absent», pp. 12-40.
- [20] Voir, entre autres, L. Sidime, «Le régime du mariage coutumier dans le code de la famille du Sénégal», in *Annales africaines*, 1983-1985, pp. 313-320.
- [21] Voir Ayoob v. Ayoob, *East Africa Law Reports*, 1968, 72, et mon commentaire dans ma chronique de droit international privé relative à l'Afrique noire anglophone, in *Journal du droit international*, 102 (1975) : 122-124.
- [22] *Encyclopaedia of Africa* (4 vol., New York, Charles Scribner's Sons, 1997), in vol. 2, v^o, «Law : Congo, Zaïre, Rwanda and Burundi», pp. 551-553.
- [23] Voir le numéro consacré par *Politique africaine* à «La rue» et aussi C. Kuyumwissa, «La production des normes juridiques par les enfants des rues des métropoles africaines : Kinshasa», in *La création du droit en Afrique*, dir. D. Darbon & J. Du Bois De Gaudusson (Karthala, Paris, 1997, pp. 81-86), ainsi que mes considérations sur ce point dans mon «Villes africaines et pluralisme juridique», in *Journal of Legal Pluralism and Unofficial Law*, 42 (1998) : 245-274.

- [24] Voir sa contribution dans *Journal of Legal Pluralism and Unofficial Law*, 42 (1988) : 179-198.
- [25] Voir la décision du Tribunal de Grande Instance de Kinshasa où il est question des «sages du quartier», lesquels décident et font exécuter un emprisonnement dans une maison privée, lesquels faits sont, à l'évidence, une «séquestration arbitraire» aux yeux du droit de l'Etat. Voir la *Revue de droit africain*, 7 (1998) : 360.
- [26] Voir mon «Enseigner sans reproduire, innover sans tout détruire – Propos hétérodoxes au départ de quelques constats élémentaires», à paraître prochainement dans les recueils des travaux du Réseau Droits fondamentaux de l'Agence internationale de la Francophonie.
- [27] Malgré ce que j'ai pu en écrire de durement critique (voir mon «*Quo vaditis iura africana ?*», in *Jahrbuch für afrikanisches Recht*, 8 (1997) : 145-161) à son sujet, la création de l'OHADA répond à un besoin des pays africains à la double condition qu'elle ne soit pas un instrument de néocolonialisme économique à travers une simple apparence d'africanité et que l'on n'en oublie pour autant les millions d'Africains pour lesquels elle ne représente rien dans leur vie quotidienne et leur aspiration à plus de justice.
- [28] *Supra*, note 26.
- [29] Voir ce que j'en écris dans la postface au texte cité dans les notes 26 et 28.
- [30] J'y ai encore succombé récemment dans mon «Aux côtés de Michel Alliot sur la pente savonneuse de la définition du droit», in *Un passeur entre deux mondes* (Publications de la Sorbonne, Paris, 2000, pp. 87-97).
- [31] Voir mon «L'état fédéral, état africain de l'an 2000», in *Mélanges GONIDEC* (Librairie générale de droit et de jurisprudence, Paris, 1985, pp. 307-327).
- [32] Si j'en crois le témoignage recueilli récemment d'un collègue bruxellois qui siège en outre dans une haute juridiction belge.
- [33] Qui allait rapidement, de par la grâce de ses exégètes, devenir le symbole même du positivisme.
- [34] Qui allait rapidement, de par la grâce de ses exégètes, devenir le symbole même du positivisme.
- [35] La citation exacte est : «Les codes des peuples se font avec le temps ; mais, à proprement parler, on ne les fait pas» (Loché, *Traité de législation civile et commerciale*, Bruxelles 1836, vol. I, 160, n° 18).

Klasse voor Technische Wetenschappen

Classe des Sciences techniques

La dynamique terrestre : rythmes ou chaos ? De la nécessité d'accroître la qualité de nos mesures*

par

LUC ANDRÉ**

MOTS-CLES. — Ablation laser ; Chaos ; Continent ; Différenciation ; Géochimie ; ICP-MS ; Manteau ; Océan ; Recyclage ; Rythmes.

RESUME. — Le vieux dilemme sur le caractère cyclique ou chaotique de l'évolution du globe terrestre reste irrésolu, faute surtout d'enregistrements continus de marqueurs sensibles aux facteurs évolutifs (différenciation, recyclage et croissance). L'obtention de ces séries temporelles de marqueurs passe par le préalable d'une conceptualisation propre à chaque système géologique visant à dégager les traceurs géochimiques les plus performants et les témoins géologiques qui les préservent au mieux. Le concept le plus simple est la chambre de réaction agitée où chaque système est représenté comme une boîte dynamique ouverte sur l'extérieur. Cette approche est développée à l'aide de deux exemples contrastés : les systèmes «océan» et «continent». Dans chaque cas, la mesure des séries temporelles nécessite une amélioration de la qualité de nos mesures qui doivent être plus nombreuses, plus reproductibles, plus justes et moins affectées par les bruits géologiques. En outre, les témoins géologiques doivent être positionnés dans le temps avec une plus grande précision. Les développements récents de la spectrométrie de masse à source plasma (ICP-MS, LA-ICP-MS, HR-ICP-MS, MC-ICP-MS) vont sans doute permettre de répondre à ces besoins. Cette perspective est illustrée par trois exemples pris outre-mer : les caractéristiques Nb/Ta et Zr/Hf des basaltes intracontinentaux ; la distribution du Pb océanique dans les sclérosponges des Bahamas ; la diffusion chimique à l'interface phosphate-silicate.

SAMENVATTING. — *De werelddynamiek : ritmes of chaos ? Over de noodzakelijkheid om de resolutie van onze metingen te verfijnen.* — Het oude dilemma over het cyclisch of chaotisch karakter van de evolutie van de aardbol blijft onopgelost, vooral omwille van het ontbreken van continue metingen op de voor evolutieve factoren gevoelige indicatoren (differentiatie, recyclage en aangroei). Het bekomen van chronologische indicatorenreeksen veronderstelt een conceptvorming eigen aan elk geologisch systeem waarbij de meest krachtige geochemische tijdsindicatoren en de best bewaarde geologische getuigen aangewend worden. Het meest eenvoudige concept is de reactiekamer in beweging waar-

* Communication présentée à la séance de la Classe des Sciences techniques tenue le 28 avril 2000. Texte reçu le 22 juin 2000.

** Membre associé de l'Académie ; Musée Royal de l'Afrique Centrale, Leuvensesteenweg 13, B-3080 Tervuren (Belgique).

bij elk systeem voorgesteld wordt als een dynamisch en naar buiten geopend geheel. Deze benadering wordt ontwikkeld aan de hand van twee tegengestelde voorbeelden: de „ocean”- en de „continent”systemen. In beide gevallen is het noodzakelijk bij metingen van tijdreeksen de kwaliteit te verbeteren. Deze moeten in aantal toenemen, reproduceerbaarder en accurater zijn en minder beïnvloed zijn door geologische ruis. Daarenboven moeten de geologische getuigen met een grotere nauwkeurigheid in de tijd geplaatst worden. De recente ontwikkelingen van de massaspectrometrie met inductief gekoppeld plasma (ICP-MS, LA-ICP-MS, HR-ICP-MS, MC-ICP-MS) zullen wellicht toelaten aan deze eisen te voldoen. Dit perspectief wordt met drie voorbeelden overzee geïllustreerd: de Nb/Ta en Zr/Hf kenmerken van intracontinentale bazalten; de verdeling van oceanisch Pb in de sclerosponzen van de Bahamas; de chemische diffusie op het interface fosfaat-silicaat.

KEYWORDS. — Chaos; Continent; Differentiation; Geochemistry; ICP-MS; Laser ablation; Mantle; Ocean; Recycling; Rhythm.

SUMMARY. — *The Earth Dynamics: Rhythms or Chaos? On the Necessity of Increasing the Resolution of our Measurements.* — The old dilemma about the cyclic or chaotic behaviour of the Earth evolution still remains unsolved for lack of continuous records of markers sensitive to the evolution factors (differentiation, recycling and growth). To finalize such time series of data, we have to model every system in order to fix the most effective geochemical tracers and their most preserved geological witnesses. The simplest concept is the stirred-tank chemical reactor in which every system is considered as an open dynamic box. This approach is illustrated by two different case studies: the “ocean” and “continent” systems. To acquire reliable time series of data, we must improve the quality of our measurements. They must be more numerous, reproducible, and accurate with less geological noise, and measured on better dated geological samples. The most recent analytical developments in the plasma source mass spectrometry (ICP-MS, LA-ICP-MS, HR-ICP-MS, MC-ICP-MS) should meet these requirements in the near future. This is emphasized by using three examples taken from overseas: Nb/Ta and Zr/Hf features of intracontinental basalts; oceanic lead distribution in sclerosponges from Bahamas; chemical diffusion at a phosphate-silicate mineral interface.

1. La Terre : un monde rythmé ou en évolution ?

La dynamique terrestre a-t-elle varié ? Dans l'affirmative, a-t-elle changé de manière cyclique, déterminée au sein de rythmes dont nous devons appréhender la séquence ou plutôt de manière chaotique, selon un caractère spontané et irréversible, guidé par la flèche du temps selon des schémas probabilistes dont nous devons tenter de percer la logique ? Là est la question fondamentale à un moment où, partout, la société occidentale, sceptique quant à la signification de nos connaissances, nous impose de construire une Science pour une société durable. En effet, si l'on peut imaginer, dans une approche déterministe, prévoir les risques climatiques, séismiques, ou volcaniques liés à la dynamique future du

globe, il est clair que, dans une approche chaotique, nous pouvons seulement espérer éloigner les futurs les plus défavorables. Quel peut être le rôle du géologue dans ce contexte ? Peut-il espérer identifier les processus aléatoires et rythmés par sa connaissance du passé ? Voilà les interrogations auxquelles je souhaiterais apporter quelques éléments de réponse.

Le débat sur le caractère immuable des lois de la dynamique terrestre est fort ancien. Il a jalonné tout le développement de la science géologique depuis le dix-huitième siècle. On a vu ainsi cohabiter en permanence deux courants d'idée, l'un uniformitariste, l'autre évolutionniste, dont les apports respectifs ont forgé nos connaissances actuelles sur l'évolution du globe terrestre. Les tenants du premier développent, à la suite de HUTTON (1788), l'idée du cycle géologique. Dans cette vision, les processus géologiques majeurs s'organisent dans une séquence cyclique dont l'ordre des termes ne change guère : érosion ; lithogénèse ; orogénèse ; (...) érosion (...). C'est l'origine du grand principe des causes actuelles proposé par LYELL (1833), selon lequel les lois de la nature sont demeurées inchangées en espèce et en degré aussi loin que l'on remonte dans le passé. Cette option déterministe a amené des progrès considérables dans la connaissance géologique. Citons, parmi de nombreux autres, les travaux de MILANKOVITCH (1930), le père de la paléoclimatologie et sa théorie du contrôle orbital des climats du Quaternaire, et ceux de GOLDSCHMIDT (1934), le fondateur de la géochimie moderne et son concept de cycle géochimique. Les évolutionnistes suggèrent que ces mêmes lois ont changé, sous l'influence du temps qui passe. Le premier d'entre eux est sans doute BUFFON (1779) qui, en adepte de Newton, imagine un globe terrestre, en refroidissement constant, structuré en plusieurs périodes caractérisées par des dynamiques différentes. Ce groupe inclut quelques-uns des plus audacieux précurseurs d'idée des sciences de la terre : AGASSIZ (1840), le découvreur des anciennes glaciations ; KELVIN (1864), le défenseur du principe de l'irréversibilité des processus géologiques ; et WEGENER (1912), le père de la dérive des continents. L'interconnexion et la complémentarité des deux approches ont toujours été très fortes. C'est ainsi que Darwin déclare, dans son autobiographie publiée en 1892, que le mérite principal de ses œuvres a sa source dans l'étude qu'il a faite des théories de Lyell. C'est là, apparemment, qu'il a pu puiser cette notion de continuité des actions géologiques si fondamentale pour sa doctrine sur l'évolution des espèces.

Cette dualité d'opinion est toujours fort présente en géologie. Un exemple frappant est le débat des paléocéanographes sur l'origine des fluctuations chimiques des océans, du Cambrien (il y a 540 millions d'années) à l'époque actuelle. Certains, comme PROKOPH & VEIZER (1999), interprètent ces évolutions chimiques comme une trace de la combinaison de divers processus «quasi périodiques» qui pourraient être d'origine tectonique (tous les 110 ± 15 millions d'années), ou astronomique (tous les 32 ± 3 millions d'années). D'autres, dans un article de la même revue (PODLAHA *et al.* 1999), y cherchent la preuve d'une évolution chaotique.

2. Rythmes ou chaos : sans doute un faux dilemme

Rythmes et équilibres ou chaos loin de l'équilibre ? La question est difficile pour quatre raisons. La première, c'est qu'il s'agit probablement d'un faux dilemme. En effet, en physique du non-équilibre, les évolutions statistiques et déterministes coexistent intimement au sein d'une même dynamique dont elles sont deux expressions (PRIGOGINE 1996) : les systèmes évoluent à la manière d'arbres qui poussent, les points de ramification correspondant aux événements d'origine probabiliste, les rameaux entre ces bifurcations évoluant de manière stable et déterministe. Certains processus géologiques semblent répondre à ce genre de dynamique. C'est le cas des glaciations du passé. A l'échelle des temps géologiques, les phases glaciaires apparaissent sporadiquement (LEEDER 1999), avec des périodes à glaciation fréquente (0.6-1Ga) et d'autres dépourvues de toutes traces de glace (1-2Ga). L'amplitude de ces phases semble par ailleurs fort variable, la terre pouvant parfois être figée sous la glace jusqu'aux latitudes des tropiques, voire de l'équateur : c'est le modèle récent de la «Terre boule de neige» de la fin du Précambrien (HOFFMAN *et al.* 1998, KERR 2000, HYDE *et al.* 2000). Par contre, si on détaille l'évolution climatique des derniers 500 000 ans avec une haute résolution temporelle, la proportion de glace semble avoir fluctué de manière cyclique, en réponse aux rythmes astronomiques (HAYS *et al.* 1976). Tout se passe comme si les événements qui déclenchent les changements climatiques majeurs étaient aléatoires, alors que ceux qui déterminent l'évolution ultérieure de ce climat modifié seraient périodiques. La deuxième raison tient au fait qu'un système très loin de l'équilibre peut converger vers un état durable d'oscillations diverses (ORTOLEVA 1994). Il est donc difficile de définir, par une observation intuitive, si une structure géologique rythmée (telle qu'une alternance récurrente de deux lithologies dans un gneiss) résulte de variations périodiques harmoniques de paramètres extérieurs au système (p. ex. des variations des vecteurs de la déformation), ou plutôt d'une oscillation non linéaire stable, résultant d'une auto-organisation loin de l'équilibre (p. ex. des structures dissipatives). La troisième raison découle de la complexité des systèmes naturels dont les mécanismes ne sont pas aisément modélisables. En effet, selon GOLLUB & CROSS (2000), la description des processus évolutifs non linéaires complexes (p. ex. les systèmes de convection) requiert un espace des phases de dimension énorme ($>10^4$ - 10^6), hors de portée des approches numériques et expérimentales actuelles. La quatrième raison s'inscrit dans la forte inadéquation entre les outils mathématiques disponibles et les banques de données géologiques existantes. En effet, dans tous les cas, il faut disposer d'une série temporelle continue de données concernant les variables du système, ce qui implique : un très grand nombre de mesures de qualité sensiblement égale, une excellente précision sur la position temporelle des mesures (avec des mesures équidistantes) et un très faible bruit sur le paramètre utilisé. Même dans le cas des systèmes géologiques les plus simples (p. ex. évolution chimique des océans), les données géologiques sont loin de remplir ces trois conditions (PODLAHA *et al.* 1999).

Rares sont donc les processus géologiques majeurs qui ont pu jusqu'ici être modélisés de manière satisfaisante en termes de chaos. L'une des exceptions les plus frappantes est l'inversion spontanée du champ magnétique terrestre (TURCOTTE 1997), et ce, pour deux raisons. Primo, ces inversions ont pu être enregistrées de façon précise et continue par les basaltes des fonds océaniques, sur plus de 150 millions d'années. Secundo, on dispose d'un modèle génétique fiable pour les expliquer, la dynamo à deux disques. On peut donc, dans ce cas favorable, comparer l'évolution temporelle du modèle avec l'enregistrement géologique. Les modèles ainsi calculés présentent des fluctuations apériodiques remarquablement comparables à celles de l'enregistrement géologique (fig. 1), ce qui valide l'analogie de la dynamo à deux disques. Les images obtenues sont toutefois fort différentes, ce qui n'est pas étonnant compte tenu de l'extrême complexité des flux de matière dans la source du champ : le cœur terrestre (TURCOTTE 1997). A ce stade, le contraste entre l'image du modèle et l'enregistrement géologique des fluctuations de la géodynamo peut servir à perfectionner la modélisation physique du magnétisme terrestre.

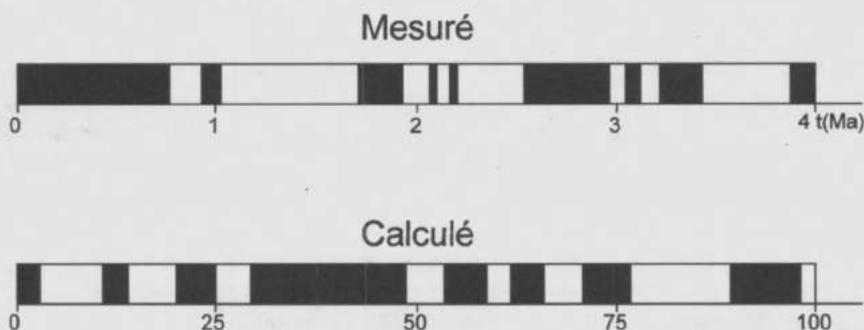


Fig. 1. — Comparaison entre les inversions de la polarité du champ magnétique terrestre enregistrées sur les basaltes océaniques du Cénozoïque récent (< 4Ma) et celles qui sont calculées à partir d'un algorithme d'équations différentielles non linéaires basé sur un modèle de double dynamo (100 itérations, modifié d'après TURCOTTE 1997, pp. 285-287). Dans les deux cas, les polarités normales sont représentées en noir, les polarités inverses en blanc.

Si l'on veut progresser sur la question «rythmes ou chaos», il faut pouvoir confronter des simulations mathématiques basées sur des modèles génétiques fiables et paramétrables avec des enregistrements géologiques continus. Il y a donc lieu d'améliorer à la fois les modèles géologiques et les banques de données fossiles. Cela impose de définir tout d'abord les facteurs qui entraînent la différenciation des systèmes géologiques. Ensuite, on aura soin de mesurer les variables qui témoignent au mieux de cette différenciation. Enfin, ces dernières seront déterminées avec précision et de la manière la plus continue possible dans des témoins géologiques appropriés et bien datés. L'objectif des chapitres suivants est de développer ces trois aspects méthodologiques.

3. Différenciation des systèmes et choix des variables

3.1. LA METHODE DES BOITES

La nature géologique offre un très grand nombre d'exemples de processus irréversibles qui restent très éloignés de l'équilibre. C'est le cas, en particulier, des altérations des roches au contact de l'hydrosphère, de la cristallisation fractionnée des magmas, des diffusions aux interfaces cristallines, du fluage des roches, des réactions métamorphiques qui impliquent des nucléations lentes induites par une déformation progressive. La plupart de ces systèmes hors de l'équilibre peuvent être conceptualisés sous la forme d'une chambre de réaction agitée (fig. 2) où il y a compétition entre deux groupes de processus antagonistes (ORTOLEVA 1994, ALBAREDE 1995), d'une part des processus de différenciation qui induisent une diversification en sous-systèmes, et d'autre part des mécanismes de mélange qui tendent à recréer des systèmes homogènes. A l'état stationnaire, les diverses grandeurs qui caractérisent le système (P,T, concentration Q d'un élément) sont constantes dans l'espace et dans le temps. Les entrées d'éléments (dQ/dt) sont exactement compensées par la somme des sorties (dQ/dt). Le temps moyen (τ) pendant lequel l'élément Q se maintient dans le système [$\tau = Q/(dQ/dt)$] est appelé temps de résidence de l'élément. Lorsque la balance entrées-sorties n'est plus maintenue, la boîte évolue par différenciation et le système a tendance à croître ($Q_e > Q_s$) ou à rétrécir ($Q_e < Q_s$). Les temps de résidence varient alors au cours du temps, et le temps de résidence dynamique ($v = dt/dt$) est une mesure de la transformation du système. La chambre magmatique en cours de cristallisation est un cas classique d'évolution de ce type. A l'entrée, nous avons une arrivée continue ou intermittente de magma initial (L_0). Par refroidissement, ce magma se différencie en précipitant des cristaux qui s'accumulent dans la chambre et constituent les témoins de l'évolution du système. Cette cristallisation fractionnée produit un liquide résiduel (L_1) qui va se mélanger avec un apport nouveau de liquide initial, le mélange ($L_0 + L_1$) étant assuré par une convection thermique. A la sortie, nous obtenons donc des liquides évolués hybrides correspondant à des mélanges ($L_0 + L_1$).

Les processus de différenciation sont nombreux et diversifiés. Les plus fréquents sont les changements de phase (cristallisation, fusion partielle,...), les processus mécaniques (déformation,...) et l'activité biologique (décomposition bactérienne des tissus organiques,...). Lorsque la différenciation domine (ou lorsque les recyclages sont très lents), la difficulté est de dégager des méthodes pour retrouver les liens entre les sous-systèmes dérivés. A l'inverse, lorsque les mélanges dominent (ou sont très rapides), le problème est de retrouver la nature et l'origine des composants qui, en se combinant, ont constitué les hypersystèmes. Pour caractériser pleinement un système géologique, il faut donc évaluer les trois facteurs d'évolution de la boîte: la différenciation, le recyclage et la croissance (positive ou négative). Dans les trois cas, on utilise communément des

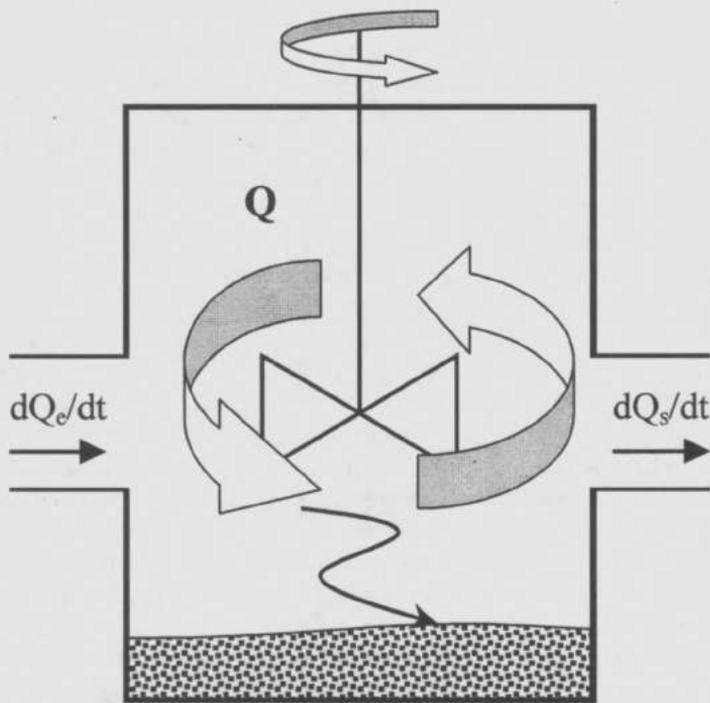


Fig. 2. — Modèle d'une chambre de réaction agitée. Le milieu est constamment homogénéisé par agitation. En même temps, les réactions chimiques (ou minéralogiques) produisent des composés nouveaux (fluides ou roches) qui aboutissent à une différenciation de la boîte en sous-systèmes. Ces produits (représentés par le précipité tramé en pointillé) sont les témoins privilégiés de l'évolution de la chambre.

traceurs géochimiques suffisamment dilués dans les systèmes pour qu'ils obéissent aux lois des solutions diluées. Selon les systèmes, on s'intéressera soit aux concentrations des éléments, soit au rapport de concentrations de traceurs aux propriétés différentes, soit encore, à la composition isotopique du traceur. Dans ce dernier cas, on distinguera les isotopes stables des éléments légers ($M < 70$) des isotopes radiogéniques des éléments lourds ($M > 70$). Les premiers présentent de légers (1- au 1-) fractionnements isotopiques liés à des facteurs soit physicochimiques, soit biochimiques. Au contraire, les seconds montrent des fractionnements importants (parfois de facteur 100 à 1 000) qui dépendent étroitement du rapport des concentrations des éléments radiogéniques et parents dans la roche mère.

3.2. LES BONS TRACEURS DANS LES BONS TEMOINS

Le choix des bons traceurs est rendu ardu par trois facteurs. *Primo*, ils doivent être adaptés au système géologique étudié, et en particulier aux temps de recy-

clage du système (T_{rec}). Lorsque leur temps de résidence est très inférieur au temps de recyclage ($\tau < 5T_{\text{rec}}$), ils permettent d'étudier les vecteurs du recyclage. Au contraire, lorsque leur temps de résidence est très supérieur au temps de recyclage ($\tau > 5T_{\text{rec}}$), ils servent à quantifier la différenciation du système. Enfin, pour définir la croissance, on choisira des traceurs Q tels que dQ/dt est négligeable vis-à-vis de Q (ALBAREDE 1995, 1998). La difficulté sera donc de mesurer avec exactitude les facteurs τ , T_{rec} , et dQ/dt , en sachant que ceux-ci ont sans doute pu changer au cours de l'histoire géologique du globe. *Secundo*, il y a une très forte hiérarchie dans le degré de préservation des processus survenant dans les différentes géosphères, les processus atmosphériques étant bien moins préservés que les processus marins et intracrustaux. *Tertio*, le problème se complique avec le temps, car les processus géologiques plus récents effacent les traces des plus anciens. C'est le problème du bruit géologique. En conclusion, la sélection du traceur repose donc essentiellement sur deux critères: le type de processus (différenciation, mélange ou croissance) que l'on souhaite modéliser dans un système donné; son degré de pérennité face aux vicissitudes géologiques. Pour illustrer clairement cette méthodologie d'approche, je prendrai deux exemples géologiques qui diffèrent à la fois par les vitesses de recyclage, l'âge géologique et la géosphère qu'ils concernent: les systèmes «océan» et «continent».

Le choix du témoin dépend du type de traceur considéré et doit répondre à trois critères. *Primo*, il doit être ubiquiste dans la nature géologique et relativement bien préservé dans les séquences géologiques. *Secundo*, le témoin incorporera le traceur en faible concentration de façon à ce qu'il obéisse aux lois des solutions diluées. *Tertio*, il doit être accepté en substitution des éléments majeurs du réseau cristallin du témoin. On évitera ainsi des complications inutiles liées à l'incorporation du traceur dans des défauts cristallins.

3.3. LE SYSTEME «OCEAN»

L'océan est une chambre de réaction assez simple. Les entrées proviennent des rivières, des sites hydrothermaux caractéristiques des rides médio-océaniques et des aérosols. Les sorties se produisent par évaporation, par diverses interactions (hydrothermales et/ou diagénétiques) avec les basaltes et les sédiments des fonds océaniques, et par de nombreuses précipitations chimiques et biochimiques sous la forme de carbonates, de silice et d'oxydes de Fe et de Mn et de produits carbonés. Le mélange est réalisé par la dynamique des courants qui homogénéise l'océan global en moins de 2 000 ans (BERNER 1992). Les temps de résidence des éléments dans l'océan moderne sont relativement bien connus (SCHOPF 1980) et le choix des traceurs est relativement aisé. Les éléments chimiques à temps de résidence très courts (Nd, Pb, Th,...) vont servir de traceurs de la dynamique des masses d'eau, le Nd ($\tau = 270$ ans) pour définir l'origine des masses d'eau (PIEGRAS *et al.* 1979), le Pb ($\tau = 400$ ans) pour

estimer la dynamique des courants (CHESTER 1990) et le Th ($\tau = 200$ ans) pour chiffrer les flux verticaux des particules en suspension (THOMSON *et al.* 1995). Les éléments à temps de résidence prolongés (B, Si, Ba, Sr) seront employés pour quantifier les facteurs biologiques, climatiques ou géologiques qui font évoluer l'océan global: le B ($\tau = 10\text{Ma}$) comme traceur des paléoconditions de pH (AGGARWAL 1999), le Si ($\tau = 18\ 000\text{ans}$), et le Ba ($\tau = 10\ 000$ ans) comme mesure de la productivité organique primaire (DE LA ROCHA *et al.* 1998, DEHAIRS *et al.* 1992) et le Sr ($\tau = 4\text{Ma}$) comme «proxy» de la source des éléments chimiques stockés dans l'océan (HESS *et al.* 1986).

Les témoins idéaux sont les tests d'organismes planctoniques carbonatés (foraminifères,...) et siliceux (diatomées, radiolaires,...) ou les coquilles carbonatées d'organismes benthiques (mollusques, échinodermes, sclérosponges,...). Cependant, les travaux récents montrent que les processus physiologiques contrôlent fortement le fractionnement des éléments en trace dans les coquilles (VANDER PUTTEN *et al.* 2000). Dans ce cas, il est clair que les teneurs des éléments en trace des coquilles ne reflètent pas nécessairement les caractéristiques chimiques de l'océan. Pour pallier cette difficulté, trois solutions s'offrent à nous. Une méthode simple consiste à déterminer la composition isotopique des éléments qui est peu ou pas affectée par les processus physiologiques. Un autre moyen consiste à mesurer les paramètres chimiques dans un seul organisme qui croît lentement. On annulera ainsi les contrastes physiologiques liés aux individualités. La dernière possibilité est de choisir des organismes très primitifs. Ceci présente le double avantage d'organismes à physiologie moins complexe qui étaient déjà souvent présents aux époques géologiques reculées. Si possible, on tentera toujours de combiner les trois solutions. C'est ainsi que notre groupe (LAZARET *et al.* 2000) tente de valider un nouveau type de témoin organique qui obéit aux deux derniers critères : les sclérosponges. Ces éponges sécrètent leur squelette carbonaté lentement (100-300 μm par an, WILLENZ & HARTMAN 1985), et des spécimens relativement petits (< 10 cm) sont âgés de plusieurs siècles. Il s'agit là d'un témoin très prometteur, car il pourrait fournir une image en continu des fluctuations de l'océan sur plusieurs siècles, voire plusieurs millénaires dans le cas des plus gros exemplaires qui dépassent le mètre (SWART *et al.* 1998).

3.4. LE SYSTEME «CONTINENT»

L'enveloppe solide externe de la Terre (communément désignée sous l'appellation de croûte) se compose de deux unités fondamentales : les planchers océaniques formés de roches récentes (< 200 millions) essentiellement basaltiques et pauvres en silice; les continents très anciens (âge moyen de 2,2 milliards d'années) surtout composés de roches riches en silice (granites, granodiorites, tonalites,... et les sédiments qui en dérivent). Cette enveloppe externe recouvre un manteau terrestre, d'abord rigide (manteau lithosphérique), puis visqueux (asthénosphère). Les roches basiques qui forment la «croûte océanique» sont

constamment produites par fusion du manteau au niveau des dorsales océaniques, puis recyclées vers celui-ci dans les zones de subduction. Les continents, au contraire, «plus légers», flottent sur le manteau plus dense et sont donc maintenus à la surface de la Terre où ils constituent des témoins de l'histoire du globe.

La croûte continentale consiste en une chambre de réaction fort complexe composée de deux sous-ensembles aux destins différents (fig. 3): la croûte supérieure riche en silice (de composition moyenne tonalitique); la croûte profonde pauvre en silice (de composition basaltique). On sait depuis longtemps que la partie supérieure est fortement recyclée au fil des cycles géologiques. En outre, grâce aux progrès récents de la géochimie, de la pétrologie expérimentale et de la géophysique, nous disposons de réponses partielles sur les mécanismes possibles de différenciation des continents. Ils s'inscrivent dans une séquence de quatre processus (O'NIONS 1992, RUDNICK 1995) : 1) la genèse de liquides basaltiques par fusion partielle du manteau terrestre; 2) leur cristallisation sous forme de roches basiques pauvres en silice dans la croûte océanique et à différents niveaux dans la croûte continentale; 3) leur transformation en roches métamorphiques diverses (amphibolites, granulites, éclogites); 4) la fusion ultérieure de ces roches métamorphiques (RAPP *et al.* 1991, JOHANNES & HOLTZ 1996, LONGHI *et al.* 1999) qui génère les roches différenciées (granites, granodiorites, tonalites, trondjemites, jotunites,...) de la partie supérieure de la croûte continentale. Les témoins privilégiés de cette différenciation sont les sédiments constamment recyclés au fil des cycles géologiques et les basaltes qui sont à l'origine de la séquence.

L'évolution des continents reste un mystère, car beaucoup de questions sur les flux d'entrée et de sortie du système sont encore sans réponses. Du point de vue des entrées, plusieurs auteurs (FURLONG & FOUNTAIN 1986, RUDNICK 1995, ALBAREDE 1998) ont envisagé qu'une part des magmas basiques produits dans le manteau puisse être piégée dans les parties profondes de la croûte continentale sous la forme de roches métamorphiques basiques (HOLBROOK *et al.* 1992, RUDNICK & FOUNTAIN 1995). Ils suggèrent ainsi une croissance par ajouts sous-crustaux, transférés ultérieurement aux parties supérieures de la croûte lors de la fusion des zones profondes. La nature des produits basaltiques qui sont à la source de la croissance de la croûte continentale reste toutefois l'objet d'un débat. La croissance sous-crustale peut survenir soit à l'intérieur des continents (croissance interne alcaline), soit en bordure (croissance latérale calco-alcaline) (RUDNICK 1995). A l'intérieur, le matériel basaltique, formé dans des panaches de matériel mantélique chaud (les *hotspots* et *superswells* de la terminologie anglaise), proviendrait de la limite cœur-manteau par convection thermochimique (DAVILLE 1999). En bordure, le matériel basaltique dériverait de la fusion de la croûte océanique subductée ou/et du manteau supérieur immédiatement sus-jacent (RAPP & WATSON 1995, RAPP *et al.* 1999). Du point de vue des sorties, diverses évidences de matériel crustal recyclé vers le manteau terrestre ont été

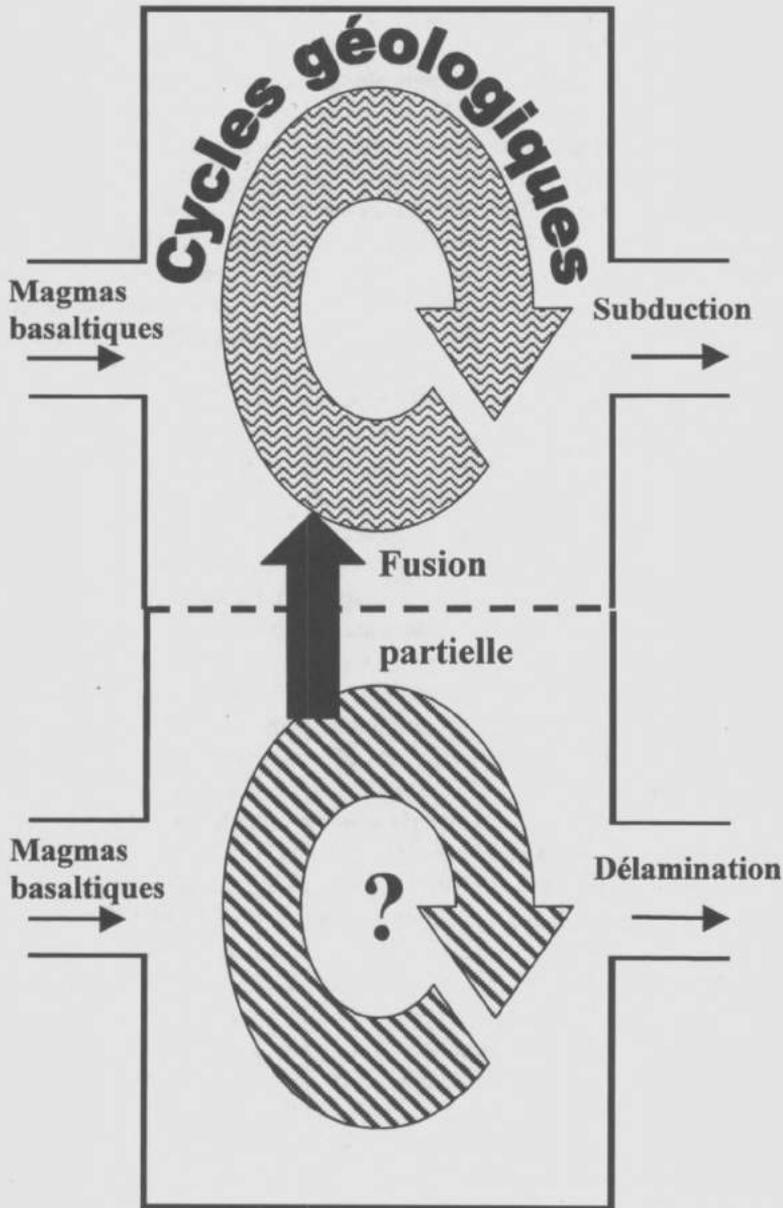


Fig. 3. — La boîte de réaction à deux chambres du système « continent ». La partie haute (croûte supérieure) est homogénéisée au fil des cycles géologiques tandis que le recyclage (s'il existe !) de la partie basse (croûte inférieure) reste un mystère. Les entrées de matière se font au travers des magmas basaltiques produits lors de la fusion du manteau terrestre. Les sorties correspondent à des roches crustales entraînées vers le manteau par subduction et/ou délamination. La croûte supérieure se construit notamment suite à la fusion partielle de la croûte inférieure.

découvertes ces quinze dernières années, d'abord indirectement à partir des propriétés chimiques de certains basaltes des îles océaniques (WOODHEAD & McCULLOCH 1989, HOFMANN 1997), puis plus directement, à partir des propriétés géochimiques d'inclusions minérales de haute pression trouvées dans certains diamants des kimberlites (ANDRE *et al.* 1999). Le mécanisme de recyclage et la quantité de matière recyclée restent deux grandes questions irrésolues (*cf.* HOFMANN 1997, ALBARADE 1998, McCULLOCH & BENNETT 1998, pour une discussion de ces questions). Deux mécanismes ont été proposés : (a) l'entraînement de sédiments océaniques dans les zones de subduction (HOFMANN 1997); (b) la délamination des parties basiques granulitisées et éclogitisées de la croûte inférieure suite à des collisions entre plaques continentales (BIRD 1979, ARNDT & GOLDSTEIN 1989, NELSON 1992, RUDNICK 1995, MAROTTA *et al.* 1998, MEISSNER & MOONEY 1998). Tant que le bilan des entrées (basaltes) et des sorties (recyclage vers le manteau) reste méconnu, on ne peut espérer définir les temps de résidence des éléments dans la croûte. La mesure de ces deux flux est donc le grand problème à résoudre pour avancer sur la question de la différenciation des systèmes « continent » et « manteau » qui sont indissociables.

Dans l'état de nos connaissances, la croissance des continents est donc le seul facteur dynamique que nous puissions partiellement évaluer. Quels sont les traceurs disponibles? Les témoins sédimentaires nous montrent que depuis trois milliards d'années, la chimie de la masse sédimentaire a très peu varié (TAYLOR & McLENNAN 1985), indiquant que de nombreux éléments chimiques (Rb, Sm,...) ont un comportement quasi stationnaire dans la croûte ($dQ/dt \ll Q$). Les variations de la proportion d'isotopes radiogéniques (^{87}Sr , ^{143}Nd) qui dérivent de ces éléments (^{87}Rb , ^{147}Sm), dans les témoins géologiques appropriés (basaltes et sédiments,...), reflètent la croissance du système « continent ». Diverses courbes de croissance ont ainsi été proposées (CONDIE 1997). La courbe établie à partir des temps de résidence des sédiments (fig. 4), eux-mêmes déduits de la composition isotopique du Nd dans les sédiments détritiques (O'NIONS 1992), est le seul enregistrement un tant soit peu continu de la croissance qui ait été mesuré dans des témoins géologiques strictement identiques. C'est la raison pour laquelle je la considère comme la meilleure approximation actuelle de cette croissance. Cette courbe est toutefois une évaluation minimale de l'accroissement continental, car le temps de résidence des sédiments ne permet pas de déterminer le taux de composants continentaux recyclés vers le manteau qui a ensuite été réinjecté dans les continents. Elle indique que l'histoire des continents comprend au moins trois phases majeures, avec successivement une croissance lente des origines à 3.2 Ga (Phase I), puis un développement rapide de 3.2 à 0.6 Ga (Phase II), et enfin un ralentissement durant les derniers 600 millions d'années (Phase III). La croissance nulle de la phase I n'implique pas l'absence de continents à cette époque puisque la découverte de zircons détritiques de 4.3 milliards d'années en Australie (COMPSTON & PIDGEON 1986) démontre la présence de roches crustales il y a plus de 4 milliards d'années. Au contraire, le flux de chaleur plus

élevé et le transfert thermique plus rapide de l'époque (DAVIES 1999) laissent présager des taux de fusion plus élevés et donc une production, accrue de basaltes, de granites, de granodiorites et de tonalites par rapport aux époques plus récentes. Tout ceci suggère que les portions de croûte tonalitique formées à cette époque ont disparu rapidement dans le manteau, entraînées par des mécanismes de recyclage plus efficaces qu'aujourd'hui. Durant la phase II, la croissance domine, suite sans doute à une réduction du recyclage, liée à la forte diminution du flux de chaleur (fig. 4). Dans la phase III, le recyclage semble de nouveau prendre le pas sur la croissance. La différenciation de l'hypersystème croûte-manteau est donc marquée par au moins deux événements irréversibles, l'un ancien ($> 3\text{Ga}$) qui déclenche la croissance de la croûte, l'autre récent ($> 0.6\text{Ga}$), qui la réduit fortement. Il est possible qu'il y en ait eu beaucoup d'autres indétectables faute d'un enregistrement réellement continu de variables appropriées. La faible résolution des données ne permet donc aucune conclusion en termes de rythmes ou de chaos. Une évidence émerge toutefois de la comparaison des deux courbes de la figure 4 : la réduction du flux de chaleur n'est pas le seul facteur dont il faille tenir compte pour expliquer la croissance des continents. Parmi les nombreuses pistes explorées, celle d'une stratification épisodique du manteau suite à l'existence de transformations de phase paraît particulièrement séduisante (cf. DAVIES 1999, pour une discussion de cette question).

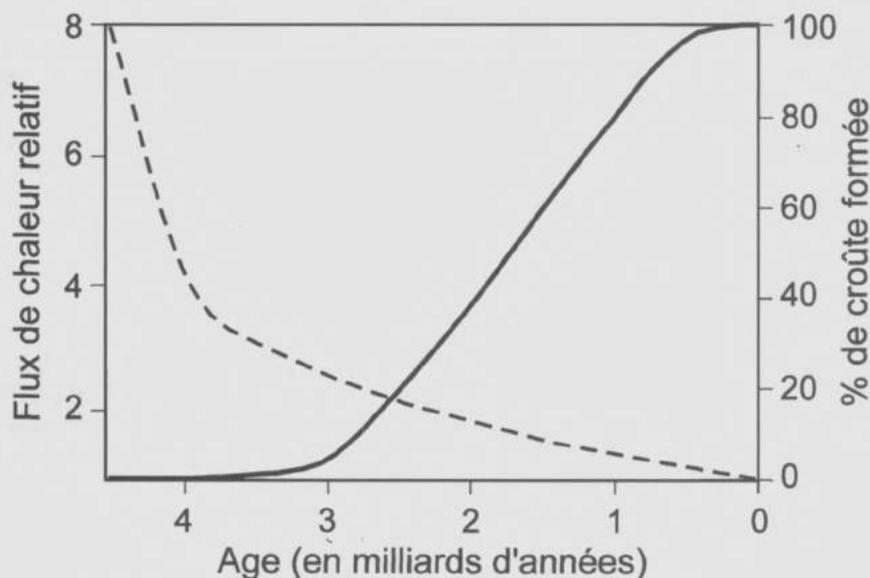


Fig. 4. — Courbe de croissance minimale de la masse continentale (trait continu) comparée à la courbe de diminution du flux de chaleur relatif (en trait discontinu).

Notre compréhension des systèmes géologiques complexes, comme les continents, reste encore trop fragmentaire pour envisager une modélisation de leur évolution en termes de rythmes et de chaos. Pour mieux retracer l'histoire de ces systèmes, les géologues devront rechercher non seulement d'autres traceurs, mais aussi de meilleurs témoins. Par exemple, des contraintes géochimiques simples (ANDRÉ *et al.* 1986) peuvent aider à sélectionner les sédiments des premier et deuxième cycles de ceux qui ont été recyclés à moult reprises. On peut tenter ainsi d'éliminer les bruits liés à des différenciations locales de la masse sédimentaire et mieux contraindre la courbe de croissance des continents.

4. De meilleures mesures

Comment les nouvelles technologies peuvent-elles aider à vaincre les limitations imposées par la modélisation mathématique des phénomènes irréversibles, à savoir obtenir une meilleure reproductibilité, avec une haute résolution couplée à une diminution du bruit géologique? Un espoir réside dans le développement récent de la technologie des spectromètres de masse couplés à une source plasma.

4.1. VERS DE NOUVEAUX TRACEURS

Les ICP-MS (abréviation de l'expression *Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometer*) sont devenus, à la suite des travaux pionniers de HOUK *et al.* (1980) et THOMPSON *et al.* (1981), les instruments de base du géochimiste moderne. Cette technique a en effet rapidement éclipsé la plupart des méthodes analytiques classiques (telles que la fluorescence des rayons X, l'absorption atomique, et l'activation neutronique) pour trois raisons fondamentales. *Primo*, la source plasma autorise un haut rendement d'ionisation pour la plupart des éléments, dont on peut donc aborder le dosage avec un seul instrument. *Secundo*, les rapports (signaux)/(bruits de fonds) excellents permettent des seuils étonnants de détection ($\ll 10$ pg/g). *Tertio*, depuis l'apparition des premières machines commerciales au milieu des années quatre-vingt, les progrès intenses réalisés dans l'architecture des instruments ont conduit à une amélioration significative de la résolution massique des spectromètres (comprise entre 0.1 à 0.0001 unités de masse atomique, en abréviation:u.m.a) et de la reproductibilité (qui oscille de quelques % sur un ICP-MS conventionnel à $1/_{0000}$ pour les ICP-MS multicollecteurs).

L'objet n'est pas ici de décrire les principes des ICP-MS que le lecteur intéressé pourra trouver dans plusieurs travaux de synthèse (DATE & JARVIS 1989, HALLIDAY *et al.* 1997), mais d'identifier la gamme des instrumentations disponibles et leurs intérêts respectifs. Nous disposons de trois groupes d'instruments qui diffèrent à la fois par les caractéristiques des spectromètres de masse

et les modes de détection des ions. Le premier, et le plus ancien, est l'ICP-MS *stricto sensu* qui est basé sur un spectromètre de type quadrupôle et une détection à l'aide de multiplicateurs. Avec les appareils les plus récents, on mesure rapidement et en même temps un grand nombre d'éléments avec des limites de détection qui sont sous 1pg/g. Leur désavantage réside dans la précision relativement moyenne des mesures (1-5 %) et la faible résolution massique (0.1 u.m.a) qui empêche de résoudre certaines interférences isobariques. Le second, apparu plus tardivement (BRADSHAW *et al.* 1989), est l'ICP-MS haute résolution (HR-ICP-MS) qui utilise un spectromètre à champ magnétique rapidement variable et un détecteur de type multiplicateur. Il atteint des résolutions massiques de l'ordre de 0.0001 u.m.a et des détections limites sous le femto-gramme. C'est l'appareillage idéal pour résoudre des interférences isobariques et réaliser des dosages par dilution isotopique, la précision étant de l'ordre de 0.1 %. La dernière génération d'apparition récente (HALLIDAY *et al.* 1997), l'ICP-MS multicollecteur (MC-ICP-MS), est un perfectionnement du précédent. Il utilise plusieurs détecteurs pour mesurer simultanément jusqu'à neuf isotopes, on obtient ainsi une très haute précision (< 0.002 %) pour une résolution massique moyenne (0.002 u.m.a); c'est donc l'instrument parfait pour mesurer des compositions isotopiques d'éléments.

Ce trio d'instruments a déjà permis d'accroître le nombre de traceurs disponibles. Pour illustrer les progrès déjà réalisés par l'introduction des ICP-MS, je reprends ici l'exemple de l'hypersystème croûte-manteau. Les rapports Nb/Ta et Zr/Hf sont des traceurs puissants de son évolution, mais ils n'avaient pas pu jusqu'ici être mesurés avec la précision requise. En effet, les éléments de chacun des couples étaient analysés par deux techniques différentes, sur des parties aliquotes distinctes : Nb et Zr par fluorescence des rayons X ; Ta et Hf par activation neutronique. Le principe du raisonnement est simple. La plupart des processus géologiques, sédimentaires, magmatiques et métamorphiques, ne fractionnent pas ces deux couples d'éléments aux propriétés géochimiques fort semblables. Or, on sait, depuis longtemps, que la croûte continentale est fortement appauvrie en Nb et en Ta vis-à-vis des autres éléments chimiques à charge et rayon ionique élevés (La, Th, U, Zr, Hf,...). La composition moyenne de la croûte présente ainsi une valeur Nb/Ta anormalement basse (Nb/Ta = 11, TAYLOR & McLENNAN 1985, BARTH *et al.* 2000), mais un rapport Zr/Hf proche de la valeur du manteau primitif. Si, comme le suggère RUDNICK (1995), les matériaux basaltiques intracontinentaux constituent une des sources majeures de la croissance des continents, ils doivent présenter des valeurs Nb/Ta et Zr/Hf analogues à celles des roches continentales. Après avoir validé la méthode de dosage des deux rapports par l'analyse ICP-MS répétée du standard international BHVO-1 (fig. 5), nous avons mesuré diverses roches basaltiques intracontinentales récentes (basaltes alcalins, basanites, néphélinites, leucitites) provenant d'Afrique, d'Europe et d'Asie. Les résultats obtenus (Nb/Ta = 10.6-17.6 ; Zr/Hf = 37-76, fig. 5) prouvent que les roches analysées ne témoignent pas des

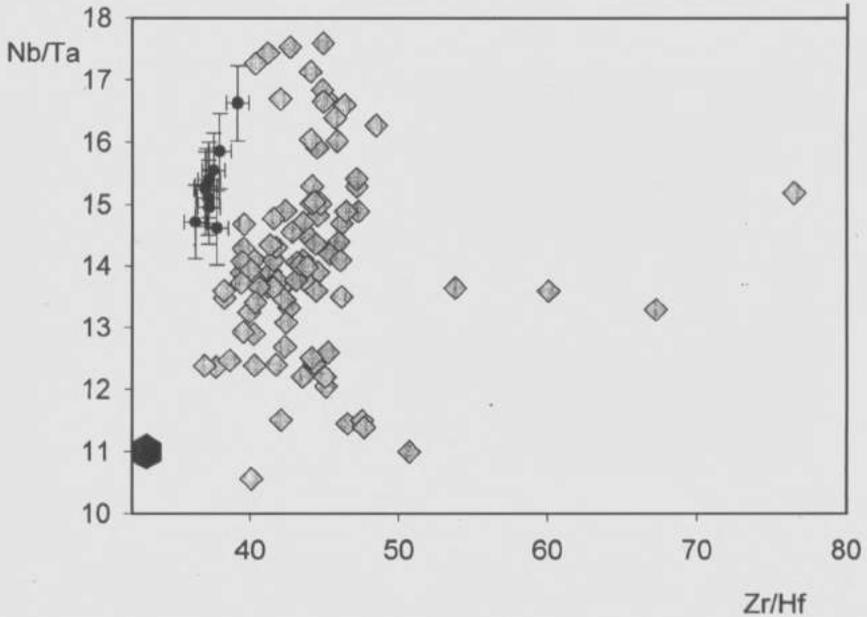


Fig. 5. — Nb/Ta vs. Zr/Hf pour le standard BHVO-1 (cercle noir, avec une barre d'erreur correspondant à une variation de 2 sigma sur la moyenne), diverses roches basiques intraplaques (carrés gris) et la moyenne de la croûte continentale (hexagone noir).

magmas responsables de la croissance rapide des continents entre 3 et 1 Ga (fig. 4). Le principe des causes actuelles apparaît donc ici strictement inapplicable. Tout juste est-il utile pour reconnaître des analogies qui orientent le chercheur vers un modèle de boîte plutôt qu'un autre. Cet exemple souligne surtout la nécessité de procéder à l'analyse comparée de nouveaux traceurs dans des témoins comparables aux différentes périodes géologiques. C'est sans doute la seule voie pour parvenir à fixer les grandes étapes de la différenciation de l'hypersystème croûte-manteau.

4.2. VERS UN SIGNAL PLUS CONTINU ET MOINS PERTURBE PAR LES BRUITS GEOLOGIQUES

Le couplage d'un ICP-MS avec une ablation laser (abréviation anglaise: LA-ICP-MS) autorise l'analyse directe du solide sans passer par le stade d'une dissolution des échantillons. Le spécimen est placé, sans préparation préalable, dans une chambre hermétique mais transparente. En focalisant sur sa surface un faisceau laser UV, un microvolume de l'objet d'environ 10^4 - $10^5 \mu\text{m}^3$ est ionisé. Les ions produits sont ensuite dirigés, sous un flux d'argon, vers la torche à plasma. Le lecteur intéressé trouvera une description détaillée de cette méthode analytique dans JEFFRIES *et al.* (1995). On se bornera ici à démontrer son intérêt dans la quantification des rythmes et des chaos.

Le premier exemple concerne les sclérosponges et le traceur Pb dont il a été question plus haut. Le Pb possède des propriétés très réactives vis-à-vis des particules en suspension dans les eaux qui le rendent intéressant pour l'étude de la dynamique des courants. Il se fixe rapidement sur les particules organiques et inorganiques des estuaires et des plateaux continentaux (BACON *et al.* 1988) et sur les sulfures précipités dans les sites hydrothermaux (GODFREY *et al.* 1994). Le Pb en solution d'origines continentales et hydrothermales est dès lors difficilement transporté vers les zones océaniques ouvertes et en particulier vers les grandes «gyres» océaniques (VON BLANCKENBURG *et al.* 1996). Dans ces régions, l'essentiel du Pb océanique semble dériver des apports éoliens (JONES *et al.* 2000) dont on sait par ailleurs qu'ils sont dominés par les sources industrielles (SETTLE & PATTERSON 1991), avec des flux nets très contrastés entre les deux hémisphères: 6 ng/cm²/an au nord et 1.6 ng/cm²/an au sud.

Par leur durée de vie (*cf.* plus haut), les sclérosponges constituent l'outil idéal pour étudier les fluctuations du Pb dans les océans. Cette hypothèse a été récemment confirmée (LAZARET *et al.* 2000) par l'analyse «LA-ICP-MS» d'un spécimen provenant d'une grotte dans la barrière de corail de l'île Acklins dans les Bahamas. La résolution de l'ablation par le laser ($\approx 60 \mu\text{m}$) permet d'obtenir une mesure tous les trois mois sur une période de plus de deux siècles. On peut retracer ainsi l'histoire de l'incorporation du Pb anthropique par les éponges depuis le milieu du 18^e siècle (fig. 6). On retrouve trois stades : une époque préindustrielle (1760-1860) où le Pb oscille entre 0.2 et 0.5 ppm, en croissant très légèrement ; une période industrielle (1860-1935) où la concentration en Pb double ; une période «automobile» (1935-1970) où les valeurs du Pb triplent pour culminer à 2.5 ppm. L'île d'Acklins se situe sur la gyre méridionale du Gulf Stream (courant du Cap-Vert) qui entoure la mer des Sargasses. Notre enregistrement du Pb témoigne donc soit des fluctuations locales des apports éoliens dans la mer des Sargasses, soit des changements dans les apports pauvres en Pb du Gulf Stream, soit encore d'une combinaison de ces deux facteurs. Les faibles oscillations du signal Pb rencontrées dans les trois stades avec des amplitudes et des fréquences variables pourraient ainsi révéler des fluctuations aperiodiques de ces facteurs. Quoi qu'il en soit, cet exemple démontre que la combinaison d'un bon traceur (Pb) et d'un bon témoin (sclérosponges), le tout mesuré avec la technologie de l'ablation laser, ouvre la voie à un enregistrement continu des paramètres du milieu océanique, ce qui devrait aider à la modélisation des rythmes et des chaos dans la dynamique des courants marins.

Le deuxième exemple, tiré d'une étude encore inédite sur certaines enclaves d'éclogites du Kasai (Congo), permet de montrer l'intérêt de l'ablation laser-ICP-MS pour résoudre le problème des bruits géologiques. La figure 7 illustre la distribution des éléments chimiques au contact de deux cristaux, l'un phosphaté (probablement une whitlockite), l'autre silicaté (grenat). Elle montre qu'un phénomène de déséquilibre postérieur à la cristallisation des deux minéraux, a fait migrer certains éléments de la whitlockite vers le grenat : P, Sr et La.

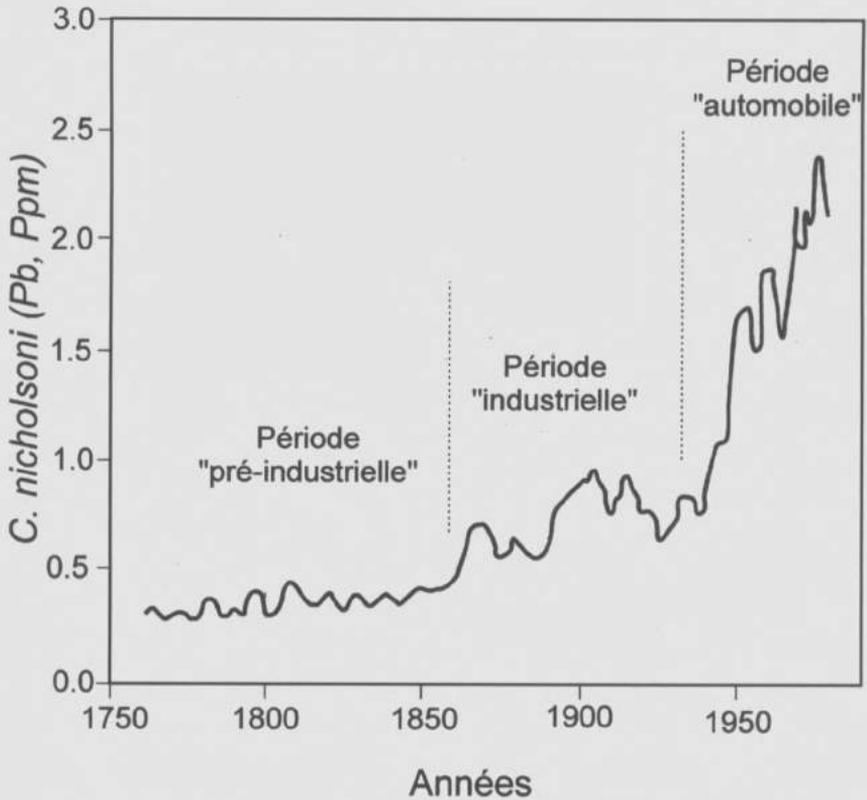


Fig. 6. — Variations des concentrations en Pb, en fonction du temps, dans le squelette de la sclérosponge *Ceratoporella nicholsoni* (modifié de LAZARET *et al.* 2000).

L'absence de fluctuations pour d'autres éléments (Cr, Co) indique que les variations observées ne résultent pas de processus de mélanges, mais bien de mécanismes de diffusion. L'ablation laser a donc ici un double avantage. D'une part, le bruit géologique est éliminé en analysant les parties centrales du grenat préservées de la diffusion. D'autre part, elle fournit des données concernant les valeurs relatives des coefficients de diffusion des éléments et la morphologie d'auto-organisation du front de diffusion dont les mécanismes pourront ainsi être mieux compris.

4.3. VERS UNE CHRONOLOGIE PLUS PRÉCISE

Le temps est au cœur du débat, puisqu'il gouverne tous les phénomènes géologiques irréversibles, à toutes les échelles, du cristal (diffusions dans les réseaux cristallins, ...) au continent (dynamique de la croissance, ...) en passant

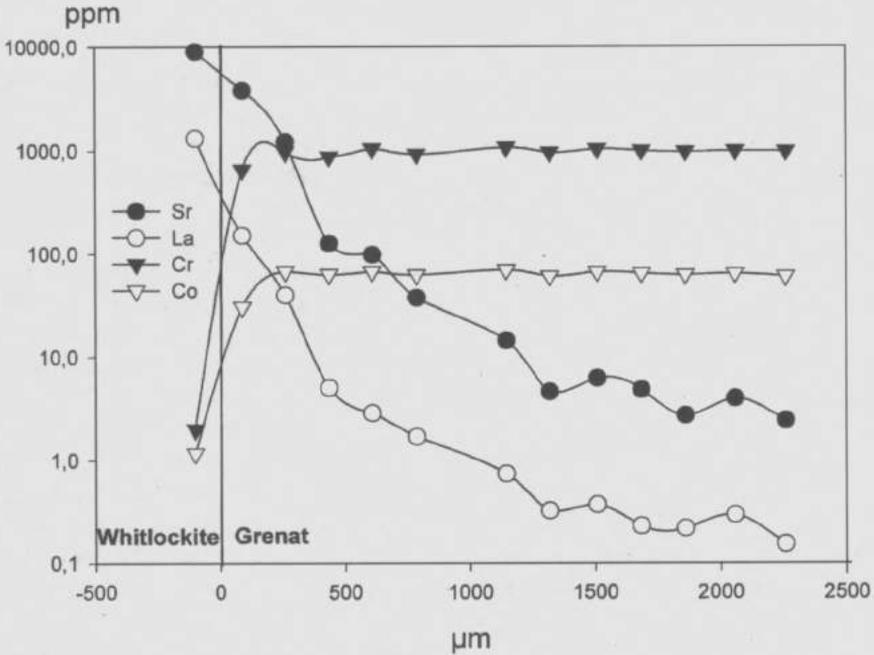


Fig. 7. — Distribution des concentrations en Sr, La, Cr et Co en fonction de la distance du contact whitlockite-grenat.

par les roches (le problème du fluage). Il est éventuellement pluriel au sens où le flux du temps n'a pas le même impact sur la diffusion des éléments dans les cristaux et la croissance des continents. Sa mesure est la clé d'une image continue des évolutions diverses des systèmes géologiques. Des progrès substantiels devraient être obtenus dans un proche avenir grâce à l'introduction du MC-ICP-MS. En effet, cet instrument va certainement conduire au développement de nouveaux géochronomètres. Deux d'entre eux semblent d'ores et déjà prometteurs: le couple ^{187}Re - ^{188}Os pour dater les différenciations mantéliques (PEARSON 1999) ; le couple ^{182}Hf - ^{182}W pour fixer la dynamique de croissance du cœur métallique (HALLIDAY *et al.* 1997). Par ailleurs, en couplant le MC-ICP-MS avec une ablation laser, on envisage une microdatation des minéraux en lame mince, et par là une forte diminution du «bruit» dans la mesure des âges géologiques.

5. Conclusions

D'une certaine manière, la géologie n'a cessé de balancer entre uniformitarisme et évolutionnisme, entre Hutton ou Buffon, Lyell ou Kelvin. Nous vivons cependant un moment privilégié de son développement. Les preuves s'accumu-

lent pour montrer que les événements chaotiques et rythmiques coexistent au sein d'une même dynamique géologique que nous devons chercher à élucider. Des contraintes nouvelles, géochimiques et géochronologiques, nous guident vers une ébauche de quantification des processus géodynamiques internes et externes. Enfin, des moyens émergent pour mesurer des traceurs nouveaux avec une grande reproductibilité tout en diminuant les bruits géologiques. Reste maintenant aux géologues à dégager les bons traceurs et à découvrir les bons témoins, pour fixer les étapes des différenciations passées de la Terre. L'objectif est considérable puisqu'il exigera une haute résolution temporelle des mesures. Il est improbable qu'il puisse être résolu à court et moyen termes pour des systèmes complexes comme les continents. Toutefois, des progrès significatifs sur la question pourraient survenir d'ici à la prochaine décennie pour des processus «simples» relatifs au domaine «océan». C'est l'espoir que je formule.

Pour DIDEROT (1767), «Tout s'anéantit, tout périt, tout passe ; il n'y a que le monde qui reste, il n'y a que le temps qui dure», mais ce monde et ce temps-là s'amuse parfois à être cycliques... Le passé n'est sans doute pas la clé de l'avenir, mais il est une passerelle pour comprendre notre futur. Si le monde oscille à chaque instant entre plusieurs possibles, un seul devenir émerge. La connaissance de la dynamique des événements géologiques est une voie pour comprendre la portée du rôle du temps dans l'épanouissement de cette solution. Le laboratoire du passé devrait nous éviter de faire en cette matière des suppositions par trop contraires à la Nature.

BIBLIOGRAPHIE

- AGASSIZ, L. 1840. Etude sur les glaciers. — Jent et Gassmann, Neuchatel, 346 pp. + 18 planches d'atlas.
- AGGARWAL, J. K. 1999. Boron. — In : FAIRBRIDGE, R.W. & MARSHALL, C. (eds.), *Encyclopaedia of Geochemistry*, Kluwer, Dordrecht, pp. 44-49.
- ALBAREDE, F. 1995. Introduction to geochemical modeling. — Cambridge University Press, Cambridge, 543 pp.
- ALBAREDE, F. 1998. The growth of continental crust. — *Tectonophysics*, **296** : 1-14.
- ANDRE, L., DEUTSCH, S. & HERTOGEN, J. 1986. Trace-element and Nd isotopes in shales as indexes of provenance and crustal growth: the early Paleozoic from the Brabant Massif (Belgium). — *Chemical Geology*, **57** : 101-115.
- ANDRE, L., SHATSKY, V. S., DE CORTE, K., SOBOLEV, N. V. & NAVEZ, J. 1999. Potassium-rich clinopyroxenes as mantle conveyors of crustal components. — Ninth annual V. M. Goldschmidt Conference, Harvard University, Cambridge, Abstract Volume, p. 11.
- ARNDT, N. T. & GOLDSTEIN, S. J. 1989. An open boundary between lower continental crust and mantle: its role in crust formation and crustal recycling. — *Tectonophysics*, **161** : 201-212.
- BACON, M. P., BELASTOCK, R. A., TECOTZKY, M., TUREKIAN, K. K. & SPENCER, D. W. 1988. Lead-210 and polonium-210 in ocean water profiles of the continental shelf and slope south of New England. — *Cont. Shelf Res.*, **8** : 841-853.

- BARTH, M. G., McDONOUGH, W. F. & RUDNICK, R. 2000. Tracking the budget of Nb and Ta in the continental crust. — *Chemical Geology*, **165** : 197-213.
- BERNER, E. K. 1992. Water cycle, Global. — In : NIERENBERG, W. A. (ed.), *Encyclopedia of earth system science*, vol. 4, Academic Press, San Diego, pp. 437-448.
- BIRD, P. 1979. Continental delamination and the Colorado plateau. — *J. Geophys. Res.*, **84** : 7561-7571.
- BRADSHAW, N., HALL, E. F. H. & SANDERSON, N. E. 1989. Inductively coupled plasma as an ion source for high resolution mass spectrometry. — *J. Anal. Atom. Spectrom.*, **4** : 801-803.
- BUFFON, G. L. L. (Comte de) 1779. Supplément à la théorie de la Terre (tome IX des œuvres complètes de Buffon par M. Flourens, 1855). — Garnier, Paris, pp. 348-453.
- CHESTER, R. 1990. *Marine Geochemistry*. — Unwin Hyman, Londres, 698 pp.
- COMPSTON, W. & PIDGEON, R. T. 1986. Jack Hills, evidence of more very old detrital zircons in Western Australia. — *Nature*, **321** : 766-769.
- CONDIE, K. C. 1997. *Plate tectonics and crustal evolution*. — Butterworth-Heinemann, Oxford, 282 pp.
- DARWIN, F. 1892. Charles Darwin, his life told in an autobiographical chapter and in a selected series of his published letters. — John Murray, London, pp. 5-54.
- DATE, A. R. & JARVIS, K. E. 1989. Application of ICP-MS in the earth sciences. — In : DATE, A. R. & GRAY, A. L. (eds.), *Applications of inductively coupled plasma mass spectrometer*. Blackie and son, Glasgow, pp. 43-70.
- DAVILLE, A. 1999. Simultaneous generation of hotspots and superswells by convection in a heterogeneous planetary mantle. — *Nature*, **402** : 756-760.
- DAVIES, G. F. 1999. *Dynamic Earth. Plates, plumes and mantle convection*. — Cambridge University Press, Cambridge, 458 pp.
- DEHAIRS, F., BAUYENS, W. & GOEYENS, L. 1992. Accumulation of suspended barite at mesopelagic depths and export production in the Southern Ocean. — *Science*, **258** : 1332-1335.
- DE LA ROCHA, C. L., BRZEZINSKI, M. A., DE NIRO, M. J. & SHEMESH, A. 1998. Silicon-isotope composition of diatoms as an indicator of past oceanic change. — *Nature*, **395** : 680-683.
- DIDEROT, D. 1767. *Salons de 1767. Textes présentés par J. Seznec et J. Adhémar (1963)*. — Clarendon press, Oxford, 367 pp.
- FURLONG, K. P. & FOUNTAIN, D. M. 1986. Continental crust underplating : thermal considerations and seismic-petrologic consequences. — *J. Geophys. Res.*, **91** : 8285-8294.
- GODFREY, L. V., MILLS, R., ELDERFIELD, H. & GURVICH, E. 1994. Lead behaviour at the TAG hydrothermal vent field, 26°N, Mid-Atlantic Ridge. — *Mar. Chem.*, **46** : 237-254.
- GOLDSCHMIDT, V. M. 1934. Drei vorträge über geochemie. — *Geol. För. Stockh. Förh.*, **56** : 385-427.
- GOLLUB, J. P. & CROSS, M. C. 2000. Chaos in space and time. — *Nature*, **404** : 710-711.
- HALLIDAY, A. N., LEE, D. C., CHRISTENSEN, J. N., REHKÄMPER, M., YI, W., LUO, X., HALL, C. M., BALLENTINE, C. J., PETTKE, T. & STIRLING, C. 1997. Applications of multiple collector ICP-MS to cosmochemistry, geochemistry, and paleoceanography. — *Geochim. Cosmochim. Acta*, **62** : 919-940.
- HAYS, J. D., IMBRIE, J. & SHACKLETON, N. J. 1976. — Variations in the Earth's orbit : pace-maker of the ice ages. — *Science*, **194** : 1121-1132.

- HESS, J., BENDER, M. L. & SCHILLING, J. G. 1986. Evolution of the ratio of strontium-87 to strontium-86 in seawater from Cretaceous to present. — *Science*, **231** : 979-984.
- HOFFMAN, P. E., KAUFMAN, A. J., HALVERSON, G. P. & SCHRAG, D.P.A. 1998. Neoproterozoic snowball earth. — *Science*, **281** : 1342-1346.
- HOFMANN, A. W. 1997. Mantle geochemistry : the message from oceanic volcanism. — *Nature*, **385** : 219-229.
- HOLBROOK, W. S., MOONEY, W. D. & CHRISTENSEN, N. I. 1992. The seismic velocity structure of the deep continental crust. — In : FOUNTAIN, D. M., ARCULUS, R. & KAY, R. W. (eds.), *Continental lower crust*. Elsevier, Amsterdam, pp. 1-43.
- HOUK, R. S., FASSEL, V. A., FLESCHE, G. D., SVEC, H. J., GRAY, A. L. & TAYLOR, C. E. 1980. Inductively coupled argon plasma as an ion source for mass spectrometric determination of trace elements. — *Anal. Chem.*, **52** : 2283-2289.
- HUTTON, J. 1788. Theory of the Earth ; or an investigation of the laws observable on the composition, dissolution, and restauration of land upon the Globe. — *Trans. Roy. Soc. Edinb.*, **1** : 209-304.
- HYDE, W. T., CROWLEY, T. J., BAUM, S. K. & PELTIER, R. 2000. Neoproterozoic «snowball Earth» simulations with a coupled climate/ice-sheet model. — *Nature*, **405** : 425-429.
- JEFFRIES, T. E., PERKINS, W. T. & PEARCE, N. J. G. 1995. Measurements of trace elements in basalts and their phenocrysts by laser probe microanalysis inductively coupled plasma mass spectrometry (LPMA-ICP-MS). — *Chemical Geology*, **121** : 131-144.
- JOHANNES, W. & HOLTZ, F. 1996. Petrogenesis and experimental petrology of granitic rocks. — Springer-Verlag, Berlin, 335 pp.
- JONES, C. E., HALLIDAY, A. N., REA, D. K. & OWEN, R. M. 2000. — Eolian inputs of lead to the North Pacific. — *Geochim. Cosmochim. Acta*, **64** : 1405-1416.
- KELVIN, W. T. (Baron) 1864. On the secular cooling of the Earth. — *Trans. Roy. Soc. Edinb.*, **23** : 167-169.
- KERR, R. A. 2000. An appealing snowball Earth ; that's still hard to swallow. — *Science*, **287** : 1734-1736.
- LAZARET, C. E., WILLENZ, P., NAVEZ, J., KEPPENS, E., DEHAIRS, F. & ANDRE, L. 2000. Sclerosponges as a new potential recorder of environmental changes : lead in *Ceratoporella nicholsoni*. — *Geology*, **28** : 515-518.
- LEEDER, M. 1999. Sedimentology and sedimentary basins, from turbulence to tectonics. — Blackwell, Oxford, 592 pp.
- LONGHI, J., VANDER AUWERA, J., FRAM, M. S. & DUCHESNE, J.-C. 1999. Some phase equilibrium constraints on the origin of proterozoic (Massif) anorthosites and related rocks. — *J. Petrol.*, **40** : 339-362.
- LYELL (Sir Charles) 1833. Principles of Geology, being an attempt to explain the former changes of the Earth's surface, by reference to causes now in operation. — Murray, Londres, réédité par University Chicago Press (1991), 398 pp.
- MAROTTA, A.M., FERNANDEZ, M. & SABADINI, R. 1998. Mantle unrooting in collisional settings. — *Tectonophysics*, **296** : 31-46.
- MCCULLOCH, M. T. & BENNETT, V. C. 1998. Early differentiation of the Earth : an isotopic perspective. — In : JACKSON, I. (ed.), *The Earth's mantle*. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 127-158.

- MEISSNER, R. & MOONEY, W. 1998. Weakness of lower continental crust : a condition for delamination, uplift, and escape. — *Tectonophysics*, **296** : 47-60.
- MILANKOVITCH, M. 1930. Mathematische klimalehre und astronomische theorie der klimaschwankungen. — In : KOPPEN, W. & GEIGER, R. (eds.), *Handbuch der klimatologie*. Gebruder Borntraeger, Berlin, 176 pp.
- NELSON, K. D. 1992. Are crustal thickness variations in old mountain belts like the Appalachians a consequence of lithospheric delamination ? — *Geology*, **20** : 498-502.
- O'NIONS, K. 1992. The continents. — In : BROWN, G. C., HAWKESWORTH, C. J., & WILSON, C. L. (eds.), *Understanding the Earth, a new synthesis*. Cambridge University Press, pp. 145-163.
- ORTOLEVA, P. J. 1994. *Geochemical self-organization*. — Oxford University Press, Oxford, 411 pp.
- PEARSON, D. G. 1999. The age of continental roots. — *Lithos*, **48** : 171-194.
- PIEPGRAS, D. J., WASSERBURG, G. J. & DASCH, E. J. 1979. The isotopic composition of neodyme in different ocean masses. — *Earth Planet. Sci. Lett.*, **45** : 223-236.
- PODLAHA, O. G., CHALIMOURDA, A. & ALBEVERIO, S. 1999. Nonlinear system analysis of a $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ time series for phanerozoic seawater. — *Chemical Geology*, **161** : 241-252.
- PRIGOGINE, I. 1996. *La fin des certitudes*. — Editions Odile Jacob, Paris, 228 pp.
- PROKOPH, A. & VEIZER, J. 1999. Trends, cycles and nonstationarities in isotope signals of phanerozoic seawater. — *Chemical Geology*, **161** : 225-240.
- RAPP, R. P., SHIMIZU, N., NORMAN, M. D. & APPLGATE, G. S. 1999. Reaction between slab-derived melts and peridotite in the mantle wedge : experimental constraints at 3.8GPa. — *Chemical Geology*, **160** : 335-356.
- RAPP, R. P. & WATSON, E. B. 1995. Dehydration melting of metabasalt at 8-32 kbar : implications for continental growth and crust-mantle recycling. — *J. Petrol.*, **36** : 891-931.
- RAPP, R. P., WATSON, E. B. & MILLER, C. F. 1991. Partial melting of amphibolite/eclogite and the origin of Archean trondhjemites and tonalites. — *Precambrian Res.*, **51** : 1-25.
- RUDNICK, R. L. 1995. Making continental crust. — *Nature*, **368** : 571-578.
- RUDNICK, R. L. & FOUNTAIN, D. M. 1995. Nature and composition of the continental crust : a lower crustal perspective. — *Rev. Geophys.*, **33** : 267-309.
- SCHOPF, T. J. M. 1980. *Paleoceanography*. — Harvard University Press, Cambridge, 341 pp.
- SETTLE, D. M. & PATTERSON, C. C. 1991. Eolian inputs of lead to the South pacific via rain and dry deposition from industrial and natural sources. — In : TAYLOR, H. P., O'NEIL, J. R. & KAPLAN, I. R. (eds.), *Stable isotope geochemistry : a tribute to Samuel Epstein*. *The geochemical society* (special publication), **3** : 285-294.
- SWART, P. K., MOORE, M., CHARLES, C. & BOHM, F. 1998. Sclerosponges may hold new keys to marine paleoclimate. — *EOS*, **79** : 635-636.
- TAYLOR, S. R. & MCLENNAN, S. M. 1985. *The continental crust : its composition and evolution*. — Blackwell, Oxford, 312 pp.
- THOMPSON, M., GOULTER, J. E. & SIEPER, F. 1981. Laser ablation for the introduction of solid samples into an inductively coupled plasma for atomic-emission spectrometry. — *Analyst*, **106** : 32-39.

- THOMSON, J., COLLEY, S., ANDERSON, R., COOK, G. T. & MACKENZIE, A. B. 1995. A comparison of sediment accumulation chronologies by the radiocarbon and ²¹⁰Pb_{excess} methods. — *Earth and Planet. Sci. Lett.*, **133** : 59-70.
- TURCOTTE, D. L. 1997. Fractals and chaos in geology and geophysics. — Cambridge University press, 2nd edition, Cambridge, 398 pp.
- VANDER PUTTEN, E., DEHAIRS, F., KEPPENS, E. & BAYENS, W. 2000. High resolution distribution of trace elements in the calcite shell layer of modern *Mytilus edulis* : environmental and biological controls. — *Geochim. Cosmochim. Acta*, **64** : 997-1011.
- VON BLANCKENBURG, F., O'NIIONS, R. K. & HEIN, J. R. 1996. Distribution and sources of pre-anthropogenic lead isotopes in deep ocean water from Fe-Mn crusts. — *Geochim. Cosmochim. Acta*, **60** : 4957-4963.
- WEGENER, A. 1912. Die Entstehung der Kontinente. — *Geol. Rund.*, **3** : 276-292.
- WILLENZ, P. & HARTMAN, W. D. 1985. Calcification rate of *Ceratoporella nicholsoni* (Porifera : sclerospongiae) : an *in situ* study with calcein. — In : DELESALLE, B., GALZIN, R. & SALVAT, B. (eds.), Proceedings of the fifth international coral reef congress, Tahiti, Antenne Museum-EPHE : Moorea, French Polynesia, 5, pp. 113-118.
- WOODHEAD, J. D. & McCULLOCH, M. T. 1989. Ancient seafloor signals in the Pitcairn Island lavas and evidence for large amplitude, small length scale mantle heterogeneities. — *Earth Planet. Sci. Lett.*, **94** : 257-273.

La prospection des gisements cachés d'uranium et métaux associés par les techniques gaz, le cas du Katanga *

par

Jean-Marie CHARLET ** & Gabriel MAKABU ***

MOTS-CLES. — Radon ; Prospection ; Uranium ; Katanga.

RESUME. — La recherche de gisements d'uranium cachés ou profonds demande le développement de méthodes indirectes de prospection. Parmi celles-ci on peut citer les méthodes basées sur la migration des produits gazeux de désintégration de l'uranium (radon et hélium). Les mécanismes de migration des gaz rares dans la croûte terrestre constituent ainsi la base de l'interprétation des anomalies de surface et de leur liaison avec des gisements cachés. Durant les dernières années, la migration des gaz rares dans la géosphère a fait l'objet d'un concept nouveau de recherche appelé *geogas theory* : transport par des gaz porteurs ($\text{CO}_2 - \text{CH}_4, \dots$) ou par des microbulles selon que le milieu est ou non saturé (en eau). En outre, des particules solides peuvent être entraînées par divers mécanismes physiques (flottation, transport sous forme d'aérosol, liaison à l'interface gaz-eau) et être à l'origine d'anomalies géochimiques de surface. C'est sur ces considérations que nous proposons d'appliquer les méthodes gaz à la prospection des gisements de l'arc métallogénique Katanga-Zambie où les minéralisations Cu-Co sont souvent associées à l'uranium. L'application des méthodes gaz dans des pays en développement demande une technique de mesure peu coûteuse et d'utilisation aisée avec une lecture directe sur site. Nous avons appliqué cette technique à trois secteurs de la région de Lubumbashi : un secteur non minéralisé dans les quartiers de la ville de Lubumbashi, le gisement Cu-Co de l'«Etoile» et le gisement Cu-Co-U de Lwiswishi. Les résultats sont présentés et discutés. Le problème des anomalies uranifères superficielles connues dans les sols latéritiques en l'absence de gîtes primaires est évoqué.

SAMENVATTING. — *De prospectie van verborgen uraniumafzettingen en afzettingen van geassocieerde metalen door gastechnieken, het geval-Katanga.* — Het zoeken naar verborgen of diepe uraniumafzettingen maakt de ontwikkeling van indirecte prospectie-methodes noodzakelijk. Onder hen, de methodes gebaseerd op de migratie van gasvormige producten die bij verval van uranium (radon en helium) ontstaan. De migratiemechanismen van zeldzame gassen in de aardkorst vormen op die manier de basis voor de interpretatie van anomalieën aan de oppervlakte en hun verband met de verbor-

* Communication présentée à la séance de la Classe des Sciences techniques tenue le 28 avril 2000. Texte reçu le 30 juin 2000.

** Membre de l'Académie ; prof. hon. Faculté Polytechnique de Mons (Belgique).

*** Fac. Polytechn. de Mons, rue de Houdain 9, B-7000 Mons (Belgique) ; Université de Lubumbashi (R.D. Congo).

gen afzettingen. Tijdens de laatste jaren vormde de migratie van zeldzame gassen in de geosfeer het onderwerp van een nieuw onderzoeksconcept, de *geogas theory* : transport door draaggassen (CO_2 - CH_4 ,...) of via microbellen, afhankelijk van het al dan niet verzadigd zijn van het milieu met water. Bovendien kunnen vaste partikels door diverse fysische mechanismen (flotatie, transport in de vorm van aerosol, binding op de grensvlakte gas-water) meegevoerd worden en aan de basis liggen van geochemische oppervlakte-anomalieën. Op grond van deze overwegingen stellen wij voor om gasmethodes toe te passen bij de prospectie van de Katanga-Zambia metallogene boog waar de Cu-Co mineralisatie vaak met uranium geassocieerd is. De toepassing van de gasmethodes in ontwikkelingslanden vereist slechts een vrij goedkope en eenvoudig toe te passen meettechniek met direct afleesbaar resultaat. Wij hebben deze techniek in drie zones van de regio Lubumbashi toegepast : een niet-gemineraliseerde zone in de stad Lubumbashi, de Cu-Co-afzetting "L'Etoile" en de Cu-Co-U-afzetting van Lwiswishi. De resultaten worden voorgesteld en besproken. Het probleem van de oppervlakkige uraniumanomalieën van laterietbodems in afwezigheid van primaire afzettingen wordt besproken.

SUMMARY. — *Exploration of the Uranium Hidden Deposits and Associated Metals by Gas Techniques, the Case of Katanga.* — The search for the hidden or deep uranium deposits requires the development of indirect prospecting methods. Among them one can mention methods based on the migration of the gaseous decay products of uranium (radon and helium). So, the mechanisms of rare gas migration in the earth crust form the base of the interpretation of the subsurface anomalies and the connection with the hidden deposits. Over the last few years the migration of rare gas in the geosphere has been the subject of a new concept of research named "geogas theory" : transport upward by carrier gases (CO_2 - CH_4 ,...) or by microbubbles flux depending on saturated or non-saturated environment. Besides, solid particles can be transported upward by some physical mechanisms (flotation, aerosol transport, binding on the gas-water interface) and can give surface geochemical anomalies. From these reflections we propose to apply gas methods to the prospecting of the Katanga-Zambia metallogenic crescent deposits where the copper-cobalt mineralizations are often associated with uranium. Application of gas methods in developing countries requires a low cost measurement technique easy to use by a reading on the field. We have performed this technique in three zones of the Lubumbashi region : a non-mineralized zone in the district area, the copper-cobalt deposit of "L'Etoile" and the Cu-Co-U deposit of Lwiswishi. The results are explained and discussed. The problem of the superficial uraniferous anomalies located in lateritic soils in the absence of primary occurrences is mentioned.

1. Introduction

L'exploration des gisements d'uranium couvre une période d'à peine un siècle et est liée à l'apparition et au développement des applications de l'atome. On peut considérer quatre grandes périodes dans l'historique de la recherche minière en ce domaine :

— Avant 1940, l'exploitation de l'uranium pour en extraire le radium. La Belgique va jouer dans cette étape un grand rôle avec la découverte du gise-

ment de Shinkolobwe en 1915 et à partir de la pechblende de Shinkolobwe la production de radium à Olen.

- Après 1945, un développement de l'exploration des gisements d'uranium pour satisfaire à la demande qui se situe cette fois dans le domaine du nucléaire civil et militaire. Les découvertes sont souvent basées sur une prospection de surface à l'aide du compteur Geiger, les gisements étant sub-affleurants. On peut par exemple citer la découverte de la province uranifère du Massif central en France.
- Vers les années 1975-1980, un accroissement de l'effort de prospection en vue de couvrir une demande en augmentation liée, d'une part, au développement de l'énergie nucléaire et, d'autre part, à la crainte qu'une tension entre les Etats (Afrique du Sud, pays de l'Est) nous coupe de certains approvisionnements. Il faut découvrir de nouveaux gisements. Les gisements affleurants ont été trouvés par les prédécesseurs. La recherche des gisements cachés, enfouis sous couverture, s'impose et nécessite l'emploi de méthodes indirectes de prospection. La désintégration de l'uranium conduit à la production de gaz rares (radon et hélium) qui peuvent migrer vers la surface. Dans la recherche de gisements cachés, on pense donc tout naturellement aux techniques gaz. Avec d'autres méthodes, comme la géophysique, elles vont contribuer à la découverte d'un certain nombre de gisements dans le monde. Une synthèse bibliographique des premiers travaux effectués en vue d'utiliser le radon pour la prospection de l'uranium a été faite en 1971 par Dyck. Celui-ci écrit : «The radon method also has the advantage of being a true field method in that the result can be obtained at the site» (DYCK 1971).
- Les dernières décennies vont être marquées par une chute spectaculaire des cours de l'uranium suite, d'une part, à la réduction des programmes de production d'électricité nucléaire et, d'autre part, à l'ouverture des marchés, conséquence de la fin de la guerre froide. On assiste donc à un ralentissement de l'effort de prospection.

Les équipes qui travaillaient dans le domaine des techniques gaz vont réorienter les recherches vers l'utilisation du radon dans la prévision des risques géologiques (séismes, activité volcanique) ou la radioprotection avec la problématique du radon dans les habitations. Ce sont les principaux thèmes abordés au cours des colloques internationaux sur la géochimie des gaz rares initiés par le Service de géologie de la Faculté polytechnique de Mons, en 1990.

Dans le domaine de la recherche minière, certains auteurs ont suggéré d'appliquer les méthodes radon à l'exploration des substances minérales associées à l'uranium (BALL 1985, BALL *et al.* 1991, CHARLET 1992). Tel est le cas des gisements situés dans l'arc cupro-cobaltifère du Katanga (fig. 1).

Outre le cas célèbre de Shinkolobwe, l'uranium est présent en quantité non négligeable dans bon nombre de gisements à cuivre-cobalt (voir fig. 1). La série

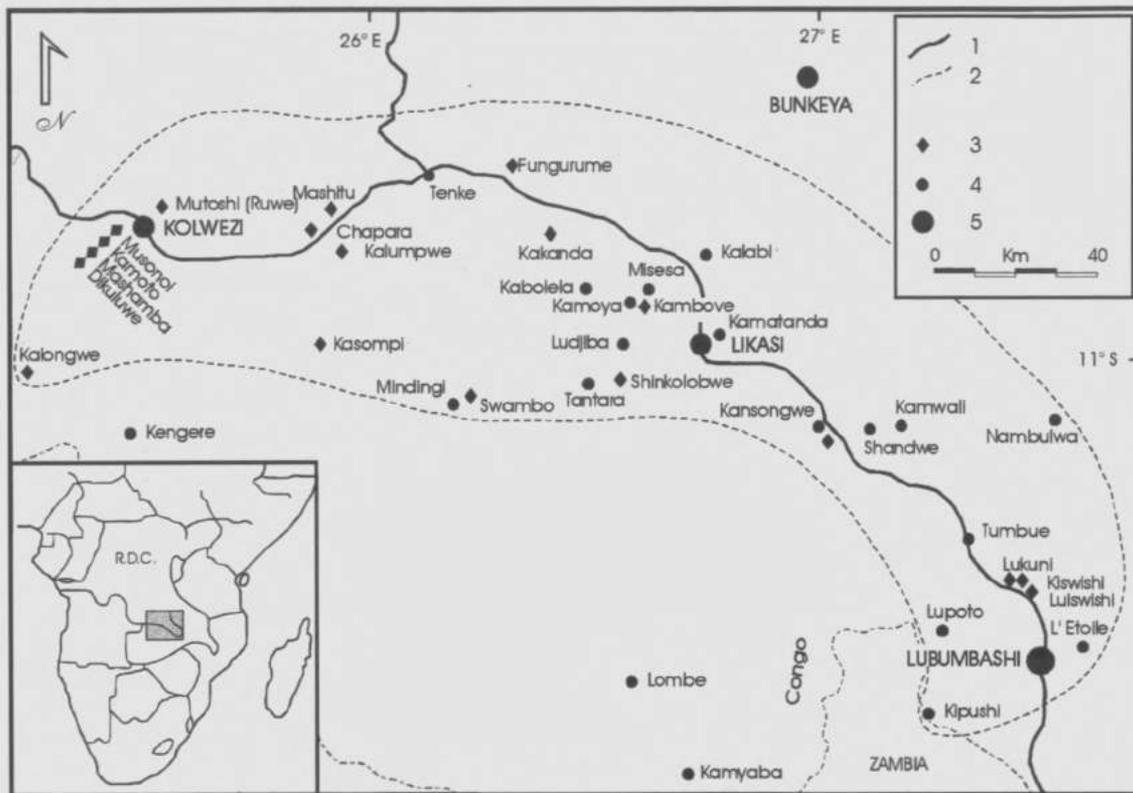


Fig. 1. — Distribution des gisements de l'arc cupro-cobaltifère du Katanga. 1. Principales routes ; 2. Limites de l'arc cupro-cobaltifère ; 3. Gisements avec uranium ; 4. Gisements sans uranium ; 5. Principales localités.

des Mines qui porte ces gisements stratiformes est elle-même en maints endroits anormale en uranium (FRANCOIS 1987, CHARLET *et al.* 1997).

Pour mettre en évidence ces anomalies uranifères sous couverture et aider ainsi à la prospection des gisements Cu-Co qui apparaissent souvent dans un contexte tectonique complexe en lambeaux très dilacérés, nous proposons l'utilisation des méthodes radon.

2. Le radon et sa migration dans les formations géologiques

Le radon 222 est un produit de désintégration de l'uranium 238 (fig. 2). Il a une demi-vie de 3,8 jours et se désintègre lui-même par émission de particules alpha (isotope du polonium) ou avec émission de gamma énergétique (Pb_{214} ou Bi_{214}).

Notons que le thorium 232, radioélément naturel présent dans les roches, est également un émetteur de radon (radon 220 ou thoron) mais dont la demi-vie n'est que de 56 secondes.

Il disparaît donc très rapidement et n'est pas très gênant dans la détection globale du gaz radon. On peut toutefois noter la présence fréquente d'anomalies en thorium dans les sols latéritiques, anomalies qui pourraient être une source secondaire de radon.

Deux mécanismes vont contribuer à la formation d'anomalies radon dans le sol :

- Le taux d'émanation ou d'«échappement» du radon à partir d'un minéral, d'une roche ou du sol lui-même s'il s'agit de concentrations uranifères superficielles ;
- Les processus de migration depuis la zone «source».

La quantité de radon qui s'échappe par rapport à la quantité de radon générée par la désintégration du radium (taux d'émanation) dépend de nombreux paramètres.

La figure 3 schématise quelques processus qui contribuent à limiter le taux d'émanation (TANNER 1980). En A l'atome de radon reste piégé dans le grain, en B il est piégé dans un grain adjacent, en D, étant peu absorbé dans l'air, il se fait repiéger dans un autre grain. Seul le cas C, où il est dissous dans l'eau, lui permet de s'échapper de la roche où il a été généré. Le taux d'émanation va donc être fonction de la dimension des grains, de la phase occupant les espaces intergranulaires, de la porosité, ... On voit (tab. 1) qu'il peut être très faible (quelques %) pour atteindre quelque 10 % dans les sols, les roches altérées ou les minéraux uranifères d'altération (p. ex. le cas de la carnotite) dont les structures cristallines sont plus ouvertes. On peut noter les valeurs très faibles pour les roches schisteuses et beaucoup plus élevées pour les sols qui se développent sur celles-ci. On pourrait établir une analogie avec les shales du Kundelungu.

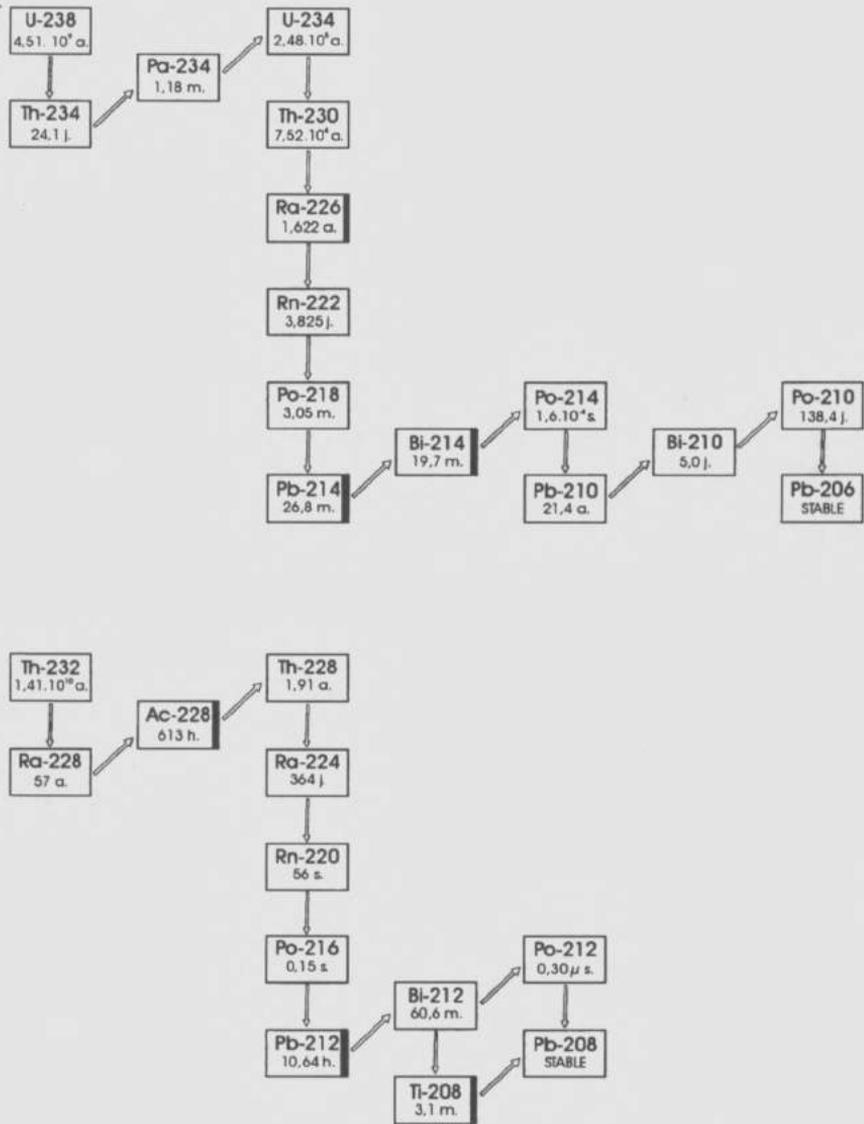


Fig. 2. — Famille de l'uranium 238 et du thorium 232.

Le radon qui s'échappe de la roche (quelques % à quelque 10 %) va migrer grâce à l'intervention de plusieurs mécanismes physiques.

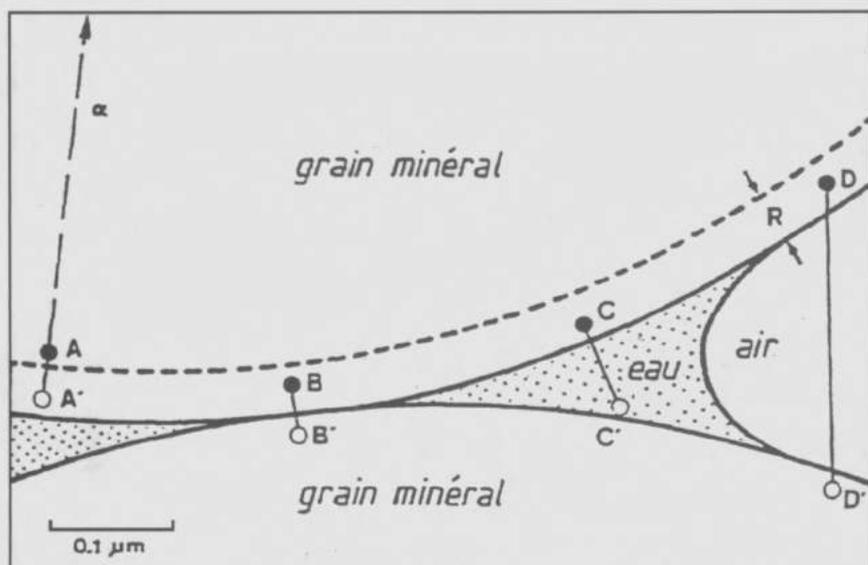


Fig. 3. — Schéma représentant le parcours moyen des atomes de radon (A' - B' - C' - D') par désintégration des atomes de radium (A - B - C - D). D'après TANNER (1980).

Tableau 1

Taux d'émanation (Te) de quelques minéraux, roches et sols (d'après TELFORD 1983)

	Te en %
Pechblende (Katanga)	1,61
Carnotite (Colorado)	17,3 - 27,1
Schiste	2,6
Sol argileux	30
Sol granitique	46

La diffusion est un phénomène dont la contribution est négligeable compte tenu des vitesses de diffusion et la demi-vie du radon. On estime qu'elle est de quelques mètres dans l'air, de quelques centimètres dans l'eau. Il faut donc nécessairement que le radon soit transporté par un support suivant un processus de convection analogue à celui qui contribue au transport de la chaleur. Les fluides interstitiels, et notamment l'eau dans laquelle le radon se dissout, peuvent jouer un grand rôle. Une migration plus rapide que celle faisant intervenir les conditions normales de convection a fait l'objet de modélisations expérimentales fondées sur la théorie des «géogas» (MALMQUIST & KRISTIANSSON 1984, ETIOPE & WEI 1998). Sous l'effet d'un dégazage (par une chute de pression ou une aug-

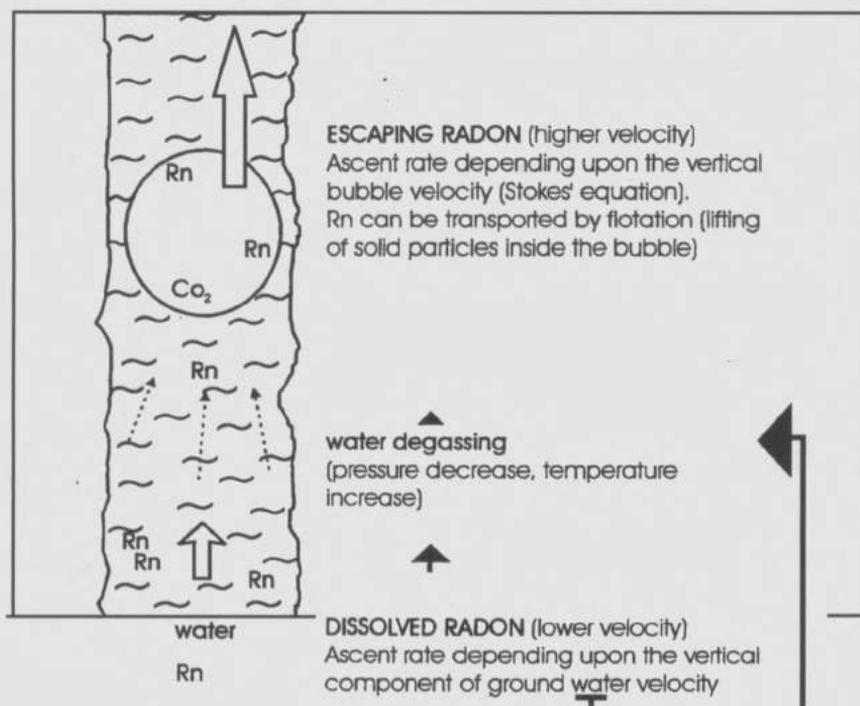


Fig. 4. — Schéma de transport du radon (d'après ETIOPE & WEI 1998).

mentation de température liée à une différence de conductibilité thermique des roches), il se forme un milieu mixte contenant des microbulles gazeuses. La vitesse ascensionnelle de ces bulles va dépendre notamment du carré de leur diamètre suivant la loi de Stokes (fig. 4). Ces microbulles de gaz «porteur» (CO_2 - CH_4) pour les gaz rares (Rn-He) peuvent entraîner également des particules solides suivant un mécanisme analogue à la flottation en préparation des minerais (ETIOPE & LOMBARDI 1996). Un tel mécanisme peut conduire à des anomalies géochimiques de surface liées à un gisement enfoui. Des évidences de transport de ce type ont été signalées en Suède pour des métaux de base (Cu-Pb-Zn) ou des métaux précieux (ETIOPE & LOMBARDI 1996).

3. Les techniques de mesures

La mesure du radon dans le sol peut se faire par des méthodes instantanées ou intégrées (CHARLET & DOREMUS 1990).

Dans la méthode instantanée on prélève le gaz dans le sol à 50-60 cm et on l'envoie directement dans une cellule de Lucas qui est un flacon tapissé de ZnS,

produit qui scintille sous l'effet des particules émises par le radon et ses descendants. Les photons lumineux sont comptés avec un système classique de tube photomultiplicateur.

Les méthodes intégrées nécessitent une phase d'implantation et de récupération des détecteurs mais ont l'avantage d'atténuer l'effet des variations météorologiques.

Dans la méthode intégrée on place un détecteur dans le sol pendant une période de quelques jours, détecteur qui accumule l'effet radon et sera lu après récupération.

Nous utilisons deux types de détecteurs : du charbon actif, qui absorbe le radon et laisse après désintégration les descendants solides émetteurs de rayonnement γ , et des détecteurs solides de traces, qui fixent les dégâts produits dans la matière par les particules α (fig. 5).

Notons que l'on peut également mesurer le radon dans l'eau en utilisant son coefficient de partage entre l'eau et les liquides organiques (QUINIF *et al.* 1984). En technique intégrée, on place dans un puits un flacon en plastique perméable au radon et rempli de liquide organique. En technique instantanée, on prélève une certaine quantité d'eau dont on extrait le radon en laboratoire par des liquides organiques. Dans l'une ou l'autre de ces deux méthodes, le comptage

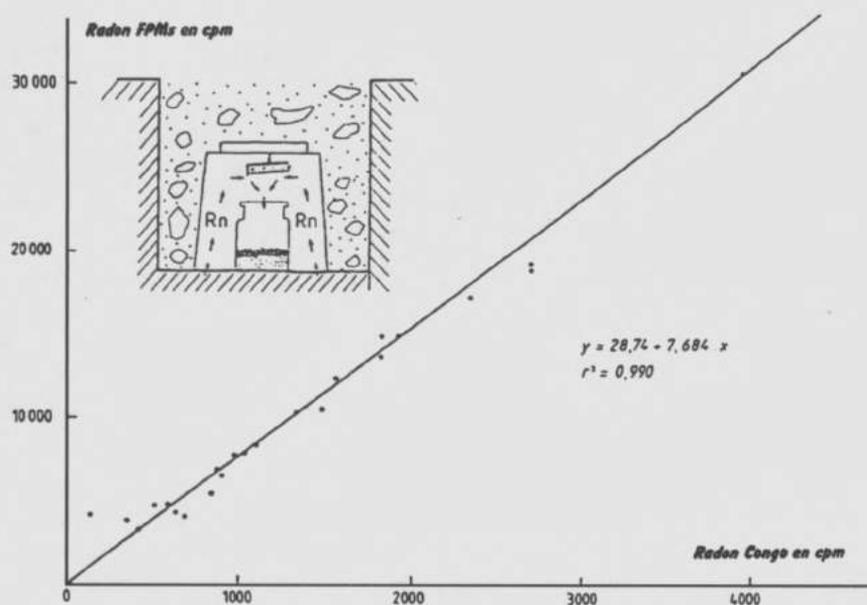


Fig. 5. — Schéma des détecteurs radon au charbon actif et droite de corrélation entre les comptages effectués au Congo et à la FPMs.

s'effectue sur les descendants solides émetteurs de rayonnement γ (CHARLET & DOREMUS 1990).

Les méthodes de détection du radon dans les sols ou les eaux que nous avons développées se basent sur une mesure par comptage de rayonnement γ , ce qui permet d'utiliser un appareillage portable, robuste, que possèdent les compagnies minières.

C'est cette philosophie qui a été adoptée dans l'application des méthodes radon sur les gisements du Katanga. Le détecteur est très simple (fig. 5) : un flacon de verre à bouchon rodé, 5 g de charbon actif et 5 g de silicagel par détecteur. Le détecteur est placé dans un trou de 0,50 m de profondeur et recouvert d'un pot plastique faisant office de cloche à radon. Il est récupéré après quelques jours, fermé hermétiquement par un joint de graisse au silicone pour éviter l'échappement du radon et compté avec un scintillateur de terrain protégé du rayonnement cosmique par quelques briques de plomb.

Un test a été effectué en 1995 sur le gisement de Lwiswishi (CHARLET & MAKABU 1996). Après récupération des détecteurs et comptage sur le terrain, ceux-ci ont été ramenés en Belgique où une mesure précise a été effectuée sur une chaîne de spectrométrie après correction de la décroissance du radon dans le temps.

La corrélation entre les mesures effectuées au Katanga sur le terrain et au laboratoire de la Faculté polytechnique de Mons est excellente (fig. 5).

4. Application aux gisements Cu-Co-U du Katanga

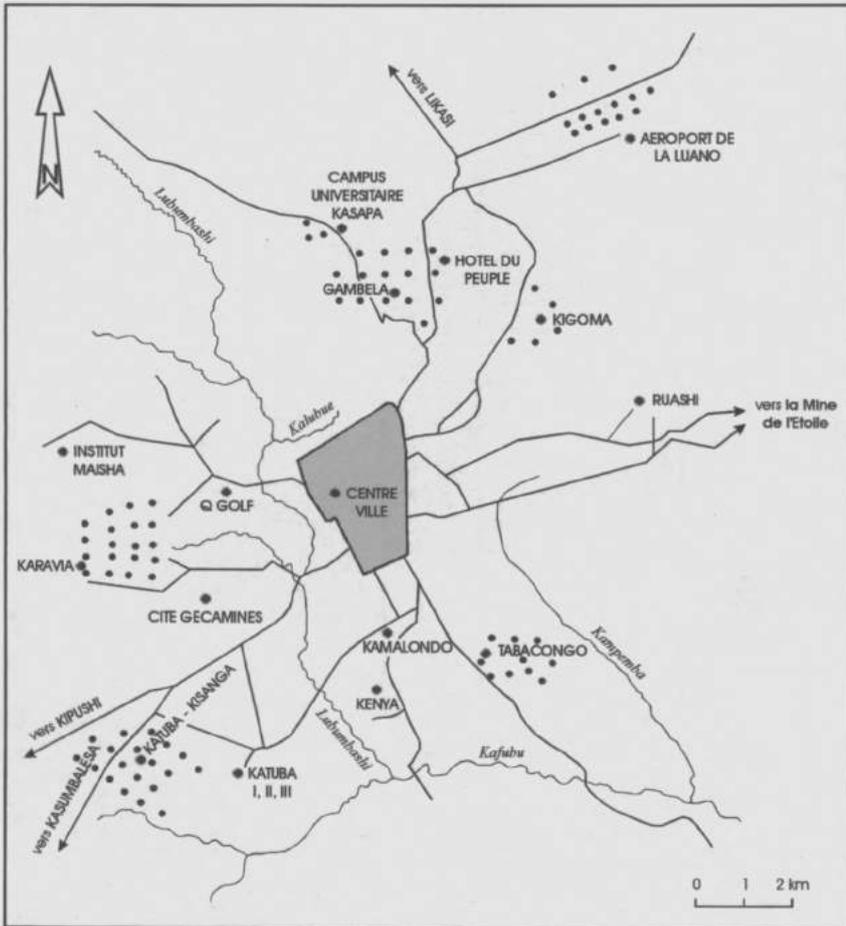
4.1. SITUATION DES ZONES ETUDIÉES

En vue d'appliquer la méthode radon à la recherche des minéralisations de l'arc cupro-cobaltifère du Katanga, nous avons sélectionné trois zones d'étude dans la région de Lubumbashi (fig. 1) :

- Différents secteurs de la ville de Lubumbashi de manière à établir les caractéristiques d'un «bruit de fond» sur sol latéritique en dehors de toute zone minéralisée (fig. 6) ;
- Le gisement de Lwiswishi où des minéralisations uranifères sont connues ;
- Le gisement de l'Etoile pour lequel les concentrations uranifères n'ont pas été signalées.

Dans tous les cas, on a mesuré la radioactivité totale en surface et en fond de trou creusé pour placer les détecteurs radon, la concentration en radon par détecteurs au charbon actif et les teneurs en U-Th-K par spectrométrie γ sur prélèvements des échantillons récupérés lors du placement des détecteurs.

La mesure de la radioactivité totale et la lecture des détecteurs radon ont été effectuées à l'aide d'un scintillateur de terrain.



- noms des lieux (communes, quartiers, autres)
- stations de mesures radon et d'échantillonnage
- routes
- ~ rivières

Fig. 6. — Localisation des stations de mesures et d'échantillonnage dans le district de Lubumbashi. 1. Noms des lieux (communes, quartiers,...) ; 2. Stations de mesures radon ; 3. Routes ; 4. Rivières.

A Lwiswishi, gisement qui fit d'abord l'objet de nos investigations (fig. 7), deux campagnes ont été réalisées en 1995 et 1996 sur deux secteurs : l'un considéré comme uranifère (Lwiswishi 1) et l'autre comme non uranifère (Lwiswishi 2).

Enfin, des mesures ont été faites sur le fond de la carrière 1 où un dépôt lié à l'alluvionnement en saison de pluie de sédiment très uranifère mais de faible épaisseur repose sur des formations en place non uranifères. Cet environnement simule les «fausses anomalies» susceptibles de se développer dans les latérites par piégeage de l'uranium sur les oxyhydroxydes de fer en l'absence de toute minéralisation sous-jacente. Il est en effet important de trouver des critères permettant de distinguer ces «fausses anomalies» des anomalies liées à des gisements enfouis.

4.2. CONCENTRATION EN RADON DANS LES SOLS. COMPARAISON ENTRE ZONE MINERALISEE ET NON MINERALISEE.

L'examen du tableau 2 permet de faire une série de remarques.

Dans la zone de Lubumbashi, des différences significatives (supérieures à la moyenne +/- un écart type) apparaissent suivant les secteurs considérés alors que le comptage fond de trou (TC) et les teneurs en uranium [1]* varient dans des proportions plus faibles. Nous interprétons les variations de concentration radon dans les sols latéritiques de la zone de Lubumbashi comme étant liées à une différence de structure des sols latéritiques, plus friables donc plus poreux à Tabacongo, Katuba, Karavia, et par contre plus compacts et souvent cuirassés à Kasapa-Kigoma-Aéroport de Luano. On peut également noter une dispersion autour de la valeur moyenne qui ne dépasse pas une trentaine de pour cent, traduisant l'absence d'anomalies locales très fortes.

Tableau 2

Concentrations en radon dans les sols. Comparaison entre zone minéralisée et non minéralisée

	N	Moy. C/min.	σ	σ %	Valeurs extrêmes	Tc cps	eU en ppm
Lwiswishi 1 uranifère	22	1446	1168	80,8	156-4160	564	36,4
Lwiswishi 2 non uranifère	18	1305	696	53,3	369-2696	586	27,6
Tabacongo	10	665	219	32,9	447-1072	284	7,68
Karavia	19	531	131	27,7	349-726	204	7,3
Katuba	19	512	118	23	315-775	227	6,4
Aéroport-Kasapa-Kigoma	24	315	105	33,3	74-531	222	7,4
Etoile	16	458	464	99	121-2023	209	5,0

N : nombre de stations

σ : dispersion

Dans la zone de Lwiswishi 1, on note une valeur moyenne de la concentration en radon très élevée accompagnée d'une forte dispersion autour de la moyenne, dispersion liée à des anomalies locales très nettes. En outre, la radioactivité fond

* Les chiffres entre crochets [] renvoient aux notes, p. 337.

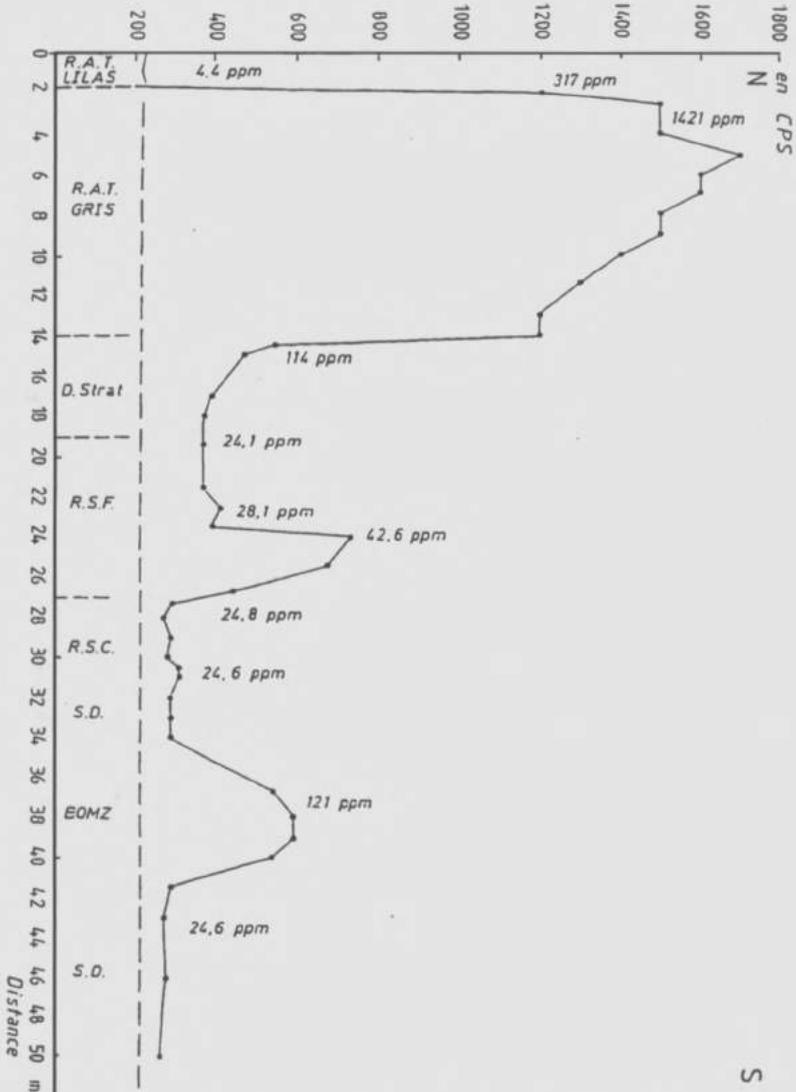


Fig. 8. — Profil de radioactivité (carrère Lwiswishi 1, paroi Est). D'après CHARLET *et al.* 1997.

de trou et les teneurs en uranium des sols sont élevées, traduisant une concentration dans la subsurface.

Un comportement analogue mais moins marqué apparaît pour la zone de Lwiswishi 2 considérée comme non uranifère mais que nos investigations classeraient dans une zone à minéralisations uranifères potentielles.

La zone de l'Etoile apparaît comme un cas intermédiaire entre le secteur de Lubumbashi et le secteur de Lwiswishi. La valeur moyenne des concentrations en radon, de la radioactivité fond de trou et des concentrations en uranium rapproche l'Etoile du comportement des zones non minéralisées. Par contre, la très forte dispersion sur la moyenne traduit l'existence d'anomalies radon locales.

4.3. LE PROFIL 1 DE LA CARRIERE DE LWISWISHI

Le profil 1 a été réalisé en 1995 et en 1996 au droit de la série des Mines dont une section complète (fig. 8) avait fait précédemment l'objet d'un levé radiométrique à front de carrière (CHARLET *et al.* 1997). On note une forte anomalie uranifère au droit des RAT grises et des anomalies plus faibles dans les RSF et les SD.

Le profil radon effectué au-dessus de la carrière (fig. 9) montre en 1995 comme en 1996 un pic important au droit des RAT grises, moins marqué pour la radioactivité «fond de trou». Les pics les plus faibles sont liés probablement à la présence des anomalies des RSF-SD.

On peut faire remarquer que les anomalies en radon amplifient considérablement les anomalies que l'on pourrait mettre en évidence par une prospection radiométrique classique. On peut également noter qu'un intervalle de mesures plus important (25 m) a toujours permis de mettre en évidence l'anomalie principale, les autres étant plus atténuées. Cela fixe le pas de mesure que l'on pourrait recommander dans une prospection tactique.

Enfin, les points 14-24 et 13-23 correspondent aux mesures effectuées sur le fond de la carrière où la forte radioactivité en 13-14 – 23-24 est liée à des anomalies uranifères superficielles. On constate que les anomalies radon ne sont pas en proportion de cette forte radioactivité superficielle, tous les points radioactivité fond de trou et radon étant dans une même zone du diagramme. Cela traduit l'effet d'une anomalie forte mais essentiellement de subsurface et qui peut être l'image des «fausses anomalies» fréquentes dans les latérites sans que nécessairement il existe un gisement sous-jacent.

4.4. CORRELATION ENTRE LES DONNEES RADON ET RADIOMETRIQUE

Le tableau 3 donne les coefficients de corrélation bivariable entre les *total count* de surface (Tcs) et fonds de trou (Tcp), les concentrations en radon et les teneurs en uranium dans les sols.

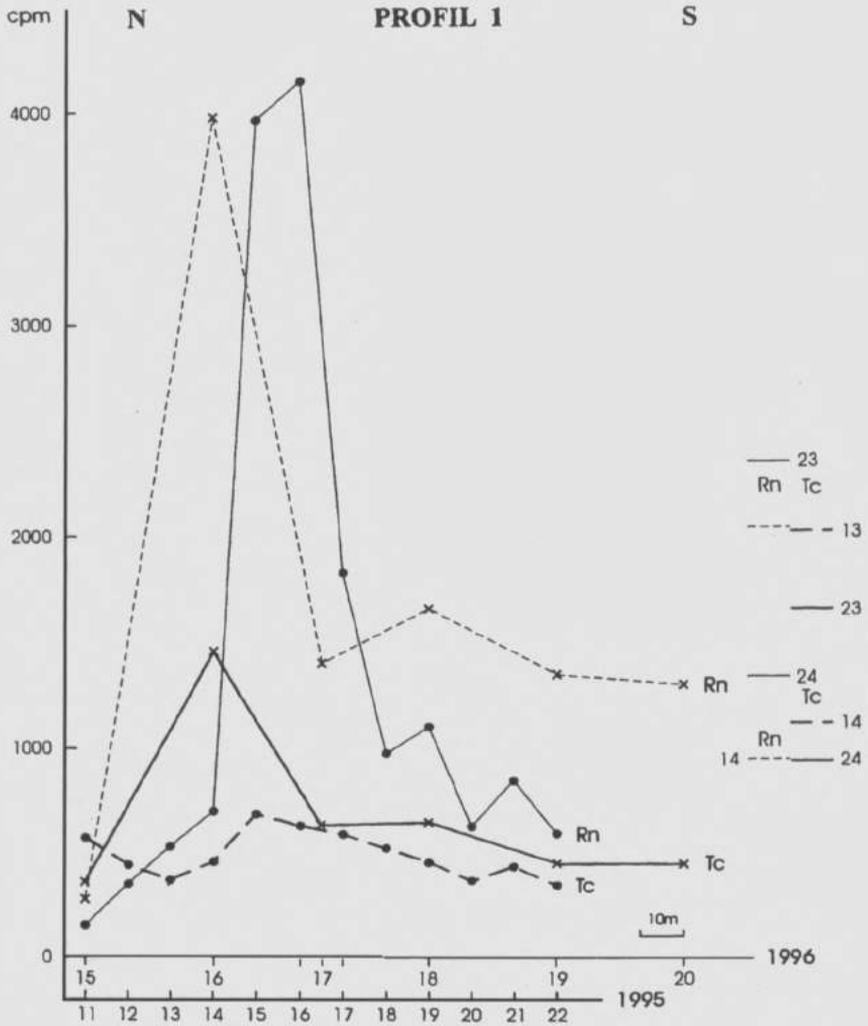


Fig. 9. — Profil radon et comptage total fond de trou (TC), carrière Lwiswishi 1, partie Est.

La corrélation Tcs - Tc_p est bonne, meilleure sur les gisements Cu-Co, surtout lorsqu'ils sont enrichis en uranium, moins nette sur les sols latéritiques du district de Lubumbashi.

Le Tc_p, mieux représentatif de la radioactivité de subsurface que le Tcs, est bien corrélié avec le radon pour Lwiswishi uranifère, moins bien corrélié pour Lwiswishi 2, l'Etoile et la zone de Lubumbashi.

On constate en outre que la bonne corrélation au niveau de Lwiswishi est détruite si l'on fait intervenir les échantillons de fonds de carrière qui sont l'image d'une concentration essentiellement superficielle. Tel peut être le cas des sols latéritiques en dehors de toute minéralisation profonde.

L'uranium étant considéré comme la principale source pour le radon, nous avons comparé les concentrations en uranium déterminées en laboratoire avec le radon déterminé *in situ*.

La corrélation U-Rn est moyenne ou inexistante et en tout cas toujours inférieure à la corrélation avec le *total count*. Ce comportement peut apparaître anormal, compte tenu de la liaison uranium-radon. Afin d'interpréter les faits observés, nous avons calculé pour la zone de Lubumbashi un *total count* à partir des teneurs en U-Th-K déterminées en laboratoire et de la relation donnée par les dossiers techniques de l'IAEA en fonction du volume du détecteur (Technical reports 1979) [2]. En appliquant cette relation on constate que la corrélation est moyenne ($r^2 = 0,55$) entre le *total count* mesuré sur le terrain et le *total count* calculé à partir des concentrations en radioéléments déterminées en laboratoire. On pourrait en conclure qu'une contribution supplémentaire intervient dans la radioactivité mesurée fond de trou. Nous pensons qu'il s'agit des descendants du radon à courte vie, émetteurs de rayonnement gamma et dont la présence va forcément améliorer la corrélation T_{cp} - Rn par rapport à la corrélation T_{cp} - U.

Enfin, dans les anomalies en uranium de subsurface repérées dans les zones minéralisées, il y a peut-être lieu de tenir compte d'une migration d'uranium accompagnant le flux radon suivant la théorie des «géogaz» dont nous avons fait état au paragraphe 2. Aussi avons-nous entamé une géochimie complète des sols en vue de déterminer d'éventuelles anomalies en d'autres éléments en traces susceptibles d'être entraînés avec le radon et ainsi de mieux comprendre le comportement des radioéléments dans les sols en relation avec la migration du radon et la présence de minéralisations profondes.

Tableau 3

Coefficient de corrélation (r^2) entre les concentrations en radon (Rn), les «total count», (Tcs - T_{cp}) et les teneurs en uranium dans les sols (U)

	Tcs - T _{cp}	T _{cp} - U	T _{cp} - Rn	U - Rn
Lwiswishi	0,94	0,73	0,71	0,52
Lwiswishi U + éch. Fond carrière	-	-	0,44	
Lwiswishi non U	0,97	0,71	0,50	0,32
Etoile	0,890	-	0,425	
Zone de Lubumbashi	0,648	- 0,05	0,53	0,11

5. Conclusions

Dans une première démarche méthodologique sur des zones tests, l'objectif poursuivi était d'évaluer la possibilité d'exploiter les résultats des mesures *in situ* en vue de localiser des anomalies uranifères enfouies.

Les paramètres que l'on peut utiliser sur le terrain sont : les concentrations radon dans les sols, la radioactivité de surface et fond de trou et pour cet ensemble des données, les valeurs moyennes, dispersion autour de la moyenne et coefficient d'autocorrélation.

Le district de Lubumbashi, qui nous permet de définir le comportement du radon dans les sols en dehors de toute minéralisation, est caractérisé par :

- Une concentration en radon variable avec la structure des sols mais inférieure à 700 cpm avec une dispersion faible entre les mesures traduisant l'absence d'anomalies fortes ;
- Une faible corrélation T_{cp} - R_n.

Les districts minéralisés sont caractérisés par :

- Une forte dispersion des concentrations autour de la moyenne traduisant la présence d'anomalies ponctuelles. C'est une différence essentielle avec le comportement du radon dans le secteur non minéralisé de Lubumbashi ;
- Des concentrations moyennes en radon ainsi qu'une radioactivité fond de trou variable, élevées dans les secteurs minéralisés ou susceptibles d'être minéralisés en uranium comme Lwiswishi, normales pour l'Etoile ;
- Une bonne corrélation T_{cp}- R_n lorsque des anomalies uranifères de subsurface sont présentes dans un contexte minéralisé (Lwiswishi 1), une faible corrélation dans les autres cas.

Enfin, les «fausses anomalies» liées à une fixation d'uranium sur les oxyhydroxydes de fer des sols latéritiques, et ce en l'absence de minéralisations enfouies, se caractérisent par une chute de la corrélation T_{cp} - R_n avec une atténuation de la concentration en radon pour une augmentation de la radioactivité fond de trou.

L'application de critères découlant de mesures *in situ* se caractérise par la souplesse, la simplicité et la rapidité d'exécution liée à un prix peu élevé. Afin de mieux comprendre les mécanismes responsables d'anomalies radon de surface, nous avons cependant entamé une analyse multiéléments des échantillons prélevés dans les sols où les mesures radiométriques avaient été réalisées.

Une première approche a consisté à déterminer les concentrations en radioéléments naturels par spectrométrie. On constate que les corrélations entre l'uranium, source de radon, et le radon lui-même sont faibles. De nombreux auteurs interpréteraient ce comportement comme l'indice d'une source profonde de radon non liée à la radioactivité de surface (RAMOLA *et al.* 1989, VIRK *et al.* 1997). Il y a cependant lieu d'être prudent. Nous pensons que l'absence de cor-

relation entre les concentrations en uranium et en radon dans les sols peut être également liée à une variation du coefficient d'émanation en relation avec la structure des sols latéritiques.

NOTES

- [1] On peut noter des valeurs de +/- 7 ppm plus élevées que le clark de la croûte terrestre, traduisant un enrichissement généralisé en uranium dans les latérites par fixation bien connue des radioéléments sur les oxyhydroxydes ferriques (SAMAMA 1984).
- [2] (Tc) calculé = U + 1,6 Th + 0,44 K.

BIBLIOGRAPHIE

- BALL, T. K., NICHOLSON, R. A. & PEACHY, D. 1985. Gas geochemistry as an aid to detection of buried mineral deposits. — Institution of Mining and Metallurgy, London, *Transactions*, Section B, **94** : 181-188.
- BALL, T. K., CAMERON, D. G., COLMAN, T. B. & ROBERTS, P. D. 1991. Behaviour of radon in the geological environment : a review. — *Quarterly Journal of Engineering Geology*, **24** : 169-182.
- CHARLET, J.-M. & DOREMUS, P. 1990. Les méthodes de détection du radon utilisées dans le service GEP. — In : Colloque international sur la géochimie des gaz. Livret, guide de l'excursion, FPMs, pp. 6-12.
- CHARLET, J.-M. 1992. De l'exploration minière à l'environnement, le radon, outil commun d'investigation. — In : Actes du 1^{er} colloque international sur la géochimie des gaz. Mémoire pour servir à l'explication des cartes géologiques et minières de la Belgique, 32, pp. 7-16.
- CHARLET, J.-M. & MAKABU, K. 1996. Le radon en prospection minière, application à la recherche des minéralisations de la province cuprocobaltifère du Shaba (Congo). — *Bulletin de la Société belge de Géologie*, **T.105** (1-2) : 5-14.
- CHARLET, J.-M., LORIS, N.B.T. & QUINIF, Y. 1997. Etude radiométrique des roches encaissantes du gisement de Lwiswishi (Shaba, Zaïre), relation avec les minéralisations uranifères. — In : Actes du Colloque international Cornet. Acad. R. Sci. d'Outre-Mer, pp. 269-283.
- DYCK, W. 1971. Radon methods of prospecting in Canada. Uranium prospecting handbook. — Institution of Mining and Metallurgy, London, pp. 212-243.
- ETIOPE, G. & LOMBARDI, S. 1996. Laboratory simulation of geogas microbubble flow. — *Environm. Geology*, **27** : 226-232.
- ETIOPE, G. & WEI, Z. 1998. Radon in geogas microbubbles : a new perspective of earthquake precursor. — *J. of Earthquake Prediction Research*, **7** : 382-390.
- FRANÇOIS, A. 1987. Synthèse géologique sur l'arc cuprifère du Shaba (Rép. du Zaïre). — *Bull. Soc. Belge Géol.*, pp. 15-56.
- Gamma-Ray Surveys in Uranium Exploration 1979. Technical Reports Series, n° 186, IAEA.
- MALMQUIST, L. & KRISTIANSSON, K. 1984. Experimental evidence for an ascending microflow of geogas in the ground. — *Earth Planet, scilicet*, **70** : 407-416.

- QUINIF, Y, DOREMUS, P., BOUKO, P. & CHARLET, J.-M. 1984. Une méthode d'analyse du radon 222 dans les eaux naturelles. Application à la prospection de l'uranium (région de Oizy, Belgique). — *C.R. Acad. Sci, Paris*, **299** (17) : 1187-1190.
- RAMOLA, R. C, SANDHU, A. S., SINGH, M., SINGH, S. & VIRK, H. S. 1989. Geochemical exploration of uranium using radon measurement techniques. — *Nucl. Geophys.*, **3** (1) : 57-69.
- SAMAMA, J. C. 1984. Uranium in ferralitic terranes. — *In* : *Superficial Uranium Deposits*, IAEA, Vienna, pp. 53-59.
- TANNER, A. B. 1980. Radon migration in the ground. — *In* : GESELL & LOWDER (Eds.), *The natural radiation environment*, 3rd Symposium proceedings, vol. 1, US Dept of Energy, Oakridge, pp. 5-56.
- TELFORD, W. M. 1983. Radon mapping in the search for uranium. — *In* : FITCH (Ed.), *Developments in geophysical exploration. Methods-4^e*, Applied Science publishers.
- VIRK, H. S., SINGH, M. & RAMOLA, R. C. 1997. Radon monitoring for uranium exploration, earthquake prediction and environmental health hazard in Himachal Pradesh, India : an appraisal. — *In* : VIRK, H. S. (Ed.), *Rare gas geochemistry* (Gurunank Dev. University, Amritsar), pp. 88-99.

LOFREDENEN — ELOGES

Jacques LEPERSONNE

(Mulhouse, 26 octobre 1909 - Etterbeek, 10 août 1997)*



A l'exception de quelques découvertes minéralogiques de jeunesse, l'œuvre scientifique de Jacques Lepersonne est entièrement consacrée à la géologie de l'Afrique centrale. Ses publications, au nombre de quelque cent cinquante, ne constituent que la partie apparente de l'œuvre qu'il a accomplie.

Au Musée de Tervuren, en une carrière de quarante ans, de 1935 à 1974, Jacques Lepersonne a su métamorphoser une Section de géologie figurant sur le simple organigramme d'un Musée colonial en un vaste Département de géologie et de minéralogie au sein d'un musée devenu le Musée royal de l'Afrique centrale. Transcendant ses fonctions, ce département stimule et entretient une recherche scientifique de rayonnement international.

La Seconde Guerre va surprendre Jacques Lepersonne alors qu'il effectuait une première mission au Congo pour le compte du Musée de Tervuren. L'Afrique ne le rendra que cinq ans plus tard. Ce séjour forcé va se révéler plein de difficultés au départ mais ensuite particulièrement bénéfique. Sa double formation d'ingénieur des Mines et d'ingénieur géologue qu'il a acquise avec tous

* Eloge prononcé par M. J. Alexandre à la séance de la Classe des Sciences naturelles et médicales tenue le 28 mars 2000.

les honneurs — haut grade, poste d'élève-assistant, puis d'assistant dès avant son dernier diplôme, médaille d'or du concours universitaire — va le faire désigner comme chef du Service géologique régional de Léopoldville. Cet organisme est, en fait, plus une ébauche qu'une réalité : sans personnel qualifié, sans laboratoire, sans collection de référence pour les principaux étages géologiques. La compétence et les talents d'organisateur de Jacques Lepersonne vont ici faire merveille et c'est un service géologique structuré et efficace qu'il remettra aux autorités, à son départ, en 1946.

Entre-temps, le Service géologique de Léopoldville avait été intégré avec les deux autres services géologiques régionaux, dans une Direction de la Production minière de Guerre. De ce fait, dès 1943, toutes les sociétés minières vont ouvrir leurs portes à Jacques Lepersonne et lui permettre d'acquérir, sur le terrain, une bonne connaissance des problèmes géologiques de l'époque. Les sociétés minières, de leur côté, semblent avoir grandement apprécié son travail d'expert. Aux mines d'or de Kilo-Moto, notre confrère Pieter Janssens a pu recueillir le souvenir flatteur que l'on gardait des améliorations qu'il avait apportées aux méthodes de prospection. Plus tard, alors qu'il avait réintégré son poste de conservateur au Musée, il se verra encore confier des missions au Kasai et au Kwango par le Syndicat de recherches minières du Bas et Moyen-Congo. C'est de cette époque que datent la plupart de ses écrits consacrés aux ressources minières du Congo.

Il semble que, dès le départ, Jacques Lepersonne ait eu une vision claire de ce qu'il allait réaliser dans la suite, collectant les échantillons représentatifs en deux exemplaires dont un pour le Musée en Belgique, constituant des dossiers d'observations, tissant par ses contacts avec les différents géologues sur place, Georges Mortelmans, André Jamotte et Lucien Cahen entre autres, un réseau de spécialistes qui allaient lui apporter leur soutien dans son grand dessein. Notre confrère Jacques Delhal écrira plus tard : «C'est paradoxalement durant les années d'éloignement forcé que Jacques Lepersonne a établi les bases de ce qui allait devenir un grand institut de recherche belge sur la géologie de l'Afrique» [1]*.

La collaboration entre Lucien Cahen et Jacques Lepersonne restera un très bel exemple de symbiose tant sur le plan scientifique que sur celui des responsabilités administratives. Faire un parallèle entre eux deux suppose que l'on soit à même de faire le départ entre ce que chacun a apporté à la communauté. Écoutons encore notre confrère Jacques Delhal qui faisait partie du sérail et dont le témoignage est ici encore le bienvenu : «C'est surtout au cours de déjeuners frugaux qu'ils partageaient quotidiennement ... que L. Cahen — devenu entre-temps Directeur du Musée — mettait à l'épreuve, exhaustivement, les arguments de ses hypothèses devant un Lepersonne investi tacitement de la mission de les

* Les chiffres entre crochets [] renvoient aux notes et références, p. 344.

battre en brèche» [2]. Nous retiendrons donc que les vues géniales, mais quelquefois un peu audacieuses, sont dues à la réflexion du premier tandis que la connaissance encyclopédique dûment contrôlée appartient plus au second.

Ensemble, ils vont ordonnancer, à la lumière de leur propre expérience, l'afflux des observations relatives à la géologie de l'Afrique centrale. Ils vont donc réinterpréter certaines coupes, mettre au point une stratigraphie générale du Congo en établissant des corrélations entre régions voisines et quelquefois plus lointaines, dessiner une première carte géologique au 1:1 000 000^e (1947), tout en dressant la liste des problèmes qui restent à résoudre. Cette collaboration sur des points primordiaux de la géologie du Congo durera jusqu'après la publication, en 1956, de la «Géologie du Congo belge» par Lucien Cahen. Après 1960, ils ne publieront en commun que très épisodiquement des mises au point sur des questions générales, formations précambriennes ou orogénèse katangienne, ou encore sur certains points particuliers tels que les tillites (ou mieux, diamictites) du Bas-Congo au regard de celles du Katanga.

En fait, leurs voies vont se séparer. Lucien Cahen, outre ses lourdes charges administratives, va se consacrer à l'important problème de la géochronologie des socles anciens, tandis que Jacques Lepersonne continuera à assurer le tissu conjonctif nécessaire entre les différentes observations qui se publient ou qui lui parviennent sous forme de dossiers manuscrits, voire d'informations orales, tout en s'employant à combler certains vides trop importants.

L'œuvre scientifique de Jacques Lepersonne est tellement vaste qu'elle peut paraître — mais paraître seulement — un tant soit peu dispersée. Elle procède cependant d'un plan minutieusement préétabli où chaque case doit recevoir ses informations, où chaque problème doit recevoir sa solution, avec comme toile de fond, la cartographie géologique de l'Afrique centrale. Pour cela, il a ausculté tous les terrains, seul, avec des collaborateurs spontanés ou qu'il a sollicités, ou encore en initiant ou en facilitant les études d'experts spécialisés en paléontologie, en minéralogie, ... Des terrains de tous les âges vont être l'objet de son attention, du précambrien de structure complexe aux terrasses quaternaires avec leurs outils préhistoriques, en passant entre autres par la série de la Lukuga (permien ?), les séries du Lualaba et du Kwango (secondaire ?), les séries des Grès polymorphes et des Sables ocre (tertiaire ?), ces dernières faisant plus particulièrement partie de son souci. Chemin faisant, il ne dédaigne pas de se pencher sur les vastes surfaces d'aplanissement ou de faire appel à des méthodes proches de la géomorphologie telle la photogéologie où les formes de terrain lui livrent les limites cartographiques d'une couche particulière.

Des levers géologiques précis seront par ailleurs entrepris, dans le Bas-Congo, au Kasai, au Rwanda et au Burundi, soit par lui-même, soit par une série de collaborateurs. Ces levers sont le prélude à cette merveilleuse carte géologique du Zaïre au 1:2 000 000^e qu'il éditera en 1974, année de sa retraite. Cette admirable œuvre de synthèse qui sert aujourd'hui encore de référence, sera l'apothéose d'une vie de recherche menée avec clairvoyance et détermination.

Il est impossible de séparer les travaux scientifiques de J. Lepersonne de la mise sur pied, puis de l'essor du Département de géologie qu'il avait pensé, puis forgé au sein du Musée de Tervuren. Son sens de l'ordre et du détail avait su en maîtriser l'accroissement des collections, l'archivage de la documentation, la diffusion des écrits. Son talent d'organisateur et son affabilité naturelle avaient assuré le développement des relations extérieures tant en Belgique qu'à l'étranger. Un chercheur intéressé par la géologie de l'Afrique centrale ne faisait pas en vain appel à l'aide de Jacques Lepersonne. Avec une grande amabilité, il faisait pour lui, le point précis sur la question abordée, voire même — le comble pour un conservateur de musée — il partageait l'échantillon rare qu'il sortait des grands tiroirs de son immense conservatoire. Certains chercheurs ont eu le plaisir et la chance de pouvoir lui exprimer leur reconnaissance, en donnant son nom qui à un fossile, le *Kipalelops lepersonnei* (Taverne, 1976), qui à un minéral, la lepersonnite, à laquelle notre confrère Michel Deliens n'est pas tout à fait étranger.

Né à Mulhouse en octobre 1909, membre de notre Académie dès 1948, Jacques Lepersonne nous a quittés en août 1997. Ses travaux nous ont fait grand honneur et serviront, longtemps encore, les futures recherches sur la géologie de l'Afrique centrale.

Jean ALEXANDRE

NOTES ET REFERENCES

- [1] DELHAL, J. & DELMER, A. 2000. Notice sur Jacques Lepersonne. — Académie royale de Belgique, *Annuaire 1999*, pp. 65-79.
[2] *Id.*

BIBLIOGRAPHIE NON EXHAUSTIVE

- 1937 1. LEPERSONNE, J. Les terrasses du fleuve Congo au Stanley-Pool et leurs relations avec celles d'autres régions de la cuvette congolaise. — *Inst. roy. Col. belge, Sect. Sci. Nat., Mém. in-8°*, 6, 67 pp.
1945 2. LEPERSONNE, J. Stratigraphie du système du Kalahari et du système du Karroo au Congo occidental. — *Bull. Serv. géol. du Congo belge et du Ruanda-Urundi*, 1 : 27-49.
1946 3. CAHEN, L. & LEPERSONNE, J. Essai de corrélations entre les terrains anciens du Sud du bassin du Congo. — *Bull. Serv. géol. du Congo belge et du Ruanda-Urundi*, 2 (1) : 85-99.
4. CAHEN, L., JAMOTTE, A., LEPERSONNE, J. & MORTELMANS, G. Aperçu sur la question des algues des séries calcaires anciennes du Congo belge et essai de corrélation. — *Bull. Soc. belge de Géol. Pal. Hydr.*, 55 : 164-192.

5. CAHEN, L., JAMOTTE, A., LEPERSONNE, J. & MORTELMANS, G. Etat actuel des connaissances relatives à la stratigraphie des systèmes du Kalahari et du Karroo au Congo belge. — *Bull. Serv. géol. du Congo belge et du Ruanda Urundi*, **2** : 237-289.
6. LEPERSONNE, J. Le Service géologique régional de Léopoldville. Son activité pendant la période 1940-1946. — *Ann. Soc. géol. Belgique*, **70** : 80-108.
7. LEPERSONNE, J. Présentation d'une carte géologique au 1:1 000 000^e du Congo occidental et du *Bulletin* n°1 du Service géologique du Congo belge et du Ruanda-Urundi. — *Bull. Soc. belge Géol. Pal. Hydr.*, **55** : 237-238.
- 1947 8. CAHEN, L. & LEPERSONNE, J. Les grès de Lusambo, une interprétation des coupes de J. Cornet. — *Bull. Inst. roy. col. belge*, **18** : 605-614.
9. CAHEN, L. & LEPERSONNE, J. Présentation d'une carte géologique d'ensemble du Congo belge à l'échelle du 1 000 000^e. — *Bull. Soc. belge de Géol. Pal. Hydr.*, **56** : 346-348.
- 1948 10. CAHEN, L. & LEPERSONNE, J. Notes sur la géomorphologie du Congo occidental. — *Ann. Mus. Congo belge, sér. in-8°, Sci. Géol.*, **1**, 95 pp.
11. LEPERSONNE, J. Note sur la stratigraphie du Schisto-gréseux (Groupe du Congo occidental). — *Bull. Soc. belge de Géol. Pal. Hydr.*, **57** : 237-238.
- 1949 12. LEPERSONNE, J. A propos des pénéplaines du Sud-Ouest du bassin du Congo et de leurs formations superficielles. — *Bull. Inst. roy. col. belge*, **20** : 664-676.
13. LEPERSONNE, J. Les grands traits de la géologie du Kasai occidental et l'origine secondaire du diamant. — *Bull. Soc. belge de Géol. Pal. Hydr.*, **58** : 284-291.
14. LEPERSONNE, J. Le fossé tectonique lac Albert - Semliki - lac Edouard. Résumé des observations géologiques effectuées en 1938-1939-1940. — *Ann. Soc. géol. Belgique*, **72**, 91 pp.
- 1951 15. CAHEN, L. & LEPERSONNE, J. Carte géologique du Congo belge et du Ruanda-Urundi avec notice explicative. — *Inst. roy. col. belge, Atlas général du Congo*, 27 pp.
16. CAHEN, L. & LEPERSONNE, J. Présentation de la carte géologique au 5 000 000^e du Congo belge et du Ruanda-Urundi. — *Ann. Soc. géol. Belgique*, **74** (B) : 78-80.
17. LEPERSONNE, J. Les subdivisions du système du Karroo au Kwango (Congo belge). — *Ann. Soc. géol. Belgique*, **74** : 123-139.
18. LEPERSONNE, J. Observations géologiques dans le nord de l'Angola et grands traits de la géologie du Congo occidental. — *Ann. Soc. géol. Belgique*, **74** : 207-235.
- 1952 19. DE SAINT-SEINE, P., CAHEN, L. & LEPERSONNE, J. L'âge de l'étage de Stanleyville (série du Lualaba) et ses conséquences pour la stratigraphie du Congo. — *Bull. Soc. belge de Géol. Pal. Hydr.*, **61** : 198-207.
20. CAHEN, L. & LEPERSONNE, J. Equivalence entre le Système du Kalahari du Congo belge et les Kalahari beds d'Afrique australe. — *Mém. Soc. belge de Géol. Pal. Hydr., sér. in-8°, 4* : 1-64.
- 1953 21. CAHEN, L. & LEPERSONNE, J. Notes sur les anciennes surfaces d'érosion du N-E de la Lunda (Angola) et leurs recouvrements. — *Bull. Inst. roy. col. belge*, **23** : 1145-1156.

22. HOPWOOD, J.T. & LEPERSONNE, J. Présence de formations d'âge miocène inférieur dans le fossé tectonique du lac Albert et de la basse Semliki (Congo belge). — *Ann. Soc. géol. Belgique*, **77** : 83-113.
- 1954 23. CAHEN, L. & LEPERSONNE, J. Etat actuel des connaissances relatives aux séries mésozoïques de l'intérieur du Congo. — *Bull. Soc. belge de Géol. Pal. Hydr.*, **63** : 20-35.
24. FIEREMANS, C. & LEPERSONNE, J. Nouvelles observations géologiques sur le Mésozoïque du Kasai occidental. — *Bull. Soc. belge de Géol. Pal. Hydr.*, **63** : 77-89.
- 1956 25. LEPERSONNE, J. Les aplanissements d'érosion du nord-est du Congo belge et des régions voisines. — *Acad. Sci. Nat. et méd. in-8°*, **4**, 108 p.
26. LEPERSONNE, J. Les surfaces d'érosion des hauts plateaux de l'intérieur de l'Afrique centrale. Analyse critique d'une étude de M.R.V. Ruhe. — *Bull. Acad. roy. Sci. col.*, **2** : 596-621.
27. EVRARD, P. & LEPERSONNE, J. Etat des connaissances concernant l'existence de gisements de pétrole au Congo belge et au Ruanda-Urundi. — Simpósium sobre yacimientos de petróleo y gas. XX° Congr. Int. Géol., Mexico 1956, pp. 69-79.
- 1958 28. LEPERSONNE, J. Présentation de cartes géologiques (7 pl. Thysville et Inkisi). — *Ann. Soc. géol. Belgique*, **82** : 138.
29. LEPERSONNE, J. Remarques sur la note de F. Corin intitulée «Note sur la faille du Pool». — *Bull. Soc. belge de Géol. Pal. Hydr.*, **67** : 175-178.
- 1959 30. CAHEN, L., FERRAND, J.J., HAARSMAN, M.J.F., LEPERSONNE, J. & VERBEECK, T. Description du sondage de Samba (Résultats scientifiques des missions du Syndicat pour l'étude géologique et minière de la Cuvette congolaise et Travaux connexes). Géologie). — *Ann. Mus. roy. Congo belge, sér. in-8°, Sci. Géol.*, **29**, 210 pp.
- 1960 31. CAHEN, L., FERRAND, J.J., HAARSMAN, M.J.F., LEPERSONNE, J. & VERBEECK, T. Description du sondage de Dekese (Résultats scientifiques des missions du Syndicat pour l'étude géologique et minière de la Cuvette congolaise et Travaux connexes Géodésie et Géophysique). — *Ann. Musée roy. Congo belge, sér. in-8°, Sci. Géol.*, **34**, 115 pp.
- 1961 32. LEPERSONNE, J. Quelques problèmes de l'histoire géologique de l'Afrique au sud du Sahara depuis la fin du Carbonifère. — *Ann. Soc. géol. Belgique*, **84** : 21-85.
- 1963 33. GERARDS, J. & LEPERSONNE, J. Géologie du N.E. du Rwanda et stratigraphie du Burundien. — *Mus. roy. Afr. centr., Tervuren (Belg.), Sect. Géol., Min. et Pal., Rapport annuel 1963*, pp. 58-62.
- 1964 34. CAHEN, L. & LEPERSONNE, J. Remarque préliminaire concernant la terminologie stratigraphique. — *Mus. roy. Afr. centr., Tervuren (Belg.), Sect. Géol., Min. et Pal., Rapport annuel 1963*, pp. 29-30.
35. DELHAL, J., LEPERSONNE, J. & RAUCQ, P. Le Complexe sédimentaire et volcanique de la Lulua (Kasai). — *Mus. roy. Afr. centr., Tervuren (Belg.), Sect. Géol., Min. et Pal., Rapport annuel 1963*, pp. 48-51.
36. GERARDS, J. & LEPERSONNE, J. Carte géologique du Rwanda au 1/100 000°. Feuille Kagitumba (S2/30, NW et NE) avec notice. — *Mus. roy. Afr. centr. et Serv. Géol. Rép. Rwandaise*.

37. LEPERSONNE, J. Commentaires sur la géologie de la région du Kasai, couverte par la feuille Luiza (S8/22) et la partie occidentale de la feuille Musodi (S8/21) au 200 000°. — *Mus. roy. Afr. centr., Tervuren (Belg.), Sect. Géol., Min. et Pal., Rapport annuel* 1963, pp. 43-44.
- 1966 38. CAHEN, L. & LEPERSONNE, J. Existence de trois orogénèses dans le Précambrien du Bas-Congo. — *C. R. Acad. Sci. Paris*, **262** : 1181-1184.
39. CAHEN, L. & LEPERSONNE, J. Note sur les formations précambriennes du Bas-Congo antérieures à l'Ouest Congolien. — *Mus. roy. Afr. centr., Tervuren (Belg.), Sect. Géol., Min. et Pal., Rapport annuel* 1965, pp. 38-44.
40. DELHAL, J., LEPERSONNE, J. & RAUCQ, P. Carte géologique du Congo à l'échelle du 1/200 000°. Feuille Dibaya (S7/22 = SB34.17) avec notice explicative. — *Serv. Géol. Rép. du Congo*, 51 pp.
41. LEPERSONNE, J. Discordance dans les formations précambriennes du Bas-Congo. *Mus. roy. Afr. centr., Tervuren (Belg.), Sect. Géol., Min. et Pal., Rapport annuel*, 1965, pp. 25-28.
42. RAUCQ, P., LEPERSONNE, J., DELHAL, J. & THOREAU, J. Carte géologique du Congo à l'échelle du 1/200 000°. Feuille Dibaya (degré carré S7/22 = SB34.17). — *Serv. Géol. Rép. Dém. Congo, Kinshasa*, 51 pp.
- 1967 43. LEPERSONNE, J. 1967. Echelle stratigraphique des formations de couverture de l'intérieur du bassin du Congo. — *Mus. roy. Afr. centr., Tervuren (Belg.), Sect. Géol., Min. et Pal., Rapport annuel* 1967, pp. 37-44.
44. GERARDS, J. & LEPERSONNE, J. & PETRICEC, V. Carte géologique du Rwanda au 1/100 000°. Feuille Rwinkwavu (S2/30, SE) avec notice explicative. *Mus. roy. Afr. centr. et Serv. Géol. Rép. rwandaise*.
45. DE PLOEY, J., LEPERSONNE, J. & STOOPS, G. Sédimentologie et origine des sables de la Série des sables ocre et de la Série des grès polymorphes (Système du Kalahari) au Congo occidental. — *Ann. Mus. roy. Afr. centr., sér. in-8°, Sci. Géol.*, **61**, 72 pp.
- 1968 46. LEPERSONNE, J. Les failles du fossé tectonique Lac Edouard - Semliki - Lac Albert. — *Mus. roy. Afr. centr., Tervuren (Belg.), Sect. Géol., Min. et Pal., Rapport annuel* 1967, pp. 27-31.
- 1969 47. LEPERSONNE, J. Etude photogéologique de la région de Matadi. — *Mus. roy. Afr. centr., Tervuren (Belg.), Sect. Géol., Min. et Pal., Rapport annuel* 1968, pp. 26-29.
48. LEPERSONNE, J. Étude photogéologique de la région du Mont Homa, de la Luma et de la Loyo (Congo nord-oriental). — *Mus. roy. Afr. centr., Tervuren (Belg.), Sect. Géol., Min. et Pal., Rapport annuel* 1968, pp. 19-26.
- 1970 49. LEPERSONNE, J. Revision of the fauna and the stratigraphy of the fossiliferous localities of the Lake Albert - Lake Edward rift (Congo). — *Ann. Mus. roy. Afr. centr., Tervuren (Belg.), sér. in-8°, Sci. Géol.*, **67** : 169-207.
- 1971 50. LEPERSONNE, J. La stratigraphie de la série de la Lukuga dans la vallée de la Lukuga. — *Mus. roy. Afr. centr., Tervuren (Belg.), Sect. Géol., Min. et Pal., Rapport annuel* 1970, pp. 90-93.
51. LEPERSONNE, J. Les formations anté-kibaliennes du Congo septentrional. — *Mus. roy. Afr. centr., Tervuren (Belg.), Sect. Géol., Min. et Pal., Rapport annuel* 1970, pp. 76-80.
52. LEPERSONNE, J. Les formations katanguiennes (Lindien) de la région de

- Niangara-Gwane-Zenuo (Congo septentrional). — *Mus. roy. Afr. centr., Tervuren (Belg.), Sect. Géol., Min. et Pal., Rapport annuel 1970*, pp. 85-90.
53. LEPERSONNE, J. Deux remarques concernant les failles du fossé tectonique centrafricain. — *Mus. roy. Afr. centr., Tervuren (Belg.), Sect. Géol., Min. et Pal., Rapport annuel 1970*, pp. 83-84.
54. CAHEN, L. & LEPERSONNE, J. La stratigraphie de la Série des roches rouges et ses relations avec la Série de la Haute Lueki. — *Mus. roy. Afr. centr., Tervuren (Belg.), Sect. Géol., Min. et Pal., Rapport annuel 1970*, pp. 94-121.
55. CAHEN, L. & LEPERSONNE, J. Données et interprétations nouvelles concernant l'orogénèse katanguienne dans le nord-est de la République Démocratique du Congo (6^e Coll. Géol. Afr., Leicester, avril 1971). — *Mus. roy. Afr. centr., Tervuren (Belg.), Sect. Géol., Min. et Pal., Rapport annuel 1970*, pp. 71-76.
- 1972 56. CAHEN, L. & LEPERSONNE, J. Existence de deux formations de schistes noirs dans la Série de la Lukuga et leur extension respective au Kasai oriental. — *Mus. roy. Afr. centr., Tervuren (Belg.), Sect. Géol., Min. et Pal., Rapport annuel 1971*, pp. 22-24.
- 1973 57. LEPERSONNE, J. Carte géologique du Zaïre à l'échelle du 1/200 000^e et notice explicative de la feuille de Ngungu (S6/14 =SB 33.9). — Dépt Min., Dir. Serv. Géol., Rép. du Zaïre, 66 pp.
58. LEPERSONNE, J. La structure de l'anticlinal de Matadi et du synclinal de Palabala révélée par l'étude des photographies aériennes. — *Mus. roy. Afr. centr., Tervuren (Belg.), Sect. Géol., Min. et Pal., Rapport annuel 1972*, pp. 29-33.
- 1974 59. LEPERSONNE, J. Carte géologique du Zaïre au 1/2 000 000^e et notice explicative. — Dépt Mines, Dir. Géol., République du Zaïre, 66 pp.
- 1976 60. CAHEN, L. & LEPERSONNE, J. Les mixtites du Bas-Zaïre: mise au point intérimaire. — *Mus. roy. Afr. centr., Tervuren (Belg.), Sect. Géol., Min. et Pal., Rapport annuel 1975*, pp. 33-58.
- 1977 61. LEPERSONNE, J. Carte géologique du Burundi. Feuille Makamba - SS/29 NE (*pars*) et SS/29 NO (*pars*) et notice. — Min. Géol. Mines, Industrie, République du Burundi.
62. LEPERSONNE, J. Les formations sédimentaires en contact avec le massif quartzitique de la Lufu à son extrémité sud-est. — *Mus. roy. Afr. centr., Tervuren (Belg.), Sect. Géol., Min. et Pal., Rapport annuel 1976*, pp. 121-128.
- 1978 63. CAHEN, L. & LEPERSONNE, J. Synthèse des connaissances relatives au Groupe (anciennement Série) de la Lukuga (Permien du Zaïre). — *Ann. Mus. roy. Afr. centr., Tervuren (Belg.), sér. in-8°, Sci. Géol.*, **82** : 115-152.
- 1979 64. LEPERSONNE, J. Géologie et stratigraphie du Mayumbien et du Sansikwa dans la région du Bas-Zaïre comprise entre l'ancienne route Kinshasa-Matadi et la frontière de l'Angola. — *Mus. roy. Afr. centr., Tervuren (Belg.), Sect. Géol., Min. et Pal., Rapport annuel 1978*, pp. 107-126.
- 1980 65. LEPERSONNE, J. Carte géologique provisoire de l'Ouest du Bas-Zaïre. — *Mus. roy. Afr. centr., Tervuren (Belg.), Sect. Géol., Min. et Pal., Rapport annuel 1979*, p. 219 + cartes.

- 1981 66. CAHEN, L. & LEPERSONNE, J. Late Palaeozoic tillites of the Congo Basin in Zaire. — *In* : HAMBREY, M. J. & HARLAND, W. B. (Eds.), *Earth's Pre-Pleistocene Glacial Record*, Cambridge Univ. Press, pp. 43-47.
67. CAHEN, L. & LEPERSONNE, J. Proterozoic diamictites of Lower Zaire. — *In* : HAMBREY, M. J. & HARLAND, W. B. (Eds.), *Earth's Pre-Pleistocene Glacial Record*, Cambridge Univ. Press, pp. 153-157.
68. CAHEN, L. & LEPERSONNE, J. 1981. Upper Proterozoic diamictites of Shaba (formerly Katanga) and neighbouring regions of Zambia. — *In* : HAMBREY, M. J. & HARLAND, W. B. (Eds.), *Earth's Pre-Pleistocene Glacial Record*, Cambridge Univ. Press, pp. 162-166.

Jean-Baptiste JADIN

(Namur, 29 août 1906 - Anvers, 19 octobre 1998)*



La carrière africaine

C'est avec une grande émotion que j'évoque ici la mémoire et la carrière du Professeur Jean-Baptiste Jadin, à qui j'étais lié par une amitié qui date de plus de cinquante ans.

Jean-Baptiste Jadin s'est éteint paisiblement dans sa maison d'Anvers à l'âge de 92 ans. La dernière année de sa vie fut endeuillée par la mort de sa chère épouse Lizzie.

Sa carrière fut double : la première se déroula au Congo et au Rwanda comme directeur de laboratoire médical, la seconde à l'Institut de Médecine Tropicale Prince Léopold à Anvers, comme Professeur de protozoologie. Cette seconde carrière sera évoquée par notre collègue le Professeur Marc Wéry, qui fut d'abord assistant

du Professeur Jadin et puis lui succéda à la chaire de protozoologie.

Jean-Baptiste Jadin fut reçu Docteur en Médecine à l'Université de Louvain en 1931. Au cours de la même année, il prit part au concours des bourses de voyages et obtint le titre de Lauréat. Cette bourse lui donna l'occasion d'effectuer un stage, d'une durée d'environ sept mois, à l'Institut Pasteur de Tunis, dans un laboratoire spécialisé dans l'étude du typhus exanthématique et sous l'égide du Professeur Charles Nicolle. Ce stage à Tunis fut complété par un séjour à Lvov, en Pologne, dans le laboratoire du Professeur Weigl, également un éminent

* Eloge prononcé par MM. A. Fain et M. Wéry à la séance de la Classe des Sciences naturelles et médicales tenue le 27 avril 1999.

spécialiste du typhus exanthématique. Les nouvelles connaissances acquises par le Dr Jadin à l'occasion de ces stages, lui seront dans la suite d'un très grand secours au moment où il se verra lui-même confronté à ces redoutables maladies.

Jean-Baptiste Jadin se spécialisa très tôt en bactériologie. Avant même d'avoir achevé ses études de médecine, il entra comme assistant au laboratoire de bactériologie dirigé par le Professeur Bruynoghe. Il y restera jusqu'en 1937 et, au cours de cette longue période, il publiera 35 travaux sur divers sujets bactériologiques et hématologiques.

En 1934, il fit sa première expérience africaine. Il participa à une mission anthropologique chez les Pygmées de l'Ituri au Congo. Cette mission était subventionnée par l'Institut royal colonial belge et organisée par deux ethnologues autrichiens, le Père Schebesta et le Père Gusinde. Le Dr Jadin profita de cette mission pour faire une étude approfondie des groupes sanguins de ces pygmées ainsi que de plusieurs autres populations de race bantoue vivant dans des régions de savane. Il observa que les Pygmées se distinguaient nettement des Bantous par une fréquence plus grande d'individus du groupe AB et plus petite d'individus du groupe O. Comme ces caractères sont stables chez des populations non métissées, ils peuvent servir à mesurer le degré de métissage existant entre ces pygmées de race pure et certains groupes bantous vivant dans les savanes proches de la grande forêt. Ce travail sur les groupes sanguins des Pygmées fut couronné au Concours annuel de l'Institut royal colonial belge de 1935.

Je voudrais maintenant retracer ici les grandes étapes de la carrière africaine du Dr Jadin. Elle commence au laboratoire de Coquilhatville (actuellement Mbandaka) en 1937 et s'achèvera à Bukavu en 1956.

Coquilhatville (1937-1942)

Jean-Baptiste Jadin, profondément marqué par son séjour chez les Pygmées de l'Ituri, se sentit invinciblement attiré par l'Afrique. En 1936, il suivit les cours de médecine tropicale à Anvers et, quelques mois plus tard (1937), s'embarqua avec son épouse pour le Congo. Là, il fut affecté au laboratoire de Coquilhatville, chef-lieu de la province de l'Equateur. Il cumulait la fonction de directeur du laboratoire avec celle de chef du Service de l'Hygiène.

A peine installé, il dut faire face à une épidémie de fièvre jaune qui s'était déclarée dans la région de Zongo, au nord-ouest de la province de l'Equateur : dix-sept cas de fièvre jaune furent diagnostiqués, dont dix eurent une issue fatale. Le Dr Jadin séjourna pendant plusieurs mois dans la région infectée. Il y procédera à la désinsectisation systématique des gîtes à moustiques, vecteurs de la maladie, et à la vaccination des villages infectés. Ces mesures mirent fin à la maladie. Au cours de l'épidémie, le Dr Jadin réussit à isoler le virus sur des souris. Les sérums prélevés chez les malades pendant et après l'épidémie furent analysés à l'Institut Pasteur de Tunis, ce qui permit de confirmer qu'il s'agissait bien de la fièvre jaune.

L'amibiase intestinale était très répandue à Coquilhatville et affectait aussi bien les indigènes que les Européens. Sa fréquence s'expliquait principalement par la configuration de cette ville qui est bâtie le long du fleuve à quelques mètres à peine au-dessus du niveau de celui-ci. Les inondations étaient fréquentes et entretenaient une humidité favorable à la propagation de l'amibiase. Grâce à l'action énergique du Dr Jadin, les marais furent drainés et asséchés et le sol nivelé. En outre, les installations hygiéniques furent aménagées et une distribution d'eau potable installée. Toutes ces mesures, auxquelles s'ajoutera encore un traitement de masse contre les porteurs de kystes d'amibes, eurent pour résultat de diminuer sensiblement l'incidence de l'amibiase à Coquilhatville.

Une autre maladie, connue sous le nom de fièvre rouge congolaise, sévissait à Coquilhatville. Elle était plus fréquente chez les nouveaux venus et se caractérisait par de la fièvre et l'apparition d'une éruption de petites taches rouges sur le corps. Son étiologie était encore inconnue. Le Dr Jadin montra qu'il s'agissait du typhus murin causé par *Rickettsia mooseri*. Le réservoir naturel de cette rickettsiose est constitué par les rats dont la puce est le vecteur.

Signalons encore que le paludisme était, paradoxalement, peu répandu à Coquilhatville. Selon le Dr Jadin, cette faible endémicité était liée à la présence dans l'intestin du vecteur, *Anopheles moucheti*, de bactéries *Pseudomonas aeruginosa* entravant le développement du *Plasmodium* chez l'anophèle.

Astrida (1942-1952)

La deuxième étape de la carrière du Dr Jadin est le laboratoire d'Astrida, qui prit plus tard le nom de Butare. Astrida est située au cœur d'un pays à population très dense qui était régulièrement la proie de famines souvent suivies d'épidémies. Parmi ces épidémies la dysenterie bacillaire était la plus meurtrière mais d'autres, également redoutables, réapparaissaient périodiquement, notamment la méningite cérébrospinale, la fièvre typhoïde et le typhus exanthématique. Le paludisme était également très répandu mais restait cantonné dans les régions de basse ou de moyenne altitude à moins de 1 800 mètres.

Au cours de l'année 1942, la famine fit son apparition au Rwanda et dans les semaines ou les mois qui suivirent, la dysenterie bacillaire s'installa. Parmi les germes isolés chez les malades, le plus pathogène était le bacille de *Shiga*, mais d'autres sérotypes des familles *flexneri* et *boydii*, moins pathogènes, étaient également présents. On estime à 60 000 le nombre de personnes qui succombèrent pendant cette famine, la plupart de dysenterie. Des vaccinations massives au moyen de vaccins formolés préparés par le Dr Jadin furent utilisés pour lutter contre la maladie. Ces vaccins furent préparés à partir de soixante souches de bacilles dysentériques fraîchement isolées chez des malades. Plus de quatre millions de personnes furent ainsi vaccinées sur l'ensemble du territoire du Ruanda-Urundi. Au cours de cette épidémie, le Dr Jadin prépara et administra près de 2 000 litres de bactériophages polyvalents qui donnèrent de bons résultats. A

cette époque, on commençait à utiliser les sulfamides, qui s'étaient révélés très actifs contre les bacilles dysentériques mais malheureusement, ce produit n'était pas disponible au Ruanda-Urundi au cours de ces épidémies.

Les épidémies de méningite cérébrospinale n'étaient pas rares au Ruanda-Urundi. L'unique moyen de lutter contre cette affection à cette époque était la vaccination collective. Le vaccin était préparé sur une grande échelle par le Dr Jadin à partir de souches de méningocoques fraîchement isolées chez des malades. Cette méthode avait déjà été utilisée avec succès par son maître, le Professeur Bruynoghe, au cours d'une épidémie de méningite cérébrospinale qui avait sévi au Katanga en 1925. La vaccination pratiquée sur une large échelle par le Dr Jadin fut suivie rapidement d'une diminution impressionnante du nombre de nouveaux cas.

Le typhus exanthématique fut décelé pour la première fois au Burundi par Pergher et Casier en 1934. Il fut ensuite retrouvé et étudié par Neujean à Astrida. Le Dr Jadin poursuivra ces recherches et apportera de nombreuses données nouvelles sur l'épidémiologie, le diagnostic et la prévention de cette maladie. Il organisera notamment des campagnes contre les poux des vêtements qui sont les vecteurs de la maladie. Le typhus exanthématique est causé par une rickettsie, *Rickettsia prowazeki*. La transmission s'effectue d'homme à homme par l'échange des poux et à l'occasion du grattage.

Le Dr Jadin et son ami le Dr Giroud de l'Institut Pasteur de Paris, grand spécialiste du typhus exanthématique, feront ensemble une série de recherches qui les conduiront à observer un certain nombre de faits nouveaux et à découvrir une nouvelle méthode d'exploration. C'est ainsi qu'ils mettent au point une nouvelle technique d'agglutination des rickettsies, beaucoup plus sensible que l'ancienne méthode de Weil-Felix utilisée jusqu'alors. Ils découvrent la présence au Ruanda-Urundi de la fièvre Q et montrent pour la première fois que le pou est capable de transmettre cette maladie. Enfin, ils parviennent à préparer un vaccin contre le typhus exanthématique en partant d'une série de souches de typhus isolées chez des malades. Ces recherches sur le typhus exanthématique seront poursuivies plus tard par le Dr Jadin à Bukavu et à l'Institut de Médecine Tropicale d'Anvers.

Le paludisme qui règne au Ruanda-Urundi est un paludisme de montagne, c'est-à-dire qu'il se raréfie à mesure que l'altitude augmente et disparaît complètement au-dessus de 1 800 mètres. Cette disparition du paludisme est en relation avec celle de son principal vecteur, *Anopheles funestus*, lequel ne peut plus se reproduire à cause de la température trop basse de ses gîtes au-dessus de 1 800 mètres.

En 1947, Jadin et ses collaborateurs entreprennent une campagne de lutte contre le paludisme dans la région d'Astrida située entre 1 700 et 1 800 mètres d'altitude. Cette campagne sera étendue, dans la suite, à d'autres régions du Rwanda. Plus de 100 000 cases seront traitées par le DDT, et à deux reprises. En même temps, les marais dans lesquels les anophèles se reproduisent, sont traités

par le DDT. Les résultats furent spectaculaires. L'indice paludique, qui était de 51 % avant la campagne, tomba à 24 % un an après la fin de la dédétisation et à 6 % trois ans après la campagne. En outre, les poux, les tiques et les punaises qui étaient généralisés avant l'opération, avaient complètement disparu à la fin de la campagne.

Je voudrais maintenant, brièvement, rappeler dans quelles circonstances je fus amené à travailler au laboratoire d'Astrida, comme adjoint du Dr Jadin.

Ma première rencontre avec le Dr Jadin eut lieu en 1947, lorsque je le rejoignis à Butare après mon congé en Europe. L'accueil que nous réservèrent le Dr et Mme Jadin, à ma femme et à moi-même, fut très chaleureux et très rapidement une atmosphère amicale s'installa entre nos deux familles et persistera tout au long des trois années que j'ai passées à Butare.

La dernière étape de la carrière africaine du Dr Jadin fut le laboratoire de Bukavu.

Bukavu (1952-1956)

A Bukavu, le Dr Jadin poursuivra ses recherches sur les rickettsioses et il mettra en évidence pour la première fois dans ce pays la présence de *Chlamydia* ou néorickettsies, agents de diverses maladies. En 1956, le Dr Jadin est nommé à la chaire de protozoologie de l'Institut de Médecine tropicale d'Anvers et quittera définitivement l'Afrique.

Auteur de 292 publications, dont une bonne centaine se rapportent à des travaux réalisés en Afrique, il est en outre titulaire d'importants prix scientifiques. C'est ainsi qu'à deux reprises (en 1935 et 1938), il fut lauréat du Concours annuel de l'Institut royal colonial belge. En 1946, il obtint le Prix Broden de la Société belge de Médecine tropicale; en 1962, le Prix Wetrems de l'Académie royale de Belgique, Classe des Sciences. A ces prix nationaux s'ajoutent deux prix étrangers prestigieux : tout d'abord le Prix E. Marchoux, décerné en 1965 par l'Académie nationale de Médecine (Paris), ensuite le Prix E. Brumpt de la Société de Pathologie exotique.

Le Dr Jadin était membre de nombreuses sociétés scientifiques belges ou étrangères. La liste des sociétés belges comprend notamment l'Académie royale des Sciences d'Outre-Mer, la Société belge de Médecine tropicale, la Société belge de Microbiologie, la Société belge de Biologie clinique, la Société belge de Parasitologie, la Société belge de Protozoologie et la Société belge de Biologie cellulaire. A l'étranger, il était membre ou correspondant de la *Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene* de Londres, de la *Society of Protozoologists* aux Etats-Unis, de la Société de Pathologie exotique de France, de l'Académie nationale de Médecine à Paris, de l'Académie royale de Médecine de Madrid et de l'Académie d'Athènes, Sciences positives.

J'ajouterai que le Dr Jadin avait été nommé expert de l'Organisation Mondiale de la Santé pour les rickettsioses africaines et qu'il avait, au cours de sa carrière, participé à 75 réunions ou congrès internationaux.

Les activités scientifiques du Dr Jadin lui avaient valu de nombreuses distinctions honorifiques, parmi lesquelles celles de Grand Officier de l'Ordre de Léopold et de Grand Officier de l'Ordre de la Couronne.

Le travail accompli en Afrique par le Dr Jadin dans son combat incessant contre les maladies endémiques ou épidémiques qui décimaient les populations est considérable et soulève l'admiration.

Il laisse derrière lui une œuvre scientifique très importante et très variée. Ses travaux ont porté principalement sur les rickettsies, auxquelles il a consacré 89 publications. Ses recherches l'ont finalement conduit à suspecter les rickettsies et les néorickettsies, organismes voisins des *Rickettsia*, d'être à l'origine de certaines maladies métaboliques ou dégénératives. C'est une hypothèse séduisante mais qui devrait encore faire l'objet de nouvelles recherches pour être démontrée.

Le Dr Jadin a été pendant toute sa vie dévoré par la passion de la recherche. C'était un homme chaleureux qui avait le sens de l'humour et de l'hospitalité. Il aimait de se retrouver avec des amis autour d'une table bien garnie et arrosée de bons vins.

A cet hommage au Dr Jadin, je voudrais associer Lizzie, sa fidèle et regrettée épouse qui l'a soutenu et encouragé tout au long de sa carrière, ainsi que ses enfants Jean-Marie, Louis, François, Jacqueline, Cécile et Dominique, à qui je présente mes sentiments de profonde sympathie. Le souvenir du Dr Jadin restera toujours présent dans la mémoire de ses nombreux amis.

Alex FAIN

La carrière anversoise

Lorsqu'en 1956 Jean-Baptiste Jadin succède à Jérôme Rodhain à la chaire de protozoologie à l'Institut de Médecine tropicale, il va reprendre les thèmes de recherche favoris de son prédécesseur, plasmodiums et trypanosomes, mais change radicalement l'approche expérimentale.

Devenu son assistant en 1961, je l'ai vu ranger soigneusement les boîtes de lames anatomopathologiques de Rodhain qui avait été surtout un morphologiste, pour ne jamais les ressortir des armoires. Jean-Baptiste Jadin préférait observer les parasites vivants. Il cultive les parasites, inocule des animaux, observe les symptômes produits au cours de l'infection et le comportement du parasite. La science expérimentale à la Pasteur revivait dans son laboratoire.

Il se lance dans l'étude de la gamétogenèse de *P. berghei*, le plasmodium de rongeurs découvert par Vincke en 1947 et toujours pas transmis, à l'époque, par moustiques au laboratoire. Ce sera l'occasion pour lui d'apporter des arguments en faveur du rôle de la flore intestinale des anophèles vecteurs sur la sporogonie des plasmodiums. La bactériologie était, en effet, sous-jacente dans toutes ses réflexions, marqué qu'il avait été par les enseignements de son maître Richard

Bruynogue. Ne parlait-il pas de «sanctuaire de la bactériologie» en évoquant le laboratoire de la rue Vital Decoster à Louvain? (Il parlait souvent de ses années louvanistes, des contacts qu'il avait eus avec le chanoine Lemaître et d'autres éminents chercheurs, des déjeuners au Majestic...). Ces recherches lui permettront de fréquenter et de se faire apprécier par Meir Yoeli, de l'Université de New York, qui a découvert la raison de la dégénérescence des oocystes pendant la sporogonie de *P. berghei* et qu'il invita, en 1966, à une mémorable visite des châteaux de la Loire.

Parallèlement à l'étude des protozoaires, il avait toujours au laboratoire un thème de recherche bactériologique en cours. Ce sera la recherche d'associations médicamenteuses actives contre les mixtures de germes responsables des diarrhées, *Shigella*, *Entamoeba histolytica*, et *Giardia*, souvenir sans doute de ses tentatives de régler le problème de l'amibiase à Coquilhatville; ce seront les mycobactéries de la tuberculose pour rechercher des associations d'antibiotiques les plus efficaces à l'époque des débuts de Rifamycine, à l'aide de tests de sensibilité *in vitro*; ce sera aussi la culture de *Mycobacterium leprae* sur fibroblastes humains, objet du prix Marchoux, de l'Académie de Médecine de Paris et l'occasion de nouer des liens suivis avec l'École d'ophtalmologie de Gand.

Les grandes quantités de trypanosomes obtenus en culture massive dans des fermenteurs grâce aux milieux composites mis au point en laboratoire permettent d'étudier les propriétés diverses et inattendues des extraits de *Trypanosoma cruzi*, la «cruzine», mais elles permettent aussi l'étude, avec Dominique Le Ray, des antigènes de ce groupe de parasites responsables de la maladie de Chagas, de la maladie du sommeil et des leishmanioses. Ce fut l'occasion de collaborer avec l'équipe d'André Capron à Lille et d'entrer plus avant dans l'immunologie. Monsieur Jadin, comme ses assistants l'appelaient, se passionne pour ces protozoaires avec leur mitochondrie comme une bactérie vivant dans le cytoplasme. Les protozoaires auraient-ils la possibilité de transporter les bactéries pathogènes? Thème favori des réflexions, hypothèse mille fois remise en avant, un véritable «leitmotiv».

Des trypanosomes, on en retrouvait jusque dans le sang des chauve-souris capturées dans le grenier de la grande maison du Rosier. Ils étaient eux aussi étudiés, on mettait en culture le *Trypanosoma pipistrelli*, on le comparait à *T. lewisi*, autre bête d'étude expérimentale, des animaux de laboratoire en étaient inoculés.

Les toxoplasmes font l'objet d'essais thérapeutiques et d'études sur l'immunité chez la souris en collaboration avec le professeur d'ophtalmologie de Gand, Jules François. Le test de Sabin-Feldman est mis au point par Georges Pierreux, test avec ses exigences en protozoaires vivants et de facteur «accessoire». C'est une routine au laboratoire, mais en même temps un sujet de recherche, en pleine découverte de la fréquence des contacts de l'homme avec le parasite. Le volet épidémiologique fait son entrée au laboratoire avec une autre élève, le Dr Marie-Claire Henry (aujourd'hui chercheuse parasitologue à l'ORSTOM en Côte-

d'Ivoire) par l'étude, grâce aux traitements par la cortisone, du portage des toxoplasmes chez les pigeons de la ville d'Anvers venant picorer jusque sur l'appui de fenêtre du laboratoire, au deuxième étage de Nationalestraat. La position intracellulaire de ces parasites dans les macrophages et leur appartenance au groupe des coccidies découvertes en 1969 par Hutchinson les rendent doublement intéressants. Les maladies inapparentes, chères à son maître Charles Nicolle, sont mises à l'honneur.

Le laboratoire occupait une aile du deuxième étage de l'Institut. La table centrale était encombrée de rangées de ballons, pipettes pasteur en bouquets, plateaux en zinc garnis des lames de la journée, bouteilles brunes et compte-gouttes de colorants. Un coin de cette table se transformait en table de salon pendant la demi-heure du café de l'après-midi. Tour à tour l'actualité, les potins anversoïis ou d'ailleurs y étaient rapportés et commentés, à moins que ce ne soit le résultat attendu de quelque expérience cruciale. Tous participaient au débat, y compris Mme Elisabeth Du Bois, la spécialiste des dilutions de sérums, et Mme Maria Janssens qui dessinait au microscope en suçant la pointe de son pinceau pour l'affiner, Fernande Pirsoul et Frans Herman, chargés des manipulations de base allant des mycobactéries aux rickettsies, des tubes de culture aux inoculations aux animaux hébergés dans un local attenant au laboratoire.

L'enseignement était pour Monsieur Jadin de première importance : il pouvait dans l'auditoire autrement que dans le laboratoire enthousiasmer les étudiants en illustrant par des anecdotes vécues la description de ces parasites aux cycles alambiqués. A la protozoologie, il avait ajouté l'enseignement de l'hématologie qu'il considérait, à l'époque où l'immunologie balbutiait, comme une discipline fondamentale nécessaire à la compréhension des relations de l'organisme du malade avec les parasites, bactéries, virus. A l'examen, qu'on passait dans son bureau du 2^e étage, son attitude paternelle rassurait les plus inquiets parmi les étudiants. Il fallait lui parler par-delà des piles de revues, de dossiers, de formulaires de réponses, de boîtes de frottis. Il aimait travailler sur une table encombrée, posant les avant-bras sur des papiers divers, écrivant sur la surface disponible qui n'était jamais le sous-main de buvard enfoui sous les dossiers. Il se retrouvait dans ce désordre apparent grâce à une mémoire visuelle étonnante.

L'«épidémie» de méningite amibienne de 1969 à Anvers donne le départ d'une étude fouillée de ces amibes «libres» pullulant dans les eaux polluées et chauffées. Le parasite est décrit dans son laboratoire avec le regretté E. Willaert, dévoué et compétent technicien de laboratoire que Monsieur Jadin encourage à faire une thèse, ce qu'il fera avec succès à l'Université de Lille, chez le professeur E. Vivier avant de partir aux Etats-Unis pour participer aux opérations de surveillance des eaux chauffées fréquentées par le public. Chez Monsieur Jadin, la fréquence des représentants de ce genre de parasites dans les eaux de distribution est mise en évidence, la caractérisation des parasites est faite de même que la mise en évidence des caractères de pathogénicité propres à *Neigleria fowleri*. C'est tout le genre *Neigleria* qui est bouleversé et qui s'enrichit de nouvelles

espèces dont *Neigleria jadini*. C'est une force du patron d'utiliser ses contacts internationaux pour faire venir des quatre coins du monde des échantillons d'eaux de sources diverses, y compris des eaux minérales chères aux Français... et il y trouvera occasionnellement une flore amibienne, ce qui lui fera conclure le colloque d'Anvers de 1973 en disant : «et maintenant je vous recommande de boire du vin». Les méthodes d'analyse des iso-enzymes sont mises au point pour assurer la caractérisation de ces protozoaires libres. Les méthodes de prévention du contact de l'homme avec ce parasite sont recherchées. Monsieur Jadin met l'accent sur la surveillance et la désinfection des eaux de piscines et autres collections d'eaux chauffées par les usines, et en particulier par les centrales nucléaires, et fréquentées par les riverains ou les amateurs de sports nautiques. Il entre ainsi en relation amicale avec Monsieur Desreumeaux, de la Lyonnaise des Eaux, car l'enjeu est d'importance! Mais il en profite aussi pour conforter une de ses hypothèses favorites : le transport par les protozoaires de bactéries pathogènes. C'est la dissémination par les humidificateurs dans l'atmosphère des locaux climatisés des amibes omniprésentes et il attribue la responsabilité des épidémies de légionelloses aux *Neigleria* ainsi vaporisées.

Pendant toute sa carrière à l'Institut, comme suite logique à ses activités congolaises, ce sont cependant les rickettsies qui constitueront le thème continu, comme un accompagnement permanent, la «basse continue» de la musique baroque, qui sous-tendait les autres activités de son laboratoire. C'est ainsi qu'il étudie des souches entretenues sur cobaye au laboratoire de *Rickettsia mooseri* et il poursuit son idée de l'étiologie rickettsienne ou néo-rickettsienne de maladies incurables comme la sclérose en plaques ou les maladies cardiovasculaires. Les diagnostics sont essentiellement sérologiques, avec la réaction de micro-agglutination de Giroud, et la sanction thérapeutique qu'il prétend souveraine est une cure de deux semaines de Tétracyclines. Les antigènes pour les tests proviennent de Pologne où il avait gardé des liens suite à son passage chez Weigl, le maître en la matière, mais aussi de Moscou et Leningrad où il s'était fait connaître par ses travaux sur ces sujets. Il acquiert la collaboration de médecins généralistes en Belgique et en France qui lui feront parvenir tous les mois plusieurs dizaines de sérums de malades atteints de symptômes évocateurs de ces maladies. Il est appelé à faire des conférences en Afrique du Sud et au Canada sur ce sujet très controversé, mais il s'en tiendra à sa vision de l'association entre la présence d'anticorps anti-rickettsiens et les symptômes de maladies nerveuses et vasculaires.

Son caractère truculent de bon wallon namurois et sa verve naturelle fourniront à Monsieur Jadin de très nombreuses relations dans le monde scientifique. Lorsque le Groupement des Protistologues de langue française voit le jour, en 1965, il en devient vite un animateur enthousiaste, ce qui lui procure des collaborations avec les laboratoires français comme celui de Vivier à Lille et celui de Puytorac à Clermont-Ferrand. Cependant, ses liens avec la France sont bien plus anciens que cela! Depuis son passage à Tunis, chez Charles Nicolle qui

lui apprit le typhus et les rickettsies, il a au Congo invité Paul Giroud de l'Institut Pasteur de Paris, qui est devenu ainsi son ami de toujours, et le Dr Paul Le Gac de St-Raphaël avec qui il a mené la saga des rickettsioses. Il est en ce temps-là un membre assidu de la Société de Pathologie exotique dans le giron de l'Institut Pasteur, et se lie avec Robert Deschiens, le mentor du *Bulletin* de la Société. Dans le monde anglophone, Percy Cyril Garnham l'apprécia tout particulièrement, ainsi que Mme Jadin, pour leur grande culture générale et leur intérêt pour la littérature et l'art. Il parvint à convaincre Dominique Jadin, l'artiste de la famille, de sculpter pour lui un buste de Wagner. Cependant, Keith Vickerman de Glasgow pour les trypanosomes, Ralph Neal du *Welcome Institute* à Londres pour les amibes entériques étaient aussi des amis, tout comme le Hollandais Van Tiel, son aîné de quelques années en médecine tropicale, le Grec Vassiliadis, l'Indien Das pour les amibes, l'Américain Corliss pour la protozoologie tout entière, le Tchèque Cerva pour les microsporidies et les trichomonas, les Italiens de l'Université de Pavia Elio Rondanelli, Gan Piero Carosi et Massimo Scaglia, le Tunisien Ben Rachid pour les leishmanies, le Marocain Cadi-Soussi, le Coréen Chim Thack Soh de l'Université Yonsei de Séoul, ... On pourrait en citer encore, mais à quoi bon? L'inventaire ne doit pas être complet, il suffit à démontrer l'étendue des liaisons durables établies au cours des pérégrinations scientifiques ou, au contraire, d'un séjour au laboratoire anversois étroitement lié à des passages à la maison du Rosier d'où l'on ne sortait pas indemne de délicieux souvenirs.

Pour ses assistants, Monsieur Jadin, ce fut aussi un maître à la façon du 19^e siècle. Il leur a appris la vie, l'art de nouer des relations professionnelles internationales à l'occasion de repas conviviaux empreints d'une bonne humeur communicative autour d'une table généreuse, la richesse d'une famille nombreuse, la cohésion d'une équipe. Il aimait être entouré de ses enfants à la maison, de son équipe, assistants et techniciens au laboratoire. Il avait pour ces derniers une attention particulière. Qui ne se souvient de sa mauvaise humeur contre les absents intempestifs? Ce sont les présents qui subissaient l'orage, qui s'apaisait dès le retour de l'enfant prodigue. Ses assistants ont tous connu la maison du Rosier mais aussi le délicieux château d'Arbre-sur-Rivière où il se retirait avec toute la maisonnée pendant les deux mois du plein été dans la vallée de la Molinee, affluent de la Meuse à Profondeville. Les grandes et multiples pièces du château résonnaient alors de la voix puissante du père tandis que les promenades dans le parc, jusqu'à une rafraîchissante chute d'eau, permettaient les apartés. La table du repas était d'une longueur adaptable à toutes les circonstances, et un jour, on y vit tout le Groupement des Protistologues en faire le but de leur traditionnelle excursion.

Monsieur Jadin était profondément croyant et admirait son frère le Chanoine, historien de l'Afrique. Il aimait l'Afrique et humblement a écrit un texte pour la Société belge de Médecine tropicale qui avait pour titre : «Ce que l'Afrique nous a appris». Il a tenté, selon ses propres paroles, «de laisser une empreinte» chez ses assistants. Cette empreinte, il l'a voulue large, multidisciplinaire. Il s'agirait,

en termes modernes, de développement intégré, délaissant une spécialisation pointue pour un enseignement tenant compte des multiples facettes de la personnalité et des situations réelles du terrain.

Il tenait beaucoup à l'Académie des Sciences d'Outre-Mer où sa culture étendue le mettait à l'aise sur tous les sujets traités, médicaux ou agronomiques... Le mardi de l'Académie était sacré, on ne le trouvait pas au laboratoire.

La facilité de ses contacts humains l'a très tôt attiré au Rotary Club, d'abord à Bukavu, puis à Anvers. Tous ceux qui l'ont connu dans ces cercles, académiques ou rotariens, ont suivi avec tristesse sa défection liée à la maladie et au décès de son épouse. La sympathie dont il a été entouré dans ces moments était à la mesure de ses nombreuses et fidèles amitiés.

Jean Jadin eut la joie de voir deux de ses enfants choisir la carrière médicale : Cécile fait carrière à Johannesburg et s'intéresse aux rickettsioses dans cet environnement exotique tandis que Jean-Marie, notre collègue à cette Académie, dirige le laboratoire de biologie clinique de Jolimont.

Je me fais l'interprète des membres de l'Académie Royale des Sciences d'Outre-Mer pour transmettre à ses six enfants leur sympathie émue.

Marc WERY

LISTE DES PUBLICATIONS

La liste présentée ici n'est pas exhaustive. Elle constitue un choix parmi quelque cinquante travaux publiés par Jean Jadin, seul ou en collaboration.

- 1930 1. JADIN, J. & VASSILIADIS, P. Influence de l'hibernation du lérot sur le *Trypanosoma rhodesiense*. — *Ann. Soc. belge Méd. trop.*, **10** : 129-131.
2. JADIN, J. & VASSILIADIS, P. Influence du *Spirochaeta hispanicum* sur l'infection à *Trypanosoma rhodesiense*. — *Ann. Soc. belge Méd. trop.*, **10** : 133-136.
- 1931 3. BRUYNOGHE, R. & JADIN, J. Les *Bartonella* des Rongeurs. — *C. R. Soc. Biol.*, **107** : 1601-1602.
- 1932 4. L'influence de l'iode sur la spécificité antigénique des microbes et des lipides. — *Arch. intern. Méd. exp.*, **7** : 149-169.
5. Le bactériophage du *B. pyocyaneus*. — *C. R. Soc. Biol.*, **109** : 556-558.
- 1933 6. LAIGRET, J. & JADIN, J. Sensibilité de la souris blanche aux virus typhiques — Passages. Conservation du virus dans le cerveau des souris. — *Arch. Inst. Pasteur (Tunis)*, **21** : 381-387.
7. BRUYNOGHE, R. & JADIN, J. La présence du virus du typhus exanthématique dans le cerveau de rats du port d'Anvers. — *C. R. Soc. Biol.*, **113** : 399-400.
8. JADIN, J. & RONSE, M. Les *Bartonella* — *C. R. Soc. Biol.*, **113** : 939-940.
9. BRUYNOGHE, R. & JADIN, J. Le virus du typhus exanthématique — *Bull. Acad. roy. Méd. (Belgique)*, **13** : 407-416.
10. BRUYNOGHE, R. & JADIN, J. Le typhus exanthématique. — *Arch. intern. Méd. exp.*, **8** : 513-540.
- 1935 11. Rapport sur une mission d'études anthropologiques effectuée au Congo Belge (juillet 1934 - février 1935). — *Bull. Inst. roy. colon. belge*, **6** : 382-411.

- 1936 12. Les groupes sanguins des Pygmées. — *Mém. Inst. roy. colon. belge*, **4**, 26 pp.
13. Groupes sanguins des Pygmées et des Nègres de l'Ituri. — *Anthropos*, **31** : 178-186.
14. Le bactériophage anti-cholérique. — *C. R. Soc. Biol.*, **123** : 297-298.
15. BRUYNOGHE, R. & JADIN, J. Culture du virus typhique murin sur la membrane chorio-allantoïdienne de l'embryon de poulet. — *C. R. Soc. Biol.*, **121** : 153-155.
- 1937 16. Culture du virus de la Fièvre jaune sur la membrane chorio-allantoïdienne de l'embryon de poulet. — *Ann. Soc. belge Méd. trop.*, **17** : 27-32.
17. DUBOIS, A. & JADIN, J. Les Pygmées de l'Ituri ou Mambuti. — *Rev. française Dermat. et Vénérol.*, **13** : 343-350.
- 1938 18. Aperçu sur l'état sanitaire des Pygmées de l'Ituri. — *Anthropol.*, Prague, **16** : 69-83.
19. JADIN, J. & ARNALDI, E. Une épidémie d'une affection ictérique à Zongo. Possibilité d'une Infection amarile atypique. — *Ann. Soc. belge Méd. trop.*, **18** : 435-473.
- 1939 20. Sensibilité de la souris blanche au virus rabique isolé à Coquilhatville. — *Arch. intern. Méd. exp.*, **14** : 175-183.
21. JADIN, J. & ARNALDI, E. Considération au sujet de l'épidémie ictérique de Zongo et vaccination anti-amarile. — *Ann. Soc. belge Méd. trop.*, **19** : 377-391.
22. JADIN, J. & DELPERDANGE, G. Contribution à l'étude de l'helminthiase et de la parasitologie de l'Equateur. — *Ann. Soc. belge Méd. trop.*, **19** : 547-556.
23. JADIN, J., BOUCKAERT, J. J. & CASIER, P. Contribution à l'étude du métabolisme du calcium et du phosphore chez les indigènes de l'Afrique Centrale. — *Mém. Inst. roy. colon. belge.*, **8**, 25 pp.
- 1940 24. Les groupes sanguins des Pygmoïdes et des Nègres de la Province Equatoriale (Congo Belge). — *Mém. Inst. roy. colon. belge*, **10**, 42 pp.
25. Etude d'une souche de *Trypanosoma simiae suis*. — *Ann. Soc. belge Méd. trop.*, **20** : 69-74.
26. Sur un essai de traitement de l'amibiase par la diiodo-oxyquinoléine. — *Ann. Soc. belge Méd. trop.*, **20** : 75-76.
- 1944 27. La fièvre rouge congolaise est du typhus exanthématique murin. — *Recueil des travaux de Sciences Médicales au Congo belge*, **2** : 52-93.
- 1946 28. JADIN, J. & HERMAN, F. Paludisme de montagne et action du sulfate de quinine brut sur la malaria. — *Ann. Soc. belge Méd. trop.*, **26** : 111-116.
29. VINCKE, I. H. & JADIN, J. Contribution à l'étude de l'anophélisme en pays d'altitude. — *Ann. Soc. belge Méd. trop.*, **26** : 483-500.
- 1947 30. JADIN, J. & GIROUD, P. Typhus exanthématique de l'Urundi. Agglutination des Rickettsies. — *Bull. Soc. Pathol. exot.*, **40** : 414-416.
31. Fièvre rouge congolaise ou typhus murin à Costermansville. — *Ann. Soc. belge Méd. trop.*, **27** : 231-240.
32. GIROUD, P. & JADIN, J. Détection du virus typhique chez les ectoparasites par l'absorption des agglutinines spécifiques. — *C. R. Acad. Sc. (France)*, **224** : 1500-1502.
33. JADIN, J. & D'HOGHE, M. La fièvre rouge congolaise peut être aussi du typhus historique. — *Ann. Soc. belge Méd. trop., Liber Jubilaris*, Jérôme Rodhain, pp. 279-290.

- 1948 34. GIROUD, P. & JADIN, J. Diagnostic différentiel des typhus par l'agglutination des Rickettsies. — *Bull. Soc. Pathol. exot.*, **41** : 20-25.
35. Le typhus exanthématique de l'Urundi. — *Ann. Soc. belge Méd. trop.*, **28** : 189-213.
- 1949 36. JADIN, J. & FAIN, A. *Anopheles funestus* Giles, transmetteur de paludisme en pays d'altitude (Astrida 1750 m, Ruanda-Urundi). — *Ann. Soc. belge Méd. trop.*, **29** : 145-150.
- 1950 37. GIROUD, P. & JADIN, J. Comparaison entre différents tests pour le diagnostic de la fièvre Q. Réactions allergiques. Fixation du complément et agglutination des Rickettsies. — *C. R. Acad. Sc. (France)*, **230** : 2347-2348.
38. GIROUD, P. & JADIN, J. Essais d'isolement de souches de Fièvre Q au Ruanda-Urundi, du lait de vache, du cerveau de chèvres et de tiques d'animaux domestiques et sauvages. — *Bull. Soc. Pathol. exot.*, **43** : 672-673.
39. JADIN, J. & GIROUD, P. Le pou dans la fièvre Q au Ruanda-Urundi. Conservation naturelle de l'antigène de la fièvre Q sur le pou. — *Bull. Soc. Pathol. exot.*, **43** : 674-675.
40. JADIN, J. & GIROUD, P. Comportement sérologique des animaux domestiques vis-à-vis des antigènes rickettsiens en milieu contaminé de fièvre Q. — *C. R. Acad. Sc. (France)*, **231** : 86-87.
41. JADIN, J. & GIROUD, P. La fièvre Q au Ruanda-Urundi. — *Bull. Soc. Pathol. exot.*, **43** : 667-672.
- 1951 42. Les Rickettsioses du Congo belge et du Ruanda-Urundi. — Ed. Nauwelaerts, Louvain, 109 pp.
43. JADIN, J. & FAIN, A. Contribution à l'étude du paludisme en pays d'altitude. — *Ann. Soc. belge Méd. trop.*, **31** : 353-364.
44. Acquisitions récentes dans le domaine du paludisme I. — *Rev. méd. Louvain*, pp. 246-256.
45. Acquisitions récentes dans le domaine du paludisme II. — *Rev. méd. Louvain*, pp. 266-272.
46. Rapport sur la campagne de dédétisation. — *Ann. Soc. belge Méd. trop.*, **31** : 639-652.
- 1952 47. JADIN, J. & BRUYNOGHE, G. Groupes sanguins et facteur Rhésus des populations du Ruanda. — *Bull. Inst. roy. colon. belge*, **23** : 1116-1124.
48. JADIN, J. & VERCAMMEN-GRANDJEAN, P. H. Trombiculidés larvaires du Ruanda-Urundi. — *Ann. Soc. belge Méd. trop.*, **32** : 593-656.
49. JADIN, J., FAIN, A. & RUPP, H. Lutte antimalarienne étendue en zone rurale au moyen du D.D.T. à Astrida (Ruanda-Urundi). — *Mém. Inst. roy. colon. belge*, **21** : 46 pp.
50. GIROUD, P., JADIN, J., LE GAC, P. & GAILLARD, J. A. Les tests cutanés dans l'étude des cinq rickettsioses majeures : typhus épidémique, typhus murin, fièvres du groupe boutonneux pourpré, fièvre Q, fièvres du groupe oriental. — *Bull. Soc. Pathol. exot.*, **45** : 632-645.
- 1953 51. GIROUD, P. & JADIN, J. Comportement des animaux domestiques au Ruanda-Urundi vis-à-vis de l'antigène épidémique. — *Bull. Soc. Pathol. exot.*, **46** : 870-871.
- 1954 52. GIROUD, P. & JADIN, J. Réactions sérologiques et allergiques chez l'homme vis-à-vis d'un antigène du groupe de la psittacose et d'antigènes isolés dans

- la province du Kivu (Congo Belge). — *C. R. Acad. Sc. (France)*, **238** : 2205-2208.
53. GIROUD, P. & JADIN, J. Importance des micro-agglutinations pour le diagnostic sérologique des infections provoquées par des éléments virulents à la limite des rickettsies. — *C. R. Soc. Biol.*, **148** : 1157-1158.
54. GIROUD, P. & JADIN, J. Le virus des Bashi. — *Mém. Acad. roy. Sci. colon.*, **1** : 74 pp.
55. JADIN, J., VERCAMMEN-GRANDJEAN, P. H. & HERMAN, F. Un *Trombiculidae* nasicole nouveau. — *Rev. Zool. & Bot. afr.*, **49** : 273-282.
56. GIROUD, P. & JADIN, J. Le virus des Bashi, systématique, pouvoir pathogène, transmission. — *Ann. Soc. belge Méd. trop.*, **35** : 9-13.
- 1955 57. GIROUD, P., JADIN, J. & ROGER, F. Mise en évidence, dans le sang d'une hépatite épidémique, d'un agent infectieux de 300 m μ qu'on peut classer à la limite des Rickettsies, à côté du groupe de la psittacose. — *C. R. Acad. Sc. (France)*, **240** : 468-470.
58. CAUTHIER-VILLARS, P., GIROUD, P. & JADIN, J. Constatations anatomopathologiques faites chez un Mushi ayant succombé à une infection provoquée par un élément virulent à la limite des rickettsies, à côté du groupe de la psittacose. — *Bull. Soc. Pathol. exot.*, **48** : 19-21.
- 1956 59. JADIN, J. & VERCAMMEN-GRANDJEAN, P. H. Considérations diverses au sujet de *Gateria (Giroudia) brennani* (Jadin & Vercammen, 1952) et description de sa nymphe. — *Rev. Zool. et Bot. afr.*, **53** : 360-364.
60. GIROUD, P. & JADIN, J. Pouvoir nécrosant des souches situées à la limite inférieure des rickettsies (à côté de la psittacose) sur les tissus en culture. Pouvoir neutralisant de certains sérums, action des antibiotiques. — *C. R. Acad. Sc. (France)*, **242** : 3012-3014.
61. GIROUD, P. & JADIN, J. Affections pseudo-grippales dans une Ecole Normale du Ruanda-Urundi, résultats positifs sur les antigènes néo-rickettsiens et parfois *Rickettsia burneti*. — *Bull. Soc. Pathol. exot.*, **49** : 599-602.
62. GIROUD, P. & JADIN, J. Les avortements de caprins de la région de Kisenyi (Ruanda-Urundi, Congo belge), ne sont pas dus à *Brucella melitensis*, mais au groupe néo-rickettsien. — *Bull. Soc. Pathol. exot.*, **49** : 597-599.
- 1957 63. JADIN, J. & RESSELER, J. La dysenterie bacillaire au Ruanda-Urundi et au Kivu. — *Ann. Soc. belge Méd. trop.*, **37** : 347-370.
64. JADIN, J., RESSELER, J. & VAN LOOY, G. Présence de *Shigella* et de *Salmonella* chez les poissons et dans les eaux des grands lacs du Congo Belge et du Ruanda-Urundi. — *Mém. Acad. roy. Méd. (Belgique)*, **22** : 85-96.
65. JADIN, J. & GIROUD, P. Constatations épidémiologiques et sérologiques sur les néo-rickettsies. — *Mém. Acad. roy. Sci. Outre-Mer*, **7**, 48 pp.
- 1958 66. JADIN, J., GIROUD, P. & VAN WYMEERSCH, H. Néo-rickettsies isolées à partir d'un cas de leuco-encéphalite sclérosante subaiguë. — *Ann. Soc. belge Méd. trop.*, **38** : 189.
67. Le traitement des néo-rickettsioses. — *Bull. Soc. Pathol. exot.*, **51** : 742-752.
- 1959 68. JADIN, J. & PIERREUX, G. Une souche d'*Eperythrozoon coccoides* Schilling, transmissible en série à la souris non splénectomisée. — *C. R. Soc. Biol.*, **153** : 179-181.
69. Conservation de *Rickettsia prowazeki* dans les sarcocystes de l'Okapi (*Okapia johnstoni* Sclater). — *Arch. Inst. Pasteur (Tunis)*, **36** : 441-444.

70. JADIN, J., THOMAS, J. & LEONARD, J. Fréquence des anticorps agglutinant *Rickettsia burneti*, dans l'avortement des bovidés en Belgique. — *C. R. Soc. Biol.*, **153** : 1881-1882.
- 1960 71. JADIN, J., YOELI, M. & PIERREUX, G. Réapparition du processus d'extraflagellation chez une souche de *Plasmodium berghei* régulièrement entretenue par passage mécanique. — *Ann. Soc. belge Méd. trop.*, **39** : 847-850.
72. GIROUD, P., JADIN, J. & PEENE, H. Pneumopathies et néo-rickettsies. — *Bull. Soc. Pathol. exot.*, **53** : 135-139.
73. JADIN, J. & PIERREUX, G. Un milieu de culture pour trypanosomidés. — *Ann. Soc. belge Méd. trop.*, **40** : 903-906.
74. JADIN, J., CHANTRAINE, J., PIERREUX, G. & VAN BRAECKEL, G. Etude d'une souche congolaise de *Trypanosoma lewisi*. — *Ann. Soc. belge Méd. trop.*, **40** : 907-914.
- 1961 75. Aspects actuels des rickettsioses au Congo et au Ruanda-Urundi. — *Path. et Microbiol.*, **24** : 112-121.
76. Ce que l'Afrique nous a appris. — *Ann. Soc. belge Méd. trop.*, **5** : 431-444.
77. Le diagnostic de l'amibiase à l'est et à l'ouest de l'Ancien Congo Belge. — *Bull. Soc. Pathol. exot.*, **54** : 512-523.
78. JADIN, J. & GIROUD, P. Conceptions actuelles concernant les rickettsioses et leurs vaccinations. — *Ann. Soc. belge Méd. trop.*, **3** : 193-206.
- 1962 79. JADIN, J. & LIMBOS, P. Répartition géographique de l'éosinophilie au Congo et au Ruanda-Urundi. — *Bull. Soc. Pathol. exot.*, **55** : 620-646.
80. Maladies rickettsiennes et sclérose en plaques. — *Ann. Soc. belge Méd. trop.*, **42** : 321-345.
- 1963 81. Les groupes sanguins et la répartition de la Sicklémie dans les populations congolaises. — *Ann. Soc. belge Méd. trop.*, **4** : 437-484.
82. JADIN, J. & GIROUD, P. Les néo-rickettsioses en Afrique. — *Ann. Soc. belge Méd. trop.*, **6** : 883-892.
83. FRANCOIS, J., JADIN, J., WERY, M. & VAN DE CASTEELE, J. Etude expérimentale du traitement de la toxoplasmose. — *Acad. roy. Méd. (Belgique)*, **3** : 459-485.
84. JADIN, J. & WERY, M. La culture des Trypanosomidae. — *Ann. Soc. belge Méd. trop.*, **5** : 831-842.
85. Au sujet des maladies rickettsiennes. — *Bull. Acad. roy. Sci. Outre-Mer*, **6** : 1128-1134.
86. Les rickettsioses en Afrique Centrale. — *Bull. Soc. Pathol. exot.*, **56** : 571-586.
87. JADIN, J. & PIERREUX, G. Evolution parallèle d'une souche de *Pl. berghei* Vincke et Lips chez la souris et le jeune hamster de Syrie. — *Ann. Soc. belge Méd. trop.*, **1** : 47-52.
- 1964 88. JADIN, J., WERY, M. & MORIS, R. Multiplication de *Mycobacterium leprae*, possibilité de test de sensibilité. — *Bull. Acad. nat. Méd. (France)*, **148** : 333-342.
89. RODHAIN, J. & JADIN, J. La transmission du *Plasmodium falciparum* au chimpanzé splénectomisé. — *Ann. Soc. belge Méd. trop.*, **44** : 531-536.
- 1965 90. JADIN, J., FRANCOIS, J., WERY, M. & VAN DE CASTEELE, J. L'immunité dans la toxoplasmose expérimentale. — *Ann. Soc. belge Méd. trop.*, **45** : 161-168.
91. Les Bactéries photosynthétiques pourpres peuvent-elles jouer un rôle dans la

- sporogonie des Plasmodiums ? — *Bull. Acad. nat. Méd. (France)*, **149** : 470-472.
92. Bibliographie du *Plasmodium berghei* Vincke et Lips. — *Ann. Soc. belge Méd. trop.*, **45** : 473-496.
- 1966 93. Charles Nicolle et son œuvre (1866-1936). — *Bull. Acad. roy. Sci. Outre-Mer*, **6** : 1048-1067.
94. JADIN, J., WERY, M., LE RAY, D. & GATTI, F. Au sujet de la transmission de certains caractères biologiques chez les *Trypanosomidae*. — *Bull. Acad. roy. Sci. Outre-Mer*, **3** : 454-465.
95. JADIN, J., VINCKE, I., DUNJIC, A., DELVILLE, J.-P., WERY, M., BAFORT, J., SCHEEPERS-BIVA, M. & WILLAERT, E. Rôle des *Pseudomonas* dans la sporogonie de l'hématozoaire du paludisme chez le moustique. — *Bull. Soc. Pathol. exot.*, **59** : 514-525.
96. JADIN, J., FRANCOIS, J., WERY, M., MATTON-VAN LEUVEN, M., LANGUILLON, J., MORIS, R., HERMAN, F. & WILLAERT, E. La multiplication de *Mycobacterium leprae* sur fibroblastes de peau humaine. — *Bull. Acad. nat. Méd. (France)*, **150** : 612-616.
- 1967 97. Du rôle des bactéries dans le tube digestif des insectes vecteurs des *Plasmodidae* et des *Trypanosomidae*. — *Ann. Soc. belge Méd. trop.*, **47** : 331-342.
- 1968 98. JADIN, J., FRANCOIS, J., BISOUX, M., LANGUILLON, J. & MORIS, R. Développement intranucléaire de *Mycobacterium leprae* dans les cellules histiocytaires chez l'animal. — *Bull. Acad. nat. Méd. (France)*, **152** : 89-91.
99. JADIN, J., CREEMERS, J., JADIN, J. M. & GIROUD, P. Ultrastructure of *Rickettsia prowazeki*. — *Acta Virologica*, **12** : 7-10.
100. GIROUD, P., JADIN, J., CREEMERS, J. & JADIN, J. M. Ultrastructure des corps homogènes et des corps cloisonnés au cours des infections rickettsiennes. — *C. R. Acad. Sc. (France)*, **266** : 428-429.
101. La multiplication de *Mycobacterium leprae*. — *Bull. Acad. roy. Sci. Outre-Mer.*, **2** : 434-456.
- 1969 102. JADIN, J., GIROUD, P., LE RAY, D., WERY, M. & KAGERUKA, P. Importation d'oiseaux exotiques et néo-rickettsies. — *Bull. Soc. Pathol. exot.*, **62** : 285-288.
103. Les Rifamycines. Développements récents. — *Bull. Acad. roy. Sci. Outre-Mer*, **3** : 583-599.
104. JADIN, J. & LE RAY, D. Acquisitions récentes dans les techniques de culture des Trypanosomes africains. — *Ann. Soc. belge Méd. trop.*, **49** : 331-340.
105. JADIN, J. M., CREEMERS, J. & JADIN, J. Contribution à l'étude de l'ultrastructure de l'agent rickettsien de l'ornithose observé dans les cellules de l'épithélium pulmonaire de souris infectées expérimentalement. — *Bull. Soc. Path. exot.*, **62** : 303-311.
106. JADIN, J. & LE RAY, D. Présence de formes kystiques dans les cultures de *Trypanosoma brucei*. — *Protistologica*, **5** : 381-382.
- 1970 107. JADIN, J. & DRUET, R. Persistance du typhus épidémique au cœur de l'Afrique. — *Bull. Acad. roy. Sci. Outre-Mer*, **2** : 334-344.
108. JADIN, J., LE RAY, D. & FAMREE, L. Diagnostic de la Leishmaniose viscérale par la réaction de l'inhibition de la culture. — *Bull. Soc. Pathol. exot.*, **63** : 334-341.

109. LE RAY, D., JADIN, J., FAMREE, L., WILLAERT, E. & BECKERS, A. Quelques observations sur l'isolement et l'adaptation *in vitro* des trypanosomes africains pathogènes. — *Bull. Soc. Pathol. exot.*, **63** : 675-684.
- 1971 110. JADIN, J.-B., HERMANNE, J., ROBIJN, G., WILLAERT, E., VAN MAERCKE, Y. & STEVENS, W. Trois cas de méningo-encéphalite amibienne primitive observés à Anvers (Belgique). — *Ann. Soc. belge Méd. trop.*, **51** : 255-266.
- 1972 111. JADIN, J.-B. & WILLAERT, E. Au sujet de la dispersion des amibes du groupe *Limax*. — *Protistologica*, **8** : 505-508.
112. JADIN, J.-B., HERMANNE, J. & WILLAERT, E. La méningo-encéphalite amibienne primitive. — *Méd. et Mal. Infect.*, **2** : 205-210.
113. JADIN, J.-B., WILLAERT, E. & COMPERE, F. De la nécessité du contrôle biologique des eaux potables. — *Bull. Acad. nat. Méd. (France)*, **156** : 995-998.
114. WILLAERT, E., JADIN, J.-B. & LE RAY, D. Structures immunochimiques comparées d'amibes du genre *Naegleria*. — *Protistologica*, **8** : 497-504.
- 1973 115. LE RAY, D., AFCHAIN, D., JADIN, J., CAPRON, A., YASAROL, S., LANOTTE, G. & FAMREE, L. Diagnostic immuno-électrophorétique de la leishmaniose viscérale à l'aide d'un extrait antigénique hydrosoluble de *Leishmania donovani*. Résultats préliminaires. — *Ann. Soc. belge Méd. trop.*, **53** : 31-41.
116. JADIN, J.-B., WILLAERT, E. & HERMANNE, J. Présence d'amibes *Limax* dans l'intestin de l'homme et des animaux. — *Bull. Acad. roy. Sci. Outre-Mer*, **3** : 520-526.
117. WILLAERT, E., JADIN, J.-B. & LE RAY, D. Comparative antigenic analysis of *Naegleria* species. — *Ann. Soc. belge Méd. trop.*, **53** : 59-61.
118. JADIN, J.-B., LE RAY, D. & VAN MEIRVENNE, N. Immuno-electrophoretic characterization of common and variable antigens of *Trypanosoma brucei*. — *Trans. roy. Soc. trop. Med. Hyg.*, **67** : 273-274.
119. ANDERSON, K., JAMIESON, A., JADIN, J. & WILLAERT, E. Primary amoebic meningoencephalitis. — *The Lancet* (March 24), **672**.
120. De la méningo-encéphalite amibienne et du pouvoir pathogène des amibes *limax*. — *Ann. Biol.*, **12** : 306-342.
121. Hypothèses au sujet de l'adaptation des amibes du groupe *Limax* à l'homme et aux animaux. — *Ann. Parasit. hum. et comp.*, **48** : 199-204.
122. JADIN, J.-B., AFCHAIN, D., LE RAY, D. & CAPRON, A. Analyse antigénique comparée par immunoélectrophorèse des formes de culture de *Trypanosoma (Schizotrypanum) cruzi*, *Trypanosoma (Trypanozoon) brucei* et *Leishmania donovani*. Conséquences taxonomiques et diagnostiques. — *Protistologica*, **9** : 213-220.
- 1974 123. Les amibes dans les eaux. — *Path. et Biol.*, **22** : 81-87.
124. WILLAERT, E., JAMIESON, A., JADIN, J.-B. & ANDERSON, K. Epidemiological and immunoelectrophoretic studies on human and environmental strains of *Naegleri fowleri*. — *Ann. Soc. belge Méd. trop.*, **54** : 333-342.
125. DERREUMAUX, A. L., JADIN, J.-B., WILLAERT, E. & MORET, R. Action du chlore sur les amibes de l'eau. — *Ann. Soc. belge Méd. trop.*, **54** : 415-428.
126. DAS, S. R., JADIN, J.-B. & WILLAERT, E. Studies on mitotic division in *Naegleria jadini*. — *Ann. Soc. belge Méd. trop.*, **54** : 141-146.
- 1975 127. JADIN, J., YOELI, M. & YOUNG, C. Effects of lowered environmental tempera-

- ture on the growth of exoerythrocytic stages of *Plasmodium berghei*. — *Am. J. trop. Med. Hyg.*, **24** : 769-775.
128. Amibes *limax*, vecteurs possibles des *Mycobactéries* et de *Mycobacterium leprae*. — *Acta leprologica*, **59** : 57-67.
129. Wolno zyjace pelzaki chorobotworcze. — *Wiadomosci Parazytologiczne*, **21** : 493-498.
- 1976 130. JADIN, J.-B., GIROUD, P. & HENRY, M. C. Au sujet des maladies rickettsiennes et de celles dues aux agents proches en Europe Occidentale. — *Bull. Acad. roy. Sci. Outre-Mer*, **176** : 420-430.
131. Relations entre parasites et agents infectieux chez les hôtes transmetteurs ou définitifs. — *Path. et Biol.*, **24** : 171-173.
- 1977 132. JADIN, J.-B. & WILLAERT, E. *Mastigamoeba* et amibes libres à partir du mucus nasal de lépreux. — *Acta leprologica*, **66-67** : 271-274.
133. GIROUD, P. & JADIN, J. Des *Babesia* aux *Chlamydia* et à d'autres parasites. Possibilités d'infections multiples. — *Méd. et Mal. Infect.*, **7** : 377-390.
134. JADIN, J.-B., HENRY, M. C. & HEBRANT, F. Importance et répartition de la réponse sérologique de l'ornithose-psittacose chez des pigeons semi-domestiques. — *Bull. Soc. Pathol. exot.*, **70** : 144-151.
- 1978 135. Albert, Louis, Marie Dubois (2 février 1888 - 19 août 1977). — *Bull. Acad. roy. Sci. Outre-Mer*, **1** : 48-68.
136. JADIN, J.-B., GIROUD, P., WERY, M., HENRY, M. C., TIMPERMAN, G. & DELHAYE, A. M. Relations entre protozoaires et agents infectieux. — *Bull. Acad. roy. Sci. Outre-Mer*, **2** : 190-203.
- 1980 137. JADIN, J. M. & JADIN, J.-B. Protozoa in electron microscopy in human medicine. — Ed. J.V. Johanessen, Mc Graw Hill, **3** : 281-332.
- 1982 138. La Médecine. Cinquantenaire de l'Académie Royale des Sciences d'Outre-Mer (1928-1978). — *Bull. Acad. roy. Sc. Outre-Mer* (Belgique), **2** : 292-319.
- 1984 139. JADIN, J.-B., GIROUD, P. & JADIN, J. M. Conceptions nouvelles concernant les relations nouvelles entre protozoaires, virus et bactéries. — *Bull. Acad. Roy. Sci. Outre-Mer*, **30** : 183-201.
140. Des infections inapparentes de Charles Nicolle à la micro-agglutination des Rickettsies par P. et M.L. Giroud. — *Acta Medit. di Path. infett. e trop.*, **3** : 213-222.
- 1986 141. GIROUD, P. & JADIN, J.-B. Les maladies inapparentes de Charles Nicolle, les affections superposées sont à la base des faillites de l'immunité. — *Arch. Inst. Pasteur* (Tunis), **63** : 97-99.
- 1987 142. Rickettsiosis and neurological etiology. — *Acta Medit. di Path. infett. e trop.*, **6** : 377-380.
143. JADIN, J.-B., CHABASSE, D., PERRON, H., POUPLARD, F. & GRANRY, J. C. Méningite à Méningocoques et Rickettsioses. — *Arch. Inst. Pasteur* (Tunis), **64** : 321-325.
144. History, in Amphizoic Amoebae Human Pathology. — Ed. by Rondanelli E.G., by Piccin Nuova Libreria, Padua, 23 pp.

Jean DE HEINZELIN DE BRAUCOURT

(Marchienne-au-Pont, 6 août 1920 - Bruxelles, 3 novembre 1998)*



Jean de Heinzelin de Braucourt est né à Marchienne-au-Pont le 6 août 1920. Après avoir accompli ses études secondaires à l'Athénée d'Uccle, il entreprend des études de chimie à l'ULB et en sort licencié en 1941. Il obtient en outre des certificats de biochimie et de physiologie. Dès la fin de la seconde guerre mondiale, il reprend des études de géologie dans la même université. La licence lui est décernée en 1946 et le doctorat en sciences géologiques et minéralogiques en 1953. Il complète sa formation à Paris, où il obtient un grade d'Etat à la Sorbonne en 1955.

Sa carrière professionnelle au Musée des Sciences naturelles de Belgique débute en tant que collaborateur scientifique de 1944 à 1946. Il est nommé naturaliste (1947-1951), puis sous-directeur de laboratoire en 1951. Ce sera plus d'une décennie de grandes explorations et de récoltes de collections incontournables pour la préhistoire d'Afrique et de Belgique qui viendront enrichir le patrimoine du Musée.

En 1960, Jean de Heinzelin reprend la chaire de Paléontologie du professeur Victor Van Straelen à l'Institut de Géologie de la «Rijksuniversiteit Gent». Il y enseigne la stratigraphie paléontologique (partie zoologique), la stratigraphie paléontologique approfondie, la paléontologie animale, la systématique animale approfondie (paléontologie) et la paléontologie générale, ainsi que les exercices.

* Eloge prononcé par M. M. Deliëns à la séance de la Classe des Sciences naturelles et médicales tenue le 23 novembre 1999.

Il introduit à l'Institut de Géologie le cours de phytopathologie, repris de la chaire du professeur G. Verplancke et initie les recherches de micropaléontologie et d'archéozoologie. Il collabore aussi avec le «Centrum voor Bodemkartering» et s'associe en tant qu'expert à différentes institutions universitaires des Etats-Unis. Sa contribution à l'enrichissement des collections de l'Institut de Géologie est importante grâce à l'apport de la collection de plantes fossiles de l'Institut de Botanique cédées par le professeur Van der Veken, successeur du professeur Verplancke et au matériel d'étude récolté par lui-même et par ses étudiants lors des campagnes de terrain. Jean de Heinzelin est promu professeur ordinaire à la «Rijksuniversiteit Gent» le 1^{er} février 1964.

De 1960 à 1965, Jean de Heinzelin est chargé du cours de géologie du Quaternaire à l'ULB et, partiellement, à la VUB. C'est en 1984-1985 qu'il accède à l'éméritat à la RUG et à l'honorariat à l'ULB.

Tout au long de sa carrière et après sa retraite, Jean de Heinzelin restera fidèle à l'Institut royal des Sciences naturelles de Belgique au titre de collaborateur scientifique. Il y conserva un cabinet de travail et continuera à enrichir les conservatoires de l'Institut.

Conseillé et encouragé par Victor Van Straelen, qui était à l'époque président de l'Institut national d'Etudes agronomiques au Congo (INEAC) et des Parcs nationaux du Congo Belge, Jean de Heinzelin oriente sa carrière scientifique vers les fouilles archéologiques, la stratigraphie et la cartographie géologique. Ses travaux engloberont de nombreux horizons stratigraphiques localisés dans les pays les plus variés en Europe et, surtout, outre-mer, principalement en Afrique. En Belgique, Jean de Heinzelin étudie des sites préhistoriques appartenant à diverses époques : le Paléolithique moyen des carrières du Clypot (Neufvilles) et Hélin (Saint-Symphorien), de Bonsecours, Godarville, Otrange et Mesvin; le Paléolithique supérieur précoce de Rocourt (1977 et 1978); le Paléolithique supérieur de Maisières (1966); le Néolithique du Gué de Plantin (Neufvilles, 1969), etc. Il découvre également des gîtes à vertébrés fossiles à Hoogbussel et Hoeleden. Il réalise enfin une monographie de l'Oligocène inférieur de Belgique et étudie le Néogène de Campine et du port d'Anvers.

En Europe, outre différents travaux traitant du Nord de la France, du Boulonnais et de la Somme, échelonnés entre 1965 et 1988, il effectue des recherches en Islande (Hekla, 1947), en Italie (Val d'Arno, 1948), en Pologne (1971), en Bulgarie (1975), dans les Pyrénées (1992 et 1995) et en Espagne : Torralba-Ambrona (1980), bassin de Baza (1984), Aragon, Castille, Estramadoure (1985, 1992 et 1995) et Catalogne (1997).

La renommée internationale de Jean de Heinzelin est néanmoins liée aux résultats de ses campagnes en Afrique et au Proche-Orient, consacrées à l'étude des hominidés, aux cultures préhistoriques et à la stratigraphie du Néogène et du Quaternaire. Au cours des années 50 et 60, c'est principalement au Congo qu'il exerce ses talents scientifiques. Il y effectue un nombre important de missions, parfois de longue durée. A cette époque, mais aussi au cours des missions

ultérieures en 1983 et en 1988, il se rend dans la région du lac Edouard et à Ishango. C'est dans cette localité qu'il définit la culture d'«Ishango», vieille de plus de 10 000 ans. Il découvre parmi la riche industrie osseuse de ce site, des os gravés qui constituent les témoins d'une des plus anciennes formes de calcul. De nombreuses autres missions congolaises se déroulent dans l'Ituri, au Parc de la Garamba et dans l'Uele (1950), dans la Haute-Semliki (1950), dans la cuvette congolaise, à Yangambi, siège de l'INEAC, et à l'Aruwimi (1950 et 1956), dans le massif du Ruwenzori (1952 et 1956), dans la chaîne volcanique des Virunga, au Lac Visoke et dans les champs de laves du Kivu (1956), dans la Basse-Semliki et au lac Albert (1956 et 1960).

Ses activités le conduisirent aussi dans plusieurs autres pays du continent africain et au Proche-Orient : en Uganda (1956 à 1960), au Soudan septentrional (1962 et 1966), en Syrie et au Liban (1964 et 1965), au Kenya (1967 et 1971), dans le désert libyen, au Jebel Uweinat (1977 et 1982), où il étudia les sédiments fossilifères du Néogène de Sahabi, en Iran (1972), en Tunisie (1986) et en Algérie (1993). C'est dans ce pays, à Aïn Hanech, qu'il découvrit un site ancien à *Homo erectus*, datant de 1,2 million d'années.

Jean de Heinzelin manifesta cependant une prédilection pour l'Ethiopie. Il y effectua plusieurs missions entre 1967 et 1973 dans le cadre des «Omo Research Expeditions». Il établit la stratigraphie et dressa la carte géologique de la basse vallée de l'Omo et de la région du lac Turkana, au profit des équipes d'archéologues et de paléanthropologues. Interrompus par la guerre entre l'Ethiopie et l'Erytrée, ses travaux reprirent à partir de 1990. Il effectua encore cinq missions en Ethiopie jusqu'en 1996. Il collabora en tant que stratigraphe au «Middle Awash Research Project», sous l'égide de l'Université de Berkeley. Lors de sa dernière expédition, l'équipe mit au jour les ossements du plus ancien hominidé connu à ce jour, vieux de 4,4 millions d'années, l'*Ardipithecus ramidus*, non loin de l'endroit où fut découverte la célèbre Lucy. Il a consacré ses derniers moments à la rédaction d'un mémoire intitulé «Some Plio-Pleistocene deposits in the Middle Awash (Central Ethiopia) and Paleolithic settlement», destiné à être publié dans les *Annales du Musée royal de l'Afrique centrale* et écrit en collaboration avec Desmond Clark et Tim White.

Ce tour d'horizon des activités de Jean de Heinzelin ne serait pas complet s'il n'était pas fait mention de ses recherches aux Etats-Unis, où il étudia les formations du Pleistocène du Middle West, en collaboration avec le U.S. Geological Survey et le U.S. Soil Investigations.

Ayant eu l'occasion de suivre le cours de géologie du Quaternaire qu'il enseignait à l'ULB, j'ai pu apprécier personnellement ses exceptionnelles qualités de pédagogue et ses talents de naturaliste lors des excursions sur le terrain. Par son dynamisme et la clarté de son enseignement, il réussissait à communiquer son enthousiasme à ses étudiants. Entre deux affleurements ou en fin de journée, il n'hésitait pas à faire un détour pour leur permettre d'admirer une église romane ou pour leur faire découvrir un vin de pays. Après sa retraite, il continua son enseignement de terrain avec des groupes de naturalistes.

Si Jean de Heinzelin se fit connaître grâce à ses qualités scientifiques de géologue stratigraphe, de paléontologue et de préhistorien, sa personnalité reflétait bien d'autres facettes. Il fut tout au long de son existence un amateur d'art éclairé. Il consacrait une part de ses loisirs à la recherche de meubles anciens qu'il restaurait dans son atelier et de tableaux modernes. Alors qu'il était encore étudiant, il destinait son argent de poche à l'acquisition de toiles dans les brocantes. Il fréquenta par la suite assidûment les salles de vente où son grand plaisir était de découvrir un tableau monogrammé de valeur au sein d'un lot médiocre bradé à bas prix. Il rassembla ainsi au fil des ans une collection unique de toiles, principalement d'artistes belges et de petits formats qui tapissaient les murs de sa maison de Kraainem, transformée en véritable musée d'art moderne. La géologie n'était pas négligée au sein de l'abondante documentation accompagnant sa collection. Lorsqu'une toile représentait un paysage agrémenté de montagnes, de collines ou de falaises, il tentait de les repérer géographiquement et de restituer la succession stratigraphique. Jean de Heinzelin avait cependant trois sujets de prédilection : l'Ecole pré-impressionniste de Tervuren, avec notamment des toiles de Joseph Coosemans et d'Hippolyte Boulenger, les œuvres réalisées en Belgique du peintre impressionniste américain Joseph Raphael et les paysages brabançons de Louis Crépin. Il légua les dix toiles qu'il avait rassemblées de ce dernier peintre au Musée Charlier de Saint-Josse-ten-Noode.

Michel DELIENS

SELECTION DE PUBLICATIONS DE J. DE HEINZELIN

- 1950 1. Stratigraphie du gisement paléolithique d'Otrange sur la base des résultats de la campagne de fouilles 1948. — *Bulletin de l'Institut royal des Sciences naturelles de Belgique*, **26** (17) : 1-32.
- 1954 2. GLIBERT, M. & DE HEINZELIN, J. L'Oligocène inférieur belge. — *In* : Jubilaire Victor Van Straelen, **1** : 281-438 + 7 pl.
- 1956 3. DE HEINZELIN, J. & MOLLARET, H. Biotopes de haute altitude, Ruwenzori I. — Exploration du Parc national Albert, Deuxième série (2), 31 pp., cartes et 6 pl.
- 1957 4. Les fouilles d'Ishango. — Institut des Parcs nationaux du Congo belge, Parc national du roi Albert, Mission J. de Heinzelin de Braucourt 1950, (2), 128 pp. + 446 pl. h.t.
- 1961 5. Le paléolithique aux abords d'Ishango. — Institut des Parcs nationaux du Congo et du Ruanda-Urundi, Exploration Parc National Albert, (6), 34 pp. + 47 pl.
- 1962 6. Ishango. — *Scientific American*, **206** (6) : 105-116.
7. Manuel de typologie des industries lithiques. — Patrimoine de l'Institut royal des Sciences naturelles de Belgique, 74 pp. + 50 pl.
- 1969 8. DE HEINZELIN, J. & BROWN, F. H. Some early Pleistocene deposits of the Lower Omo Valley : the Usno Formation. — *Quaternaria*, **11** : 31-46.
9. DE HEINZELIN, J., HAESAERTS, P. & VAN NOTEN, P. Géologie récente et préhistoire au Jebel Uweinat. — *Africa-Tervuren*, **15** (4) : 120-125.

- 1971 10. Observations sur la Formation de Shungura (Vallée de l'Omo, Ethiopie). — *C. R. de l'Académie des Sciences de Paris*, **272** : 2409-2411.
11. DE HEINZELIN, J., BROWN, F. H. & HOWELL, F. C. Pliocene/Pleistocene formations in the Lower Omo basin, Southern Ethiopia. — *Quaternaria*, **13** : 247-268.
- 1972 12. MERRICK, H., DE HEINZELIN, J. & HOWELL, F. C. Recent archaeological research in Omo Valley (summary). — *In* : VII Panafrican Prehistoric Congress (Addis-Ababa, 1972).
- 1973 13. BONNEFILLE, R., BROWN, F. H., CHAVAILLON, J. K., COPPENS, Y., HAESAERTS, P., DE HEINZELIN, J. & HOWELL, F. C. Situation stratigraphique des localités à Hominidés des gisements plio-pléistocènes de l'Omo en Ethiopie. — *C. R. de l'Académie des Sciences de Paris*, **276** (D21) : 2781-2784 et 2879-2882.
14. L'industrie du site paléolithique de Maisières-Canal. — *Mémoires de l'Institut royal des Sciences naturelles de Belgique*, **171** : 62 pp. + 45 pl. h.t.
15. Upper Palaeolithic geometry. — *Antiquity*, **188** : 297-298.
16. DE HEINZELIN, J., MERRICK, H. V., HAESAERTS, P. & HOWELL, F. C. Archaeological Occurrences of Early Pleistocene Age from the Shungura Formation, Lower Omo Valley, Ethiopia. — *Nature*, **242** (5400) : 572-575.
- 1974 17. DE HEINZELIN, J., HOWELL, F. C. & COPPENS, Y. Inventory of remains of Hominidae from Pliocene/pleistocene formations of the Lower Omo Basin, Ethiopia (1967-1972). With stratigraphical notes by J. de Heinzelin. — *American Journal Phys. Anthropology*, **40** (1) : 1-16.
- 1976 18. DE HEINZELIN, J., HAESAERTS, P. & HOWELL, F. C. Plio-Pleistocene formations of the Lower Omo Basin with particular reference to the Shungura Formation. Earliest Man and Environments in the Lake Rudolf Basin. — *In* : COPPENS, Y., HOWELL, F. C., ISAAC, G. L. & LEAKEY, R. E. F. (eds.), *Stratigraphy, Paleocology and Evolution*, University of Chicago Press, pp. 24-49.
- 1977 19. DE HEINZELIN, J., HAESAERTS, P. & DE LAET, S. J. *et al.* Le Gué du Plantin (Neufvilles, Hainaut), site néolithique et romain. — *Dissertationes archaeologicae Gandenses*, (Bruges), XVII.
- 1978 20. BOAZ, N. T., BROWN, F. H., DE HEINZELIN, J. & HOWELL, F. C. Stratigraphic Interpretation of the Omo Shungura and Lake Turkana Fossil Suid Record. — *Science*, **202** : 1309.
- 1979 21. Geological map of the Shungura Formation, South-Ethiopia (2 sheets Aerial Mosaics and 2 sheets Geology at 1/10.000). — Koninklijk Museum voor Midden-Afrika (Tervuren).
- 1982 22. The Lower Omo and Turkana Basin in Plio-Lower Pleistocene times. — *Zeitschrift für Geomorphologie, N.F. Suppl.*, *Bd* **42** : 35-41.
1983. 23. The Omo Group. Archives of the International Omo Research Expedition. — Koninklijk Museum voor Midden-Afrika, in-8°, **85**, 365 pp.
24. DE HEINZELIN, J. & EL-ARNAUTI, A. Geology of the Sahabi area with a stratigraphical chart. — *Museum for Central Africa*, Section of Cartography and air-photointerpretation.
- 1987 25. HOWELL, F. C., HAESAERTS, P. & DE HEINZELIN, J. Depositional environments, archaeological occurrences and hominids from Members E and F of the Shungura Formation (Omo basin, Ethiopia). — *Journal of Human Evolution*, **16** (7-8) : 665-700.

- 1990 26. HARRIS, J. W. K., WILLIAMSON, P. G., MORRIS, P. J., DE HEINZELIN, J., VERNIERS, J., HELGREN, D., BELLOMO, R. V., LADEN, G., SPANG, T. W., STEWART, K. & TAPPEN, M. Archaeology of the Lusso Beds. — *In* : BOAZ, N. T. (ed.), *Evolution of Environments and Hominidae in the African Western Rift. Memoir Virginia Museum of Natural History (Martinsville)*, **1**, pp. 237-272.
- 1992 27. BOAZ, N. T., BERNOR, R. L., BROOKS, A. S., COOKE, H. B. S., DE HEINZELIN, J., DESCHAMPS, R., DELSON, E., GENTRY, A. W., HARRIS, J. W. K., MEYLAN, P., PAVLAKIS, P. P., SANDERS, W. J., STEWART, K. M., VERNIERS, J., WILLIAMSON, P. G. & WINKLER, A. J. A new evaluation of the significance of the Late Neogene Lusso Beds, Upper Semliki Valley, Zaire. — *Journal of Human Evolution*, **22** : 505-517.
- 1993 28. WHITE, T. D., SUWA, G., HART, W. K., WALTER, R. C., WOLDE GABRIEL, G., DE HEINZELIN, J., CLARK, J. D., ASFAW, B. & VRBA, E. New discoveries of *Australopithecus* at Maka in Ehtiopia. — *Nature*, **366** : 261-265.
- 1994 29. CLARK, J. D., DE HEINZELIN, J., SCHICK, K. D., HART, W. K., WHITE, T. D., WOLDEGABRIEL, G., WALTER, R. C., SUWA, G., ASFAW, B., VRBA, E. & SELASSIE, Y. H. African *Homo erectus* : Old Radiometric Ages and Young Aldowan Assemblages in the Middle Awash Valley, Ethiopia. — *Science*, **264** : 1907-1910.
30. WOLDE GABRIEL, G., WHITE, T., SUWA, G., RENNE, P., DE HEINZELIN, J., HART, B. & HEIKEN, G. Ecological and Temporal placement of early Pliocen Hominids at Aramis, Ethiopia. — *Nature*, **371** : 330-333.
- 1996 31. DE HEINZELIN, J. & VERNIERS, J. Real in of the Upper Semliki (Eastern Zaïre). An essay on historical geology. With a geological map at 1/50.000. — *Musée royal d'Afrique centrale, Annales des Sciences Géologiques*, **102**, 87 pp. + 32 fig. + 1 carte.
32. SAHNOUNI, M., DE HEINZELIN, J. & SAOUDI, Y. Recherches récentes dans le gisement oldwaeyen d'Ain Hanech, Algérie : stratigraphie, chronologie, paléontologie et archéologie. — *C. R. de l'Académie des Sciences de Paris*, **323** (IIa) : 633-644.

DISTINCTIONS

- Prix Adolphe Wetrems (1953) et prix Victor Van Straelen (1973) de l'Académie Royale de Belgique ;
- Prix des Laboratoires (1959) de l'Académie des Sciences de Paris ;
- Commandeur de l'Ordre de la Couronne (1972) ;
- Croix civique de Première Classe (1979) ;
- Grand Officier de l'Ordre de Léopold (1983) ;
- Gewoon Hoogleraar Emeritus RUG (arrêté royal du 14.11.1984) ;
- Professeur honoraire ULB. (1986) ;
- Membre associé de la Classe des Sciences naturelles et Médicales de l'Académie Royale des Sciences d'Outre-Mer (6 décembre 1977) ; membre associé honoraire (11 octobre 1985).

NOTULEN — PROCES-VERBAUX

Klasse voor Morele en Politieke Wetenschappen

Zitting van 18 april 2000

(Uittreksel van de notulen)

De zitting wordt om 14 u. 30 geopend door de Heer J.-L. Vellut, Directeur, bijgestaan door Mevr. Y. Verhasselt, Vast Secretaris.

Zijn bovendien aanwezig : Mevr. P. Boelens-Bouvier, de Heer F. de Hen, E. P. J. Denis, de HH. A. Huybrechts, J. Jacobs, J. Klener, R. Rezsóhazy, A. Stenmans, werkende leden; de HH. V. Drachoussoff, S. Plasschaert, P. Raymaekers, C. Sturtewagen, geassocieerde leden.

Betuigden hun spijt niet aan de zitting te kunnen deelnemen : de HH. H. Baetens Beardsmore, P. de Maret, G. de Villers, R. Devisch, Mevr. M. Engelborghs-Bertels, de HH. P. Petit, F. Reyntjens, E. Vandewoude, U. Vermeulen.

„Quelle population pour une société mondialisée ? Le problème vu du Brésil”

E. P. J. Denis stelt een mededeling voor van E. P. T. Linard de Guertechin en getiteld als hierboven.

De HH. A. Huybrechts, P. Raymaekers, S. Plasschaert, J.-L. Vellut, Mevr. P. Bouvier en de Heer A. Stenmans nemen aan de bespreking deel.

Na discussie, beslist de Klasse deze tekst niet te publiceren.

Inventaris van de werkzaamheden betreffende Latijns-Amerika

Onlangs werd een werkgroep opgericht om enerzijds een activiteit te organiseren over het thema Latijns-Amerika en anderzijds, op langere termijn, een commissie op te richten.

Wat de organisatie van de activiteit betreft, verkiest de werkgroep zich op Bolivië toe te leggen, meer bepaald omwille van de nakende ondertekening van een samenwerkingsmemorandum met de Boliviaanse Academie voor Wetenschappen.

De zitting wordt om 17 u. geheven.

Classe des Sciences morales et politiques

Séance du 18 avril 2000

(Extrait du procès-verbal)

La séance est ouverte à 14 h 30 par M. J.-L. Vellut, Directeur, assisté de Mme Y. Verhasselt, Secrétaire perpétuelle.

Sont en outre présents : Mme P. Boelens-Bouvier, M. F. de Hen, R. P. J. Denis, MM. A. Huybrechts, J. Jacobs, J. Klener, R. Rezsóhazy, A. Stenmans, membres titulaires; MM. V. Drachousoff, S. Plasschaert, P. Raymaekers, C. Sturtewagen, membres associés.

Ont fait part de leur regret de ne pouvoir assister à la séance : MM. H. Baetens Beardsmore, P. de Maret, G. de Villers, R. Devisch, Mme M. Engelborghs-Bertels, MM. P. Petit, F. Reyntjens, E. Vandewoude, U. Vermeulen.

Quelle population pour une société mondialisée ?

Le problème vu du Brésil

Le R. P. J. Denis présente une communication dont l'auteur est le R. P. T. Linard de Guertechin et intitulée comme ci-dessus.

MM. A. Huybrechts, P. Raymaekers, S. Plasschaert, J.-L. Vellut, Mme P. Bouvier et M. A. Stenmans interviennent dans la discussion.

Suite à la discussion, la Classe décide de ne pas publier cette étude.

Inventaire des activités concernant l'Amérique latine

Un groupe de travail a été récemment constitué avec un double objectif : d'une part, organiser une activité sur le thème de l'Amérique latine et, d'autre part, à plus long terme, créer une commission.

En ce qui concerne l'organisation d'une activité, le groupe de travail a choisi de se concentrer sur la Bolivie en raison notamment de la signature prochaine d'un mémorandum de coopération avec l'Académie des Sciences de ce pays.

La séance est levée à 17 h.

Klasse voor Morele en Politieke Wetenschappen

Zitting van 16 mei 2000

(Uittreksel van de notulen)

De zitting wordt om 14 u. 30 geopend door de Heer J.-L. Vellut, Directeur, bijgestaan door Mevr. Y. Verhasselt, Vast Secretaris.

Zijn bovendien aanwezig : Mevr. P. Boelens-Bouvier, de HH. E. Haerinck, J. Jacobs, J. Klener, P. Salmon, J. Stengers, A. Stenmans, J. Vanderlinden, T. Verhelst, werkende leden; de HH. G. de Villers, V. Drachoussoff, C. Sturtewagen, Mevr. B. Vanhoudt, geassocieerde leden ; E. P. H. Vinck, corresponderend lid ; de HH. M. Lechat, H. Nicolai, leden van de Klasse voor Natuur- en Geneeskundige Wetenschappen.

Betuygden hun spijt niet aan de zitting te kunnen deelnemen : de HH. H. Baetens Beardsmore, F. De Boeck, F. de Hen, R. Devisch, M. Graulich, S. Plasschaert, P. Raymaekers, F. Reyntjens, R. Rezsohazy, P. Salmon, E. Vandewoude, U. Vermeulen, C. Willemen, J.J. Symoens, Erevast Secretaris.

Overlijden van de Heer Alfred Cahen

De Directeur kondigt het overlijden aan op 19 april 2000 te Brussel van de Heer Alfred Cahen, werkend lid.

Hij geeft een bondig overzicht van de loopbaan van de overleden Confrater.

De Klasse neemt een minuut stilte waar ter nagedachtenis van de overledene.

De Heer J. Vanderlinden zal de lofrede van de Heer Cahen opstellen.

„La répression de la révolte des Pende du Kwango en 1931”

De Heer L.-F. Vanderstraeten, voorgesteld door de Commissie voor Geschiedenis, stelt een mededeling voor getiteld als hierboven.

Mevr. B. Vanhoudt, de HH. J. Stengers, H. Nicolai, A. Stenmans, J. Vanderlinden, J. L. Vellut en P. Salmon nemen aan de bespreking deel.

De Klasse beslist deze studie in de reeks *Verhandelingen* te publiceren.

„Les droits africains entre positivisme et pluralisme”

De Heer J. Vanderlinden stelt een mededeling voor getiteld als hierboven.

Mevr. B. Vanhoudt, de HH. T. Verhelst, J. Stengers en G. de Villers nemen aan de bespreking deel.

Classe des Sciences morales et politiques

Séance du 16 mai 2000

(Extrait du procès-verbal)

La séance est ouverte à 14 h 30 par M. J.-L. Vellut, Directeur, assisté de Mme Y. Verhasselt, Secrétaire perpétuelle.

Sont en outre présents : Mme P. Boelens-Bouvier, MM. E. Haerinck, J. Jacobs, J. Klener, P. Salmon, J. Stengers, A. Stenmans, J. Vanderlinden, T. Verhelst, membres titulaires; MM. G. de Villers, V. Drachoussoff, C. Sturtewagen, Mme B. Vanhoudt, membres associés ; R. P. H. Vinck, membre correspondant ; MM. M. Lechat, H. Nicolaï, membres de la Classe des Sciences naturelles et médicales.

Ont fait part de leur regret de ne pouvoir assister à la séance : MM. H. Baetens Beardsmore, F. De Boeck, F. de Hen, R. Devisch, M. Graulich, S. Plasschaert, P. Raymaekers, F. Reyntjens, R. Rezsohazy, P. Salmon, E. Vandewoude, U. Vermeulen, C. Willemen, J.J. Symoens, Secrétaire perpétuel honoraire.

Décès de M. Alfred Cahen

Le Directeur annonce le décès de M. Alfred Cahen, membre titulaire, survenu à Bruxelles le 19 avril 2000.

Il décrit brièvement la carrière du Confrère disparu.

La Classe observe une minute de silence à la mémoire du défunt.

M. J. Vanderlinden rédigera l'éloge de M. Cahen.

La répression de la révolte des Pende du Kwango en 1931

M. L.-F. Vanderstraeten, proposé par la Commission d'Histoire, présente une communication intitulée comme ci-dessus.

Mme B. Vanhoudt, MM. J. Stengers, H. Nicolaï, A. Stenmans, J. Vanderlinden, J. L. Vellut et P. Salmon interviennent dans la discussion.

La Classe décide de publier cette étude dans la série des *Mémoires*.

Les droits africains entre positivisme et pluralisme

M. J. Vanderlinden présente une communication intitulée comme ci-dessus.

Mme B. Vanhoudt, MM. T. Verhelst, J. Stengers et G. de Villers interviennent dans la discussion.

Vooraleer zijn tekst in te dienen, wenst de Heer Vanderlinden te vernemen of hij hem op het Internet mag plaatsen mits vermelding van de exacte publicatiereferenties. De Vast Secretaris zal het Bureau en de Bestuurscommissie hiervoor toestemming vragen.

Wedstrijd 2000

Eén werk werd regelmatig ingediend in antwoord op de eerste vraag van de Wedstrijd 2000 „Er wordt een studie gevraagd over de materiële cultuur in de vroege IJzertijd in Luristan, Pusht-i Kuh (West-Iran)”, namelijk :

Bruno OVERLAET : De vroege IJzertijd in de Pusht-i Kuh, Luristan. Resultaten van 15 Archeologische Expedities in West-Iran (1965-1979). — 2 delen, 263 + 380 pp.

De HH. R. Anciaux, E. Haerinck en J. Klener worden als verslaggever aangeduid.

Twee werken werden regelmatig ingediend in antwoord op de tweede vraag van de Wedstrijd 2000 „Er wordt een kritische studie gevraagd over de vroegste Europese verslagen over het Oude Mexico”, namelijk :

Rose LEMA (1998) : Los diálogos del Calepino de Motul : exploraciones en la historiografía de la otredad. — 2 delen, 379 pp.

Sabine MUND : Les rapports complexes de l'Historia verdadera de Bernal Díaz avec la vérité. — 107 pp.

De HH. P. Collard, J. Everaert en M. Graulich worden als verslaggever aangeduid.

De zitting wordt om 17 u. 30 geheven.

Avant de soumettre son texte, M. Vanderlinden souhaite savoir s'il peut être mis sur Internet tout en mentionnant les références exactes de sa publication. La Secrétaire perpétuelle demandera l'approbation au Bureau et à la Commission administrative.

Concours 2000

Un travail a été introduit régulièrement en réponse à la première question du Concours 2000, intitulée : «On demande une étude sur la culture matérielle à l'âge du fer ancien au Luristan, Pusht-i Kuh (Iran occidental)», à savoir :

Bruno OVERLAET : *De vroege IJzertijd in de Pusht-i Kuh, Luristan. Resultaten van 15 Archeologische Expedities in West-Iran (1965-1979)*. — 2 volumes, 263 + 380 pp.

MM. R. Anciaux, E. Haerinck et J. Klener sont désignés en qualité de rapporteur.

Deux travaux ont été introduits régulièrement en réponse à la deuxième question du Concours 2000 intitulée : «On demande une étude critique des premières relations européennes relatives au Mexique ancien», à savoir :

Rose LEMA (1998) : *Los diálogos del Calepino de Motul : exploraciones en la historiografía de la otredad*. — 2 volumes, 379 pp.

Sabine MUND : *Les rapports complexes de l'Historia verdadera de Bernal Díaz avec la vérité*. — 107 pp.

MM. P. Collard, J. Everaert et M. Graulich sont désignés en qualité de rapporteur.

La séance est levée à 17 h 30.

Klasse voor Morele en Politieke Wetenschappen

Zitting van 20 juni 2000

(Uittreksel van de notulen)

De zitting wordt om 14 u. 30 geopend door de Heer J.-L. Vellut, Directeur, bijgestaan door Mevr. Y. Verhasselt, Vast Secretaris.

Zijn bovendien aanwezig : de HH. H. Baetens Beardsmore, F. de Hen, J. Everaert, M. Graulich, J. Jacobs, J. Ryckmans, werkende leden; de HH. S. Plasschaert, C. Sturtewagen, C. Willemen, geassocieerde leden.

Betuigden hun spijt niet aan de zitting te kunnen deelnemen : de Heer R. Anciaux, Mevr. P. Boelens-Bouvier, de Heer P. Collard, Mevr. D. de Lame, de Heer G. de Villers, Mevr. M. Engelborghs-Bertels, de HH. E. Haerinck, A. Huybrechts, J. Klener, P. Raymaekers, F. Reyntjens, R. Rezsóhazy, P. Salmon, A. Stenmans, E. Vandewoude, de Heer J.-J. Symoens, Erevast Secretaris.

De fiscale problematiek van multinationale ondernemingen in de Volksrepubliek China

De Heer S. Plasschaert stelt een mededeling voor getiteld als hierboven.

Mevr. Y. Verhasselt en de HH. J. Jacobs, J.-L. Vellut en C. Willemen nemen aan de bespreking deel.

De Klasse beslist deze studie in de *Mededelingen der Zittingen* te publiceren.

Wedstrijd 2000

Eén werk werd ingediend in antwoord op de eerste vraag van de Wedstrijd 2000 „Er wordt een studie gevraagd over de materiële cultuur in de vroege IJzertijd in Luristan, Pusht-i Kuh (West-Iran)”, namelijk :

Bruno OVERLAET : De vroege IJzertijd in de Pusht-i Kuh, Luristan. Resultaten van 15 Archeologische Expedities in West-Iran (1965-1979). — 2 delen, 263 + 380 pp.

Na de verslagen van de HH. R. Anciaux, E. Haerinck en J. Klener gehoord te hebben beslist de Klasse de prijs ter waarde van 30 000 BEF aan de Heer Overlaet toe te kennen. Hij zal de titel van „Laureaat van de Koninklijke Academie voor Overzeese Wetenschappen” dragen. De Klasse beslist ook het werk in de reeks *Verhandelingen* te publiceren.

Classe des Sciences morales et politiques

Séance du 20 juin 2000

(Extrait du procès-verbal)

La séance est ouverte à 14 h 30 par M. J.-L. Vellut, Directeur, assisté de Mme Y. Verhasselt, Secrétaire perpétuelle.

Sont en outre présents : MM. H. Baetens Beardsmore, F. de Hen, J. Everaert, M. Graulich, J. Jacobs, J. Ryckmans, membres titulaires; MM. S. Plasschaert, C. Sturtewagen, C. Willemen, membres associés.

Ont fait part de leur regret de ne pouvoir assister à la séance : M. R. Anciaux, Mme P. Boelens-Bouvier, M. P. Collard, Mme D. de Lame, M. G. de Villers, Mme M. Engelborghs-Bertels, MM. E. Haerinck, A. Huybrechts, J. Klener, P. Raymaekers, F. Reyntjens, R. Rezsohazy, P. Salmon, A. Stenmans, E. Vandewoude, M. J.-J. Symoens, Secrétaire perpétuel honoraire.

«De fiscale problematiek van multinationale ondernemingen in de Volksrepubliek China»

M. S. Plasschaert présente une communication intitulée comme ci-dessus. Mme Y. Verhasselt et MM. J. Jacobs, J.-L. Vellut, C. Willemen prennent part à la discussion.

La Classe décide de publier cette étude dans le *Bulletin des Séances*.

Concours 2000

Un travail a été introduit régulièrement en réponse à la première question du Concours 2000, intitulée : «On demande une étude sur la culture matérielle à l'âge du fer ancien au Luristan, Pusht-i Kuh (Iran occidental)», à savoir :

Bruno OVERLAET : *De vroege IJzertijd in de Pusht-i Kuh, Luristan. Resultaten van 15 Archeologische Expedities in West-Iran (1965-1979)*. — 2 delen, 263 + 380 pp.

Après avoir entendu les rapports de MM. R. Anciaux, E. Haerinck et J. Klener, la Classe décide d'attribuer le prix de 30 000 FB à M. Overlaet. Il portera le titre de «Lauréat de l'Académie Royale des Sciences d'Outre-Mer». La Classe décide également de publier le travail dans la série des *Mémoires*.

Twee werken werden regelmatig ingediend in antwoord op de tweede vraag van de Wedstrijd 2000 „Er wordt een kritische studie gevraagd over de vroegste Europese verslagen over het Oude Mexico” namelijk :

LEMA, R. 1998. Los diálogos del Calepino de Motul : exploraciones en la historiografía de la otredad. — 2 delen, 379 pp.

MUND, S. : Les rapports complexes de l'Historia verdadera de Bernal Dfáz avec la vérité. — 107 pp.

Na de verslagen van de HH. P. Collard, J. Everaert en M. Graulich gehoord te hebben, beslist de Klasse de prijs ter waarde van 30 000 BEF aan Mevr. Mund toe te kennen. Zij zal de titel van „Laureate van de Koninklijke Academie voor Overzeese Wetenschappen” dragen. De Klasse beslist ook het werk in de reeks *Verhandelingen* te publiceren.

Benoemingen

Bij koninklijk besluit van 14 mei 2000 werd de Heer Patrice Collard tot werkend lid benoemd.

Bij ministerieel besluit van 8 mei 2000 werd de Heer Jean-Baptiste Kiethéga tot corresponderend lid benoemd.

Academische onderscheiding

De Heer P. de Maret werd tot rector van de „Université Libre de Bruxelles” verkozen.

De zitting wordt om 17 u. 40 gegeven.

Deux travaux ont été introduits régulièrement en réponse à la deuxième question du Concours 2000, intitulée «On demande une étude critique des premières relations européenne relatives au Mexique ancien», à savoir :

LEMA, R. 1998. Los diálogos del Calepino de Motul : exploraciones en la historiografía de la otredad. — 2 volumes, 379 pp.

MUND, S. : Les rapports complexes de l'Historia verdadera de Bernal Díaz avec la vérité. — 107 pp.

Après avoir entendu les rapports de MM. P. Collard, J. Everaert et M. Graulich, la Classe décide d'attribuer le prix de 30 000 FB à Mme Mund. Elle portera le titre de «Lauréate de l'Académie Royale des Science d'Outre-Mer». La Classe décide également de publier le travail dans la série des *Mémoires*.

Nominations

Par arrêté royal du 14 mai 2000 M. Patrice Collard a été nommé membre titulaire.

Par arrêté ministériel du 8 mai 2000 M. Jean-Baptiste Kiéthega a été nommé membre correspondant.

Distinction académique

M. P. de Maret a été élu recteur de l'Université Libre de Bruxelles.

La séance est levée à 17 h 40.

Klasse voor Natuur- en Geneeskundige Wetenschappen

Zitting van 25 april 2000

(Uittreksel van de notulen)

De zitting wordt om 14 u. 30 geopend door de Heer M. Wéry, Directeur, bijgestaan door Mevr. Y. Verhasselt, Vast Secretaris.

Zijn bovendien aanwezig : de HH. J. Alexandre, I. Beghin, M. De Dapper, L. Eyckmans, A. Fain, P. Gigase, P. Goyens, J.-M. Jadin, P.G. Janssens, F. Malaisse, J. Mortelmans, H. Nicolaï, J. Rammeloo, E. Robbrecht, J.-J. Symoens, C. Sys, D. Thys van den Audenaerde, P. Van der Veken, E. Van Ranst, werkende leden ; de HH. E. Coppejans, A. Lawalrée, S. Pattyn, E. Roche, geassocieerde leden ; de Heer G. Demarée, lid van de Klasse voor Technische Wetenschappen.

Betuigden hun spijt niet aan de zitting te kunnen deelnemen : de HH. J. Bolyn, M. Deliens, A. de Scoville, J. D'Hoore, R. Dudal, C. Fieremans, M. Frère, S. Geerts, H. Maraitte, J.-C. Micha, A. Ozer, G. Stoops, Mevr. D. Swinne, de HH. L. Tack, E. Tollens, H. Vis.

Reconstructie van de klimaatgeschiedenis van Afrika over de laatste 1000 jaar

De Heer D. Verschuren, laureaat 1999 van de Jean-Jacques en Berthe Symoensprijs voor Tropische Limnologie, stelt een mededeling voor getiteld als hierboven.

De HH. M. De Dapper, E. Van Ranst en D. Thys van den Audenaerde nemen aan de bespreking deel.

„Aspects écologiques de l'impact du barrage de Diama sur le delta du fleuve Sénégal”

De Heer F. Malaisse stelt een mededeling voor getiteld als hierboven.

De HH. S. Pattyn, I. Beghin, D. Thys van den Audenaerde en J.-M. Jadin nemen aan de bespreking deel.

De Klasse beslist deze studie in de *Mededelingen der Zittingen* te publiceren.

Inventaris van de werkzaamheden betreffende Latijns-Amerika

Onlangs werd een werkgroep opgericht om enerzijds een activiteit te organiseren over het thema Latijns-Amerika en anderzijds, op langere termijn, een commissie op te richten.

Classe des Sciences naturelles et médicales

Séance du 25 avril 2000

(Extrait du procès-verbal)

La séance est ouverte à 14 h 30 par M. M. Wéry, Directeur, assisté de Mme Y. Verhasselt, Secrétaire perpétuelle.

Sont en outre présents : MM. J. Alexandre, I. Beghin, M. De Dapper, L. Eyckmans, A. Fain, P. Gigase, P. Goyens, J.-M. Jadin, P.G. Janssens, F. Malaisse, J. Mortelmans, H. Nicolai, J. Rammeloo, E. Robbrecht, J.-J. Symoens, C. Sys, D. Thys van den Audenaerde, P. Van der Veken, E. Van Ranst, membres titulaires ; MM. E. Coppejans, A. Lawalrée, S. Pattyn, E. Roche, membres associés ; M. G. Demarée, membre de la Classe des Sciences techniques.

Ont fait part de leur regret de ne pouvoir assister à la séance : MM. J. Bolyn, M. Deliens, A. de Scoville, J. D'Hoore, R. Dudal, C. Fieremans, M. Frère, S. Geerts, H. Maraite, J.-C. Micha, A. Ozer, G. Stoops, Mme D. Swinne, MM. L. Tack, E. Tollens, H. Vis.

«Reconstructie van de klimaatgeschiedenis van Afrika over de laatste 1000 jaar»

M. D. Verschuren, lauréat 1999 du Prix Jean-Jacques et Berthe Symoens de Limnologie tropicale, présente une communication intitulée comme ci-dessus.

MM. M. De Dapper, E. Van Ranst et D. Thys van den Audenaerde prennent part à la discussion.

Aspects écologiques de l'impact du barrage de Diama sur le delta du fleuve Sénégal

M. F. Malaisse présente une communication intitulée comme ci-dessus.

MM. S. Pattyn, I. Beghin, D. Thys van den Audenaerde et J.-M. Jadin interviennent dans la discussion.

La Classe décide de publier cette étude dans le *Bulletin des Séances*.

Inventaire des activités concernant l'Amérique latine

Un groupe de travail a été récemment constitué avec un double objectif : d'une part, organiser une activité sur le thème de l'Amérique latine et, d'autre part, à plus long terme, créer une commission.

Wat de organisatie van de activiteit betreft, verkiest de werkgroep zich op Bolivië toe te leggen meer bepaald omwille van de nakende ondertekening van een samenwerkingsmemorandum met de Boliviaanse Academie voor Wetenschappen.

De zitting wordt om 17 u. 25 geheven.

En ce qui concerne l'organisation d'une activité, le groupe de travail a choisi de se concentrer sur la Bolivie en raison notamment de la signature prochaine d'un mémorandum de coopération avec l'Académie des Sciences de ce pays.

La séance est levée à 17 h 25.

Klasse voor Natuur- en Geneeskundige Wetenschappen

Zitting van 23 mei 2000

(Uittreksel van de notulen)

De zitting wordt om 14 u. 30 geopend door de Heer M. Wéry, Directeur, bijgestaan door Mevr. Y. Verhasselt, Vast Secretaris.

Zijn bovendien aanwezig : de HH. J. Alexandre, I. Beghin, J. Bouharmont, M. De Dapper, E. De Langhe, J. Delhal, M. Deliëns, J. D'Hoore, L. Eyckmans, C. Fieremans, P. Gigase, P. Goyens, J.-M. Jadin, F. Malaisse, J. Meyer, E. Robbrecht, G. Stoops, C. Sys, werkende leden ; de HH. A. de Scoville, R. Dudal, A. Ozer, geassocieerde leden ; de Heer R. Branckaert, corresponderend lid ; de Heer Jacques Charlier, Voorzitter van de Academie ; de Heer R. Paepe, lid van de Klasse voor Technische Wetenschappen.

Betuïgden hun spijt niet aan de zitting te kunnen deelnemen : de HH. J. Belot, J. Bolyn, A. Fain, M. Frère, S. Geerts, P.G. Janssens, A. Lawalrée, M. Lechat, H. Maraite, J.-C. Micha, J. Mortelmans, H. Nicolăi, S. Pattyn, J. Rammeloo, R. Swennen, Mevr. D. Swinne, de HH. J.-J. Symoens, L. Tack, D. Thys van den Audenaerde, P. Van der Veken, E. Van Ranst, J. Vercruyse, H. Vis.

Een globale benadering van de groei en de ontwikkeling van kinderen

De Heer P. Kolsteren, Eenheid Voeding, Prins Leopold Instituut voor Tropische Geneeskunde, stelt een mededeling voor getiteld als hierboven.

De HH. L. Eyckmans, R. Dudal en P. Goyens nemen aan de bespreking deel.

De HH. P. Gigase en Goyens aanvaardden de taak van verslaggever.

Debat : Global Warming and Developing Countries

Tijdens het Internationaal Colloquium „Developing Countries Facing Global Warming : Kyoto 1997 and Beyond” van 29 november 1999 was er geen tijd voorzien voor discussie. Vandaar het debat van vandaag, geleid door de Voorzitter van de Werkgroep „Global Warming”, de Heer M. De Dapper, en ingeleid door één van de sprekers, m.n. de Heer J.-P. van Ypersele van het „Institut d'Astronomie et Géophysique G. Lemaître”, U.C.L.

De HH. R. Paepe, J. Meyer, R. Dudal, E. De Langhe en A. Ozer nemen aan het debat deel.

Classe des Sciences naturelles et médicales

Séance du 23 mai 2000

(Extrait du procès-verbal)

La séance est ouverte à 14 h 30 par M. M. Wéry, Directeur, assisté de Mme Y. Verhasselt, Secrétaire perpétuelle.

Sont en outre présents : MM. J. Alexandre, I. Beghin, J. Bouharmont, M. De Dapper, E. De Langhe, J. Delhal, M. Deliens, J. D'Hoore, L. Eyckmans, C. Fieremans, P. Gigase, P. Goyens, J.-M. Jadin, F. Malaisse, J. Meyer, E. Robbrecht, G. Stoops, C. Sys, membres titulaires ; MM. A. de Scoville, R. Dudal, A. Ozer, membres associés ; M. R. Branckaert, membre correspondant ; M. Jacques Charlier, Président de l'Académie ; M. R. Paepe, membre de la Classe des Sciences techniques.

Ont fait part de leur regret de ne pouvoir assister à la séance : MM. J. Belot, J. Boly, A. Fain, M. Frère, S. Geerts, P.G. Janssens, A. Lawalrée, M. Lechat, H. Maraitte, J.-C. Micha, J. Mortelmans, H. Nicolai, S. Pattyn, J. Rammeloo, R. Swennen, Mme D. Swinne, MM. J.-J. Symoens, L. Tack, D. Thys van den Audenaerde, P. Van der Veken, E. Van Ranst, J. Vercruyse, H. Vis

«Een globale benadering van de groei en de ontwikkeling van kinderen»

M. P. Kolsteren, Unité de nutrition, Institut de Médecine tropicale Prince Léopold, présente une communication intitulée comme ci-dessus.

MM. L. Eyckmans, R. Dudal et P. Goyens interviennent dans la discussion.

MM. P. Gigase et Goyens acceptent la tâche de rapporteur.

Débat : Global Warming and Developing Countries

Lors du colloque international «Developing Countries Facing Global Warming : Kyoto 1997 and Beyond» du 29 novembre 1999, il n'y avait pas de discussion prévue. D'où le débat d'aujourd'hui, dirigé par le Président du Groupe de travail «Global Warming», M. M. De Dapper, et introduit par l'un des orateurs, M. J.-P. van Ypersele de l'Institut d'Astronomie et Géophysique G. Lemaître de l'U.C.L.

MM. R. Paepe, J. Meyer, R. Dudal, E. De Langhe et A. Ozer interviennent dans le débat.

Wedstrijd 2000

Twee werken werden regelmatig ingediend in antwoord op de derde vraag van de Wedstrijd 2000 „Er wordt een oorspronkelijk werk gevraagd dat een toepassing is van de teledetectietechnieken met satellieten op de studie van de tropische vegetatie”, namelijk :

Farid DAHDOUH-GUEBAS 1999. Tropical Coastal Ecosystems : The effects of long- and short-term changes in groundwater flow on seagrass distributions in Florida and Kenya. — Thesis submitted for receiving the legal degree of Master in Advanced Studies in Human Ecology, Vrije Universiteit Brussel, 86 pp. + bijlagen.

Carine PETIT 2000. Quantifying processes of land-cover change by remote sensing : Resettlement and rapid land-cover changes in south-eastern Zambia (Part 1). Detecting land-cover change on the basis of data from different sources : A methodology for data integration (Part 2) — 30 + 28 pp. + figs.

De HH. A. Ozer, F. Malaisse en M. De Dapper worden als verslaggever aangeduid.

Drie werken werden regelmatig ingediend in antwoord op de vierde vraag van de Wedstrijd 2000 „Er wordt een methodologische studie gevraagd over het meten van de voedselzekerheid (*food security*) op het niveau van bevolkingsgroepen met het oog op het toezicht op deze zekerheid en/of het opvolgen van ingrepen om ze te verzekeren”, namelijk :

Anonymous. Petri dish-Elisa : An economic technique for detecting viruses in contaminated seeds — 9 pp. + figs.

Stijn HUYSMAN, Hannelore BEERLANDT & M. C. SHAND 1999. Food Security in Kagera Region. Final Report & Risk maps. — Study of Food Security Situation in the Kagera Region, Tanzania (Kafosec-Research project) — 113 pp. + bijlagen.

Nathalie STEPHENNE. Un modèle dynamique de l'utilisation du sol en Afrique de l'Ouest — 79 pp.

De HH. I. Beghin, M. Frère en J.-J. Symoens worden als verslaggever aangeduid.

Lucien Cahenprijs 2000

Drie werken werden regelmatig ingediend met het oog op de toekenning van de Lucien Cahenprijs :

COOLS, Nathalie 1998. Geografische analyse van het risico op bodemverzuuring ten gevolge van zwavelgebruik in de cashewteelt in Zuid-Tanzania. —

Concours 2000

Deux travaux ont été introduits en réponse à la troisième question du Concours 2000 intitulée «On demande un travail original constituant une application des techniques de télédétection par satellite à l'étude de la végétation tropicale», à savoir :

Farid DAHDOUH-GUEBAS 1999. Tropical Coastal Ecosystems : The effects of long- and short-term changes in groundwater flow on seagrass distributions in Florida and Kenya. — Thesis submitted for receiving the legal degree of Master in Advanced Studies in Human Ecology, Vrije Universiteit Brussel — 86 pp. + bijlagen.

Carine PETIT 2000. Quantifying processes of land-cover change by remote sensing : Resettlement and rapid land-cover changes in south-eastern Zambia (Part 1). Detecting land-cover change on the basis of data from different sources : A methodology for data integration (Part 2) — 30 + 28 pp. + figs.

MM. A. Ozer, F. Malaisse et M. De Dapper sont désignés en qualité de rapporteur.

Trois travaux ont été introduits en réponse à la quatrième question du Concours 2000 intitulée «On demande une étude méthodologique sur la mesure de la sécurité alimentaire (*food security*) au niveau de groupes de populations, destinée à la surveillance et/ou au suivi d'interventions visant à la garantir», à savoir :

Anonymous. Petri dish-Elisa : An economic technique for detecting viruses in contaminated seeds — 9 pp. + figs.

Stijn HUYSMAN, Hannelore BEERLANDT & M. C. SHAND 1999. Food Security in Kagera Region. Final Report & Risk maps. — Study of Food Security Situation in the Kagera Region, Tanzania (Kafosec-Research project) — 113 pp. + bijlage.

Nathalie STEPHENNE. Un modèle dynamique de l'utilisation du sol en Afrique de l'Ouest — 79 pp.

MM. I. Beghin, M. Frère et J.-J. Symoens sont désignés en qualité de rapporteur.

Prix Lucien Cahen 2000

Trois travaux ont été introduits régulièrement en vue de l'obtention du Prix Lucien Cahen 2000 :

COOLS, Nathalie 1998. Geografische analyse van het risico op bodemverzuring ten gevolge van zwavelgebruik in de cashewteelt in Zuid-Tanzania. —

Eindverhandeling voorgedragen tot het behalen van de graad van Bio-Ingenieur in het Land- en Bosbeheer, K.U. Leuven, 136 pp.

DE CORTE, Katrien 2000. Study of Microdiamonds from UHP Metamorphic Rocks of the Kokchetav Massif (Northern Kazakhstan): Characterization and Genesis. — Thesis submitted in fulfilment of the requirements for the degree of Doctor (Ph.D.) in Sciences, Universiteit Gent, 173 pp.

EL FADILI, Saïd 1998. Petrogenèse des nodules d'éclogites des kimberlites de Mbuji Mayi (R. D. Congo, ex-Zaïre). Etude pétrologique et géochimique. — Thèse présentée pour l'obtention du grade de Docteur en Sciences, Université Libre de Bruxelles, 295 pp.

Op basis van het verslag van de Selectiecommissie beslist de Klasse eenparig de prijs aan de Heer Saïd El Fadili toe te kennen.

De prijs ter waarde van 100 000 BEF zal hem tijdens de academische openingszitting van 19 oktober overhandigd worden. De auteur zal de titel van „Laureaat van de Lucien Cahenprijs” dragen.

De zitting wordt om 17 u. 20 geheven.

Eindverhandeling voorgedragen tot het behalen van de graad van Bío-Ingenieur in het Land- en Bosbeheer, K.U. Leuven, 136 pp.

DE CORTE, Katrien 2000. Study of Microdiamonds from UHP Metamorphic Rocks of the Kokchetav Massif (Northern Kazakhstan) : Characterization and Genesis. — Thesis submitted in fulfilment of the requirements for the degree of Doctor (Ph.D.) in Sciences, Universiteit Gent, 173 pp.

EL FADILI, Saïd 1998. Petrogenèse des nodules d'éclogites des kimberlites de Mbuji Mayi (R. D. Congo, ex-Zaire). Etude pétrologique et géochimique. — Thèse présentée pour l'obtention du grade de Docteur en Sciences, Université Libre de Bruxelles, 295 pp.

Sur base du rapport de la Commission de Sélection, la Classe décide à l'unanimité d'attribuer le Prix à M. Saïd El Fadili.

Le Prix d'un montant de 100 000 FB lui sera remis lors de la séance académique d'ouverture du 19 octobre. L'auteur portera le titre de «Lauréat du Prix Lucien Cahen».

La séance est levée à 17 h 20.

Klasse voor Natuur- en Geneeskundige Wetenschappen

Zitting van 27 juni 2000

(Uittreksel van de notulen)

De zitting wordt om 14 u. 30 geopend door de Heer M. Wéry, Directeur, bijgestaan door Mevr. Y. Verhasselt, Vast Secretaris.

Zijn bovendien aanwezig : de HH. J. Alexandre, I. Beghin, J. Bouharmont, E. De Langhe, J. D'Hoore, P. Gigase, J.-M. Jadin, P.G. Janssens, M. Lechat, J. Mortelmans, G. Stoops, Mevr. D. Swinne, de HH. J.-J. Symoens, C. Sys, P. Van der Veken, werkende leden ; de HH. J. Belot, J. Bolyn, A. Ozer, geassocieerde leden ; de Heer J.-P. Malingreau, corresponderend lid.

Betuigden hun spijt niet aan de zitting te kunnen deelnemen : de HH. E. Coppejans, M. De Dapper, B. Delvaux, A. de Scoville, R. Dudal, L. Eyckmans, A. Fain, M. Frère, S. Geerts, P. Goyens, F. Malaisse, H. Maraite, J. Meyer, J.-C. Micha, H. Nicolaï, S. Pattyn, Mevr. F. Portaels, de HH. J. Rammeloo, E. Robbrecht, R. Swennen, L. Tack, E. Tollens, E. Van Ranst, H. Vis.

Overlijden van de Heer Louis Soyer

De Directeur kondigt het overlijden aan van de Heer Louis Soyer, eregeassocieerd lid, op 30 mei 2000 te Sint-Pieters-Woluwe.

De Heer Soyer heeft gewenst dat de aankondiging van zijn overlijden tot dit bericht zou beperkt blijven.

De Klasse neemt een minuut stilte waar ter nagedachtenis van de overleden Confrater.

Honderdste verjaardag van de ontdekking van 'Bios' door E. Wildiers : eerste overwinning op een overzeese voedingsplaag

De Heer J.-P. Tricot, voorzitter van de *Societas Belgica Historiae Medicinae*, stelt een mededeling voor getiteld als hierboven.

De HH. P. Van der Veken, E. De Langhe, J.-J. Symoens en P.G. Janssens nemen aan de bespreking deel.

De HH. H. Vis en L. Eyckmans worden als verslaggever aangeduid.

„Le couvert forestier d'Afrique centrale : un nouvel état des lieux”

M. J.-P. Malingreau stelt een mededeling voor getiteld als hierboven en opgesteld in samenwerking met de heer P. Mayaux.

Classe des Sciences naturelles et médicales

Séance du 27 juin 2000

(Extrait du procès-verbal)

La séance est ouverte à 14 h 30 par M. M. Wéry, Directeur, assisté de Mme Y. Verhasselt, Secrétaire perpétuelle.

Sont en outre présents : MM. J. Alexandre, I. Beghin, J. Bouharmont, E. De Langhe, J. D'Hoore, P. Gigase, J.-M. Jadin, P.G. Janssens, M. Lechat, J. Mortelmans, G. Stoops, Mme D. Swinne, MM. J.-J. Symoens, C. Sys, P. Van der Veken, membres titulaires ; MM. J. Belot, J. Bolyn, A. Ozer, membres associés ; M. J.-P. Malingreau, membre correspondant.

Ont fait part de leur regret de ne pouvoir assister à la séance : MM. E. Coppejans, M. De Dapper, B. Delvaux, A. de Scoville, R. Dudal, L. Eyckmans, A. Fain, M. Frère, S. Geerts, P. Goyens, F. Malaisse, H. Maraite, J. Meyer, J.-C. Micha, H. Nicolai, S. Pattyn, Mme F. Portaels, MM. J. Rammeloo, E. Robbrecht, R. Swennen, L. Tack, E. Tollens, E. Van Ranst, H. Vis.

Décès de M. Louis Soyer

Le Directeur annonce le décès de M. Louis Soyer, membre associé honoraire, survenu à Woluwé-Saint-Pierre le 30 mai 2000.

M. Soyer a souhaité que l'annonce de son décès se limite à cette seule mention.

La Classe observe une minute de silence à la mémoire du Confrère disparu.

«Honderdste verjaardag van de ontdekking van 'Bios' door E. Wildiers : eerste overwinning op een overzeese voedingsplaag»

M. J.-P. Tricot, président de la *Societas Belgica Historiae Medicinae*, présente une communication intitulée comme ci-dessus.

MM. P. Van der Veken, E. De Langhe, J.-J. Symoens et P.G. Janssens interviennent dans la discussion.

MM. H. Vis et L. Eyckmans sont désignés en qualité de rapporteur pour cette étude.

Le couvert forestier d'Afrique centrale : un nouvel état des lieux

M. J.-P. Malingreau présente une communication intitulée comme ci-dessus et rédigée en collaboration avec M. P. Mayaux.

De HH. J. D'Hoore, A. Ozer, P.G. Janssens, E. De Langhe, I. Beghin en J.-M. Jadin nemen aan de bespreking deel.

De Klasse beslist deze studie in de *Mededelingen der Zittingen* te publiceren.

Wedstrijd 2000

Twee werken werden regelmatig ingediend in antwoord op de derde vraag van de Wedstrijd 2000 „Er wordt een oorspronkelijk werk gevraagd dat een toepassing is van de teledetectietechnieken met satellieten op de studie van de tropische vegetatie”, namelijk :

Farid DAHDOUH-GUEBAS 1999. Tropical Coastal Ecosystems : The effects of long- and short-term changes in groundwater flow on seagrass distributions in Florida and Kenya. — Thesis submitted for receiving the legal degree of Master in Advanced Studies in Human Ecology, Vrije Universiteit Brussel, 86 pp. + bijlagen.

Carine PETIT 2000. Quantifying processes of land-cover change by remote sensing : Resettlement and rapid land-cover changes in south-eastern Zambia (Part 1). Detecting land-cover change on the basis of data from different sources : A methodology for data integration (Part 2) — 30 + 28 pp. + figs.

Na de verslagen van de HH. M. De Dapper en A. Ozer gehoord te hebben, beslist de Klasse noch een prijs noch een eervolle vermelding voor deze vraag toe te kennen.

Drie werken werden regelmatig ingediend in antwoord op de vierde vraag van de Wedstrijd 2000 „Er wordt een methodologische studie gevraagd over het meten van de voedselzekerheid (*food security*) op het niveau van bevolkingsgroepen met het oog op het toezicht op deze zekerheid en/of het opvolgen van ingrepen om ze te verzekeren”, namelijk :

Anonymous. Petri dish-Elisa : An economic technique for detecting viruses in contaminated seeds — 9 pp. + figs.

Stijn HUYSMAN, Hannelore BEERLANDT & M. C. SHAND 1999. Food Security in Kagera Region. Final Report & Risk maps. — Study of Food Security Situation in the Kagera Region, Tanzania (Kafosec-Research project), 113 pp. + bijlagen.

Nathalie STEPHENNE. Un modèle dynamique de l'utilisation du sol en Afrique de l'Ouest — 79 pp.

Na de verslagen van de HH. I. Beghin, M. Frère en J.-J. Symoens gehoord te hebben, beslist de Klasse een eervolle vermelding ter waarde van 10 000 BF aan het werk van Mevr. Stephenne toe te kennen.

MM. J. D'Hoore, A. Ozer, P.G. Janssens, E. De Langhe, I. Beghin et J.-M. Jadin interviennent dans la discussion.

La Classe décide de publier cette étude dans le *Bulletin des Séances*.

Concours 2000

Deux travaux ont été introduits en réponse à la troisième question du Concours 2000 intitulée «On demande un travail original constituant une application des techniques de télédétection par satellite à l'étude de la végétation tropicale» à savoir :

Farid DAHDOUH-GUEBAS 1999. Tropical Coastal Ecosystems : The effects of long- and short-term changes in groundwater flow on seagrass distributions in Florida and Kenya. — Thesis submitted for receiving the legal degree of Master in Advanced Studies in Human Ecology, Vrije Universiteit Brussel, 86 pp. + bijlagen.

Carine PETIT 2000. Quantifying processes of land-cover change by remote sensing : Resettlement and rapid land-cover changes in south-eastern Zambia (Part 1). Detecting land-cover change on the basis of data from different sources : A methodology for data integration (Part 2) — 30 + 28 pp. + figs.

Après avoir entendu les rapports de MM. M. De Dapper et A. Ozer la Classe décide de ne pas attribuer de prix ni de mention honorable pour cette question.

Trois travaux ont été introduits en réponse à la quatrième question du Concours 2000 intitulée «On demande une étude méthodologique sur la mesure de la sécurité alimentaire (*food security*) au niveau de groupes de populations, destinée à la surveillance et/ou au suivi d'interventions visant à la garantir» à savoir :

Anonymous. Petri dish-Elisa : An economic technique for detecting viruses in contaminated seeds — 9 pp. + figs.

Stijn HUYSMAN, Hannelore BEERLANDT & M. C. SHAND 1999. Food Security in Kagera Region. Final Report & Risk maps. — Study of Food Security Situation in the Kagera Region, Tanzania (Kafosec-Research project), 113 pp. + bijlage.

Nathalie STEPHENNE. Un modèle dynamique de l'utilisation du sol en Afrique de l'Ouest — 79 pp.

Après avoir entendu les rapports de MM. I. Beghin, M. Frère et J.-J. Symoens la Classe décide d'attribuer une mention honorable, d'un montant de 10 000 FB au travail de Mme Stephenne.

Floribert Jurionfonds

Met het oog op het verkrijgen van een beurs van het Floribert Jurionfonds werden achtentwintig kandidaturen regelmatig ingediend.

De Selectiecommissie, samengesteld conform artikel 5 van het reglement van het Fonds, heeft tijdens haar vergadering van 19 juni 2000 de dossiers van de kandidaten onderzocht.

Op voorstel van de Commissie beslist de Klasse een beurs van 30 000 BF toe te kennen aan Mevr. E. Bisteau „Approche ethnoécologique des produits sauvages comestibles des Chimanes (Alto Colorado, Bolivie)” en aan de Heer J. Hansenne „Réactivité des Andosols soumis à des apports acides et d’anions potentiellement acidifiants d’origine volcanique : étude d’une série durique dans la région de Masaya (Nicaragua)”.

Benoemingen

Bij ministerieel besluit van 8 mei 2000 werden de HH. Luc D’Haese en René Tonglet tot geassocieerd lid benoemd.

De zitting wordt om 17 u. 40 geheven.

Fonds Floribert Jurion

Vingt-huit candidatures ont été introduites régulièrement en vue de l'octroi d'une bourse du Fonds Floribert Jurion.

La Commission de Sélection, constituée conformément à l'article 5 du règlement du Fonds, a examiné les dossiers des candidats au cours d'une réunion tenue le 19 juin 2000.

Sur proposition de la Commission, la Classe décide d'attribuer une bourse de 30 000 FB à Mme E. Bisteau «Approche ethnoécologique des produits sauvages comestibles des Chimanes (Alto Colorado, Bolivie)» et à M. J. Hansenne «Réactivité des Andosols soumis à des apports acides et d'anions potentiellement acidifiants d'origine volcanique : étude d'une série durique dans la région de Masaya (Nicaragua)».

Nominations

Par arrêté ministériel du 8 mai 2000, MM. Luc D'Haese et René Tonglet ont été nommés membre associé.

La séance est levée à 17 h 40.

Klasse voor Technische Wetenschappen

Zitting van 28 april 2000

(Uittreksel van de notulen)

De zitting wordt om 14 u. 30 geopend door de Heer Jacques Charlier, Directeur, bijgestaan door Mevr. Y. Verhasselt, Vast Secretaris.

Zijn bovendien aanwezig : de HH. Jean Charlier, J. De Cuyper, A. Deruyttere, J.-J. Droesbeke, R. Leenaerts, W. Loy, J. Michot, R. Paepe, R. Sokal, F. Thirion, R. Tillé, R. Wambacq, werkende leden; de HH. P. Beckers, J.-M. Charlet, L. Dejonghe, D. Demaiffe, G. Demarée, A. François, U. Van Twembeke, geassocieerde leden.

Betwisten hun spijt niet aan de zitting te kunnen deelnemen : de HH. J. Debevere, H. Deelstra, P. De Meester, C. De Meyer, P. Fierens, J.-M. Klerkx, E. Lambin, A. Lejeune, J. Marchal, L. Martens, A. Monjoie, J. J. Peters, J. Poesen, J. Roos, A. Sterling, T. Van Frachen, J.-J. Symoens, Erevast Secretaris.

„La dynamique terrestre : rythmes ou chaos ? De la nécessité d'accroître la qualité de nos mesures”

De Heer L. André stelt een mededeling voor getiteld als hierboven.

De HH. R. Leenaerts, J. Michot, L. Dejonghe, U. Van Twembeke, D. Demaiffe, R. Sokal en G. Makabu nemen aan de bespreking deel.

De Klasse beslist deze studie in de *Mededelingen der Zittingen* te publiceren.

„La prospection des gisements cachés d'uranium et métaux associés par les techniques gaz, le cas du Shaba”

De Heer J.-M. Charlet stelt een mededeling voor getiteld als hierboven en opgesteld in samenwerking met de Heer G. Makabu.

De HH. R. Sokal, A. François, L. Dejonghe, G. Makabu en U. Van Twembeke nemen aan de bespreking deel.

De Klasse beslist deze studie in de *Mededelingen der Zittingen* te publiceren.

Inventaris van de werkzaamheden betreffende Latijns-Amerika

Onlangs werd een werkgroep opgericht om enerzijds een activiteit te organiseren over het thema Latijns-Amerika en anderzijds, op langere termijn, een commissie op te richten.

Classe des Sciences techniques

Séance du 28 avril 2000

(Extrait du procès-verbal)

La séance est ouverte à 14 h 30 par M. Jacques Charlier, Directeur, assisté de Mme Y. Verhasselt, Secrétaire perpétuelle.

Sont en outre présents : MM. Jean Charlier, J. De Cuyper, A. Deruyttere, J.-J. Droesbeke, R. Leenaerts, W. Loy, J. Michot, R. Paepe, R. Sokal, F. Thirion, R. Tillé, R. Wambacq, membres titulaires; MM. P. Beckers, J.-M. Charlet, L. Dejonghe, D. Demaiffe, G. Demarée, A. François, U. Van Twembeke, membres associés.

Ont fait part de leur regret de ne pouvoir assister à la séance : MM. J. Debevere, H. Deelstra, P. De Meester, C. De Meyer, P. Fierens, J.-M. Klerkx, E. Lambin, A. Lejeune, J. Marchal, L. Martens, A. Monjoie, J. J. Peters, J. Poesen, J. Roos, A. Sterling, T. Van Frachen, J.-J. Symoens, Secrétaire perpétuel honoraire.

La dynamique terrestre : rythmes ou chaos ? De la nécessité d'accroître la qualité de nos mesures

M. L. André présente une communication intitulée comme ci-dessus.

MM. R. Leenaerts, J. Michot, L. Dejonghe, U. Van Twembeke, D. Demaiffe, R. Sokal et G. Makabu prennent part à la discussion.

La Classe décide de publier cette étude dans le *Bulletin des Séances*.

La prospection des gisements cachés d'uranium et métaux associés par les techniques gaz, le cas du Shaba

M. J.-M. Charlet présente une communication intitulée comme ci-dessus et rédigée en collaboration avec M. G. Makabu.

MM. R. Sokal, A. François, L. Dejonghe, G. Makabu et U. Van Twembeke interviennent dans la discussion.

La Classe décide de publier cette étude dans le *Bulletin des Séances*.

Inventaire des activités concernant l'Amérique latine

Un groupe de travail a été récemment constitué avec un double objectif : d'une part, organiser une activité sur le thème de l'Amérique latine et, d'autre part, à plus long terme, créer une commission.

Wat de organisatie van de activiteit betreft, verkiest de werkgroep zich op Bolivië toe te leggen, meer bepaald omwille van de nakende ondertekening van een samenwerkingsmemorandum met de Boliviaanse Academie voor Wetenschappen.

De zitting wordt om 17 u. 05 geheven.

En ce qui concerne l'organisation d'une activité, le groupe de travail a choisi de se concentrer sur la Bolivie en raison notamment de la signature prochaine d'un mémorandum de coopération avec l'Académie des Sciences de ce pays.

La séance est levée à 17 h 05.

Klasse voor Technische Wetenschappen

Zitting van 26 mei 2000

(Uittreksel van de notulen)

De zitting wordt om 14 u. 30 geopend door de Heer Jacques Charlier, Directeur.

Zijn bovendien aanwezig : de HH. J. De Cuyper, A. Deruyttere, P. Fierens, P. Goossens, R. Leenaerts, W. Loy, H. Paelinck, R. Paepe, R. Tillé, werkende leden; de HH. A. François, E. Lambin, T. Van Frachen, geassocieerde leden.

Betuigden hun spijt niet aan de zitting te kunnen deelnemen : de HH. P. Beckers, J.M. Charlet, Jean Charlier, H. Deelstra, L. Dejonghe, D. Demaiffe, P. De Meester, C. De Meyer, J.J. Droesbeke, J. Marchal, J. Michot, J. J. Peters, J. Poesen, J. Roos, R. Sokal, F. Suykens, W. Van Impe, Mevr. Y. Verhasselt, Vast Secretaris, de Heer J.-J. Symoens, Erevast Secretaris.

„Recent discoveries of gold, zinc and diamond deposits in Western Africa. The Belgian contribution”

De Heer P. Goossens stelt een mededeling voor getiteld als hierboven.

De HH. P. Fierens, A. Deruyttere, J. De Cuyper, H. Paelinck, W. Loy, A. François, R. Leenaerts en Jacques Charlier nemen aan de bespreking deel.

De Klasse beslist deze studie in *de Mededelingen der Zittingen* te publiceren.

„The Serengeti-Mara ecosystem (Kenya, Tanzania). Pressures from land-use changes and impacts on wildlife”

De Heer E. Lambin stelt een mededeling voor opgesteld in samenwerking met S. Serneels en K. Homewood en getiteld als hierboven.

De HH. H. Paelinck, P. Fierens, R. Paepe en Jacques Charlier nemen aan de bespreking deel.

De Klasse beslist deze studie in *de Mededelingen der Zittingen* te publiceren.

Wedstrijd 2000

Geen enkel werk werd ingediend in antwoord op de vijfde vraag van de Wedstrijd 2000, „Er wordt een vergelijkende technisch-economische evaluatie gevraagd van de havenindustrialisering in de ontwikkelde landen, de landen in transitie en de ontwikkelingslanden”.

Classe des Sciences techniques

Séance du 26 mai 2000

(Extrait du procès-verbal)

La séance est ouverte à 14 h 30 par M. Jacques Charlier, Directeur.

Sont en outre présents : MM. J. De Cuyper, A. Deruytere, P. Fierens, P. Goossens, R. Leenaerts, W. Loy, H. Paelinck, R. Paepe, R. Tillé, membres titulaires; MM. A. François, E. Lambin, T. Van Frachen, membres associés.

Ont fait part de leur regret de ne pouvoir assister à la séance : MM. P. Beckers, J.M. Charlet, Jean Charlier, H. Deelstra, L. Dejonghe, D. Demaiffe, P. De Meester, C. De Meyer, J.J. Droesbeke, J. Marchal, J. Michot, J. J. Peters, J. Poesen, J. Roos, R. Sokal, F. Suykens, W. Van Impe, Mme Y. Verhasselt, Secrétaire perpétuelle, M. J.-J. Symoens, Secrétaire perpétuel honoraire.

«Recent discoveries of gold, zinc and diamond deposits in Western Africa. The Belgian contribution»

M. P. Goossens présente une communication intitulée comme ci-dessus.

MM. P. Fierens, A. Deruytere, J. De Cuyper, H. Paelinck, W. Loy, A. François, R. Leenaerts et Jacques Charlier interviennent dans la discussion.

La Classe décide de publier cette étude dans le *Bulletin des Séances*.

«The Serengeti-Mara ecosystem (Kenya, Tanzania). Pressures from land-use changes and impacts on wildlife»

M. E. Lambin présente une communication rédigée en collaboration avec S. Serneels et K. Homewood intitulée comme ci-dessus.

MM. H. Paelinck, P. Fierens, R. Paepe et Jacques Charlier interviennent dans la discussion.

La Classe décide de publier cette étude dans le *Bulletin des Séances*.

Concours 2000

Aucun travail n'a été introduit en réponse à la cinquième question du Concours 2000, «On demande une évaluation technico-économique comparée de l'industrialisation portuaire dans les pays développés, en transition et en développement».

Twee werken werden regelmatig ingediend in antwoord op de zesde vraag van de Wedstrijd 2000, „Er wordt een studie gevraagd over de relevantie van privatisering als middel voor bevordering van economische vooruitgang in derde-wereldlanden”, namelijk :

Tuikale Constantin KALALA. L'impact de la privatisation comme moyen de stimulation du progrès économique dans les pays du Tiers-Monde — 16 pp.

Carlisle PEMBERTON & Sharon STUART. Privatization of the Foreign Currency Market and the Stimulation of Agricultural Production — 87 pp.

De HH. E. Cuypers, J.-J. Droesbeke en H. Paelinck worden als verslaggever aangeduid.

De zitting wordt om 16 u. 45 geheven.

Deux travaux ont été introduits régulièrement en réponse à la sixième question du Concours 2000 «On demande une étude sur l'impact de la privatisation comme moyen de stimulation du progrès économique dans les pays du Tiers-Monde», à savoir :

Tuikale Constantin KALALA. L'impact de la privatisation comme moyen de stimulation du progrès économique dans les pays du Tiers-Monde — 16 pp.

Carlisle PEMBERTON & Sharon STUART. Privatization of the Foreign Currency Market and the Stimulation of Agricultural Production — 87 pp.

MM. E. Cuypers, J.-J. Droesbeke et H. Paelinck sont désignés en qualité de rapporteur.

La séance est levée à 16 h 45.

Klasse voor Technische Wetenschappen

Zitting van 30 juni 2000

(Uittreksel van de notulen)

De zitting wordt om 14 u. 30 geopend door de Heer Jacques Charlier, Directeur, bijgestaan door Mevr. Y. Verhasselt, Vast Secretaris.

Zijn bovendien aanwezig : de HH. G. Heylbroeck, R. Leenaerts, J. Michot, H. Paelinck, R. Sokal, R. Tillé, werkende leden ; de HH. J.-M. Charlet, G. Demarée, T. Van Frachen, geassocieerde leden, de HH. M. De Dapper, E. De Langhe, leden van de Klasse voor Natuur- en Geneeskundige Wetenschappen.

Betuigden hun spijt niet aan de zitting te kunnen deelnemen : de HH. Jean Charlier, J. Debevere, J. De Cuyper, H. Deelstra, L. Dejonghe, D. Demaiffe, P. De Meester, C. De Meyer, P. Fierens, A. François, G. Froment, P. Goossens, A. Jaumotte, E. Lambin, W. Loy, J. Marchal, L. Martens, A. Monjoie, R. Paepe, J. J. Peters, J. Poesen, J. Roos, W. Van Impe ; de Heer J.J. Symoens, Erevast Secretaris.

„In the Wake of ‘De Liefde’ or 400 Year’s of the Red-Hair’s View on the Climate of Japan. A Contribution to the Climate Reconstruction of the East Asian Region”

De Heer G. Demarée stelt een mededeling voor getiteld als hierboven.

De HH. H. Paelinck, M. De Dapper, R. Sokal, E. De Langhe nemen aan de bespreking deel.

De Klasse beslist deze studie in *de Mededelingen der Zittingen* te publiceren.

Wedstrijd 2000

Geen enkel werk werd ingediend in antwoord op de vijfde vraag van de Wedstrijd 2000 „Er wordt een vergelijkende technisch-economische evaluatie gevraagd van de havenindustrialisering in de ontwikkelde landen, de landen in transitie en de ontwikkelingslanden”.

Twee werken werden regelmatig ingediend in antwoord op de zesde vraag van de Wedstrijd 2000, „Er wordt een studie gevraagd over de relevantie van privatisering als middel voor bevordering van economische vooruitgang in derde-wereldlanden”, namelijk :

Tuikale Constantin KALALA. L’impact de la privatisation comme moyen de stimulation du progrès économique dans les pays du Tiers-Monde — 16 pp.

Classe des Sciences techniques

Séance du 30 juin 2000

(Extrait du procès-verbal)

La séance est ouverte à 14 h 30 par M. Jacques Charlier, Directeur, assisté de Mme Y. Verhasselt, Secrétaire perpétuelle.

Sont en outre présents : MM. G. Heylbroeck, R. Leenaerts, J. Michot, H. Paelinck, R. Sokal, R. Tillé, membres titulaires ; MM. J.-M. Charlet, G. Demarée, T. Van Frachen, membres associés, MM. M. De Dapper, E. De Langhe, membres de la Classe des Sciences naturelles et médicales.

Ont fait part de leur regret de ne pouvoir assister à la séance : MM. Jean Charlier, J. Debevere, J. De Cuyper, H. Deelstra, L. Dejonghe, D. Demaiffe, P. De Meester, C. De Meyer, P. Fierens, A. François, G. Froment, P. Goossens, A. Jaumotte, E. Lambin, W. Loy, J. Marchal, L. Martens, A. Monjoie, R. Paepe, J. J. Peters, J. Poesen, J. Roos, W. Van Impe ; M. J.J. Symoens, Secrétaire perpétuel honoraire.

«In the Wake of 'De Liefde' or 400 Year's of the Red-Hair's View on the Climate of Japan. A Contribution to the Climate Reconstruction of the East Asian Region»

M. G. Demarée présente une communication intitulée comme ci-dessus.

MM. H. Paelinck, M. De Dapper, R. Sokal, E. De Langhe interviennent dans la discussion.

La Classe décide de publier cette étude dans le *Bulletin des Séances*.

Concours 2000

Aucun travail n'a été introduit en réponse à la cinquième question du Concours 2000 intitulée «On demande une évaluation technico-économique comparée de l'industrialisation portuaire dans les pays développés, en transition et en développement».

Deux travaux ont été introduits régulièrement en réponse à la sixième question du Concours 2000 intitulée «On demande une étude sur l'impact de la privatisation comme moyen de stimulation du progrès économique dans les pays du Tiers-Monde», à savoir :

Tuikale Constantin KALALA. L'impact de la privatisation comme moyen de stimulation du progrès économique dans les pays du Tiers-Monde — 16 pp.

Carlisle PEMBERTON & Sharon STUART. Privatization of the Foreign Currency Market and the Stimulation of Agricultural Production — 87 pp.

Na de verslagen van de HH. E. Cuypers en H. Paelinck gehoord te hebben, beslist de Klasse een eervolle vermelding ter waarde van 10 000 BEF toe te kennen aan Carlisle Pemberton & Sharon Stuart voor hun werk.

Benoemingen

Bij ministerieel besluit van 8 mei 2000 werden de HH. Luc André en Jean Berlamont tot geassocieerd lid benoemd.

Bij ministerieel besluit van 8 mei 2000 werd de Heer Vladimir Melnikov tot corresponderend lid benoemd.

Ontslagen

Bij ministerieel besluit van 8 mei 2000 werd ontslag uit hun hoedanigheid van geassocieerd lid verleend aan de HH. Etienne Aernoudt en Willy Verstraete.

De zitting wordt om 16 u. 50 geheven.

Carlisle PEMBERTON & Sharon STUART. Privatization of the Foreign Currency Market and the Stimulation of Agricultural Production — 87 pp.

Après avoir entendu les rapports de MM. E. Cuypers et H. Paelinck, la Classe décide d'attribuer une mention honorable d'un montant de 10 000 FB à Carlisle Pemberton et Sharon Stuart pour leur travail.

Nominations

Par arrêté ministériel du 8 mai 2000 MM. Luc André et Jean Berlamont ont été nommés membre associé.

Par arrêté ministériel du 8 mai 2000, M. Vladimir Melnikov a été nommé membre correspondant.

Démissions

Par arrêté ministériel du 8 mai 2000 MM. Etienne Aernoudt et Willy Verstraete ont été démissionnés de leur qualité de membre associé.

La séance est levée à 16 h 50.

INHOUDSTAFEL — TABLE DES MATIERES

Wetenschappelijke mededelingen Communications scientifiques

<i>Vijfde Vanbreuseghemconferentie / Cinquième Conférence Vanbreuseghem</i>	242
J. CHARLIER. — Welcome	245
H. VANDEN BOSSCHE. — Introduction	247
D. SWINNE. — The Vanbreuseghem Mycotheque	249
B. GOMEZ. — Recent Developments in the Serodiagnosis of Histoplasmosis	255
A. HAMILTON. — Application of Monoclonal Antibodies to the Diagnosis of Tropical Dimorphic Fungal Pathogens	265
H. VANDEN BOSSCHE. — Closure	275

Klasse voor Morele en Politieke Wetenschappen / Classe des Sciences morales et politiques :

J. VANDERLINDEN. — Les droits africains entre positivisme et pluralisme	279
---	-----

Klasse voor Technische Wetenschappen / Classe des Sciences techniques :

L. ANDRE. — La dynamique terrestre : rythmes ou chaos ? De la nécessité d'accroître la qualité de nos mesures	295
J.-M. CHARLET & G. MAKABU. — La prospection des gisements cachés d'uranium et métaux associés par les techniques gaz, le cas du Katanga	319

Lofredenen — Eloges

Jacques LEPERSONNE	341
Jean-Baptiste JADIN	351
Jean DE HEINZELIN	369

Notulen — Procès-verbaux

Klasse voor Morele en Politieke Wetenschappen / Classe des Sciences morales et politiques :

Zitting van 18 april 2000 / Séance du 18 avril 2000	376 ; 377
Zitting van 16 mei 2000 / Séance du 16 mai 2000	378 ; 379
Zitting van 20 juni 2000 / Séance du 20 juin 2000	382 ; 383

Klasse voor Natuur- en Geneeskundige Wetenschappen / Classe des Sciences naturelles et médicales :

Zitting van 25 april 2000 / Séance du 25 avril 2000	386 ; 387
Zitting van 23 mei 2000 / Séance du 23 mai 2000	390 ; 391
Zitting van 27 juni 2000 / Séance du 27 juin 2000	396 ; 397

Klasse voor Technische Wetenschappen / Classe des Sciences techniques :

Zitting van 28 april 2000 / Séance du 28 avril 2000	402 ; 403
Zitting van 26 mei 2000 / Séance du 26 mai 2000	406 ; 407
Zitting van 30 juni 2000 / Séance du 30 juin 2000	410 ; 411

