

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

Sous la Haute Protection du Roi

Nouvelle Série
Nieuwe Reeks

35 (4)

Année 1989
Jaargang

BULLETIN DES SÉANCES

Publication trimestrielle

**KONINKLIJKE ACADEMIE
VOOR OVERZEESE
WETENSCHAPPEN**

Onder de Hoge Bescherming van de Koning



MEDEDELINGEN DER ZITTINGEN

Driemaandelijkse publikatie

AVIS AUX AUTEURS

L'Académie publie les études dont la valeur scientifique a été reconnue par la Classe intéressée sur rapport d'un ou plusieurs de ses membres.

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, 1050 Bruxelles. Ils seront conformes aux instructions aux auteurs pour la présentation des manuscrits (voir *Bull. Séanc.*, N.S., 28-1, pp. 111-117) 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.

BERICHT AAN DE AUTEURS

De Academie geeft de studies uit waarvan de wetenschappelijke waarde door de betrokken Klasse erkend werd, op verslag van één of meerdere harer leden.

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 handschriften dienen ingestuurd naar de Secretarie, Defacqzstraat 1 bus 3, 1050 Brussel. Ze zullen rekening houden met de aanwijzingen aan de auteurs voor het voorstellen van de handschriften (zie *Meded. Zitt.*, N.R., 28-1, pp. 103-109) waarvan een overdruk op eenvoudige aanvraag bij de Secretarie kan bekomen worden.

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

Abonnement 1989 (4 num.) : 2500 FB

Rue Defacqz 1 boîte 3
1050 Bruxelles
C.C.P. 000-0024401-54
de l'Académie
1050 BRUXELLES (Belgique)

Defacqzstraat 1 bus 3
1050 Brussel
Postrek. 000-0024401-54
van de Academie
1050 BRUSSEL (België)

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

Sous la Haute Protection du Roi

Nouvelle Série
Nieuwe Reeks

35 (4)

Année 1989
Jaargang

BULLETIN DES SÉANCES

Publication trimestrielle

**KONINKLIJKE ACADEMIE
VOOR OVERZEESE
WETENSCHAPPEN**

Onder de Hoge Bescherming van de Koning



MEDEDELINGEN DER ZITTINGEN

Driemaandelijkse publikatie

SÉANCE PLÉNIÈRE DU 18 OCTOBRE 1989

PLENAIRE ZITTING VAN 18 OKTOBER 1989

Séance plénière du 18 octobre 1989

La séance plénière de rentrée de l'Académie royale des Sciences d'Outre-Mer a lieu au Palais des Académies à Bruxelles. Elle est présidée par Mme Y. Verhasselt, président de l'Académie, entourée de MM. J. Semal et F. Suykens, orateurs, et de M. J.-J. Symoens, secrétaire perpétuel.

Le Président prononce l'allocution d'ouverture (pp. 443-444).

Le Secrétaire perpétuel présente le rapport des activités de l'Académie 1988-1989 et rend hommage à la mémoire des Confrères décédés depuis le 12 octobre 1988, à savoir MM. R. Cornevin, P. Giroud, L. Van Hoof, R. Spronck, P. Grosemans et L. Peeters (pp. 445-450).

M. J. Semal fait une lecture rédigée en collaboration avec M. P. Lepoivre : «Biotechnologies adaptées et développement» (pp. 451-461).

M. F. Suykens fait ensuite un exposé intitulé : «De vrijheid van de zeeën» (pp. 463-473).

Le Président lève la séance à 16 h.

Plenaire zitting van 18 oktober 1989

De plenaire openingszitting van de Koninklijke Academie voor Overzeese Wetenschappen wordt gehouden in het Paleis der Academiën te Brussel. Zij wordt voorgezeten door Mevr. Y. Verhasselt, voorzitter van de Academie, omringd door de HH. J. Semal en F. Suykens, sprekers, en door de H. J.-J. Symoens, vast secretaris.

De Voorzitter spreekt de openingsrede uit (pp. 443-444).

De Vaste Secretaris stelt het verslag voor over de werkzaamheden van de Academie 1988-1989 en brengt hulde aan de nagedachtenis van de sinds 12 oktober 1988 overleden Confraters, te weten de HH. R. Cornevin, P. Giroud, L. Van Hoof, R. Spronck, P. Grosemans en L. Peeters (pp. 445-450).

De H. J. Semal houdt een lezing opgesteld in samenwerking met de H. P. Lepoivre : «Biotechnologies adaptées et développement» (pp. 451-461).

Vervolgens geeft de H. F. Suykens een uiteenzetting getiteld : «De vrijheid van de zeeën» (pp. 463-473).

De Voorzitter heft de zitting te 16 h.

Liste de présence des membres de l'Académie

Classe des Sciences morales et politiques : M. F. Bézy, Mme P. Boelens-Bouvier, MM. J. Comhaire, F. de Hen, Mme A. Dorsinfang-Smets, MM. A. Duchesne, J. Everaert, M. Graulich, A. Huybrechts, E. Lamy, M. Luwel, L. Pétilion, A. Rubbens, J. Ryckmans, A. Stenmans, Mme Y. Verhasselt.

Classe des Sciences naturelles et médicales : MM. J. Alexandre, I. Beghin, E. Bernard, J. Bouharmont, J. Decelle, M. De Dapper, A. de Scoville, M. De Smet, J. D'Hoore, L. Eyckmans, A. Fain, C. Fieremans, R. Frankart, J. P. Gosse, J. Jadin, J. Meyer, J. C. Micha, J. Mortelmans, H. Nicolaï, P. Raucq, C. Schyns, J. Semal, Ch. Susanne, J.-J. Symoens, R. Tavernier, D. Thys van den Audenaerde, R. Vanbreuseghem, H. Vis, M. Wéry.

Classe des Sciences techniques : MM. F. Bultot, E. Cuypers, J. De Cuyper, H. Deelstra, I. de Magnée, P. De Meester, J. J. Droesbeke, P. Fierens, A. François, G. Heylbroeck, A. Lederer, J. Michot, M. Simonet, M. Snel, R. Sokal, A. Sterling, F. Suykens, R. Thonnard, R. Tillé, G. Valentini, M. Van Den Herrewegen, J. Van Leeuw, W. Verstraete.

Ont fait part de leurs regrets de ne pouvoir assister à la séance : MM. E. Aernoudt, R. Anciaux, P. Antun, H. Baetens Beardsmore, A. Baptist, P. Basilewsky, P. Beckers, J. Bolyn, G. Boné, J. Bouillon, L. Brison, J. Cap, J. Charlier, A. Clerfaÿt, E. Coppieters, A. Coupeux, M. De Boodt, E. De Langhe, J. Delhal, M. Deliens, J. Delrue, F. De Meuter, le R.P. J. Denis, MM. A. Deruyttere, R. Devisch, M. d'Hertefelt, R. Dudal, Mme M. Engelborghs-Bertels, MM. P. Evrard, M. Frère, G. Froment, W. Ganshof van der Meersch, A. Gérard, Mgr L. Gillon, M. P. Gourou, Mme C. Grégoire, MM. J.-P. Harroy, J. M. Henry, J. Jacobs, M. Lechat, J. Lepersonne, R. Lesthaeghe, F. Malaisse, R. Marsboom, A. Monjoie, R. Paepe, F. Pietermaat, S. Plasschaert, A. Prigogine, M. Reynders, F. Reyntjens, R. Rezsohazy, A. Saintraint, P. Salmon, J. Sohler, le R.P. J. Spaë, MM. J. Stengers, G. Stoops, C. Sys, le R.P. J. Theuws, MM. E. Tollens, A. Van Bilsen, J. M. Van der Dussen de Kestergat, E. Vandewoude, A. Van Haute, J. Van Riel, J. L. Vellut, B. Verhaegen, T. Verhelst.

Aanwezigheidslijst van de leden van de Academie

Klasse voor Morele en Politieke Wetenschappen : De H. F. Bézy, Mevr. P. Boelens-Bouvier, de HH. J. Comhaire, F. de Hen, Mevr. A. Dorsinfang-Smets, de HH. A. Duchesne, J. Everaert, M. Graulich, A. Huybrechts, E. Lamy, M. Luwel, L. Pétilion, A. Rubbens, J. Ryckmans, A. Stenmans, Mevr. Y. Verhasselt.

Klasse voor Natuur- en Geneeskundige Wetenschappen : De HH. J. Alexandre, I. Beghin, E. Bernard, J. Bouharmont, J. Decelle, M. De Dapper, A. de Scoville, M. De Smet, J. D'Hoore, L. Eyckmans, A. Fain, C. Fieremans, R. Frankart, J. P. Gosse, J. Jadin, J. Meyer, J. C. Micha, J. Mortelmans, H. Nicolaï, P. Raucq, C. Schyns, J. Semal, Ch. Susanne, J.-J. Symoens, R. Tavernier, D. Thys van den Audenaerde, R. Vanbreuseghem, H. Vis, M. Wéry.

Klasse voor Technische Wetenschappen : De HH. F. Bultot, E. Cuypers, J. De Cuyper, H. Deelstra, I. de Magnée, P. De Meester, J. J. Droesbeke, P. Fierens, A. François, G. Heylbroeck, A. Lederer, J. Michot, M. Simonet, M. Snel, R. Sokal, A. Sterling, F. Suykens, R. Thonnard, R. Tillé, G. Valentini, M. Van Den Herrewegen, J. Van Leeuw, W. Verstraete.

Betwisten hun spijt niet aan de zitting te kunnen deelnemen : De HH. E. Aernoudt, R. Anciaux, P. Antun, H. Baetens Beardsmore, A. Baptist, P. Basilewsky, P. Beckers, J. Bolyn, G. Boné, J. Bouillon, L. Brison, J. Cap, J. Charlier, A. Clerfaÿt, E. Coppieters, A. Coupeuz, M. De Boodt, E. De Langhe, J. Delhal, M. Deliens, J. Delrue, F. De Meuter, E.P. J. Denis, de HH. A. Deruyttere, R. Devisch, M. d'Hertefelt, R. Dudal, Mevr. M. Engelborghs-Bertels, de HH. P. Evrard, M. Frère, G. Froment, W. Ganshof van der Meersch, A. Gérard, Mgr. L. Gillon, de H. P. Gourou, Mevr. C. Grégoire, de HH. J.-P. Harroy, J. M. Henry, J. Jacobs, M. Lechat, J. Lepersonne, R. Lesthaeghe, F. Malaisse, R. Marsboom, A. Monjoie, R. Paepe, F. Pietermaat, S. Plasschaert, A. Prigogine, M. Reynders, F. Reyntjens, R. Rezsohazy, A. Saintraint, P. Salmon, J. Sohier, E.P. J. Spae, de HH. J. Stengers, G. Stoops, C. Sys, E.P. J. Theuws, de HH. E. Tollens, A. Van Bilsen, J. M. Van der Dussen de Kestergat, E. Vandewoude, A. Van Haute, J. Van Riel, J. L. Vellut, B. Verhaegen, T. Verhelst.

Allocution d'ouverture — Openingsrede

door

Y. VERHASSELT
Président/Voorzitter

Excellenties, Dames en Heren, waarde Confraters,

Met veel genoegen heet ik U welkom op deze academische openingszitting. Het is de gewoonte dat bij het begin van het nieuwe academiejaar de voorzitter enkele woorden richt tot de aanwezigen. Ik zal deze traditie verder zetten. Ik wou in het kort twee aspecten behandelen : eerst een bondige toelichting over de activiteiten van de Academie, daarna enkele bespiegelingen in verband met ontwikkelingsproblematiek.

Vooreerst wens ik hulde te brengen aan de vaste secretaris, die in alle omstandigheden de teugels in handen heeft blijven houden. In deze dankbetuiging wou ik graag Mevr. Peré-Claes en medewerkers betrekken, die met veel toewijding de dagelijkse werking van de Academie probleemloos doen verlopen.

De vaste secretaris zal in zijn verslag de werkzaamheden van de Academie in het afgelopen jaar uiteenzetten. Daaruit zal blijken dat de Academie actief is geweest in verschillende domeinen. Dit komt o.a. tot uiting in de brede waaier van behandelde thema's tijdens de zittingen van de drie Klassen (gepubliceerd in de *Mededelingen*) en in de organisatie van colloquia en studiedagen, gewijd aan een specifiek thema. Hierbij wordt de multidisciplinaire benadering onderstreept.

Uitgaande van de overtuiging dat een academie niet mag verstarren in de traditie, hoe eerbiedwaardig deze ook moge wezen, zullen een gering aantal noodzakelijke aanpassingen aan de statuten binnenkort worden besproken door de beleidsorganen van de Academie. Hierdoor zal gepoogd worden een gulden middenweg te bewaren tussen traditie en vernieuwing.

Excellences, Mesdames et Messieurs,

Le processus de développement témoigne d'une complexité grandissante. L'utilisation de paramètres quantitatifs classiques pour mesurer le stade de développement s'avère de plus en plus controversé. En effet, mis à part les problèmes d'ordre statistique, tels que disponibilité et fiabilité des données,

d'autres inconvénients apparaissent. Examinons d'abord la dimension spatiale, c.-à-d. la projection dans l'espace des paramètres considérés. La comparaison inter-États est délicate du fait de la variation d'échelle entre les macro-États (vastes comme la Chine ou l'Inde) et les micro-États (comptant parfois à peine quelques milliers d'habitants). Par ailleurs, les moyennes nationales sont très peu significatives, si on se réfère aux disparités importantes qui existent à l'intérieur des États. Certes, il y a l'opposition entre ville et campagne, entre région centrale et périphérique ou encore entre la capitale et le «reste» du pays. Toutefois, d'autres différences s'observent. À échelle plus fine, par exemple à l'intérieur d'une même ville, des contrastes existent, parfois très brutaux, entre, d'une part, quartiers riches pourvus de tous les équipements modernes selon les normes occidentales et, d'autre part, quartiers pauvres, voire bidonvilles dépourvus souvent de l'assainissement le plus élémentaire.

En outre, il y a la dimension temporelle. Il est difficile de rendre compte de l'évolution, car le processus de développement se fait à plusieurs vitesses. Celles-ci varient d'un État à l'autre, mais aussi d'une région à l'autre. Le phénomène complexe de la transition en témoigne. Les caractères dynamiques du processus de développement peuvent être saisis à travers plusieurs mesures quantitatives, comme par exemple les variables démographiques, les taux de croissance urbaine, les indicateurs de l'évolution économique. Mais il s'agit là d'approximations grossières. Il faudrait tenir compte également de la mobilité de la population, des caractères structurels de l'urbanisation, des modifications sociales, des changements écologiques liés aux progrès industriels et agricoles. De plus, il faudrait pouvoir introduire des dimensions qualitatives.

Ce n'est que par une approche pluridisciplinaire que le processus de développement pourra être cerné dans toute sa complexité. Dans cette optique, l'Académie royale des Sciences d'Outre-Mer peut contribuer à l'analyse du processus de développement en mettant la compétence et la collaboration active de ses membres à la disposition du progrès.

**Rapport sur les activités de l'Académie
(1988-1989)**
**Verslag over de werkzaamheden van de Academie
(1988-1989)**

par/door

J.-J. SYMOENS *

Op het ogenblik dat wij samenkomen om de balans op te maken van het voorbije academische jaar en onze activiteiten hernemen, hebben wij de plicht hulde te brengen aan deze van onze Confraters van wie wij het overlijden vernomen hebben in de loop van de twaalf laatste maanden.

Robert Cornevin, né à Malesherbes (Loiret, France) le 26 août 1919, est décédé à Paris le 14 décembre 1988.

Il était breveté de l'École Nationale de la France d'Outre-Mer et docteur ès lettres de l'Université de Paris. De 1941 à 1956, il accomplit des services Outre-Mer, notamment au Sénégal, au Dahomey, au Togo, en Algérie, au Maroc. De 1958 à 1960, il fut administrateur civil au Ministère de l'Éducation Nationale. Chef du Centre d'Étude et de Documentation sur l'Afrique et l'Outre-Mer, directeur scientifique de la revue *Afrique contemporaine*, président de l'Association des Écrivains de Langue Française, c'était un homme d'une activité étonnamment diverse. Divers prix lui furent décernés, entre autres par l'Académie française et l'Académie des Sciences d'Outre-Mer. En 1971, il fut élu secrétaire perpétuel de l'Académie des Sciences d'Outre-Mer de France dont il exerça les fonctions jusqu'à son décès. Il était chevalier de la Légion d'Honneur et des Palmes académiques.

Robert Cornevin devint correspondant de notre Académie le 25 septembre 1972 et fut promu à l'honorariat le 20 février 1986.

Paul Giroud, né à Trévol (Allier, France) le 6 juin 1898, est décédé à Paris le 22 janvier 1989.

Paul Giroud obtint le diplôme de docteur en médecine en 1926. Préparateur, puis chef de laboratoire au cours de Microbiologie de l'Institut Pasteur (1926-1931), il fut également préparateur à la Chaire de Médecine du Collège de France, adjoint au professeur Charles Nicolle (1932-1936). Il fut adjoint au

* Secrétaire perpétuel de l'Académie, rue Defacqz 1 bte 3, B-1050 Bruxelles (Belgique) — Vast Secretaris van de Academie, Defacqzstraat 1 bus 3, B-1050 Brussel (België).

Service des Vaccins de l'Institut Pasteur (1937-1940) avant de devenir chef du Service des Rickettsioses de cet Institut (1940). Il fut également membre du Conseil d'Hygiène publique de France. Paul Giroud a effectué de nombreuses missions scientifiques Outre-Mer, notamment en Tunisie, au Moyen-Congo, en Oubangui-Chari, au Congo belge et au Ruanda-Urundi. Il était officier de la Légion d'Honneur, commandeur de l'Étoile Noire du Bénin, chevalier de l'Ordre Royal du Lion.

Il fut nommé correspondant de notre Académie le 9 août 1961 et promu à l'honorariat le 18 janvier 1979.

Louis Victor Armand Van Hoof, geboren te Berchem op 20 mei 1906, is overleden te Leuven op 7 februari 1989.

Armand Van Hoof behaalde in 1930 het diploma van burgerlijk mijn-ingenieur aan de Katholieke Universiteit Leuven. Hij was hoogleraar aan deze Universiteit en directeur van het Astronomisch Instituut van de KUL. A. Van Hoof vervulde verschillende opdrachten in Zuid-Afrika, de Verenigde Staten, Chili en Canada. Hij was lid van de Koninklijke Academie voor Wetenschappen, Letteren en Schone Kunsten van België en voorzitter van het Thomas-More-Genootschap. Hij publiceerde talrijke wetenschappelijke bijdragen, vooral gewijd aan de sterrenkunde.

In 1971 werd hij tot geassocieerde benoemd van de Klasse voor Technische Wetenschappen van onze Academie en op 22 juli 1976 werd hij tot het erelidmaatschap bevorderd.

René Spronck, né à Liège le 11 janvier 1903, y est décédé le 28 mai 1989.

René Spronck obtint le grade d'ingénieur civil et d'agrégé de l'enseignement supérieur à l'Université de Liège et l'École nationale supérieure du Génie maritime de Paris. Il fut, de juin 1938 à février 1939, chargé de diverses missions : études hydrographiques, visites de chantiers navals et d'usines hydro-électriques, mesures hydrographiques dans la région divagante du bief maritime du Congo. Il était grand officier de l'Ordre de Léopold, commandeur de l'Ordre de la Couronne, grand officier de l'Ordre de Léopold II et titulaire de la Médaille civique de 1^e Classe.

Il fut nommé associé de notre Académie le 27 août 1958, membre titulaire le 3 septembre 1969 et fut promu à l'honorariat le 5 juin 1975. En 1971, R. Spronck fut directeur de la Classe des Sciences techniques.

Paul Grosemans, né à Schaerbeek le 9 mars 1903, est décédé à Uccle le 29 mai 1989.

Paul Grosemans obtint le diplôme d'ingénieur civil des mines en 1929 et d'ingénieur-géologue en 1934. Il séjourna au Congo belge de 1930 à 1948, comme ingénieur au Service des Mines du Comité Spécial du Katanga, et fut nommé administrateur-directeur de la Société de recherche Minière du Sud-Katanga.

Il fut nommé associé de notre Compagnie le 27 août 1958 et promu au titre d'associé honoraire le 28 janvier 1977. Notre *Bulletin des Séances* a publié, sous sa signature, une étude sur la bauxite dans le Bas-Congo et un bilan de 14 années de prospection dans cette même région.

Leo Peeters, geboren te Antwerpen op 6 mei 1920, overleed op 4 september 1989. Onze Confrater had de uitdrukkelijke wens geuit dat bij deze gelegenheid, onze tussenkomst zou beperkt blijven tot de bondigste mededeling en dat er geen verdere lofrede zou uitgesproken worden.

Doctor in de wetenschappen, was hij professor aan de Vrije Universiteit Brussel en het RUCA.

Geassocieerde van onze Academie in 1972, titelvoerend lid in 1977, directeur van zijn Klasse in 1983, werd hij in 1985 tot het erelidmaatschap bevorderd.

Ik nodig U uit enkele ogenblikken stilte te bewaren ter nagedachtenis van onze dierbare overledenen.

Voor het jaar 1989 zijn de bureaus van de Klassen als volgt samengesteld :

Klasse voor Morele en Politieke Wetenschappen :

Directeur : Yola Verhasselt

Vice-directeur : Jacques Ryckmans

Klasse voor Natuur- en Geneeskundige Wetenschappen :

Directeur : Luc Eyckmans

Vice-directeur : Jean Semal

Klasse voor Technische Wetenschappen :

Directeur : Gilbert Froment

Vice-directeur : Jacques De Cuyper

Onze Academie telt op het ogenblik één lid *honoris causa*, 100 werkende en erewerkende leden, 80 geassocieerde en eregeassocieerde leden, 88 corresponderende en erecorresponderende leden.

Vorig jaar heb ik U gemeld dat onze Academie een nationaal karakter zou behouden en dat zij overging naar de voogdij van de Minister van Binnenlandse Zaken, van de Modernisering van de Openbare Diensten en van de Nationale Wetenschappelijke en Culturele Instellingen. Ik houd er aan hier de H. Minister L. Tobback en zijn Administratie te bedanken voor hun welwillende belangstelling tegenover onze Academie en voor de spoed waarmee zij de dossiers omtrent onze Instelling hebben behandeld.

Alle problemen zijn natuurlijk nog niet opgelost — ik zal er op terugkomen — maar de onzekerheden en de moeilijkheden die wij in 1987-88 gekend hebben schijnen tot het verleden te behoren.

De steun vanwege de Overheid waarvan wij afhangen heeft ons toegelaten onze verscheidene activiteiten voort te zetten. Hiervoor zijn wij ook dank verschuldigd aan heel het personeel, dat op het secretariaat zelf van de Aca-

demie mij met kennis van zaken, met toewijding en daadwerkelijk bijstaat, in 't bijzonder onze trouwe secretaris der zittingen, Mevr. L. Peré-Claes.

Les trois Classes se sont réunies mensuellement et notre *Bulletin des Séances* rend compte de leurs travaux couvrant les domaines les plus divers des sciences d'Outre-Mer.

La Commission d'Histoire, présidée par M. J. Stengers, poursuit la préparation du recueil d'études sur le «Congo 1955-1960».

Notre Commission de la Biographie, présidée par M. P. Salmon, prépare actuellement le tome 8 de la Biographie belge d'Outre-Mer. Le tome 7 C sortira de presse le mois prochain.

Le 1^{er} décembre 1988, nous avons tenu sur le thème «Du chercheur au paysan» une séance académique à l'occasion de l'attribution du Prix International Roi Baudouin pour le Développement 1988 à l'Indian Council of Agricultural Research (ICAR). Les Actes de cette séance sont sous presse et je tiens à renouveler nos remerciements à la Fondation Roi Baudouin qui nous a accordé son appui dans tous les domaines pour l'organisation de cette séance et la publication de ses Actes.

À l'initiative de la Classe des Sciences techniques, un symposium a été organisé le 9 décembre 1988, sous la présidence de M. R. Sokal, sur l'Impact de l'Informatique dans le Tiers Monde. Une dizaine d'exposés y ont été présentés, dont trois par des orateurs venus d'Outre-Mer.

D'autre part, en collaboration avec l'Association belge des Africanistes, une Journée d'étude sur les Sciences humaines au Cameroun a été organisée le 20 juin 1989, sous la présidence de Mme Y. Verhasselt. Neuf exposés y ont été présentés, dont une communication du professeur R. Nkili sur la recherche et l'enseignement au Cameroun.

Nombre de nos confrères ont été l'objet au cours des mois écoulés de flatteuses distinctions scientifiques, académiques et honorifiques. Il serait trop long de les mentionner ici. Je me limiterai à signaler qu'il a plu au Roi de conférer à M. André Jaumotte concession de noblesse héréditaire et titre personnel de baron.

Zo het jaar 1987-88 bijzonder gunstig was op het gebied van onze publikaties — wij hebben meer dan 3000 paginas uitgegeven en rondgestuurd — moet ik aan de waarheid dat dit ritme niet is kunnen aangehouden worden.

De niet-betaling door de Staat van het saldo van onze toelage 1986 en van het geheel van onze toelage 1987 voor de publikaties, te weten een onbetaalde achterstand van 1 725 000 F, heeft ons in een moeilijke financiële toestand gebracht en heeft ons verplicht de grootste voorzichtigheid te bewaren in het laten drukken van onze werken.

Wij zullen echter binnenkort onze lichte achterstand in de publikatie van de *Mededelingen der Zittingen* inhalen.

Aflevering 2 van boek 34 (1988) kwam zojuist van de pers en vier andere afleveringen zijn reeds bij de drukker.

Anderzijds publiceerden wij een verhandeling van de Klasse voor Morele en Politieke Wetenschappen :

DOMONT, J. M. 1988. Un territorial au pays des sectes politico-religieuses du Bas-Congo pendant les années 1939-1945 (avec introduction de J. Vanderlinden). — *Mém. Acad. r. Sci. Outre-Mer*, Cl. Sci. mor. polit., nouv. sér. in-8°, 50 (3), 133 pp., 1 fig. ;

en een verhandeling van de Klasse voor Natuur- en Geneeskundige Wetenschappen :

LIÉGEOIS, J. P. 1988. Le batholite composite de l'Adrar des Iforas (Mali). — *Mém. Acad. r. Sci. Outre-Mer*, Cl. Sci. nat. méd., nouv. sér. in-8°, 22 (2), 231 pp., 110 fig.

Deze laatste, bekroond met de Lucien Cahen Prijs in 1987, werd gepubliceerd in samenwerking met het Koninklijk Museum voor Midden-Afrika, dat wij danken voor deze bijdrage.

Twee andere belangrijke verhandelingen zijn in druk, alsook de Acta van de Studiedag van 24 maart 1987 over de Stone-Lines en deze van ons Symposium van 4 december 1987 gewijd aan de Toekomst van de tropische wetenschappen in de Belgische universitaire instellingen.

Boek 7 C van de Belgische Overzeese Biografie is bij de boekbinder en zou dus binnenkort moeten rondgestuurd worden.

Et nous avons encore bien des projets.

Le 16 novembre prochain, nous organiserons, en collaboration avec le Bureau des Nations Unies à Bruxelles, une Journée d'information sur la «Prévention des catastrophes naturelles».

Le 7 décembre s'ouvrira notre symposium annuel organisé cette fois en collaboration avec l'Institut Africain, sur «Les langues en Afrique à l'horizon 2000».

L'Académie apportera son patronage au colloque international que l'Institut de Médecine tropicale Prince Léopold organise les 14 et 15 décembre 1989 sur «La Recherche en sciences de la santé, outil indispensable au développement».

En collaboration avec le Centre technique de Coopération agricole et rurale (CTA), l'Académie organisera une journée d'étude les 5 et 6 juin 1990 sur le thème «Intensification agricole et environnement en milieu tropical». Il m'est agréable de redire, une fois de plus, combien nous nous réjouissons des excellentes relations qui nous lient à ce Centre qui, à l'interface des Communautés Européennes et des États associés d'Afrique, des Caraïbes et du

Pacifique, poursuit, dans le domaine du développement agricole et rural, une activité parallèle à celle de notre Académie.

Il n'est pas mauvais que les institutions, comme les sociétés, se remettent en question, qu'elles réfléchissent à leur mission, qu'elles s'interrogent sur la façon dont elles la remplissent. À la veille de l'immense remise en question dont l'année 1989 a commémoré le bicentenaire, le vent qui soufflait alors sur la France n'épargnait pas cette digne institution qu'était l'Académie française. Dans un pamphlet acerbe intitulé *Séance extraordinaire et secrète de l'Académie*, anonyme certes mais où l'on reconnut la plume acide de Rivarol, les académiciens, souvent déjà jugés inutiles ou dépassés, étaient, cette fois, accusés d'incivisme, se perdant en vaines querelles littéraires au moment où l'on eût attendu qu'ils se préoccupassent de la vie politique de la Nation.

Il convient donc que nous nous interroguions sur le rôle de notre Académie et l'adéquation de ses activités. Sans doute le choix indépendant par chacun des sujets d'étude et le travail accompli dans une totale liberté d'esprit sont-ils, chez nous, comme dans les Universités, le gage d'une heureuse diversité de travaux et d'une féconde pluralité de points de vue. Mais je n'ai pas été insensible à l'appel lancé il y a un an par le président Sokal pour que des études collectives soient entreprises sur de grands thèmes d'actualité intéressant au premier chef la coopération au développement. Nos membres qui, en toute liberté, souhaiteraient y prendre part, pourraient ainsi coordonner leurs vues sur ces sujets et leurs rapports pourraient être discutés par nos Classes ou même à l'occasion de journées de réflexion interdisciplinaires. Ils pourraient donner lieu à des vœux, voire des rapports adressés à nos Autorités.

Dans nos pays occidentaux, les Académies n'ont généralement plus, depuis plus d'un siècle, les moyens de conduire elles-mêmes la recherche scientifique ni de lui donner ses orientations fondamentales. Mais leur crédit reste suffisant pour qu'elles puissent attirer efficacement l'attention des organes de décision sur les directions qu'elles estiment judicieuses. Ayons le dynamisme nécessaire pour jouer pleinement ce rôle.

Biotechnologies adaptées et développement *

par

J. SEMAL ** & P. LEPOIVRE ***

MOTS-CLÉS. — Biotechnologies ; Micropropagation ; Vitrocultures.

RÉSUMÉ. — Différents niveaux de complexité peuvent être distingués en matière de biotechnologie végétale basée sur la culture *in vitro* : la micropropagation conforme, l'assainissement viral par culture de méristème, l'amélioration génétique et la création de plantes transgéniques. Les vitrotechniques d'assainissement et de micropropagation sont en voie de transfert dans les pays en développement. Elles demandent relativement peu de moyens matériels coûteux mais requièrent du personnel qualifié. Divers modèles sont passés en revue dans ce domaine : patate douce en Chine, pomme de terre au Rwanda, bananier au Maroc et palmier à huile en Côte-d'Ivoire. Les vitrotechniques conduisant à l'amélioration génétique et à la création de plantes transgéniques requièrent l'utilisation de technologies avancées. Leur mise en œuvre dans les pays en développement devrait être envisagée avec prudence, en relation avec la mise en place d'infrastructures scientifiques locales susceptibles d'en assurer le suivi et d'en contrôler les applications.

SAMENVATTING. — *Aangepaste biotechnologieën en ontwikkeling.* — Verscheidene complexiteitsniveaus kunnen onderscheiden worden op het vlak van de plantenbiotechnologie, gebaseerd op *in vitro*-culturen : de conforme micro-voortplanting, de viruszuivering door meristeem-cultuur, de genetische verbetering en de vorming van transgenische planten. De vitrotechnieken in verband met de zuivering en de micro-voortplanting worden stilaan overgebracht naar de ontwikkelingslanden. Zij vragen betrekkelijk weinig dure materiële middelen maar vereisen geschoold personeel. Verschillende modellen in dit domein worden onderzocht : zoete aardappel in China, aardappel in Rwanda, bananeboom in Marokko en oliepalm in de Ivoorkust. De vitrotechnieken die leiden tot de genetische verbetering en tot de vorming van transgenische planten vereisen het gebruik van gevorderde technologieën. Hun uitvoering in de ontwikkelingslanden zou met voorzichtigheid moeten overwogen worden, met betrekking tot de oprichting van lokale, wetenschappelijke infrastructuren die in aan-

* Lecture faite par M. J. Semal à la séance plénière du 18 octobre 1989.

** Vice-directeur de la Classe des Sciences naturelles et médicales, professeur ordinaire à la Faculté des Sciences agronomiques de l'État de Gembloux, avenue Maréchal Juin 13, B-5800 Gembloux (Belgique).

*** Chef de travaux et maître de conférence à la Faculté des Sciences agronomiques de l'État de Gembloux, avenue Maréchal Juin 13, B-5800 Gembloux (Belgique).

merking komen om de navolging ervan te verzekeren en de toepassingen ervan te controleren.

SUMMARY. — *Adapted biotechnologies and development.* — Different levels of complexity may be distinguished within the scope of plant biotechnology based on vitrocultures : true-to-type micropropagation, virus eradication by meristem culture, genetic improvement and the making of transgenic plants. Vitrotechniques used for pathogen eradication and micropropagation are now accessible to developing countries. They require relatively inexpensive equipment, but need skilled personnel. Various models in this field are analyzed : sweet potatoes in China, potatoes in Rwanda, oil palms in the Ivory Coast and bananas in Morocco. Vitromethods used for genetic improvement and for transgenic plants need advanced technology. Their implementation in developing countries should be envisaged with caution, in relation with the setting up of local scientific infrastructures to ensure the follow-up to their introduction and the control of their applications.

1. Introduction

Les biotechnologies sont en vogue. Leurs potentialités théoriques, quasi illimitées (SASSON 1988) excitent l'imagination scientifique, aiguïssent les appétits financiers et attisent les craintes devant l'inconnu.

Les optimistes y voient une source quasi inépuisable de bienfaits, capables de résoudre les problèmes de l'humanité future dans le domaine de la médecine, de l'alimentation et des bio-industries. Certains sont plus réservés et expriment leurs inquiétudes à propos des dangers potentiels de ces nouvelles biotechnologies entre les mains d'apprentis sorciers. D'autres encore craignent les bouleversements économiques et sociaux de leur mise en œuvre inconsidérée.

Notre approche des biotechnologies modernes, tout en étant globalement positive, sera cependant tempérée par un pragmatisme prudent quant à leur adaptation aux pays en développement (LEPOIVRE & SEMAL 1989). Transferts de biotechnologies certes, mais à quel rythme, avec quels préalables et selon quelles procédures ?

Eu égard à l'ampleur du sujet, on se limitera au secteur des plantes cultivées, ce qu'on pourrait appeler les «phytotechnologies», ou encore les «vitrotechnologies» puisqu'elles reposent pour une large part sur les cultures de tissus végétaux axéniques.

De nombreux colloques et séminaires sur le sujet ont foisonné au cours des deux dernières années, avec comme aboutissement le Symposium organisé en juin 1989 à Luxembourg, conjointement par le Centre technique de coopération agricole et rurale (CTA) et la FAO (DEMARLY 1989 ; MASSALA 1989 ; TOURÉ 1989).

Les phytotechnologies comportent quelques grandes catégories fonctionnelles que l'on peut regrouper en 3 niveaux successifs : le premier niveau qui concerne

la micropropagation conforme et l'assainissement viral via la vitroculture de méristèmes, le deuxième niveau visant à l'amélioration des plantes par diverses méthodes de culture *in vitro* et le troisième niveau qui se fonde sur la création de plantes transgéniques par incorporation de gènes ciblés.

Afin d'identifier les principaux paramètres qui importent en la matière, nous analyserons quelques modèles qui sont déjà fonctionnels dans divers pays en développement.

Pour illustrer les phytotechnologies classiques dont le transfert nord-sud est le plus avancé, nous traiterons des cultures de patate douce en Chine, de pomme de terre au Rwanda, de palmier à huile en Côte-d'Ivoire et de bananier au Maroc.

Pour ce qui est des phytotechnologies de second niveau, dont les applications sont encore au stade expérimental, nous citerons le cas du manioc en Colombie.

Enfin, les phytotechnologies liées aux plantes transgéniques seront évoquées de manière prospective.

Le modèle vitrotechnologique le plus simple concerne l'assainissement virologique des clones pour les cultures à multiplication végétative comme la patate douce, le manioc, la pomme de terre. Il s'agit de curer de leurs différents agents pathogènes des cultivars locaux ayant accumulé, au cours du temps, des parasites dommageables, dont certains peuvent être d'introduction récente via l'importation de nouvelles variétés. Le rendement de cette opération d'assainissement, lorsqu'elle est réussie, est spectaculaire.

Après une phase de micropropagation, les clones sont multipliés en milieu contrôlé par la voie traditionnelle des boutures ou des tubercules. On peut faire appel à une étape intermédiaire permettant la propagation rapide *in vitro* sous forme de microplantules, de microtubercules ou de minitubercules.

Chez la pomme de terre, ces techniques de micropropagation présentent divers avantages, notamment le faible poids unitaire et la juvénilité des produits. Il s'agit d'une biotechnologie que maints pays pourraient développer en vue d'assurer la production de plants de base, afin d'éviter la charge en devises résultant des importations, que ce soit en Égypte, dans les pays du Maghreb, au Sénégal ou au Rwanda. Les laboratoires locaux y possèdent généralement la capacité de produire expérimentalement des vitroplants assainis à petite échelle. Une extension de leur production demanderait des investissements qui ne peuvent être couverts par les moyens locaux et c'est dans ce secteur, notamment, que l'on se tâte pour réaliser des opérations de partenariat.

On peut envisager une solution alternative via l'achat de plants à l'étranger, solution qui est défendue par les filières traditionnelles d'import-export. Cette procédure assure une sécurité d'approvisionnement régulier et rapide, en quantités variables, des variétés disponibles sur le marché international. Certains facteurs cependant militent en faveur d'un remplacement progressif

ou d'une complémentation des plants étrangers par des productions locales : les sorties de devises qu'elles impliquent, la qualité, que l'on dit irrégulière, des produits importés que les pays en développement peuvent difficilement soumettre à un contrôle phytosanitaire poussé et, enfin, l'intérêt qu'il y a de cultiver des variétés locales, inconnues sur le marché international.

2. Cas de la patate douce en Chine

La patate douce est cultivée de manière traditionnelle dans la province de Guangdong (Chine) avec des rendements de l'ordre de 20 t/ha pour les variétés locales.



Fig. 1. — Salle de culture de patate douce à Guangdong (Chine).

Les variétés améliorées introduites, cultivées avec engrais et protection phytosanitaire, peuvent atteindre des productions de 75 t/ha dans les meilleures fermes. Les variétés performantes importées de l'étranger s'avèrent cependant très sensibles aux viroses, contrairement aux variétés locales.

Dans le cadre d'un programme de recherche subsidié par la CEE, en collaboration avec l'Académie des Sciences de Guangdong (Guangzhou), nous avons entrepris un programme d'assainissement virologique des principales variétés de patate douce à haut rendement cultivées dans cette région.

La mise au point, dans notre laboratoire, de sérums appropriés, devrait permettre aux collègues chinois d'assurer un suivi adéquat du comportement au champ des clones assainis et notamment de leur potentiel de réenvahissement par les virus présents dans l'environnement local.

3. Cas de la pomme de terre au Rwanda

Dans le cadre d'un contrat subsidié par la CEE, avec l'Institut des Sciences agronomiques du Rwanda (ISAR), responsable du programme d'amélioration de la pomme de terre (PNAP) dont le siège est situé à Ruhengeri, nous avons procédé en 1985-1987 à l'assainissement de variétés rwandaises de pomme de terre. Celles-ci ont été transférées au Rwanda sous forme de microtubercules ou de microplantules.

Sous la direction du Dr Tegera, le PNAP de Ruhengeri a mis en place un laboratoire de micropropagation végétative. Les produits assainis sont propagés dans des champs de multiplication situés en altitude, à l'abri des contaminations par les pucerons vecteurs de virus et par la bactériose *Pseudomonas solanacearum*. En vue de valoriser la production, le PNAP a réalisé la construction de locaux de stockage afin d'assurer une conservation adéquate des tubercules.

4. Cas du palmier à huile en Côte-d'Ivoire

En Côte-d'Ivoire, on rencontre l'illustration d'une situation que l'on pourrait qualifier d'évolution dans la continuité. Elle concerne le palmier à huile, à l'amélioration duquel s'est attelée la Station de recherches de La Me, sous l'égide de l'Institut de Recherches sur les Huiles et Oléagineux et de l'Office de Recherches scientifiques et techniques Outre-Mer.

Le chef du laboratoire et les techniciens sont ivoiriens, tandis que les concepteurs et le directeur de la Station sont français. Le travail d'élaboration de la filière de production a été supervisé par le professeur Demarly de l'Université d'Orsay. L'encadrement scientifique par des nationaux français était toujours d'actualité en 1989, au niveau de l'organisation générale ou dans la mise en œuvre et l'interprétation des essais de terrain..

Le projet, qui bénéficie d'un financement par la France, est d'importance majeure sur le plan économique tout en étant des plus délicats sur le plan technique, les déboires d'expériences antérieures ayant conduit à une prudence extrême dans l'exploitation des résultats.

On ne s'étonnera guère, dès lors, de la nécessité d'une collaboration internationale très large pour traiter d'un matériel aussi difficile. Il est probable que progressivement, les scientifiques ivoiriens seront à même de poursuivre cette recherche tandis que les Français, peut-être, se seront attelés à d'autres projets.

Un premier objectif majeur réside dans la mise au point d'une méthodologie de clonage conforme des individus performants. Cette étude est contraignante, eu égard à la durée nécessaire à l'évaluation des produits jusqu'au niveau de la fructification en plantations, en prenant en compte l'alternance sexuelle séquentielle chez un même individu de palmier. Dans le cadre d'une approche très prudente, basée sur la culture d'explants de jeunes organes prélevés sur des individus d'élite, on assure actuellement une production d'embryons somatiques. Ces derniers sont formés dans des fragments de feuilles, sans passage par la phase cal, par culture sur un milieu dépourvu d'auxines. Les chercheurs de La Me ont mis au point de la sorte une filière de production et d'expérimentation d'individus clonés qui semble prometteuse (KOUAME 1989).



Fig. 2. — Salle de culture de jeunes palmiers à huile à La Me (Côte-d'Ivoire).

Lors d'une visite sur place, il nous fut donné d'observer en plantation des palmiers issus de vitroculture, qui avaient donné récemment une première fructification normale.

Au Maroc et en Tunisie, des travaux comparables sont menés sur le palmier-dattier, notamment en vue de multiplier les types résistant au «Bayoud». Les résultats préliminaires sont encourageants, mais demandent à être étendus avant que l'on puisse se prononcer à leur sujet.

5. Cas de la banane de dessert au Maroc

Traditionnellement, la banane était importée au Maroc en provenance des Canaries, les seules cultures indigènes étant localisées dans la région d'Agadir.

Au cours des années 1980, on a assisté à un développement explosif de la culture de banane sous abri dans ce pays.



Fig. 3. — Culture de banane sous abri (Maroc).

Plusieurs facteurs ont été déterminants en la circonstance :

- 1) La disponibilité d'une filière de production de plants d'élite par les pépinières des Domaines royaux de Meknes ;
- 2) La protection douanière aboutissant à une limitation des importations ;
- 3) La disponibilité en moyens financiers ;
- 4) La forte rentabilité des investissements consacrés aux serres à armature de bois ou de métal avec revêtement en matière plastique.

Les plantations sous abri, dont la surface dépasse actuellement le millier d'hectares, sont de belle venue et certaines sont déjà en pleine production. Une telle opération, cependant, tient davantage de l'exploitation d'un créneau particulièrement rentable par les investisseurs privés que d'un transfert de biotechnologie.

6. Cas du CIAT de Cali

Le «Centro Internacional de Agricultura Tropical» (CIAT) de Cali (Colombie) a mis sur pied, sous la direction du Dr William Roca, un laboratoire de biotechnologie doté de personnels spécialisés et d'équipements de pointe.



Fig. 4. — Le Dr William Roca (à l'avant-plan) dans le laboratoire de biotechnologie du CIAT à Cali (Colombie).

Parmi les réalisations figurent notamment la cryopréservation des végétaux (CIAT 1989), ainsi que la sélection de vitrovariants de manioc, dont les clones sélectionnés sont actuellement en essais comparatifs au champ.

7. Problèmes socio-économiques liés aux transferts de biotechnologies

Le transfert nord-sud des biotechnologies pose un ensemble de problèmes, qu'il convient de résoudre parallèlement à la mise en œuvre de ces nouvelles techniques dans les pays en développement.

Un premier aspect concerne le suivi technique des applications. Il comporte notamment des études de faisabilité de programmes de multiplication et d'utilisation des végétaux d'élite, le contrôle de la qualité des semences et du matériel de plantation, le suivi de l'état sanitaire dans les cultures, ainsi que la mise en œuvre de réseaux de conservation, de transport et de commercialisation des produits.

Sur le plan scientifique (DEMARLY & SIBI 1989), les biotechnologies de micropropagation conforme, ainsi que la sélection de vitrovariants, requièrent relativement peu d'investissements matériels (appareils et installations), mais exigent en revanche une main-d'œuvre qualifiée bien formée, dotée d'aptitudes particulières. Il s'agira donc surtout en l'occurrence d'un transfert de matière grise via la formation de spécialistes du Tiers Monde.

Un second aspect concerne les conséquences socio-économiques de la mise en œuvre des nouvelles biotechnologies. Cet ensemble de questions fait actuellement l'objet de l'élaboration de codes de bonne conduite, sous l'égide d'organismes internationaux : FAO, CEE, International Board for Plant Genetic Resources, Centres internationaux de recherche. Il convient notamment de prendre en compte la protection de la diversité du patrimoine génétique des plantes, l'impact sur les structures de production et le devenir des populations paysannes, l'appréciation des risques et l'analyse des conséquences économiques et financières. À cet égard, d'importantes études sont en cours en vue de conférer aux objets biologiques (les plantes en l'occurrence) un statut juridique qui concilie les droits de l'«obteneur» (lesquels forment depuis des décennies la base des accords internationaux) et les droits de l'«agriculteur» (qui visent à préserver l'apport des générations d'agriculteurs traditionnels qui ont entretenu et orienté la diversité végétale dans les pays en développement). Est également à l'étude le problème de la brevetabilité des gènes ou des organismes obtenus par manipulations génétiques.

8. Conclusions

Les vitrotechnologies végétales classiques sont déjà riches en réalisations dans les pays en développement.

Les vitrotechnologies liées à la sélection requièrent des infrastructures plus complexes et une formation plus poussée des personnels, de sorte que dans les pays en développement, elles relèvent actuellement de centres de recherche internationaux ou régionaux, ou encore de laboratoires particulièrement avancés, dont l'activité est spécifiquement ciblée sur des cultures de rente.

Les phytotechnologies de pointe, liées aux plantes transgéniques, sont certes riches en promesses et ont fait l'objet d'échanges de vue nombreux et animés au Colloque de Luxembourg de juin 1989. Leurs applications pourraient probablement aider à résoudre certains problèmes phytosanitaires graves qu'il n'est pas possible, jusqu'à présent, de maîtriser par les voies classiques. Que

l'on songe par exemple à la résistance à un virus, conférée par l'incorporation dans le génome de la plante-hôte du gène de la protéine-enveloppe virale correspondante.

Toutefois, l'expérimentation au champ des plantes transgéniques vient à peine de débiter dans les pays à haut potentiel scientifique, de sorte que leur transposition dans les pays en développement ne devrait se faire que progressivement et de manière adaptée. Il ne faudrait pas pour autant y limiter la recherche dans ces matières, car la science est indivisible. Mais au stade actuel, il convient de mettre en place, préalablement aux applications pratiques, les infrastructures humaines et matérielles indispensables pour rendre les transferts de biotechnologies pleinement opérationnels. Il convient donc de doter les pays en développement des outils qui leur permettront le suivi et le contrôle des paramètres scientifiques, techniques et socio-économiques liés à ce qui apparaît déjà comme une nouvelle révolution verte.

Dans l'immédiat, le choix des vitrotechniques adaptées au développement se place dans le contexte de la course contre la montre qui est engagée en vue d'accroître la production, notamment des plantes vivrières. Cet objectif peut être atteint rapidement et relativement simplement via les vitrotechnologies classiques, à condition de mettre en place des filières adéquates d'acclimatation, de multiplication (y compris via les méthodes traditionnelles), de contrôle de conformité, de suivi de l'état sanitaire (notamment la recontamination du matériel assaini) et de commercialisation des produits améliorés.

Simultanément, il faut créer, dans les pays en développement, des points d'appui scientifiques (MEYER 1989) fonctionnant au sein de réseaux interrégionaux et internationaux de formation, d'informations et d'échanges, ce à quoi contribuent entre autres la FAO (FAO, 1989), la CEE et l'Université des réseaux d'expression française (SEMAL & LEPOIVRE 1989).

Moyennant ces prémisses, les vitrotechniques classiques ont dès à présent leur place dans les pays en développement, tandis que les plantes transgéniques pourraient être opérationnelles à la fin de la prochaine décennie. Nous serons alors à l'aube du *xxi*^e siècle, dont on peut espérer qu'outre des plantes en suffisance pour satisfaire les besoins de l'humanité, il cultivera également une nécessaire sagesse.

RÉFÉRENCES

- CIAT, 1989. *In vitro* storage of Cassava. — *CIAT International*, 8 : 8-10.
- DEMARLY, Y. 1989. Aspects techniques des biotechnologies végétales. — Symposium CTA/FAO (Luxembourg, 26-30 juin 1989), 27 pp. (miméo).
- DEMARLY, Y. & SIBI, M. 1989. Amélioration des plantes et biotechnologies. — John Libbey Eurotext, Paris, 152 pp.
- FAO, 1989. Implications des nouvelles biotechnologies pour l'engagement international.

- FAO, 3^e session de la commission des ressources génétiques (Rome, 17-21 avril 1989), 12 pp.
- KOUAME, B. 1989. Test précoce de productivité chez le palmier à huile. — *In* : AUPELF-UREF (éd.), *Plantes vivrières tropicales*. — John Libbey Eurotext, Paris, pp. 55-67.
- LEPOIVRE, P. & SEMAL, J. 1989. Biotechnologies appliquées aux plantes : les contraintes d'amont et d'aval. — *Annales de Gembloux*, **95** : 151-161.
- MASSALA, R. 1989. État actuel des biotechnologies végétales en Afrique. — Symposium CTA/FAO (Luxembourg, 26-30 juin 1989), 34 pp. (miméo).
- MEYER, J. 1989. L'avenir des sciences agronomiques tropicales dans les institutions universitaires belges. — *In* : Symposium «L'avenir des sciences tropicales dans les institutions universitaires belges (Milieux - Ressources - Santé)» (Bruxelles, 4 décembre 1987), Académie royale des Sciences d'Outre-Mer, Bruxelles, pp. 33-38.
- SASSON, A. 1988. Biotechnology and development. — UNESCO-CTA, Paris, 361 pp.
- SEMAL, J. & LEPOIVRE, P. 1989. Transferts de biotechnologies et culture *in vitro* des végétaux. — *In* : AUPELF-UREF (éd.), *Plantes vivrières tropicales*. John Libbey Eurotext, Paris, pp. 103-106.
- TOURÉ, B. 1989. L'impact des biotechnologies dans les pays en développement. — Symposium CTA/FAO (Luxembourg, 26-30 juin 1989), 13 pp. (miméo).

De vrijheid der zeeën *

door

F. SUYKENS **

TREFWOORDEN. — Continentaal plat ; Exclusieve zone ; Montego Bay ; Scheepvaartconferenties ; Territoriale zee ; Vlagdiscriminatie.

SAMENVATTING. — Sedert Hugo Grotius wordt het principe aanvaard van de vrijheid van de zee met uitzondering van de territoriale zee. Het verdrag van Montego Bay (1982) breidt deze territoriale zee uit tot 12 mijl, maar voert ook nieuwe begrippen in zoals de exclusieve economische zone en het continentaal plat. Het gevolg hiervan is dat 35% van de oppervlakte van de oceanen thans aan één of andere kuststaat worden toegewezen. Er ontstonden nieuwe zeeëngten. Hierdoor wordt de vrijheid van de zeeën sterk beperkt. De vrijheid van handel en scheepvaart ondergaat de invloed van de «UNCTAD Code of Conduct for liner conferences». Hierdoor vergroot het protectionisme in de scheepvaart en wordt de vrijheid eveneens beperkt.

RÉSUMÉ. — *La liberté des mers.* — Depuis Hugo Grotius, la liberté de la mer, à l'exception de la mer territoriale, était universellement acceptée. Le traité de Montego Bay (1982) a étendu la mer territoriale à 12 milles nautiques, mais a aussi introduit de nouveaux concepts comme la zone économique exclusive et le plateau continental. La conséquence en est que 35% de la superficie des océans sont contrôlés par l'un ou l'autre État côtier. De nouveaux détroits à statut spécifique sont créés et tout ceci limite considérablement la liberté des mers. La liberté du commerce et de la navigation subit l'influence du Code de conduite de la CNUCED pour les conférences maritimes. Ceci contribue aussi à augmenter la protection nationale de la navigation maritime.

SUMMARY. — *The freedom of the seas.* — Since Hugo Grotius, the freedom of the seas, with the exception of territorial waters, has been universally recognised. The treaty of Montego Bay (1982) extended territorial waters to 12 miles but also introduced new ideas such as the exclusive economic zone and the continental shelf. As a consequence of this, 35% of the surface of the oceans now come under the influence of one or other coastal State. New straits have been created. All this limits the ancient freedom of the seas. The freedom of trade and shipping undergoes the influence of the UNCTAD Code of Conduct for liner conferences. Protectionism increases also in this way in the shipping world.

* Lezing gehouden op de plenaire zitting van 18 oktober 1989.

** Werkend lid van de Academie, directeur-generaal van het Havenbedrijf Antwerpen ; Havenbedrijf, Stadhuis, B-2000 Antwerpen (België).

Dat de zee vrij is kan een klassieke uitdrukking genoemd worden, een historische zegswijze.

Reeds in het Romeinse recht komt deze stelling tot uiting. Zij heeft Rome nooit verhinderd om de ware heerschappij over de Middellandse zee, het *Mare Nostrum* na te streven en ook te bereiken. Het volstaat te verwijzen naar de strijd tegen Carthago om dit te illustreren.

In de zeventiende eeuw beweerden Groot-Brittannië, Spanje en Portugal over een uitgebreide maritieme jurisdictie te beschikken ter bescherming van hun sterk ontwikkelde zeehandel met overzeese gebiedsdelen. Het is o.m. tegen deze aanspraken dat een vertegenwoordiger van een kleine natie met echter een grote vloot, d.w.z. Nederland, zal opkomen, met name Hugo Grotius die in zijn *Mare liberum* (1608) ter verdediging van de Oostindische Compagnie zal aanvoeren dat geen Staat de uitsluitende jurisdictie over de zee kan hebben, noch over de scheepvaart op zee en de zeehandel (VAN GOETHEM 1963).

Grotius maakte ook het onderscheid tussen de volle zee en het statuut van de kustwateren.

Ter zake liepen de standpunten nogal uiteen. Geleidelijk aan zal echter het inzicht groeien dat de verdediging van een land de controle over een aan de kust grenzende zeestreek vergde. Vandaar dat men de neutrale zee zal bepalen op geschutsafstand vanuit de kust, hetgeen gedurende lange tijd drie zeemijlen (5,4 km) bedroeg. Alhoewel de driemijlszone als territoriale zee op basis van de geschutsafstand sterk veralgemeend werd, zal zij o.m. in het gedrang worden gebracht wanneer geleidelijk aan de reikwijdte van het geschut toeneemt.

Het zijn echter vooral economische motieven die na de tweede wereldoorlog deze traditionele gedragsregel zullen doen springen. Zo zullen Chili, Ecuador en Peru in 1947 eenzijdig hun territoriale wateren uitbreiden tot 200 zeemijl. Men wenste voor de eigen nationale visserijvloten het monopolie te behouden van de visvangst in deze zeer visrijke wateren, die beïnvloed worden door de koude Humboldtstroming.

De Verenigde Staten onder President Truman hadden ondertussen reeds op 28 september 1945 eenzijdig hun exclusieve jurisdictie op hun continentaal plateau — een nieuw begrip — langsheen hun kusten vastgesteld. Men sprak hier minder over soevereiniteit en over territoriale zone dan wel over exclusieve onderzoeks- en exploitatierechten van natuurlijke hulpbronnen (zowel visserij als bv. minerale olie).

Dit alles leidde ertoe dat in 1958 tijdens een conferentie te Genève onderzocht werd of niet enige ordening moest gebracht worden in deze materie voor het te laat werd. De gedachten gingen hierbij naar een uitbreiding van de territoriale wateren tot 12 zeemijl terwijl het continentaal plateau zich zou uitstrekken tot daar waar het water van de zee 200 m diep was d.w.z. tot op het punt waar de diepte van het water de exploitatie van de natuurlijke hulpbronnen nog mogelijk maakte. De conventie van 29 april 1958 haalde

echter niet de vereiste meerderheid. Dientengevolge werden de voorstellen op uiteenlopende wijze geïnterpreteerd en deden heel wat landen grotere aanspraken gelden dan voorzien.

Men streefde dan ook naar een wereldconferentie die in het kader van de UNO het probleem van het zeerecht grondig onder handen zou nemen. Het nadeel was echter dat men zowat alles in één internationale conventie wilde oplossen, zodat het verdrag van Montego Bay van 10 december 1982 over het nieuwe zeerecht (VAN DER MENSBRUGGHE 1982) niet overal bijval vond. In ieder geval aanvaardde men het principe van een territoriale zee van 12 mijl met daarbij nog een aansluitende zone van 12 mijl waarop een iets grotere fiscale en douanecontrole mogelijk zou zijn.

Naast deze territoriale zee werd dan een exclusieve economische zone voorzien waar de kuststaten een monopolie zouden hebben voor de exploitatie van de economische hulpbronnen en inzonderheid de visvangst. Als compensatie voor het recht dat aan de kuststaten werd toegekend in deze exclusieve zone werd duidelijk vastgelegd dat de onschuldige doorvaart (*le passage in-offensif*) hierin gewaarborgd wordt. Dit was overigens een eis van de grote maritieme (en militair machtige) landen die de vrije operaties van hun vloten op wereldvlak wilden veilig stellen.

Deze 200 mijl brede zone voldoet echter niet in bepaalde gevallen vermits volgens vele Staten hun continentaal plateau zich verder uitstrekt. Men heeft dan bepaald dat er wel enkele geologische criteria moesten in acht genomen worden om een continentaal plateau te omschrijven. Hierbij is men uitgegaan van 350 zeemijl vanaf de kust of 100 zeemijl vanaf de lijn van gelijke diepte van 2500 m, hetgeen een aanvaardbaar compromis bleek te zijn.

De gevolgen van dit alles zijn vrij groot vermits plots enkel en alleen onder het regime van exclusieve zone van 200 mijl 35% van de oppervlakte van de oceanen aan een of andere kuststaat worden toegewezen. Zes kuststaten nemen 40% van deze exclusieve zone voor hun rekening vermits ze een lange kust hebben met name :

— De Verenigde Staten	9,05%
— Australië	8,32%
— Indonesië	6,42%
— Nieuw-Zeeland	5,74%
— Canada	5,58%
— Sovjetunie	5,33%
	<hr/>
Totaal	40,44%

Heel wat nieuwe zeeëngten ontstaan waar vroeger open zee was. Vandaar dat er nieuwe bepalingen inzake onschuldige doorvaart doorheen deze nieuwe zeeëngten moesten opgenomen worden. Wie het speciale statuut en de moeilijkheden inzake de interpretatie ervan kent voor heel wat zeeëngten zoals

Suez, Panama, de Dardanellen, de straat van Malaka, enz. zal begrijpen dat het hier een buitengewoon delicate materie betreft. Het gaat hier immers niet alleen om militair-strategische aspecten, maar ook om milieugevaren zoals de doorvaart van supertankers die wel eens uit de koers willen lopen of ook de doorvaart van door kernenergie aangedreven of met kernenergie verwante produkten vervoerende schepen waarvoor de publieke opinie zeer gevoelig blijft.

Er is echter meer. Deze conventie van 1982 bepaalt immers ook dat er een regime wordt tot stand gebracht inzake de ontginning van zeeërtsen, mangaanknollen of polymetaalnodulen. Dit geeft uiteraard aanleiding tot heel wat bezwaren vanwege de landen die over de *know how* beschikken om deze nodulen op te graven. Men raamt dat deze diepzeenodulen ongeveer 6 miljard ton mangaan, 290 miljoen ton nikkel, 240 miljoen ton koper en 60 miljoen ton kobalt bevatten. D.w.z. de reserves bedragen

- 600 maal de huidige produktie van mangaan ;
- 40 maal de huidige produktie van koper ;
- 453 maal de huidige produktie van nikkel ;
- 2227 maal de huidige produktie van kobalt.

Voor de exploitatie zou men een internationaal orgaan oprichten dat de opbrengst zou verdelen, vermits men uitgaat van een standpunt dat de schatten in zee het gemeenschappelijke eigendom zijn van alle naties ter wereld.

Deze naties hebben uiteenlopende belangen. Zij die over ertsvoorraden te land beschikken vrezen de concurrentie van nieuwe producenten. Zij die van buitenlandse leveranciers afhankelijk zijn, zouden wel tot ontginning willen overgaan. Zij die over *know how* en financiële middelen beschikken wensen zo weinig mogelijk internationale inspraak of betaling in rechten. De armste landen en de *land locked countries* menen echter dat zij recht hebben op een deel van de opbrengst van dit gemeenschappelijke bezit van de mensheid. Het is dan ook begrijpelijk dat vooral over dit punt moeilijk een overeenstemming kan bereikt worden.

Wat er ook van zij, zelfs indien de conventie van Montego Bay niet in alle landen wordt goedgekeurd en geratificeerd, werd een basis gelegd voor de nieuwe bepaling van de territoriale zee en de exclusieve economische zone. Deze beperkt de oude vrijheid van de zeeën in grote mate. Het is typisch te noteren dat een orgaan zoals de Verenigde Naties dat zoveel heeft bijgedragen tot de dekolonisatie van de wereld plots zoveel bijdraagt tot de kolonisatie van de zee.

De vrijheid van de zee betekent nog niet de vrijheid van handel en scheepvaart tussen de diverse landen. In het kader van het mercantilisme legden vele koloniserende mogendheden heel wat beperkingen op aan de handel en de scheepvaart tussen het moederland en de overzeese gebieden. In Groot-Brittannië waren Cromwell's Acts of Navigation (1651) welbekend volgens

dewelke het vervoer tussen Groot-Brittannië en de kolonies, maar ook het transport tussen de kolonies en andere landen althans voor de *enumerated products* enkel konden gebeuren «provided it is in British or Plantation ships, of which the owners and three-fourths of the mariners are British subjects» (SMITH 1917, p. 75).

Tegen dit monopolie zal Adam Smith in zijn «An Inquiry into the nature and causes of the wealth of nations» aanvoeren :

We must carefully distinguish between the effects of the colony trade and those of the monopoly of that trade. The former are always and necessarily beneficial ; the latter always and necessarily hurtful (SMITH 1917, p. 104).

Zijn pleidooi voor wat wij thans zouden noemen *deregulation* kende succes en geleidelijk aan zullen midden vorige eeuw niet enkel in Groot-Brittannië, maar ook in Spanje, Frankrijk en Scandinavië vele monopolistische scheepvaartbepalingen buiten werking worden gesteld of althans worden afgezwakt.

Typisch in dit verband is het Cobdenverdrag van 1860 tussen Frankrijk en Groot-Brittannië dat inzake scheepvaart bepaalt dat beide landen aan de schepen van het andere land dezelfde behandeling zullen toestaan als aan deze van hun eigen ingezetenen.

Deze vrijheid van scheepvaart werd een uitdaging voor de reders. Het zal niet lang duren vooraleer zij het belang inzien, na het verdwijnen van het officiële monopolie, van een zekere vorm van samenwerking inzake regelmaat van afvaarten, vrachtcondities en ... tarieven. Dit leidt tot het gekende fenomeen van de scheepvaartconferenties die, waar mogelijk, «gesloten» zijn (enkel de deelnemers die aanvaard worden kunnen deelnemen) en waar de antitrust-wetgeving (USA) dit belet «open» zullen zijn. Iedereen mag deelnemen die de algemene (tarief)regels aanvaardt. De eerste scheepvaartconferentie was in 1868 deze op de Noordatlantische oceaan. De eerste succesvolle conferentie was in 1875 deze tussen het Verenigd Koninkrijk en Calcutta. Over het fenomeen van de scheepvaartconferenties bestaat een uitgebreide literatuur pro en contra (SAGER 1979).

De voordelen zijn ongetwijfeld dat de reders regelmatige afvaarten vanuit en naar op voorhand vastgestelde havens zullen bieden aan op voorhand vastgestelde prijzen die dikwijls, ten einde de handel te bevorderen, min of meer *ad valorem* zijn of zoals men gebruikelijk zegt «they charge what the traffic can bear» (d.w.z. de prijselasticiteit van de vraag van het goed op de markt waarvoor het is bestemd, de samenstelling van het goederenpakket, de omvang van het handelsverkeer in beide richtingen en de concurrentie) (EEG 1985).

Ten einde de cliëntele beter aan de conferentie te binden worden op basis van getrouwheidscontracten soms contractuele verminderingen voorzien die ook wel eens de vorm van *deferred rebates* aannemen of soms penalisatie omvatten. De gebruikelijke kritiek van het conferentiesysteem berust voornamelijk op een gebrek aan flexibiliteit, de hoogte van de vrachten, enz.

Dit conferentiesysteem dat goed een eeuw oud is wordt thans beïnvloed door diverse tendenzen.

Er is vooreerst de schaalvergroting die leidt tot samenwerking. Wij zien hoe op nationaal vlak grote rederijconcentraties ontstaan.

In Nederland geeft Nedlloyd de toon aan na een fusiebeweging tussen de Stoombootmaatschappij Nederland, Amsterdam, — de Koninklijke Rotterdamse Lloyd, Rotterdam, — de Koninklijke Java-China pakketvaartlijn, Amsterdam, — de Verenigde Nederlandse Scheepvaartmaatschappij te 's-Gravenhage en de KNSM te Amsterdam. De KNSM had overigens voordien reeds de Koninklijke Hollandse Lloyd overgenomen.

In Groot-Brittannië is er een groep zoals O.C.L. die de rederijen P&O, Furness Withy & Co, British and Commonwealth, Blue Funnel, enz. samenbrengt.

In Duitsland zijn de Hamburg-Amerika Linie en de Norddeutscher Lloyd samengegaan in Hapag-Lloyd.

In België zien wij de fusie eerst tussen C.M.B. en Deppe en nadien tussen C.M.B. en Bocimar alsmede de participatie van C.M.B. in de kustvaartrederij Ahlers Lines.

In Frankrijk is er de fusie tussen Messageries Maritimes en de Cie Générale Transatlantique tot Cie Générale Maritime.

Deze nationale hergroeperingen zijn niet enkel het gevolg van de kapitaalsintensiteit van de investeringen in containerschepen, maar worden ook ingegeven door de wens om een grotere geografische spreiding van de activiteiten te verkrijgen met het oog op een vermindering van de kwetsbaarheid (STAL 1982).

Sommige nieuwe rederijen zijn overigens het gevolg van internationale samenwerking. Typevoorbeeld in dit geval is dan wel de Atlantic Container Line, waarin wij beroemde scheepvaartlijnen, die destijds wedijverden om de grootste passagiersschepen op de Noordatlantische Oceaan te hebben, terugvinden in een gezamenlijk concept voor een container/ro-ro-dienst. Nemen deel aan Atlantic Container Line : Holland-Amerika lijn, Cunard Steamship Cy, Cie Générale Transatlantique, Swedish America Line, Transatlantic Steamship Cy en Wallenius Reederierna. Het nadeel is echter dat in dergelijke gevallen de eigen identiteit van de rederijen verloren gaat. Vandaar dat thans een opsplitsing van ACL overwogen wordt.

Andere voorbeelden van internationale joint ventures zijn o.a. de Carol Line. Aan deze Caribbean Overseas Lines nemen deel : KNSM, Hapag-Lloyd, Harrison en Cie Générale Transatlantique.

Wij zouden op deze wijze verder kunnen gaan en verwijzen naar de Scan-Dutch dienst op het Verre Oosten, de machtige Trio dienst die Europese en Japanse rederijen samenbrengt in een scheepvaartlijn tussen het Verre Oosten en West-Europa, de multinationale Ace-groep waarin vooral Aziatische nationale rederijen vertegenwoordigd zijn, enz.

Naast deze consortia ontstaan ook zeerederijen die al dan niet in het kader van «Round the world» diensten grote trafiekstromen gaan controleren. Het volstaat in dit verband te denken aan Evergreen uit Taiwan dat in beide richtingen een dienst om de wereld in minder dan 80 dagen exploiteert. Er zijn het Amerikaanse Sealand, het Deense Maersk Line, het Britse P.O.C.L., enz.

Het is zonder meer duidelijk dat dergelijke reuzeconsortia en mega-rederijen dreigen een dominerende invloed uit te oefenen op het wereldverkeer van afgewerkte produkten, maar ook op de keuze van de haven, die niet meer gebeurt door de verlader, maar door de reder in het kader van een globaal concept.

Hierdoor ook komt de vrijheid van de zeescheepvaart wel in het gedrang. Men moet over dergelijke omvangrijke kapitalen kunnen beschikken en tevens zulk een uitgekiende organisatie kunnen opbouwen dat nog slechts weinige ondernemingen of landen kunnen volgen in deze stroomversnelling.

In dit perspectief moeten wij de «UNCTAD Code of Conduct for liner Conferences» zien. Wanneer na de tweede wereldoorlog heel wat kolonies onafhankelijk worden dan is de eerste betrachting van deze jonge naties dikwijls dat zij hun vlag op de zeven zeeën wensen te tonen.

Het aantal diverse vlaggen die de haven van Antwerpen aanliepen nam aanzienlijk toe (zie tabel 1).

Tabel 1

Aantal vlaggen die de haven van Antwerpen aanliepen.

Jaar	Aantal verschillende vlaggen
1938	32
1953	42
1963	50
1973	82
1988	101

De exploitatie van deze jonge vloten verloopt meestal moeilijk. Zij beschikken niet over de vereiste *know-how*, kapitalen, geschoold personeel, enz.

Zij stoten echter ook op weerstand bij de gevestigde scheepvaartlijnen en/of bestaande gesloten conferenties die zich op hun *past performance* steunen om hun aandeel in het verkeer te verdedigen.

De jonge landen — en zij niet alleen — zullen tegen de conferenties aanvoeren dat zij *cargo generating countries* zijn. Hun landen brengen veel lading voort die naar een ander land wordt geëxporteerd en voor ontwikkelingslanden betekent dit meestal ook vervoer over zee. Zij wensen een redelijk deel hiervan aan de eigen nationale vlag te kunnen toewijzen. De macht van de conferenties in de eerste plaats, maar van de containerconsortia nog veel meer, is zo groot dat zij hierin niet steeds gelukken.

Tabel 2

Vergelijking tussen het aandeel in de wereldhandel en het aandeel in de wereldkoopvaardijvloot (1978) (ADEMINI-ODEKE 1984).

Groep van landen	Aandeel van het wereld- totaal van geloste en geladen goederen	Aandeel van de wereldvloot
Ontwikkelde landen met markt- economie en landen met open scheepsregister	53,2%	84,5%
Landen met staatseconomie	6,3%	6,5%
Ontwikkelingslanden	40,5%	8,6%
Totaal	100%	ca. 100%

De ontwikkelingslanden zullen dan ook druk uitoefenen o.m. via UNCTAD om een redelijk aandeel te verwerven voor hun vloot en het wereldscheepvaartverkeer.

Dit leidt tot de UNCTAD «Code of conduct for liner conferences» die midden van de zeventiger jaren werd opgesteld. Hierin wordt bepaald (art. 1) «Any national shipping line shall have the right to be a full member of a conference which serves the foreign trade of its country» maar vooral art. 3, par. 2 :

- a) The group of national shipping lines of each of the two countries the foreign trade between which is carried by the conference shall have equal rights to participate in the freight and volume of traffic generated by their mutual foreign trade and carried by the conference ;
- b) Third country shipping lines, if any, shall have the right to acquire a significant part, such as 20 percent in the freight and volume of traffic generated by that trade.

Deze paragraaf zal gebruikelijk, al staat het niet zo in het verdrag, worden geïnterpreteerd als de 40/40/20 regel van de UNCTAD Code.

De praktijk toont aan dat heel wat ontwikkelingslanden eerder streven naar een feitelijke 50/50 verdeling van het verkeer. Door het oprichten van vrachtboekingskantoren overzee waar eerst de lading moet aangeboden worden wordt dit dikwijls in feite afgedwongen.

Ook vergeet men soms dat de code betrekking heeft op de scheepvaartconferenties en gaat men gans het lijnvaartverkeer en vooral het vervoer van stukgoederen ook door outsiders, d.w.z. niet-leden van de conferentie, hieronder begrijpen. Sommige landen gaan zelfs verder en in de UNCTAD zijn er landen die ervoor pleiten dat ook het vervoer van massagoederen op een 50/50 basis zou verdeeld worden zoals o.m. Algerije voor het vervoer van aardgas dit reeds doet.

Dit alles leidt tot een aanzienlijke beperking van de eens zo vrije wereldscheepvaart. Nationale lijnen krijgen rechten die zij met staatssteun afdwingen.

Wij staan nog niet zover als in de luchtvaart, maar men gaat in deze richting.

Men gaat stilaan naar één grote lijnvaartrederij per land en het verkeer tussen twee landen wordt toevertrouwd aan de beide nationale maatschappijen die uitgebreide rechten verkrijgen.

Er is verder het probleem van de *flags of convenience*. Daar de lonen in onze westerse landen steeds hoger worden, en ook de belastingen steeds zwaarder zijn, trachten heel wat rederijen hieraan te ontsnappen door hun schepen onder een van de goedkope vlaggen (*open ship register*) te plaatsen. Men sprak destijds van Pan-Hon-Libco (Panama, Honduras, Liberië), maar ook heel wat andere landen zijn er ondertussen bijgekomen zoals o.m. Singapore, de Bahamas, enz. Ook hiertegen wenst men op UNO-vlak op te treden en in de UNCTAD werd voorgesteld dat er een *genuine link* moet zijn tussen de reder en het land waar hij geregistreerd is. Onder *genuine link* verstaat men dat de directie van de rederij moet gevestigd zijn in het land van de vlag, dat een minimum nader vast te stellen aantal van de officieren en van de bemanning de nationaliteit moet hebben van de vlag, enz.

Daar de flags of convenience heel dikwijls voor westerse reders *flag of necessity* zijn geworden zal het fenomeen wel niet vlug verdwijnen, maar zowel diverse ontwikkelingslanden als dikwijls de syndikale vertegenwoordigers in de westerse landen trekken hiertegen ten strijde.

Er is echter heel wat protectionisme in de internationale scheepvaart.

Wanneer men spreekt over vlagdiscriminatie in de zeescheepvaart dan gaat de gedachte meestal naar de Zuidamerikaanse landen die vooral na de tweede wereldoorlog tal van maatregelen hebben ingevoerd om de eigen koopvaardij te bevoordelen en te steunen bij middel van diverse overheidsmaatregelen.

De praktijk is echter zeer ruim verspreid en zelfs de machtigste landen ter wereld zoals de U.S.A. of de Sovjetunie maken hiervan ruimschoots gebruik.

Het maritiem transportcomité van de OESO omschrijft dit als volgt :

By various measures, discrimination is practised in favour of ships of the national flag and against ships of other countries flags. Such measures are, for example :

- a) Measures in the field of exchange control ;
- b) Legislative provisions in favour of the national flag ;
- c) Arrangements made by governmental or semi-governmental organisations giving preferential treatment to national flags ;
- d) Preferential shipping clauses in trade agreements ;
- e) The operation of import and export licensing systems so as to influence the flag of the carrying ship ;
- f) Port regulations ;
- g) Taxation measures (ADEMINI-ODEKE 1984, p. 71).

Het zou ons te ver leiden om dit alles in detail te beschrijven. Heel wat maatregelen gebeuren soms open, maar soms ook wel verdoken.

Dat het verkeer tussen de nationale havens van een land (cabotage) gereserveerd wordt voor de eigen scheepvaart komt veelvuldig voor, zelfs in West-Europa. Wanneer het land echter een groot continent vormt zoals de USA dan valt dit des te meer op want vele reders zouden b.v. geïnteresseerd zijn in het vervoer van olie van Alaska naar de westkust van de USA. Dat regeringslading wordt voorbehouden aan de eigen koopvaardijvloot lijkt wellicht storend, maar verklaarbaar voor een land als de U.S.A. Wat gebeurt er echter in landen met staatshandel zoals de Sovjetunie of China waar alle ondernemingen staatsondernemingen zijn en alle handel staatshandel? Het gebruik van deze Sovjetmaatschappijen is overigens steeds *fob* te kopen indien het niet *free in* is en *cif* te verkopen. Enkel op basis van bilaterale akkoorden kan een gedeelte onder de vlag van het partnerland vervoerd worden. Regeeringslading wordt overigens in de USA ook breed geïnterpreteerd. In de Europese Economische Gemeenschap zijn de eerste voortekenen merkbaar dat men het transport van de EEG voedselhulp zal reserveren voor de vlaggen van de landen-leden van de gemeenschap. Indien dit open gebeurt door grote naties kan men zich indenken welke de vindingrijkheid is van tal van ontwikkelingslanden van Afrika, Azië en Zuid-Amerika.

Het gevolg van dit alles is dat door vlaggendiscriminatie, door een te ruime interpretatie van de «UNCTAD Code of Conduct for liner conferences» en door tal van andere al dan niet officiële maatregelen, het scheepvaartverkeer met heel wat ontwikkelingslanden verre van vrij kan worden genoemd.

Men moet er begrip voor kunnen opbrengen dat jonge landen die pas hun onafhankelijkheid hebben verworven, een eigen koopvaardijvloot wensen uit te bouwen, hun eigen vlag willen zien wapperen op de zeven wereldzeeën.

Nuchter moeten wij ons de vraag stellen of dit economisch de eerste prioriteit moet zijn voor deze landen. De scheepvaart is immers een kapitaalsintensief bedrijf dat heel wat *know how* vergt en dat bovendien een structurele mutatie ondergaat voor dewelke de woorden intermodaal en containerisatie illustratief kunnen genoemd worden. Het voornaamste bezwaar is echter dat oligopolies, monopolies en beperking van de internationale concurrentie bijna steeds leiden tot inefficiënties en tot prijsverhogingen. Hogere vrachtprijzen zowel bij import als bij export worden door de ontwikkelingslanden zelf gedragen daar de prijzen op de wereldmarkten bepalend zijn en moeten verhoogd worden bij import en verlaagd bij export door de al dan niet te hoge zeevrachten.

Het besluit van dit alles is dat door verdragen als deze van Montego Bay niet enkel de territoriale zee werd uitgebreid maar vooral een exclusieve economische zone werd ingevoerd die de oppervlakte van de open en vrije zee beperkt.

Door de UNCTAD Code of Conduct en vooral door de te ruime interpretatie die hieraan wordt gegeven, maar ook door vlaggendiscriminatie, bilaterale akkoorden en andere maatregelen met hetzelfde effect staan wij ver van de droom van het *Mare liberum* die Hugo Grotius zo lief was.

BIBLIOGRAFIE

- ADEMINI-ODEKE, 1984. Protectionism and the Future of International Shipping. — M. Nijhoff Publ., Dordrecht.
- EEG (Commissie van de Europese Gemeenschappen), 1985. Op weg naar een gemeenschappelijk vervoerbeleid — Vervoer over zee. Doc. (85) def., Brussel.
- SAGER, K. H. 1979. Shipping Conferences, a form of maritime co-operation to which there is no alternative. — Hapag-Lloyd, Hamburg.
- SMITH, A. 1917. An Inquiry in the Nature and Causes of the Wealth of Nations. — Everyman's Library, J. M. Dent & Sons, London.
- STAL, C. B. H. 1982. Repercussies van de structuurwijzigingen van de Westeuropese economie voor de zeescheepvaart. — *In*: Benelux Havenstudiedagen, Amsterdam.
- VAN DER MENSBRUGGHE, Y. 1985. Het verdrag van Montego Bay — 1982 — Over het nieuw internationaal zeerecht — Succes of mislukking, *Rechtskundig Weekblad*, 48e jaarg. (1985 - nr. 2).
- VAN GOETHEM, M. 1963. Het statuut van de territoriale zee. — Die Keure, Uitgeverij voor Rechts- en Bestuurswetenschappen, Brugge.

**CLASSE DES SCIENCES MORALES
ET POLITIQUES**

**KLASSE VOOR MORELE
EN POLITIEKE WETENSCHAPPEN**

Séance du 21 novembre 1989

(Extrait du procès-verbal)

La séance est ouverte à 14 h 30 par le directeur, Mme Y. Verhasselt, assisté de M. J. J. Symoens, secrétaire perpétuel.

Sont en outre présents : MM. A. Coupeuz, A. Duchesne, Mme M. Engelborghs-Bertels, MM. J. P. Harroy, J. Jacobs, E. Lamy, M. Luwel, A. Maesen, A. Rubbens, J. Ryckmans, P. Salmon, J. Sohier, J. Stengers, A. Stenmans, J. Vanderlinden, J. L. Vellut, membres titulaires ; MM. F. Bézy, P. de Maret, Mme A. Dorsinfang-Smets, M. M. Graulich, membres associés ; M. J. Comhaire, membre correspondant ; M. A. Lederer, membre de la Classe des Sciences techniques.

Absents et excusés : MM. A. Baptist, E. Coppieters, F. De Hen, M. d'Hertefelt, A. Gérard, Mme C. Grégoire, MM. L. Pétillon, S. Plasschaert, F. Reyntjens, le R.P. J. Spae, M. E. Vandewoude ; M. R. Vanbreuseghem, secrétaire perpétuel honoraire.

Éloge de M. Robert Cornevin

M. P. Salmon fait l'éloge de M. R. Cornevin, membre correspondant honoraire, décédé à Paris le 14 décembre 1988.

Cet éloge sera publié dans l'Annuaire 1990.

Le choix des langues, un domaine étranger aux linguistes

M. A. Coupeuz présente une étude à ce sujet.

Mme Y. Verhasselt, MM. J. Stengers, P. de Maret et J. Comhaire prennent part à la discussion.

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

La justice sous influence. Une exécution publique à Élisabethville (20 septembre 1922)

M. J. L. Vellut présente une étude à ce sujet.

MM. P. Salmon, J. J. Symoens, E. Lamy, J. Sohier, J. Stengers, J. Vanderlinden, J. P. Harroy et P. de Maret interviennent dans la discussion.

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

Zitting van 21 november 1989

(Uittreksel van de notulen)

De zitting wordt geopend te 14 h 30 door de directeur, Mevr. Y. Verhasselt, bijgestaan door de H. J. J. Symoens, vast secretaris.

Zijn bovendien aanwezig : De HH. A. Coupez, A. Duchesne, Mevr. M. Engelborghs-Bertels, de HH. J. P. Harroy, J. Jacobs, E. Lamy, M. Luwel, A. Maesen, A. Rubbens, J. Ryckmans, P. Salmon, J. Sohier, J. Stengers, A. Stenmans, J. Vanderlinden, J. L. Vellut, werkende leden ; de HH. F. Bézy, P. de Maret, Mevr. A. Dorsinfang-Smets, de H. M. Graulich, geassocieerde leden ; de H. J. Comhaire, corresponderend lid ; de H. A. Lederer, lid van de Klasse voor Technische Wetenschappen.

Afwezig en verontschuldigd : De HH. A. Baptist, E. Coppieters, F. De Hen, M. d'Hertefelt, A. Gérard, Mevr. C. Grégoire, de HH. L. Pétilion, S. Plasschaert, F. Reyntjens, E.P. J. Spae, de H. E. Vandewoude ; de H. R. Vanbreuseghem, erevast secretaris.

Lofrede van de H. Robert Cornevin

De H. P. Salmon spreekt de lofrede uit van de H. R. Cornevin, ere-corresponderend lid, overleden te Parijs op 14 december 1988.

Deze lofrede zal in het Jaarboek 1990 gepubliceerd worden.

«Le choix des langues, un domaine étranger aux linguistes»

De H. A. Coupez stelt hierover een studie voor.

Mevr. Y. Verhasselt, de HH. J. Stengers, P. de Maret en J. Comhaire nemen deel aan de bespreking.

De Klassee besluit deze studie te publiceren in de *Mededelingen der Zittingen*.

«La justice sous influence. Une exécution publique à Élisabethville (20 septembre 1922)»

De H. J. L. Vellut stelt hierover een studie voor.

De HH. P. Salmon, J. J. Symoens, E. Lamy, J. Sohier, J. Stengers, J. Vanderlinden, J. P. Harroy en P. de Maret komen tussen in de bespreking.

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

L'évolution politique et constitutionnelle du Zaïre

À la séance du 18 avril 1989, une étude à ce sujet a été présentée par M. Djelo Empenge-Osaka, professeur à l'Université de Kinshasa, invité par le Bureau de l'Académie.

Après avoir entendu, à la séance du 20 juin 1989, les rapports de MM. F. Reyntjens et J. Vanderlinden, ainsi que les remarques de M. J. Comhaire, la Classe avait demandé que le texte intégral du travail de M. Djelo soit communiqué à ses membres.

Après délibération, la Classe décide, par vote à mains levées, la publication de l'étude dans le *Bulletin des Séances*, sous réserve que l'auteur tienne compte des quelques remarques faites par les rapporteurs. Elle prie M. Lamy de se mettre en rapport à cette fin avec l'auteur.

Commission administrative

Le mandat de M. J. Vanderlinden au sein de la Commission prendra fin le 31 décembre 1989. Après avoir rempli trois mandats de trois ans chacun, et vu ses charges multiples, M. Vanderlinden ne souhaite pas que son mandat soit renouvelé.

La Classe propose Mme M. Engelborghs-Bertels pour la représenter au sein de la Commission administrative.

Distinction honorifique

Par arrêté royal du 17 juillet 1989, M. A. Maesen a été promu au grade de grand officier de l'Ordre de Léopold.

Biographie Nationale

En octobre 1986, la Commission administrative de l'Académie royale des Sciences, des Lettres et des Beaux-Arts de Belgique a décidé de mettre fin à la *Biographie Nationale*, après publication du tome 44 de cette série.

Toutefois, pour respecter le prescrit de l'arrêté royal du 1^{er} décembre 1845 qui confiait à cette Académie la réalisation d'une *Biographie Nationale*, la Commission administrative décidait simultanément de mettre en chantier une *Nouvelle Biographie Nationale* d'une conception repensée *ab ovo*.

Le volume 1 en a été publié en juin 1989. Il comporte 376 pages et 16 planches dont la plupart en couleurs. Il renferme 103 notices biographiques dont plusieurs d'anciens membres de l'Académie royale des Sciences d'Outre-Mer.

La séance est levée à 17 h 15.
Elle est suivie d'un Comité secret.

«L'évolution politique et constitutionnelle du Zaïre»

Tijdens de zitting van 18 april 1989 werd hierover een studie voorgesteld door de H. Djelo Empenge-Osaka, professor aan de Universiteit van Kinshasa, uitgenodigd door het Bureau van de Academie.

Na de verslagen gehoord te hebben van de HH. F. Reyntjens en J. Vanderlinden alsook de opmerkingen van de H. J. Comhaire, tijdens de zitting van 20 juni 1989, had de Klasse gevraagd dat de volledige tekst van het werk van de H. Djelo aan haar leden zou meegedeeld worden.

Na beraadslaging besluit de Klasse, door stemming met hand opsteken, deze studie te publiceren in de *Mededelingen der Zittingen*, mits de auteur rekening houdt met enkele opmerkingen die de verslaggevers gemaakt hebben. Zij vraagt de H. Lamy hiervoor contact op te nemen met de auteur.

Bestuurscommissie

Het mandaat van de H. J. Vanderlinden in de schoot van de Commissie zal een einde nemen op 31 december 1989. Na drie mandaten van elk drie jaar vervuld te hebben, en gezien zijn talrijke werkzaamheden, wenst de H. Vanderlinden niet dat zijn mandaat hernieuwd wordt.

De Klasse stelt Mevr. M. Engelborghs-Bertels voor om haar in de schoot van de Bestuurscommissie te vertegenwoordigen.

Ereteken

Bij koninklijk besluit van 17 juli 1989 werd de H. A. Maesen bevorderd tot de graad van grootofficier in de Leopoldsorde.

«Biographie Nationale»

In oktober 1986 besliste de Bestuurscommissie van de «Académie royale des Sciences, des Lettres et des Beaux-Arts de Belgique» een einde te maken aan de «*Biographie Nationale*» na deel 44 van deze reeks gepubliceerd te hebben.

Evenwel, om de bepaling van het koninklijk besluit van 1 december 1845 te eerbiedigen dat aan deze Academie de uitgave van een «*Biographie nationale*» toevertrouwde, besloot de Bestuurscommissie terzelfder tijd een «*Nouvelle Biographie Nationale*» op het getouw te zetten met een heel nieuwe opvatting.

Het eerste boek werd in juni 1989 gepubliceerd. Het bevat 376 pagina's en 16 afdrucken, waarvan de meeste in kleur zijn. Het omvat 103 biografische nota's, waarvan verscheidene van gewezen leden van de Koninklijke Academie voor Overzeese Wetenschappen.

De zitting wordt gegeven te 17 h 15.
Zij wordt gevolgd door een Geheim Comité.

Séance du 12 décembre 1989

(Extrait du procès-verbal)

La séance est ouverte à 14 h 30 par le directeur, Mme Y. Verhasselt, assisté de M. J. J. Symoens, secrétaire perpétuel.

Sont en outre présents : MM. A. Duchesne, J. Everaert, J. Jacobs, M. Luwel, A. Maesen, J. Ryckmans, J. Sohier, J. Stengers, A. Stenmans, membres titulaires ; MM. H. Baetens Beardsmore, M. Graulich, Mme C. Grégoire, membres associés ; M. J. Comhaire, membre correspondant ; M. A. Lederer, membre de la Classe des Sciences techniques.

Absents et excusés : M. A. Baptist, Mme P. Boelens-Bouvier, MM. E. Coppieters, A. Coupez, F. De Hen, M. d'Hertefeldt, Mmes A. Dorsinfang-Smets, M. Engelborghs-Bertels, MM. A. Gérard, J. P. Harroy, L. Pétillon, R. Rezsohazy, J. Vanderlinden, E. Vandewoude, T. Verhelst ; M. R. Vanbreuseghem, secrétaire perpétuel honoraire.

Décès du R.P. Jozef Spae

Le Directeur informe la Classe du décès, survenu à Gand le 8 décembre 1989, du R.P. Jozef Spae, membre associé honoraire.

Elle désigne le R.P. F. Bontinck pour la rédaction de l'éloge du Confrère disparu.

«Vlamingen op Madeira»

M. J. Everaert présente une étude à ce sujet.

Mme Y. Verhasselt, MM. J. Stengers, J. Ryckmans et J. Comhaire interviennent dans la discussion.

La Classe envisagera ultérieurement la publication éventuelle de ce travail dans la collection des Mémoires.

La séance est levée à 16 h 00.

Elle est suivie d'un Comité secret.

Zitting van 12 december 1989

(Uittreksel van de notulen)

De zitting wordt geopend te 14 h 30 door de directeur, Mevr. Y. Verhasselt, bijgestaan door de H. J. J. Symoens, vast secretaris.

Zijn bovendien aanwezig : De HH. A. Duchesne, J. Everaert, J. Jacobs, M. Luwel, A. Maesen, J. Ryckmans, J. Sohier, J. Stengers, A. Stenmans, werkende leden ; de HH. H. Baetens Beardsmore, M. Graulich, Mevr. C. Grégoire, geassocieerde leden ; de H. J. Comhaire, corresponderend lid ; de H. A. Lederer, lid van de Klasse voor Technische Wetenschappen.

Afwezig en verontschuldigd : De H. A. Baptist, Mevr. P. Boelens-Bouvier, de HH. E. Coppieters, A. Coupez, F. De Hen, M. d'Hertefelt, Mevr. A. Dorsinfang-Smets, M. Engelborghs-Bertels, de HH. A. Gérard, J. P. Harroy, L. Pétilion, R. Rezsohazy, J. Vanderlinden, E. Vandewoude, T. Verhelst ; de H. R. Vanbreuseghem, erevast secretaris.

Overlijden van E.P. Jozef Spae

De Directeur deelt aan de Klasse mee dat E.P. Jozef Spae, eregeassocieerd lid, te Gent overleden is op 8 december 1989.

De Klasse duidt E.P. F. Bontinck aan om de lofrede van de overleden Confrater op te stellen.

Vlamingen op Madeira

De H. J. Everaert stelt hierover een studie voor.

Mevr. Y. Verhasselt, de HH. J. Stengers, J. Ryckmans en J. Comhaire komen tussen in de bespreking.

De Klasse zal later overwegen dit werk eventueel te publiceren in de Verhandelingenreeks.

De zitting wordt geheven te 16 h 00.
Ze wordt gevolgd door een Geheim Comité.

**CLASSE DES SCIENCES
NATURELLES ET MÉDICALES**

**KLASSE VOOR NATUUR-
EN GENEESKUNDIGE WETENSCHAPPEN**

Séance du 28 novembre 1989

(Extrait du procès-verbal)

La séance est ouverte à 14 h 30 par le directeur, M. L. Eyckmans, assisté de Mme L. Peré-Claes, secrétaire des séances.

Sont en outre présents : MM. J. Alexandre, I. Beghin, G. Boné, J. Bouharmont, F. De Meuter, M. De Smet, J. D'Hooore, A. Fain, C. Fieremans, J. Jadin, J. Mortelmans, H. Nicolaï, P. Raucq, J. Semal, C. Sys, R. Tavernier, P. Van der Veken, J. Van Riel, H. Vis, membres titulaires ; MM. M. De Dapper, A. de Scoville, R. Dudal, R. Frankart, J. P. Gosse, L. Soyer, G. Stoops, membres associés, ainsi que M. A. Lederer, membre de la Classe des Sciences techniques.

Absents et excusés : MM. J. Bolyn, J. Bouillon, P. Gourou, J. M. Henry, P. G. Janssens, A. Lawalrée, M. Lechat, J. Lepersonne, J. Meyer, J. Opsomer, J.-J. Symoens, D. Thys van den Audenaerde, E. Tollens, R. Vanbreuseghem.

Avant d'entamer l'ordre du jour, le Directeur souhaite un heureux anniversaire à M. J. Van Riel, qui a atteint l'âge de 90 ans le 19 octobre 1989. Il le remercie chaleureusement de son assiduité aux séances de la Classe et de ses avis toujours judicieux. Au nom de la Classe, le Directeur remet une adresse d'hommage au Confrère Van Riel.

Dans une réponse émouvante, M. J. Van Riel remercie la Classe, successivement en français et en néerlandais, et exprime son attachement particulier à l'Académie royale des Sciences d'Outre-Mer, institution nationale, multidisciplinaire, à laquelle il appartient depuis plus de 40 ans. M. Van Riel termine en disant : «Vos marques de sympathie m'ont fait chaud au cœur. Merci. Van ganser harte diepgaande dank».

Le Directeur félicite M. Van Riel pour sa brillante improvisation.

Éloge de Paul Giroud

Le Directeur souhaite la bienvenue à Mme A. Dubois, au professeur Jean-Paul Giroud, au Dr Delville et à MM. Jean-Marie et François Jadin, invités à assister à l'éloge de M. P. Giroud, membre correspondant honoraire, décédé à Paris le 22 janvier 1989.

M. J. Jadin prononce l'éloge de M. Paul Giroud.

Cet éloge sera publié dans l'Annuaire 1990.

Zitting van 28 november 1989

(Uittreksel van de notulen)

De zitting wordt geopend te 14 h 30 door de directeur, de H. L. Eyckmans, bijgestaan door Mevr. L. Peré-Claes, secretaris der zittingen.

Zijn bovendien aanwezig : De HH. J. Alexandre, I. Beghin, G. Boné, J. Bouharmont, F. De Meuter, M. De Smet, J. D'Hoore, A. Fain, C. Fieremans, J. Jadin, J. Mortelmans, H. Nicolai, P. Raucq, J. Semal, C. Sys, R. Tavernier, P. Van der Veken, J. Van Riel, H. Vis, werkende leden ; de HH. M. De Dapper, A. de Scoville, R. Dudal, R. Frankart, J. P. Gosse, L. Soyer, G. Stoops, geassocieerde leden, alsook de H. A. Lederer, lid van de Klasse voor Technische Wetenschappen.

Afwezig en verontschuldigd : De HH. J. Bolyn, J. Bouillon, P. Gourou, J. M. Henry, P. G. Janssens, A. Lawalrée, M. Lechat, J. Lepersonne, J. Meyer, J. Opsomer, J.-J. Symoens, D. Thys van den Audenaerde, E. Tollens, R. Vanbreuseghem.

Vóór de agenda aan te vatten, wenst de Directeur de H. J. Van Riel een gelukkige verjaardag toe. De H. J. Van Riel werd 90 jaar op 19 oktober 1989. Hij dankt hem hartelijk voor zijn regelmatige aanwezigheid op de zittingen van de Klasse en voor zijn steeds wijze raadgevingen. In naam van de Klasse overhandigt de Directeur een hulde-adres aan de H. Van Riel.

In zijn ontroerend antwoord, bedankt de H. J. Van Riel de Klasse, achtereenvolgens in het Frans en in het Nederlands, en hij drukt zijn bijzondere gehechtheid uit aan de Koninklijke Academie voor Overzeese Wetenschappen, nationale, multidisciplinaire instelling waarvan hij sinds meer dan 40 jaar lid is. De H. Van Riel eindigt als volgt : «Vos marques de sympathie m'ont fait chaud au cœur. Merci. Van ganser harte diepgaande dank».

De Directeur feliciteert de H. Van Riel met zijn uitmuntende improvisatie.

Lofrede van Paul Giroud

De Directeur verwelkomt Mevr. A. Dubois, Prof. Jean-Paul Giroud, Dr. Delville, de HH. Jean-Marie en François Jadin, uitgenodigd om de lofrede bij te wonen van de H. P. Giroud, erecorresponderend lid, overleden te Parijs op 22 januari 1989.

De H. J. Jadin spreekt de lofrede uit van de H. P. Giroud.

Deze lofrede zal in het Jaarboek 1990 gepubliceerd worden.

«Improving essential amino-acid of *Sorghum* grains»

M. M. Jacobs, professeur à la «Vrije Universiteit Brussel», invité par le Bureau de l'Académie, présente une étude à ce sujet.

MM. J. Mortelmans, P. Van der Veken et R. Dudal interviennent dans la discussion.

**«Trypanosomiasis : limitations of existing drugs
and promising leads for the development of new drugs»**

Une étude à ce sujet a été présentée par M. F. R. Opperdoes à la séance du 27 juin 1989.

La Classe désigne MM. G. Boné et J. Mortelmans en qualité de rapporteurs.

Politiques sanitaires en Afrique

M. W. Van Lerberghe a présenté une étude à ce sujet à la séance du 27 juin 1989.

La Classe désigne MM. I. Beghin et H. Vis en qualité de rapporteurs.

Commission administrative

Le 2^e mandat de 3 ans de M. J. Delhal au sein de la Commission administrative prendra fin au 31 décembre 1989.

La Classe propose le renouvellement du mandat de M. J. Delhal.

Distinction honorifique

Par arrêté royal du 17 juillet 1989, M. D. Thys van den Audenaerde a été promu au grade de commandeur de l'Ordre de Léopold.

Distinction académique

M. J. Mortelmans a été élu le 5 octobre 1989 «Fellow of the African Academy of Sciences» en reconnaissance de sa contribution importante au développement des connaissances en Afrique et dans le monde en général.

Centre Sahélien de l'ICRISAT

Le Bulletin n° 25 de l'«International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics» (ICRISAT) signale l'inauguration de son Centre Sahélien qui a eu lieu le 7 mars 1987 à Sadoré, à 40 km au sud de Niamey (Niger).

«Improving essential amino-acid content of *Sorghum* grains»

De H. M. Jacobs, professor aan de Vrije Universiteit Brussel, door het Bureau van de Academie uitgenodigd, stelt hierover een studie voor.

De HH. J. Mortelmans, P. Van der Veken en R. Dudal komen tussen in de bespreking.

**«Trypanosomiasis : limitations of existing drugs
and promising leads for the development of new drugs»**

De H. F. R. Opperdoes stelde hierover een studie voor tijdens de zitting van 27 juni 1989.

De Klasse duidt de HH. G. Boné en J. Mortelmans als verslaggevers aan.

«Politiques sanitaires en Afrique»

De H. W. Van Lerberghe stelde hierover een studie voor tijdens de zitting van 27 juni 1989.

De Klasse duidt de HH. I. Beghin en H. Vis als verslaggevers aan.

Bestuurscommissie

Het 2^e driejaarlijkse mandaat van de H. J. Delhal in de schoot van de bestuurscommissie neemt een einde op 31 december 1989.

De Klasse stelt voor het mandaat van de H. J. Delhal te hernieuwen.

Ereteken

Bij koninklijk besluit van 17 juli 1989 werd de H. D. Thys van den Audenaerde bevorderd tot de graad van commandeur in de Leopoldsorde.

Academische onderscheiding

De H. J. Mortelmans werd op 5 oktober 1989 verkozen tot «Fellow of the African Academy of Sciences», uit erkentelijkheid voor zijn belangrijke bijdrage tot de ontwikkeling van de kennis in Afrika en in de wereld in het algemeen.

«Centre Sahélien» van de ICRISAT

Het Bulletin nr. 25 van de «International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics» (ICRISAT) kondigt de opening aan van zijn «Centre Sahélien» die op 7 maart 1987 plaatsvond te Sadoré, op 40 km ten zuiden van Niamey (Niger).

Colloque sur la Géochimie des Gaz

La Faculté Polytechnique de Mons organise un Colloque international sur la Géochimie des Gaz (Radon et Gaz rares dans les Sciences de la Terre et de l'Environnement) du 3 au 5 octobre 1990.

Renseignements et inscriptions :

M. P. Doremus
Faculté Polytechnique de Mons
Rue de Houdain 9
7000 Mons
Tél. (065)37.46.02 — Fax (065)37.42.00.

Biographie Nationale

En octobre 1986, la Commission administrative de l'Académie royale des Sciences, des Lettres et des Beaux-Arts de Belgique a décidé de mettre fin à la *Biographie Nationale*, après publication du tome 44 de cette série.

Toutefois, pour respecter le prescrit de l'arrêté du 1^{er} décembre 1845 qui confiait à cette Académie la réalisation d'une *Biographie Nationale*, la Commission administrative décidait simultanément de mettre en chantier une *Nouvelle Biographie Nationale* d'une conception repensée *ab ovo*.

Le volume 1 en a été publié en juin 1989. Il comporte 376 pages et 16 planches dont la plupart en couleurs. Il renferme 103 notices biographiques dont plusieurs d'anciens membres de l'Académie royale des Sciences d'Outre-Mer.

La séance est levée à 16 h 40.
Elle est suivie d'un Comité secret.

Colloquium over de Geochemie van de Gassen

De «Faculté Polytechnique de Mons» organiseert een Internationaal Colloquium over de Geochemie van de gassen (Radon en zeldzame gassen in de Wetenschappen van de aarde en van het leefmilieu) van 3 tot 5 oktober 1990.

Inlichtingen en inschrijvingen :

De H. P. Doremus
Faculté Polytechnique de Mons
Rue de Houdain 9
7000 Mons
Tel. (065)37.46.02 — Fax (065)37.42.00.

«Biographie Nationale»

In oktober 1986 besliste de Bestuurscommissie van de «Académie royale des Sciences, des Lettres et des Beaux-Arts de Belgique» een einde te maken aan de «*Biographie Nationale*» na deel 44 van deze reeks gepubliceerd te hebben.

Evenwel, om de bepaling van het koninklijk besluit van 1 december 1845 te eerbiedigen dat aan deze Academie de uitgave van een «*Biographie Nationale*» toevertrouwde, besloot de Bestuurscommissie terzelfder tijd een «*Nouvelle Biographie Nationale*» op het getouw te zetten met een heel nieuwe opvatting.

Het eerste boek werd in juni 1989 gepubliceerd. Het bevat 376 pagina's en 16 afdrukken, waarvan de meeste in kleur zijn. Het omvat 103 biografische nota's, waarvan verscheidene van gewezen leden van de Koninklijke Academie voor Overzeese Wetenschappen.

De zitting wordt gegeven te 16 h 40.
Ze wordt gevolgd door een Geheim Comité.

Séance du 19 décembre 1989

(Extrait du procès-verbal)

La séance est ouverte à 14 h 30 par le vice-directeur, M. J. Semal, assisté de M. J.-J. Symoens, secrétaire perpétuel.

Sont en outre présents : MM. J. Alexandre, I. Beghin, P. Benoit, E. Bernard, F. De Meuter, J. D'Hoore, A. Fain, C. Fieremans, J. Meyer, H. Nicolaï, P. Raucq, R. Tavernier, P. Van der Veken, J. Van Riel, membres titulaires ; MM. M. De Dapper, A. de Scoville, R. Frankart, D. Le Ray, L. Soyer, M. Wéry, membres associés ; MM. M. Frère, F. Malaisse, membres correspondants.

Absents et excusés : MM. J. Bolyn, G. Boné, J. Bouharmont, J. Bouillon, M. De Smet, L. Eyckmans, J. P. Gosse, P. Gourou, J. M. Henry, J. Jadin, M. Lechat, J. Lepersonne, J. Opsomer, M. Reynders, A. Saintraint, G. Stoops, J. Thorez, E. Tollens, R. Vanbreuseghem, H. Vis.

Les sols acides des écosystèmes humifères d'altitude du Rwanda et du Burundi. Aspects pédo-agronomiques

M. R. Frankart présente une étude à ce sujet.

MM. A. Fain, J. Meyer, P. Raucq, J. D'Hoore, P. Van der Veken, R. Tavernier et E. Bernard interviennent dans la discussion.

La Classe décide la publication de cette étude dans le *Bulletin des Séances* (pp. 495-531).

«Improving essential amino-acids content of *Sorghum* grains»

M. M. Jacobs, professeur à la «Vrije Universiteit Brussel», a présenté une communication à ce sujet à la séance du 28 novembre 1989.

La Classe désigne comme rapporteurs MM. J. Bouharmont et J. Semal.

Présidence du Conseil de la FAO

Au cours de la 25^e session de la Conférence de l'Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture, M. A. Saintraint, membre associé de la Classe, a été élu Président indépendant du Conseil de cette Organisation.

Zitting van 19 december 1989

(Uittreksel van de notulen)

De zitting wordt geopend te 14 h 30 door de vice-directeur, de H. J. Semal, bijgestaan door de H. J.-J. Symoens, vast secretaris.

Zijn bovendien aanwezig : De HH. J. Alexandre, I. Beghin, P. Benoit, E. Bernard, F. De Meuter, J. D'Hoore, A. Fain, C. Fieremans, J. Meyer, H. Nicolai, P. Raucq, R. Tavernier, P. Van der Veken, J. Van Riel, werkende leden ; de HH. M. De Dapper, A. de Scoville, R. Frankart, D. Le Ray, L. Soyer, M. Wéry, geassocieerde leden ; de HH. M. Frère, F. Malaisse, corresponderende leden.

Afwezig en verontschuldigd : De HH. J. Bolyn, G. Boné, J. Bouharmont, J. Bouillon, M. De Smet, L. Eyckmans, J. P. Gosse, P. Gourou, J. M. Henry, J. Jadin, M. Lechat, J. Lepersonne, J. Opsomer, M. Reynders, A. Saintraint, G. Stoops, J. Thorez, E. Tollens, R. Vanbreuseghem, H. Vis.

«Les sols acides des écosystèmes humifères d'altitude du Rwanda et du Burundi. Aspects pédo-agronomiques»

De H. R. Frankart stelt hierover een studie voor.

De HH. A. Fain, J. Meyer, P. Raucq, J. D'Hoore, P. Van der Veken, R. Tavernier en E. Bernard komen tussen in de bespreking.

De Klasse beslist deze studie te publiceren in de *Mededelingen der Zittingen* (pp. 495-531).

«Improving essential amino-acids content of Sorghum grains»

De H. M. Jacobs, professor aan de Vrije Universiteit Brussel, heeft hierover een mededeling voorgesteld tijdens de zitting van 28 november 1989.

De Klasse duidt de HH. J. Bouharmont en J. Semal als verslaggevers aan.

Voorzitterschap van de Raad van de FAO

Tijdens de 25^e zitting van de Conferentie van de Organisatie van de Verenigde Naties voor Voeding en Landbouw, werd de H. A. Saintraint, geassocieerd lid van de Klasse, verkozen tot Onafhankelijke Voorzitter van de Raad van deze Organisatie.

Monitor

La Direction générale de la Coopération Internationale du Ministère néerlandais des Affaires étrangères et l'Université d'Amsterdam annoncent l'édition d'un nouveau périodique *Monitor Biotechnology and Development* qui publiera des informations sur les applications de la biotechnologie d'un intérêt particulier pour les pays en voie de développement.

Informations :

Monitor Biotechnology and Development
University of Amsterdam
Department of International Relations and Public International Law
Oudezijds Achterburgwal 237
1012 DL Amsterdam
Tél. (020)525.21.63 — Fax (020)525.20.86.

La séance est levée à 16 h 30.
Elle est suivie d'un Comité secret.

Monitor

De Algemene Directie van de Internationale Samenwerking van het Nederlandse Ministerie van Buitenlandse Zaken en de Universiteit van Amsterdam kondigen de uitgave aan van een nieuw tijdschrift, *Monitor Biotechnology and Development* dat informatie zal publiceren over de toepassingen van de biotechnologie die een bijzonder belang voor de ontwikkelingslanden hebben.

Informatie :

Monitor Biotechnology and Development
University of Amsterdam
Department of International Relations and Public international Law
Oudezijds Achterburgwal 237
1012 DL Amsterdam
Tel. (020)525.21.63 — Fax (020)525.20.86.

De zitting wordt geheven te 16 h 30.
Zij wordt gevolgd door een Geheim Comité.

Les sols acides des écosystèmes humifères d'altitude du Rwanda et du Burundi. Aspects pédo-agronomiques *

par

R. FRANKART **

MOTS-CLÉS. — Acidification ; Aluminisation ; Burundi ; Écosystèmes humifères ; Rwanda ; Sols acides tropicaux.

RÉSUMÉ. — En l'an 2000, si la croissance démographique (2,7-3,7%/an) se maintient dans les deux pays, les disponibilités en terres à vocation agricole seront inférieures à 1 ha par famille. Or, plus de 500 000 ha de terres (humox, humult) marginalement aptes ou inaptes à la culture, sont confinés dans les écosystèmes humifères d'altitude. Les principales contraintes pédologiques de ces terres «alliques», l'acidification et l'aluminisation du complexe d'échange, leurs conséquences pédo-agronomiques (effets toxiques ou stimulants) sont connues. Il en est de même des technicités à mettre en œuvre pour les maîtriser, mais leur application est subordonnée aux contextes socio-économiques régionaux. Les techniques culturales appliquées en milieu rural relèvent d'un niveau d'aménagement faible ; l'apport d'engrais minéraux est au stade expérimental. Les améliorations qui en découlent sont significatives mais n'affectent, à court terme, que les horizons superficiels. L'agriculture d'autosubsistance y domine. Elle se traduit par l'existence d'un paysage à structure agraire centrée sur l'habitat. Le facteur «anthropique» est le principal responsable de l'existence d'une stratification concentrique des terres à aptitudes variables. Plusieurs types d'agrosystèmes sont actuellement proposés ou en cours d'expérimentation dans le souci de récupérer les terres alliques, tremplin vers une intensification potentielle. Mais les recherches sont dispersées, peu coordonnées. Une solution d'application générale n'existe pas et ne s'impose pas. Il faut rechercher des solutions originales qui trouveront leurs fondements dans l'identification, l'analyse complète, critique et multidisciplinaire des agrosystèmes actuels. Des alternatives seront envisagées où le facteur temps ne pourra être ignoré. On fera appel aux technologies nouvelles.

SAMENVATTING. — *De zure bodems van de humeuze hoogvlakte-ecosystemen in Rwanda en Burundi. Pedolandbouwkundige beschouwingen.* — Wanneer, in beide

* Communication présentée à la séance de la Classe des Sciences naturelles et médicales tenue le 19 décembre 1989. Texte définitif reçu le 23 mars 1990.

** Membre associé de l'Académie ; Laboratoire des Sols tropicaux, Faculté des Sciences agronomiques, Université Catholique de Louvain, Place Croix-du-Sud 2, B-1348 Louvain-la-Neuve (Belgique).

landen, de demografische groei (2,7-3,7%/jaar) zich handhaaft, wordt de beschikbare oppervlakte per gezin beperkt tot minder dan één ha in het jaar 2000. Welnu, meer dan 500 000 ha grond (humox, humult), niet of nauwelijks geschikt voor landbouwteelten, bevinden zich in de humeuze hoogvlakte-ecosystemen. De voornaamste bodemkundige beperkingen van deze allitische gronden, de zuurheidsgraad en het aluminiumgehalte van het uitwisselingscomplex, alsmede hun invloed op de pedo-landbouwkundige toestand (toxische of stimulerende effecten) zijn gekend. Hetzelfde geldt voor de technieken die men moet gebruiken om aan deze bezwaren te verhelpen, maar de toepassing ervan dient ondergeschikt te zijn aan de socio-economische context ter plaatse. De kultuurmethoden die in het inlands midden gebruikt worden zullen de bodemverbetering niet erg gunstig beïnvloeden; het gebruik van minerale bemesting is inderdaad nog in het experimentele stadium. De verbeteringen die uit dit gebruik voortvloeien zijn betekenisvol, maar zullen op korte termijn slechts een superficiële verandering met zich brengen. De zelfvoorzienende landbouw domineert. Dit vertaalt zich door het bestaan van een landschap met een agrarische structuur dat op de woonst gecentreerd is. De invloed van de anthropische factor is vooral verantwoordelijk voor een concentrische structuur van de landbouwgronden, met verschillende geschiktheid. Verschillende landbouwsystemen zijn momenteel voorgesteld of worden proefondervindelijk uitgetest met als doel de allitische gronden, die een potentieel zouden kunnen vertonen, te identificeren voor verbetering. Er bestaat geen algemeen systeem voor verbetering en het dringt zich ook niet op. Er moeten originele oplossingen gevonden worden die hun basis vinden in de identificatie, in de kritische en multidisciplinaire analyse van de thans bestaande agrosystemen. Alternatieve oplossingen moeten in overweging genomen worden waarbij de tijdsfactor niet uit het oog mag verloren worden. Een beroep moet gedaan worden op de nieuwe technologieën.

SUMMARY. — *The acidic soils of the high humiferous ecosystems of Rwanda and Burundi. Pedo-agronomic aspects.* — In the year 2000, if the present demographic growth (2.7-3.7% p.a.) continues in these two countries, the availability of agricultural land will be less than 1 hectare per family. Now more than 500,000 hectares of ground (humox, humult), marginally suited or unsuited to cultivation, are confined in high humiferous ecosystems. The main pedological limitations of these «allic» soils, the acidification and aluminisation of the exchange complex, their pedo-agronomic consequences (toxic or stimulating effects) are known. The same goes for the technologies to be used for mastering them, but their application is subordinate to the regional socio-economic context. The cultivation techniques applied in rural areas are starting from a low level; the use of mineral fertilizers is at an experimental stage. The improvements from the latter are significant, but in the short term affect only superficial horizons. Subsistence agriculture is dominant. This is seen in the existence of a countryside with an agrarian structure based on the habitation. The «anthropic» factor is the principal responsible for the existence of a concentric zonation of soils with differing potentialities. Several types of agricultural systems are at the moment proposed or being experimented with, the aim being the recuperation of the allic soils in question; this would be a stepping-stone towards a possible intensification. But research is dispersed and practically uncoordinated. One general solution does not exist and does not seem evident. original solutions must be searched for: these will

be founded in the complete, critical and pluridisciplinary analysis of the present agricultural systems. Alternative solutions will be searched for ; the factor of time cannot be ignored. New technologies will be called for.

*
* *

Les Républiques du Rwanda et du Burundi occupent en Afrique Centrale une position enclavée dans un quadrilatère cerné par les latitudes 1°04' et 4°30'S et les longitudes 29° et 31°E. Elles couvrent des superficies respectives de 26 350 km² (lacs compris) et de 27 850 km².

Plus de 90% de la population est rurale et la densité d'occupation humaine par région naturelle est très variable (75 à 350 habitants par km²).

Actuellement, une famille rurale, composée en moyenne de cinq personnes, dispose d'environ 1,2 ha au Rwanda (NEEL 1986) et de 1,7 ha à 1 hectare au Burundi (DESCHUYTENER 1986). Le nombre d'habitants est voisin de 6 000 000 au Rwanda (DELEPIERRE 1985) et de 4 000 000 au Burundi (MERTENS 1982).

Sur base d'un taux de croissance de 3,5% par an, la population du Rwanda pourrait atteindre 10 millions en l'an 2000, ce qui signifierait que chaque famille ne disposera plus que de 0,7 ha pour assurer sa subsistance (NEEL 1986) ; c'est ce même ordre de grandeur qui prévaudra vraisemblablement au Burundi malgré un taux de croissance actuellement inférieur (2,7%) (POZY 1986, AFRENA 1988).

Cette marginalisation des superficies attribuées par exploitation est préoccupante car, comme le souligne DELEPIERRE (1985), si la production vivrière du Rwanda augmente au rythme de l'accroissement de la population, celle-ci est presque exclusivement due à l'extension des surfaces mises en culture et non à l'augmentation des rendements. Mais ces disponibilités en terres agricoles sont limitées, d'où nécessité de se préoccuper d'accroître les rendements, d'envisager l'intensification de l'agriculture ou la mise en valeur de terres jugées actuellement inaptes à cette utilisation. Ces terres, à l'exclusion des sols hydromorphes (tourbières), couvrent plus de 500 000 ha dans l'ensemble des deux pays (NEEL 1986, DELEPIERRE 1985).

Une analyse de la distribution spatiale de ces terres, reconnues inaptes et/ou marginalement aptes à l'aménagement agricole, révèle qu'elles appartiennent principalement aux écosystèmes des régions humifères d'altitude qui culminent à plus de 1600-1800 m d'altitude.

Quelles sont les contraintes associées à ces écosystèmes pour qu'ils soient désertés par les fermiers (agriculteurs-éleveurs) alors que les autorités gouvernementales recherchent les modalités à mettre en œuvre pour dégager une adéquation entre les conséquences d'une pression démographique sans cesse croissante et les disponibilités en terres à aptitude agricole qui s'amenuisent rapidement ?

1. Environnement

1.1. CADRE NATUREL.

1.1.1. Climatologie.

Les paramètres climatiques tels qu'ils sont perçus actuellement ou hérités de paléoclimats (ROCHE 1987) sont les facteurs qui, directement ou indirectement, ont imprimé certains des caractères spécifiques des sols étudiés : intensité de l'altération (hydrolyse ou complexolyse), degré de saturation du complexe d'échange, richesse en matière organique, développement d'horizons diagnostiques spécifiques.

La figure 1 reproduit les diverses zones de Köppen identifiées. La zone climatique C groupe les régions où la température diurne du mois le plus froid descend en dessous de 18°C mais reste supérieure à -3°C. Le type Cf caractérise les sites où la cote udométrique du mois le plus sec est supérieure au 1/10 des pluies du mois le plus pluvieux, le type Cw, où elle est inférieure ou égale (BULTOT 1950). Les précipitations annuelles moyennes oscillent entre 1300 et 1600 mm avec une grande saison sèche en juin-juillet-août (moins de 60 mm/mois) et une atténuation peu individualisée des précipitations en décembre et janvier. Les températures moyennes sont supérieures à 15°C. Ce climat est rangé parmi les climats tropicaux humides d'altitude (TREWARTHA 1954) et les climats fortement humides à hyperhumides de Thornthwaite (1948).

Le régime hydrique du sol est udiq, son régime de température isothermique, plus rarement isohyperthermique (Soil Survey Staff, 1975).

1.1.2. Géologie, géomorphologie, morphogénèse, hydrographie.

Le socle précambrien (Burundien et Archéen), de nature lithologique et à métamorphismes complexes, a livré la matière première sur laquelle se sont imprimés les effets des facteurs et des processus pédogénétiques en ciselant des paysages aux facettes multiples.

Reliefs montagneux, accidentés, ondulés et pénéplanés s'y côtoient formant des entités spécifiques où la nature lithologique et le niveau de base règlent l'intensité de l'érosion. Crêtes lithosoliques, surfaces d'aplanissement latéritisées d'âges variables, tertiaires et mêmes quaternaires (RUHE 1954, ROSSI 1980), collines arrondies ou non, y sont identifiées. Des complexes de pente diversifiés, des dépôts de piémont où s'individualisent des cônes de déjection s'accrochent aux diverses formes de relief. La variation d'altitude des niveaux de base engendre fréquemment une dissymétrie morphopédologique.

Le réseau hydrographique, souvent dentritique, parfois parallèle ou même radial est dense. Le lit majeur des rivières présente généralement un profil transversal à versants redressés, tandis que leurs affluents déchirent les flancs des paysages de sillons à profils transversaux aigus ou en auge et à profil

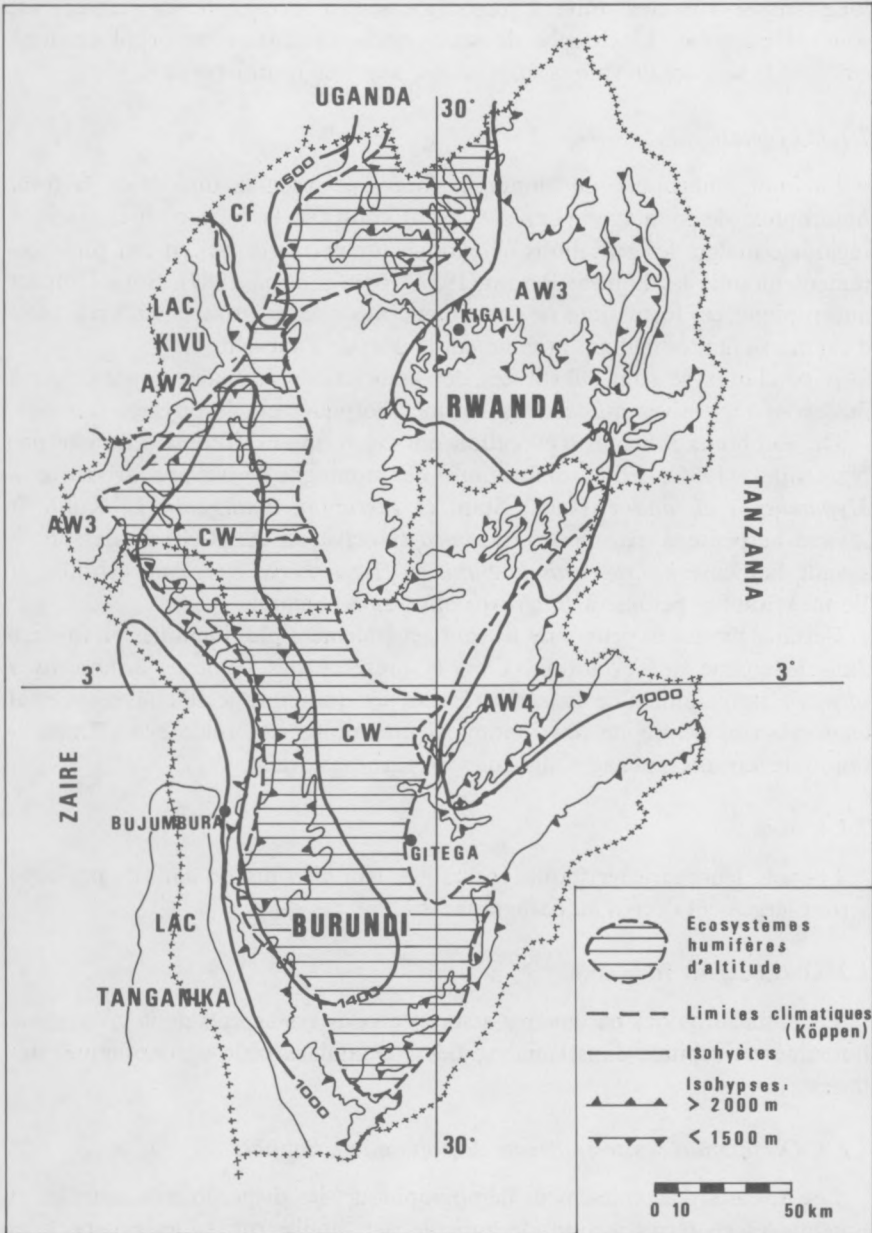


Fig. 1. — Carte du Rwanda et du Burundi. — Cadre géographique (adapté du Plan décennal du Ruanda-Urundi, 1951).

longitudinal à pentes souvent fortes. Le réseau secondaire ou tertiaire est souvent parallèle. L'existence de seuils rocheux barrant le profil en long souligne l'existence de vallées suspendues, sièges de tourbières basses.

1.1.3. Végétation.

La forêt ombrophile de montagne (domaine oriental, district de la forêt ombrophile de montagne (LEBRUN 1956) constitue la formation climacique régionale malgré les pulsations climatiques quaternaires qui en ont provisoirement modifié les limites (ROCHE 1987, ROCHE *et al.* 1987). Sous l'impact anthropique, ces formations ne constituent plus que des groupements relictuels d'extension limitée coiffant notamment la dorsale Zaïre-Nil.

À ce climax se sont substituées des associations végétales appartenant à des séries régressives qui ont transformé profondément le paysage forestier.

De nombreux schémas d'évolution ont été proposés. Tel est celui cité par NZISABIRA (1986). Forêt ombrophile de montagne → savane arbustive à *Hyparrhenia diplandra* (Hack) Stapf et *Pteridium aquilinum* (L) Kuhn → savane herbeuse à *Exothea abyssinica* (Hochst ex A. Rich) Anderson → savane herbeuse à *Eragrostis boehmii* et *Hyparrhenia bracteata* (Humb. et Bonpl.) Stapf → pelouse à *Eragrostis olivacea* K. Schum.

Certains termes de cette série ne sont généralement plus identifiés ou fugaces dans la chaîne de l'évolution. C'est la présence des pelouses à *Eragrostis olivacea*, terme ultime de ces séries régressives, qui imprime au couvert végétal «naturel» son empreinte physionomique monotone que seule brise l'implantation de terrains aménagés, agricoles ou agro-pastoraux.

1.1.4. Sols.

Les sols, leurs caractéristiques et qualités, leur distribution dans les paysages seront largement décrits au paragraphe 2.1.

1.2. GÉOGRAPHIE HUMAINE.

L'identification des paramètres associés aux divers aspects de la géographie humaine est capitale dans l'analyse des potentialités pédo-agronomiques des terres.

1.2.1. Occupation des sols, densité de population, habitat.

Les niveaux d'accroissement démographique, les disponibilités actuelles et potentielles en terres à aptitude agricole par famille rurale, les perspectives pour l'an 2000 ont été abordés dans l'introduction. Si l'on adopte la notion de structure agraire de LE COZ (1974), l'espace rural concerné est caractérisé par un habitat très dispersé, par une densité d'occupation faible mais variable (125 à 175 hab./km²), par la taille réduite des surfaces livrées à l'agriculture.

1.2.2. Structure agraire, aménagement, cultures.

À l'exclusion des implantations théicoles industrielles ou «villageoises» et des projets agro-pastoraux, l'occupation des terres semble s'inscrire dans une dynamique traditionnelle assez générale.

L'occupation d'un paysage ou d'une forme de relief initialement couverte de prairies débute fréquemment par l'installation de l'habitat et des parcelles résidentielles fortement amendées (fumier, compost, déchets, jardins, etc.) sur la partie sommitale de l'unité paysagique. Ce choix, confirmé par DE SCHLIPPE (1957), pourrait être généré par de multiples facteurs (tradition, économie en eau, risques d'érosion, etc.).

Selon OPDECAMP (1988b), la qualité des terres serait également déterminante dans le choix de la localisation de l'habitat et de sa ceinture agricole. Il base son hypothèse sur un scénario paléopédologique qu'il propose pour ces régions. Selon ce dernier, l'acidification a été maximale sous forêt durant les dernières phases climatiques humides (ROCHE *et al.* 1987) et suite aux phénomènes d'érosion qui ont sculpté les surfaces d'aplanissement, les horizons superficiels profondément désaturés ont été décapés et déplacés vers les parties basses et concaves du paysage. Simultanément, les terres résiduelles moins acides, les matériaux rocheux à degrés divers d'altération et d'acidification ont été exhumés sur les parties sommitales et sur les versants convexes. Il en déduit que des différences significatives préexistaient dans les sols agro-pastoraux avant la sédentarisation de l'agriculture.

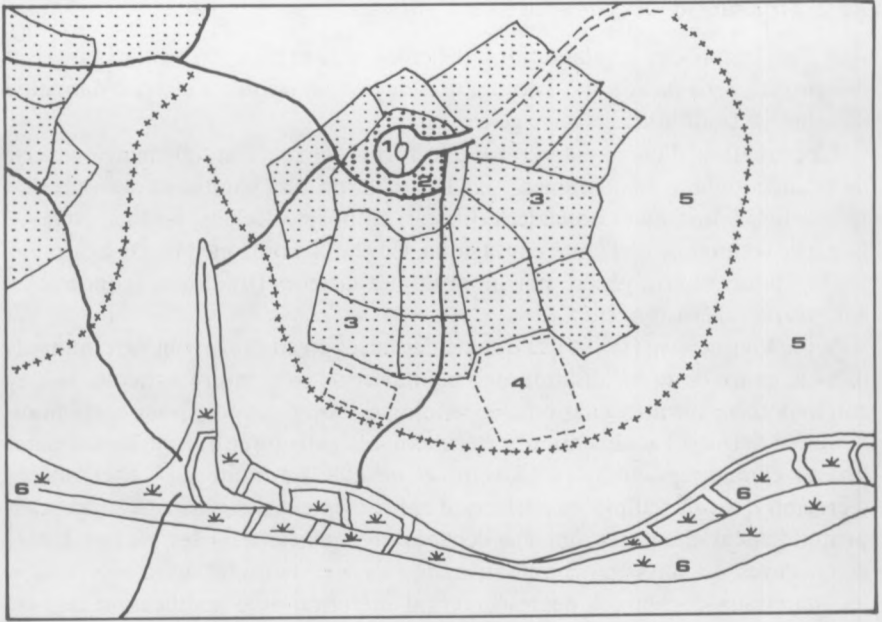
Si les conséquences de ce scénario peuvent être localement et partiellement perçues sur le terrain, leur généralisation mériterait d'être confirmée par une enquête détaillée (terrain et laboratoire) menée dans des terroirs n'ayant jamais été livrés à l'aménagement agricole ou agro-pastoral.

L'aménagement agricole se poursuit ultérieurement par l'installation de parcelles vivrières de superficies variables dessinant une structure concentrique centrée sur l'habitat. Elles sont livrées à l'apport d'amendements organiques liés aux disponibilités. Les surfaces non aménagées jouissent généralement d'un statut communautaire et servent, soit de parcours pour le bétail, soit de réserves agricoles à aménager. Les zones à hydromorphie sont saisonnièrement mises en cultures (fig. 2).

Après cette phase initiale d'occupation du paysage par une famille, peut succéder un aménagement agricole progressif et total de l'entité par l'élargissement du lignage ou l'arrivée de nouveaux occupants.

La dynamique de ce morcellement au Rwanda a été décrite par NZISABIRA (1986) et reproduite à la figure 3. Elle débute par un partage radial des terres déjà mises en valeur, suivi ultérieurement d'une découpe transversale. Elle a un impact sur l'éloignement des parcelles, sur l'aptitude des terres et sur les problèmes érosifs.

Au terme de l'envahissement du paysage par l'aménagement agricole, le paysage est couvert de terres superficielles aux propriétés et aptitudes très



- Voies d'accès pour le bétail
— Voies d'accès pour la population
++++ Haies-limites de la concession familiale
* Marais

Fig. 2. — Aménagement et utilisation des terres en milieu rural (FRANKART *et al.* 1974).

1. Habitation.
2. Parcelles «résidentielles», fortement amendées — degré de technicité élevé.
3. Parcelles régulièrement amendées — degré de technicité moyen.
4. Parcelles d'ouverture peu ou pas amendées — degré de technicité faible.
5. Prairie permanente — parcours élevage — réserve terre agricole.
6. Marais — sols hydromorphes (tourbeux) — aménagements.

diverses portant l'empreinte de l'intensité de l'action «anthropique». Le faire-valoir indirect et l'émigration peuvent alors prendre le relais (NZISABIRA 1986).

Les types de cultures sont étroitement associés aux conditions écoclimatiques des divers étages d'altitude concernés. Les systèmes agricoles sont généralement polycultureaux (cultures associées ou en mélange). Rares sont les monocultures en dehors des plantes pérennes ou pluriannuelles. L'agriculture extensive, mais cependant sédentaire, fait appel à de faibles niveaux d'aménagement (degrés et types de technicité). En milieu rural non organisé et en l'absence de jachères normales, d'amendements minéraux, l'apport de matières organiques (paillis,

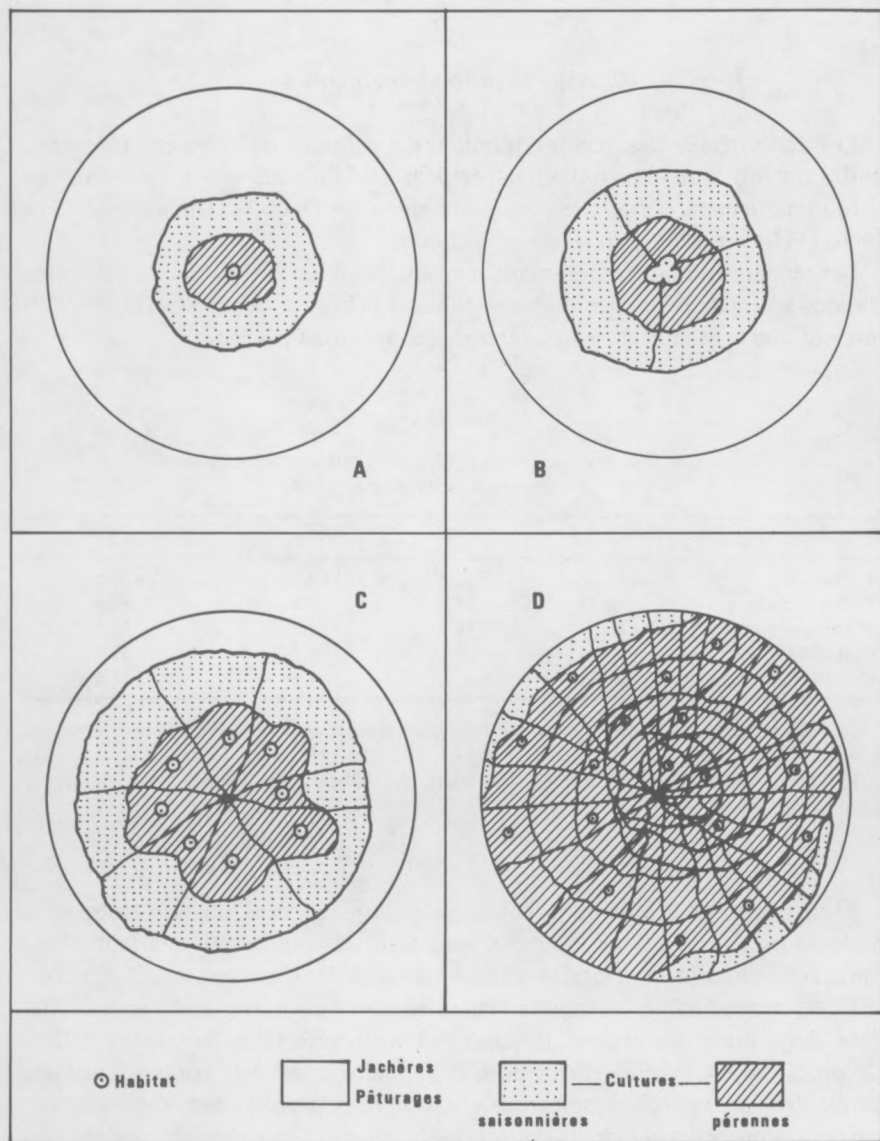


Fig. 3. — Structure agraire et morcellement des terres (NZISABIRA 1986).

mulch, fumier, compost, etc.) est la seule démarche susceptible de restaurer la fertilité des terres.

2. Aspects pédo-agronomiques

Les écosystèmes des régions humifères d'altitude, qu'ils soient forestiers, pastoraux ou agricoles, ont une spécificité pédologique qui a été reconnue taxonomiquement et traduite cartographiquement (VAN WAMBEKE 1963, SYS 1960, D'HOORE 1964, SOTTIAUX *et al.* 1988).

Les teneurs en matière organique, exprimées en $\text{kg/m}^2/\text{m}$, pour les diverses stations écologiques et reproduites au tableau 1 (FRANKART & SOTTIAUX 1972) révèlent que le qualificatif «humifère» de ces sols n'est pas usurpé.

Tableau 1

Teneur en matière organique ($\text{kg/m}^2/\text{m}$) des sols humifères d'altitude
(FRANKART & SOTTIAUX 1972).

Stations écologiques	(1)	(2)
Forêt	64.3	110.6
Recrû forestier	59.7	90.3
Prairie permanente	33.3	52.4
Cultures-technicité faible	29.7	42.4
Cultures-technicité élevée	19.1	21.4

(1) Valeurs établies en tenant compte de la litière, densités apparentes adoptées : litière forestière, 0.3-0.5 ; horizons A1-A3, 0.8 ; Ap, 0.9 ; B et C, 1.3.

(2) Valeurs établies en tenant compte de la litière, densité apparente adoptée : 1.5 (Soil Survey Staff, 1975).

Mais c'est leur acidité et la cohorte des conséquences physico-chimiques, biologiques et minéralogiques qui y sont associées qui constituent leur dénominateur commun et régionalement un frein à leur aménagement agricole.

Ils rejoignent par cette qualité l'ensemble des sols acides que l'on identifie dans de nombreuses régions tropicales et tempérées (VAN WAMBEKE 1976). Ce problème est mondialement posé et sa maîtrise liée à la connaissance des paramètres et des mécanismes qui en sont responsables, aux conséquences qui les traduisent et à l'identification des niveaux d'aménagement susceptibles de les juguler.

Si, dans les pays industrialisés, cette maîtrise est réelle, elle ne fut cependant acquise qu'au fil du temps. Dans les pays peu industrialisés, par contre, on se heurte souvent aux problèmes soulevés par la définition d'une agrotechnologie compatible avec le contexte socio-économique local ou régional.

2.1. SOLS DANS LES BIOCHRONOSÉQUENCES.

Dans l'entité écologique des régions humifères d'altitude s'inscrit une biochronoséquence forêt → recrû forestier → prairies à *Eragrostis* → cultures (feux) à divers degrés de technicité (fig. 4).

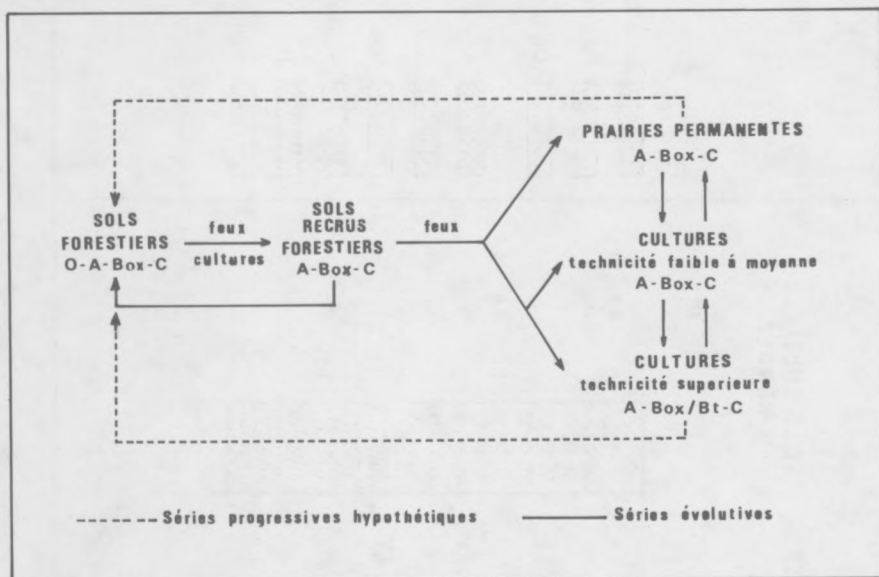


Fig. 4. — Bioséquences — Séries évolutives et développement morphologique des sols.

Certains termes ont fréquemment disparu, effacés du paysage suite à l'activité humaine. Souvent, seule la séquence prairies-cultures subsiste et dessine un réseau concentrique, parfois radial, axé sur l'habitat.

À chacun des principaux éléments de cette séquence appartient un type de sol aux propriétés spécifiques. À la figure 5, on a schématisé le développement morphologique et certaines propriétés chimiques des sols appartenant à une séquence : forêt → prairies → cultures (parcelles résidentielles). L'évolution des propriétés chimiques dans le profil est traduite par le degré de saturation (V) du complexe d'échange (NH_4OAc , pH 7) et/ou par le pH/ H_2O ($V\% = \Sigma \text{ cations échangeables} \times 100 / \text{CEC}$; CEC = capacité d'échange cationique).

Les propriétés évoquées ci-après s'adressent essentiellement aux sols sous «couverts naturels» et sous cultures, développés sur des surfaces peu ou pas rajeunies où le saprolithe peu altéré est présent à grande profondeur. Dans les diverses entités écogéomorphologiques, des relations étroites unissent substrat lithologique et texture du matériau originel des terres superficielles, quoique celles-ci aient subi des déplacements actuels (colluvions) et anciens

Tableau 2

Profil d'un sol prélevé sous prairie.

- Localisation : Burundi — Gisozi — Altitude : 2.055 m (CW3).
- Couvert : Prairie à *Eragrostis olivacea*.
- Matériau parental : Dérivé des schistes à influence basique.
- Taxonomie : Classification régionale : kaolisol humifère à horizon sombre, Soil Taxonomy : sombrihumox.
- Auteur : OPDECAMP.

				Granulométrie (microns) en %									Matière organique		
Prof. En cm	Horizon génét.	Couleur sol humide	Réf. à 2 mm (%)	0 2	2 20	20 50	50 100	100 250	250 500	500 1.000	1.000 2.000	Lf/a **	C %	N %	C/N
0-15	A1	5YR3/2	1.10	70.9	3.8	4.0	2.9	9.0	6.3	2.3	0.8	0.05	5.15	0.24	21.5
15-60	AB	5YR3/2	0	74.2	3.9	3.9	2.7	8.6	4.4	1.7	0.6	0.05	3.66	0.24	15.3
60-85	HS	5YR2,5/2	0	74.3	3.6	4.5	3.0	8.2	3.9	2.0	0.5	0.05	3.35	(*)	(*)
85-105	B1	5YR4/6	0	72.3	3.4	4.0	3.3	8.1	4.8	2.8	1.3	0.05	1.69	(*)	(*)
105-130	B21c	2.5YR3/6	0	72.9	3.7	3.3	3.0	8.9	4.5	2.6	1.1	0.05	0.71	(*)	(*)

* Non déterminé.
** Limon fin (2-20 µm)/ argile (0-2 µm).

Horiz. génét.	pH 20°C		Cond. 1/5, 20°C mmho/cm	Complexe adsorbant en meq/100 g sol													
	H ₂ O	KCl 1N		Échange (AcNH ₄ N pH 7)								Ac. d'éch. *		ECEC VECEC ** «m» *** P ppm			
				Ca	Mg	K	Na	Σ	T(CEC)	V%	Al ³⁺	H ⁺					
A1	5.1	4.2	0.012	0.48	0.05	0.06	0.06	0.65	27.35	2.38	4.65	0.04	5.34	12.1	87	0	
AB	5.1	4.4	0.008	0.14	0.02	0.03	0.04	0.23	14.47	1.59	3.91	0.10	4.24	5.4	92	0	
HS	4.9	4.5	0.008	0.06	0.02	0.03	0.04	0.15	17.97	0.83	2.05	0.11	2.31	6.5	89	—	
B1	5.4	4.4	0.005	0.03	0.02	0.01	0.01	0.07	11.18	0.63	2.01	0.08	2.16	3.2	93	—	
B21c	5.3	4.3	0.005	0.01	0.02	0.01	0.01	0.05	6.19	0.81	1.40	0.04	1.49	3.3	94	—	

Laboratoire ISABU (Burundi).

* Acidité d'échange : KCl 1N.
** $\frac{\Sigma \text{ bases échangeables}}{\text{ECEC}} \times 100$; ECEC = Σ bases échangeables + Al³⁺ + H⁺ (OPDECAMP 1988a).
*** $\frac{\text{Al}^{3+}}{\text{ECEC}} \times 100$.

Horizon génétique	Minéralogie (RX)		
	Poudres		Argiles
	< 2 mm	< 200 µm	
A1	Q, K, He, Gb	Q, K, He, Gb	Gb, Gh, He, K, Chl (T.I)
AB	Q, Gb, K, He	Q, K, He, Gb	Gb, Gh, He, K, Chl (T.I)
HS	Q, Gb, He, K	Q, Gb, He, K	Gb, Gh, He, K, Chl (T.I)
B1	Q, K, He, Gb	Q, Gb, He, K	Gb, Gh, He, K, Chl (T.I)
B21c	Q, Gb, He, K	Q, Gb, He, K	Gb, Gh, He, K

Légende. — Q : Quartz ; Gb : Gibbsite ; Gh : Goethite ; He : Hématite ; K : Kaolinite ; Chl (T.I) : Chlorite thermiquement instable.
Laboratoire des Sols tropicaux (U.C.L.) et Laboratoire de Géologie générale (U.C.L.).

(mouvements en masse) dans le paysage (SOTTIAUX *et al.* 1988). Les variations climatiques du quaternaire (ROCHE 1987) ont pu aussi influencer la morphologie, la morphogenèse des paysages et la distribution des terres superficielles. Un bulletin analytique d'un sol prélevé sous prairie est reproduit au tableau 2.

2.1.1. Matériau parental et développement du profil.

Le matériau parental, fortement altéré, quasi dépourvu de minéraux altérables, à l'exception de muscovite dans les matériaux métamorphisés, à argile à faible activité [low activity clay ; LAC (KANG & JUO 1983)], d'épaisseur souvent importante sur les reliefs non convexes, est faiblement structuré.

Les caractères oxiques et/ou ferrallitiques sont principalement hérités des processus hydrolytiques (hydrolyse acide, partielle rarement totale, complexolyse).

Sous couvert forestier, dans la couche holorganique, on distingue un horizon O1 (litière non décomposée), épais (> 10 cm), qui coiffe une couche organique fermentée (Of) de 5-10 cm à laquelle succède une strate de matière organique humifiée (Oh) de quelques cm. Ces horizons holorganiques peuvent être assimilés à un dysmoder (DELECOUR 1980). Ils surmontent un épipédon (horizon héli-organique) épais, désaturé, umbrique, faiblement structuré (Soil Survey Staff, 1975). Au plancher de celui-ci s'individualise un horizon massif, sans plan de clivage naturel, graphiteux, lessivé aux propriétés spodiques (Soil Survey Staff, 1975). Cet horizon, provisoirement appelé «socle» (FRANKART *et al.* 1963, VAN WAMBEKE 1963, FRANKART & SOTTIAUX 1972) peut envahir l'horizon B. Sous couverts «naturels», les horizons humifères, d'épaisseur souvent supérieure à 25-40 cm, ont une teneur en carbone comprise entre 2,5 et 5%.

Les horizons holorganiques sont absents sous prairies et sous cultures. Sous recû forestier, ils sont fortement perturbés ; souvent, seule une litière peu épaisse subsiste. Sous bananeraies, l'épipédon peut parfois être assimilé à un épipédon «anthropique», exception faite de la teneur en phosphore (Soil Survey Staff, 1975).

La présence des horizons diagnostiques de profondeur (Soil Survey Staff, 1975), oxiques (Box), argiliques, parfois agriques (Bt), cambiques (B) et sombres de profondeur (FRANKART 1983) est fonction à la fois de l'âge, du degré de rajeunissement du paysage, de la nature lithologique du support, de l'action «anthropique».

Le passage, via les horizons C, aux niveaux d'altération (saprolithe, argile bariolée et d'altération) peut être progressif ou souligné par la présence d'une nappe de graviers latéritiques, quartzitiques ou rocheux (stone-line).

2.1.2. Minéralogie.

La présence de minéraux altérables est rarement décelée, sauf dans les niveaux d'altération de la roche où elle ne peut cependant être généralisée.

La minéralogie de la fraction argileuse est dominée par la kaolinite associée principalement à des oxydes et hydroxydes de fer (goethite, hématite) et d'aluminium (gibbsite) sans omettre la présence de matériaux amorphes.

Dans les matériaux micacés, outre l'association minéralogique précitée, on identifie fréquemment de l'illite, parfois des vermiculites, des chlorites, des interstratifiés illite-vermiculite et illite-chlorite. Dans certains matériaux, une espèce minéralogique au comportement singulier a été mise en évidence. Elle a été provisoirement désignée sous le nom de «chlorite thermiquement instable».

2.1.3. Complexe adsorbant et propriétés associées.

Sous couverts «naturels» et sous les horizons organiques, le degré de saturation du complexe d'échange (V) est très faible, généralement inférieur à 5-10%. Il imprègne d'épaisses couches de sol (parfois plusieurs mètres). Cette tendance peut cependant s'inverser dans les niveaux d'altération. Le Ca^{2+} est le cation échangeable dominant.

Le pH/ H_2O oscille entre 4,0 et le pH/KCl lui est toujours inférieur. Sous les pH inférieurs à 4,5-5,0, ce sont les ions Al^{3+} et H^+ qui assurent essentiellement la saturation du complexe d'échange. La somme de ces cations constitue l'acidité d'échange et semble jouer un rôle déterminant dans la valeur agricole des terres.

Les horizons organiques humifiés (Oh) des sols forestiers constituent souvent une réserve potentielle en éléments biogènes ; le degré de saturation peut y atteindre 20 à 25%.

Dans les sols sous cultures, l'action «anthropique» affecte très favorablement cette propriété. Dans les sites privilégiés (jardins), le degré de saturation peut être supérieur à 50% jusqu'à plus de 100 cm.

L'importance pédo-agronomique de l'acidité d'échange, partiellement associée aux caractères ferrallitiques de l'altération, a amené certains pédologues à introduire la notion de terres et d'horizons «alliques».

2.1.4. Phosphore.

La teneur en P «assimilable» (méthode Truogg) est très faible et excède rarement 5-10 p.p.m. dans les horizons superficiels.

2.1.5. Éléments mineurs et oligo-éléments.

La solubilité du cuivre, zinc, bore, manganèse, molybdène, fer et plomb, etc. est largement conditionnée par le pH, d'où déficiences ou toxicités potentielles.

2.1.6. Taxonomie.

Les sols humifères trouvent place dans les diverses taxonomies et légendes internationales, nationales ou régionales.

Soil taxonomy (Soil Survey Staff, 1975) — grands groupes.

— Oxisols : sombrihumox, gibbsihumox, haplohumox, acrohumox.

— Ultisols : sombrihumults, tropohumults, haplohumults, palehumults.

Classification française (C.P.C.S., 1967) — groupes.

Sols ferrallitiques : sols ferrallitiques fortement désaturés, humifères.

FAO - UNESCO (1988) — Carte mondiale des sols — Légende (2^e ou 3^e niveau).

— Ferralsols : ferralsols umbriques (acri-umbriques, sombri-humiques).

— Acrisols : acrisols umbriques.

Classification des sols de la République du Zaïre (Tavernier & Sys 1965) — grands groupes.

— Kaolisols : ferrisols humifères, ferralsols humifères, kaolisols à horizon sombre.

2.2. APTITUDE ET AMÉNAGEMENT DES TERRES DES ÉCOSYSTEMES HUMIFÈRES D'ALTITUDE.

Toute évaluation qualitative ou quantitative de l'aptitude agricole actuelle des terres acides humifères d'altitude sous «couverts naturels», livrées à un aménagement agricole faisant appel à des technicités appliquées et applicables par la majorité des fermiers, converge vers une aptitude marginale ou vers l'inaptitude (FAO 1976, Sys 1985, Riquier *et al.* 1970, Vink 1975).

Si l'on écarte les contraintes physiographiques et climatiques spécifiques aux divers taxons, ce sont les propriétés chimiques traduites notamment par le pH, par le degré de saturation et, plus particulièrement, par la saturation relative du complexe adsorbant en Al^{3+} qui sont les paramètres déterminant l'intensité des limitations. Cette observation s'applique quels que soient les taxons et nonobstant les degrés de tolérance variables des cultivars (espèces, variétés).

2.2.1. Acidification — aluminisation.

Dans la région où la pluviométrie l'emporte sur l'évapotranspiration et le ruissellement, l'eau s'infiltre dans le sol et lessive progressivement les sels solubles de sorte que le rapport H^+ /cations solubles augmente avec la dilution. Le lessivage et le rééquilibrage permanent entre le complexe d'échange des sols et les solutions du sol s'accompagnent d'une désorption progressive des «cations échangeables» (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+) au profit de l'ion H^+ . Ce méca-

nisme se poursuit tant que le lessivage est actif ; il génère l'acidification (PONETTE 1989).

Cette réaction peut encore être activée par des processus biochimiques où interviennent notamment la respiration des biomasses microbiennes et racinaires, la décomposition des résidus végétaux (acides organiques) et par la nitrification biologique des composés azotés, tous générateurs de protons (OPDECAMP 1988a).

Il a été montré que les argiles saturées en ions H^+ sont instables et qu'elles évoluent spontanément vers des formes se saturant progressivement en aluminium, par interdiffusion entre les ions H^+ du complexe d'échange et les ions Al^{3+} libérés par hydrolyse des minéraux altérables, des aluminosilicates, des phyllosilicates et des produits secondaires, tels la gibbsite (PONETTE 1989). L'aluminisation, degré d'intensité de l'acidification, tend vers un état d'équilibre qui dépend des produits de solubilité des constituants aluminiques du sol dont l'activité en solution est contrôlée par de nombreux facteurs dont le pH (MARION *et al.* 1976).

En solution aqueuse, l'ion Al^{3+} forme de $Al(H_2O)_6^{3+}$ qui est en équilibre avec des formes hydroxylées et des formes polymères associant 6 hydroxy-Al en anneau (ESPILAU & PEDRO 1980). Ces formes sont difficiles à discriminer analytiquement. L'ion Al^{3+} est souvent considéré comme la forme la plus toxique (PAVAN *et al.* 1982).

L'aluminisation du complexe d'échange qui se traduit, dans notre conception, par la présence d'aluminium échangeable identifiable analytiquement (Al extractible du KCl 1N), se manifesterait dès que le pH/H_2O est inférieur à 5,8-5,5. L'aluminium est présent non seulement sous forme d'ions Al^{3+} échangeables, mais aussi sous formes hydroxylées $Al(OH)_2^+$, $Al(OH)^{2+}$, etc., principalement localisées dans les espaces interfoliaires des argiles 2/1 (SEGALEN 1973) cité par BOYER (1976). Dès que le pH descend en dessous de ces valeurs, l'augmentation des teneurs en aluminium échangeable croît très rapidement (EVANS & KAMPRATH 1970) ; une faible diminution de pH peut être accompagnée d'une forte augmentation en aluminium échangeable (SEGALEN 1973). SANCHEZ (1976) a mis en évidence des relations entre le pH, le degré de saturation en aluminium et le rendement des cultures.

Dans les écosystèmes humifères d'altitude, l'intensité de ces processus est fortement influencée par les paramètres climatiques (régime tropical d'altitude), par le couvert végétal (biomasses forestières, postforestières), par l'âge, la nature et le degré d'altération des matériaux parentaux et par la morphogenèse des paysages soustraits au rajeunissement. La majorité de ces facteurs y jouent un rôle catalyseur. Dans les paysages peu accidentés et ondulés, le régolithe peut atteindre plusieurs mètres d'épaisseur et être le siège d'une acidification intense pouvant même envahir le complexe d'altération ou saprolithe.

En l'absence de méthodes phytotechniques conservatrices, la mise en culture s'accompagne à la fois d'une perte en matière organique (érosion, minérali-

sation) et d'une exportation généralement non compensée en éléments minéraux. L'effet salulaire, mais souvent éphémère, des brûlis ne peut que retarder l'évolution de cette dégradation chimique. Par contre, l'application de techniques impliquant l'apport d'amendements peut contrecarrer, neutraliser ou inverser ce processus (actions «anthropiques»).

2.2.2. Impacts physiologiques, physiochimiques et minéralogiques de l'acidification.

L'acidité est aisément évaluée par le pH dont la valeur indicatrice est acceptée par tous. Cette caractéristique permet de porter un jugement global sur l'activité biologique et sur les conditions générales gérant la décomposition de la matière organique, sur l'assimilabilité du phosphore, sur le degré de saturation des sols en cations échangeables, sur les déficiences, les toxicités potentielles en éléments mineurs et majeurs. La plupart des cultures tropicales sont adaptées à des pH voisins de 6.

La présence de l'aluminium échangeable inhibe l'activité de la microflore du sol (rhizobium, champignons, etc.), ralentit ou même arrête la décomposition de la matière organique dès que le pH atteint 4,5 (SEGALEN 1973).

Il représente une source d'acidité potentielle lorsqu'il passe dans la solution du sol et agit comme un tampon acide qui s'oppose à un relèvement significatif du pH tant que subsistent de faibles mais variables quantités d'aluminium échangeable. Selon BOYER (1976), ce relèvement n'interviendrait que si ce dernier est complètement éliminé. Il déplace aisément l'ion K^+ , mais est facilement remplacé par les ions alcalino-terreux et plus particulièrement par le Ca^{2+} . L'aluminium affecte aussi l'adsorption du calcium (antagonisme Al^{3+} - Ca^{2+}) et du cuivre mais exalte celle du manganèse (BOYER 1976, SEGALEN 1973).

L'envahissement du pédon par l'aluminium échangeable est rendu responsable du phénomène de toxicité aluminique et accessoirement manganique, quoique cette dernière n'ait pas été actuellement reconnue au Burundi (OP-DECAMP 1988a). L'affinité des ions Al^{3+} et des hydroxypolymères d'aluminium pour le phosphore limiterait fortement sa disponibilité pour les plantes.

L'acidification et l'aluminisation entraînent un déséquilibre de la garniture cationique avec apparition fréquente de déficiences ou même de carences au niveau des éléments majeurs (calcium, magnésium et potassium). En outre, elles peuvent affecter profondément la présence de certains éléments mineurs ou oligo-éléments tels que le molybdène, le manganèse, le fer, le zinc, le bore, le cuivre, le nickel, etc. L'ensemble de ces équilibres «solution du sol-complexe adsorbant» est régi par les échanges ioniques.

La disponibilité des éléments pour l'alimentation minérale de la plante est fonction de facteurs physico-chimiques déterminant les équilibres sols-solutions et solutions-racines et métaboliques liés aux relations racines-plantes susceptibles de modifier ces équilibres (MENDEL & KIRBY 1982, BOYER 1976).

C'est sous forme soluble que l'aluminium est adsorbé par la plante, d'où l'intérêt d'évaluer son activité réelle dans les solutions du sol (OHKI 1985).

En quantités relativement élevées, mais variables, l'aluminium devient toxique pour la plante, il affecte initialement le développement du système racinaire (MENGEL & KIRBY 1982). Les extrémités et les racines latérales se rabougrissent et brunissent ; parfois, on note l'absence de racines secondaires (FOY 1974). L'aluminium précipite sur la surface des cellules et s'oppose à l'élongation des racines (barrière mécanique). Il limite en outre la division cellulaire méristématique des racines (OHKI 1985), d'où inefficacité des cellules dans l'absorption des éléments nutritifs et de l'eau (FOY 1983). Cette action se répercute ensuite sur le développement des parties aériennes.

Mais les plantes montrent une tolérance vis-à-vis de l'aluminium très variable selon les genres, les espèces et les variétés ; celle-ci serait d'origine génétique (FOY 1983). Cette tolérance serait associée notamment à la variation de pH dans la zone racinaire, au piégeage de l'aluminium en dehors des zones métaboliques dans la plante, à l'efficacité du métabolisme du phosphore, à l'assimilation et au transport du calcium et du magnésium, à la CEC des racines, etc. (FOY 1982).

Malgré cet aspect dépressif de l'aluminium sur la croissance des plantes, il est admis qu'à faibles concentrations, l'aluminium peut avoir des effets stimulants sur celle-ci (FOY 1982, 1983, MENGEL & KIRBY 1982, TANG VAN HAI *et al.* 1983, OPDECAMP 1988a, TANG VAN HAI *et al.* 1989).

Au nombre des facteurs et/ou des mécanismes envisagés, on peut citer avec FOY (1974) :

- Le blocage des charges négatives dans les sites de la paroi cellulaire, d'où amélioration de l'assimilation du phosphore ;
- Son rôle de fongicide ;
- Sa prévention de la toxicité d'autres métaux (cuivre, p. ex.).

La fraction argileuse de nombreux échantillons de sols prélevés au Burundi ont été livrés à une analyse minéralogique de routine par diffraction-X (séchage à l'air, éthylène glycol, chauffage à 550°C). Dans certains matériaux originels, on a mis en évidence une espèce minéralogique au comportement particulier. Il s'agit d'un minéral non gonflant à 1,4 nm dont les réflexions au chauffage à 550°C se réduisent à une large bande de diffraction, étalée entre 1,0 et 1,4 nm, largement centrée sur 1,2 nm. La disparition des réflexions à 1,4 nm s'amorce dès 250-300°C. THOREZ (1976) assimile ce type de comportement à la présence d'un assemblage irrégulier de feuillet chloritiques résiduels et d'interstratifiés vermiculitiques. Ce minéral a été provisoirement inventorié comme «chlorite thermiquement instable». L'étude de sa genèse est en cours. La présence dans les solutions du sol de composés aluminiques (Al^{3+} , formes hydroxylées, etc.) susceptibles d'envahir les espaces interfoliaires est vraisemblablement à la base de cette évolution minéralogique (PEDRO 1979, RANGER

et al. 1986, RANGER & ROBERT 1985). Son existence dans les matériaux à caractères oxyques ou ferrallitiques influence de manière significative la capacité d'échange cationique apparente (CEC).

2.2.3. Identification, évaluation du degré d'aluminisation, limitation.

Les valeurs de pH/H₂O et pH/KCl permettent déjà de cerner globalement l'intensité des limitations.

De nombreux indices faisant appel à la richesse soit absolue, soit relative du complexe d'échange en aluminium, sont proposés (MOHR 1960, cité par BOYER 1976, KAMPRATH 1967, etc.) et des seuils de toxicité définis.

Leur interprétation doit tenir compte des résistances spécifiques des espèces et variétés. C'est souvent l'indice de KAMPRATH (1967) qui sert de support à l'évaluation de la toxicité aluminique.

$$\text{Indice «m» de KAMPRATH} = \frac{A1}{ECEC} \times 100$$

où A1 = aluminium extractible au KCl N

$$ECEC = \Sigma CE + A1$$

$$\Sigma CE = \Sigma \text{ des bases échangeables.}$$

Selon DABIN (1984/1985) et KAMPRATH (1967), au-delà d'une valeur «m» voisine de 55-60, toutes les plantes sont sensibles à la présence de l'ion Al³⁺. Au Burundi, les légumineuses paraissent moins affectées que les graminées et des plantes telles que le thé, le manioc, la patate (douce) et le lupin montrent une grande plasticité ou une grande tolérance vis-à-vis de l'ion Al³⁺ (OPDECAMP 1988a).

La valeur «m», supérieure à 60, est une des caractéristiques diagnostiques des terres et des horizons «alliques» de la classification régionale du Burundi (ISABU 1986, OPDECAMP 1988a, TESSENS & SOTTIAUX 1988). OPDECAMP (1988a) attribue à cette valeur une signification cartographique et physiologique. Il semblerait cependant qu'au point de vue agronomique, outre la valeur de l'indice «m», la richesse absolue en aluminium et le caractère «allique» des horizons minéraux de l'ensemble du pédon devraient être pris en considération.

L'interprétation de cet indice est largement tributaire de la variabilité spatiale qui affecte non seulement son intensité mais également l'épaisseur du pédon sur laquelle il s'imprime. De plus, son évolution rapide et vraisemblablement réversible sous l'action anthropique rend compte des difficultés cartographiques rencontrées si l'on souhaite traduire cette qualité au niveau des taxons et des mappons. L'approche cartographique est subordonnée au type d'enquête réalisé en gardant toutefois en mémoire que l'on s'adresse à une qualité chimique instable, variable, dans les terroirs livrés aux aménagements agricoles ou agropastoraux.

2.3. AMÉLIORATION DES SOLS TROPICAUX ACIDES, ALUMINISÉS.

S'il était utile de s'imprégner des causes et des conséquences de l'acidification et de l'aluminisation des sols, on doit aussi souligner que la présence d'aluminium échangeable en quantité préjudiciable aux cultures est considérée dans de nombreux pays comme le principal problème pédo-agronomique. Il constitue souvent une entrave potentielle, un frein sournois à tout projet de développement agricole basé sur des approches phytotechniques, d'où serait exclus, pour des raisons techniques ou économiques, l'apport d'amendements en quantités suffisantes pour assurer la récupération, la fertilisation des terres «alliques».

Ces problèmes, connus de longue date, ont fait l'objet de nombreuses études, projets, enquêtes nationales et internationales (FAO, CEE, SMSS, IBSRAM, etc.) dont les conclusions n'ont encore été ni projetées ni appliquées à grande échelle dans ces régions. Les efforts sont trop souvent menés sans coordination, sans concertation.

Un point déterminant est la recherche de méthodes en équilibre avec les potentialités socio-économiques locales : ressources naturelles, motivation et sensibilisation des fermiers, adaptation des technicités aux ressources financières, aux disponibilités foncières, aux possibilités de vulgarisation, d'encadrement, aux compétences techniques des utilisateurs, etc. Théoriquement et pratiquement, les solutions sont connues, mais dans quelles mesures peuvent-elles être appliquées dans le milieu rural ? Comment le fermier, livré à ces contraintes, va-t-il les assimiler, les maîtriser afin d'assurer son autosubsistance et augmenter son bien-être ?

Avant de faire état des résultats acquis, on rappellera que les structures agraires régionales ont modelé un paysage phytotechnique très diversifié quant à la fertilité des sols. Celle-ci s'amenuise à mesure où l'on s'écarte de l'habitat. On distingue au niveau d'une cellule familiale des auréoles résidentielles à haut niveau de technicité et à bonne aptitude agricole, des auréoles vivrières à technicité moyenne et à fertilité modérée, des auréoles de cultures d'ouverture à faible technicité et à aptitude réduite, des surfaces sous prairies (parcours) non aménagées à aptitude marginale ou inaptes (fig. 2).

Malgré les controverses que leurs origines suscitent, les propriétés pédo-agronomiques sont principalement héritées des actions anthropiques à long, moyen et court terme. La présence de mappons de fertilité intrinsèque élevée, liés à l'existence du saprolithe peu lessivé près de la surface ou résultant de processus paléo-pédologiques (OPDECAMP 1988b) ne peut à priorité être écartée ou ignorée, leurs actions pouvant être complémentaires ou cumulatives.

Les conséquences pédo-agronomiques de cette «action anthropique» sont largement tributaires de la nature et de l'origine du matériau parental, de l'âge et du degré de rajeunissement du paysage, des technicités mises en œuvre et du facteur temps. Concrètement, dans de nombreux sites, on peut identifier

de véritables métamorphoses d'intensités variables des propriétés physico-chimiques et morphologiques des pédons (SOTTIAUX *et al.* 1988). L'étude de l'évolution minéralogique de la fraction argileuse est abordée. La permanence, la réversibilité, le dynamisme des processus sont peu ou mal connus ; le facteur temps n'est actuellement pas maîtrisé (fig. 6).

La variabilité spatiale des propriétés pédo-agronomiques des pédons et des taxons au sein de l'unité d'aménagement ou paysagique est telle qu'elle pose non seulement un problème cartographique mais qu'elle interfère dans la définition des stratégies à appliquer lors de l'élaboration de projets d'aménagement ou de développement.

L'usage de l'imagerie aérienne ou satellitaire permettra de projeter sur les documents pédologiques une identité physico-chimique souvent ignorée. L'utilisation des systèmes d'information géographique sera également d'une grande utilité et l'identification d'horizons diagnostiques assimilés aux épipédons «anthropiques» ou aux horizons «agriques» de la Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 1975) s'en trouvera facilitée.

2.3.1. Situation actuelle.

a. Au Rwanda.

Stimulés par la gravité des problèmes que traduisent les rendements excessivement faibles obtenus dans les terroirs sous couverts naturels, les chercheurs locaux ont abordé, dès 1968-1969, l'identification de technologies susceptibles de les maîtriser.

Des études menées en champs d'essais et en vases de végétation depuis 1966, on pouvait dégager les enseignements suivants (NEEL 1972, 1974, NEEL *et al.* 1976) :

- 35 t/ha de fumier appliqué régulièrement ont un effet très bénéfique ;
- pour être efficaces, les engrais chimiques NPK doivent être nécessairement combinés à la chaux ;
- 1 t de chaux, comme les engrais NK sans P, induisent un effet moins évident.

Les rendements moyens, après enfouissement de l'*Eragrostis*, sont très faibles, de l'ordre de 270 kg/ha, de 180 kg/ha et de 313 kg/ha, respectivement pour le haricot, le pois et le sorgho. Les meilleurs rendements sont obtenus sur les sols «anthropiques» et ce sont ces mêmes sols qui montrent la meilleure réactivité aux engrais minéraux.

Depuis, certains résultats complémentaires ont été enregistrés (NEEL & RUTUNGA 1980) :

- L'application de 4 t/ha de chaux paraît être la dose optimale et permet d'espérer un arrière-effet d'environ 4 années ;

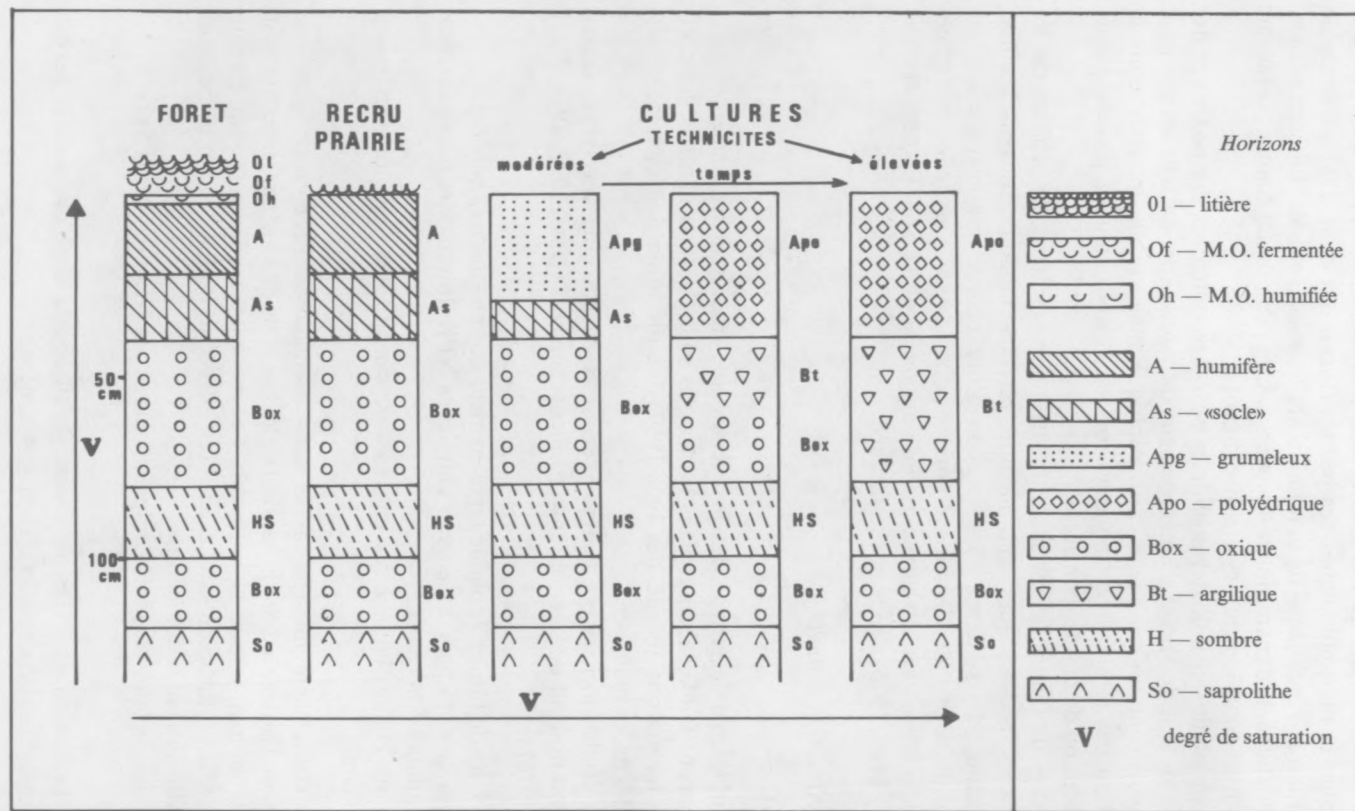


Fig. 6. — Bio-agroséquence hypothétique. Évolution morphologique et chimique des sols sous agrotechnologie traditionnelle.

- La chaux brûlée et non brûlée, à raison de 2 t/ha, a un effet identique (arrière-effet, voisins de 4 années) ;
- La chaux associée au compost a un effet plus significatif que la chaux ou le compost seul ;
- L'apport d'intrants minéraux (NPK) n'a d'effets importants que s'ils sont associés au chaulage ;
- L'arrière-effet des engrais NPK n'est pas significatif.

Les recherches sont actuellement poursuivies. Elles ont été notamment synthétisées lors du «Premier Séminaire National sur la Fertilisation des Sols au Rwanda» (1985).

b. Au Burundi.

Le groupe fertilisation de l'ISABU (Institut des Sciences agronomiques du Burundi) a abordé le même thème dans le cadre d'un projet CEE axé sur l'étude de la toxicité alumino-manganique des sols d'altitude. Les essais furent menés en champs et en pédotrons sur des sols dont le facteur «m» de Kamprath variait de 10 à 90.

L'accent était mis sur l'évaluation des productivités vivrières (maïs, haricot, triticale, pois) et fourragères (*Tripsacum laxum*, *Pennisetum purpureum*, *Setaria splendida*) des terres «alliques» sous diverses conditions agrotechnologiques.

Trois degrés d'aménagement furent pris en considération : exploitation traditionnelle, peu monétarisée et monétarisée.

Au terme de 2 années d'expérimentation, OPDECAMP (1988a) concluait provisoirement :

- La rentabilité économique d'ouverture en patate douce est dérisoire, sinon négative ;
- En condition traditionnelle (faible apport de fumier : 20 t/ha), «les rendements obtenus sont très faibles et sans rentabilité économique» ;
- En condition peu monétarisée (fumier et petites quantités de chaux (1 t/ha), «la productivité reste médiocre et semble compromise pour les premières récoltes de vivres» ;
- En condition d'exploitation monétarisée (engrais NPK, importants engagements financiers), «les productions restent modestes et ne permettent aucune rentabilité économique».

La productivité fourragère a également été évaluée dans les trois types de technicité : les résultats ne sont pas encourageants. Les expériences en «pédotron» ont mis en évidence une très forte carence en calcium et magnésium, une forte carence en phosphore, une carence moyenne en azote et en potassium.

Ces conclusions peu optimistes ne peuvent cependant condamner sans recours les terres acides car les conclusions émises s'appuient sur une expérimentation de trop courte durée (2 ans) et ne peuvent préjuger ni des arrière-

effets éventuels, ni des aspects positifs et éventuellement cumulatifs d'une technicité menée sur des périodes plus longues.

Quelles sont les réactions des utilisateurs potentiels et obligés de ces terroirs, en l'occurrence, les fermiers-éleveurs, devant ce défi ? En d'autres termes, quelles peuvent être les conséquences des techniques agricoles appliquées en milieu rural peu ou non organisé sur la productivité et/ou la potentialité des terres acides, qu'ils s'agissent d'aménagements agricoles ou agro-pastoraux ?

PIRAUX (1988) a étudié plusieurs biochronoséquences prairies-cultures d'un projet agro-pastoral au Burundi (fermettes). L'identification des technicités appliquées (apport de fumier selon les disponibilités) et de leurs impacts dans le temps sur les propriétés pédo-agronomiques, a été mise en évidence. L'indice de Kamprath (m), toujours supérieur à 60 (80 à 90), sous prairie, s'abaisse souvent sous 50 dans les 60 premiers cm après 4 années de cultures succédant aux ouvertures traditionnelles. Ces améliorations semblent s'amplifier après 8 ans ; les résultats obtenus après 40 ans sont sujets à caution. On relèverait déjà un effet significatif après 2 ans (fig. 7).

PIRAUX (1988) a également pu dégager des enquêtes socio-pédo-agronomiques menées auprès des agriculteurs (fermettes), certaines perspectives qui, en l'absence de rigueur statistique, se révèlent encourageantes.

On retiendra particulièrement :

- Que trois saisons culturales paraissent nécessaires pour surmonter ou réduire de manière significative les contraintes pédo-agronomiques initiales, ensuite la parcelle entre dans le système local de rotation des cultures (maïs, haricot) ;
- Que le fumier ou le compost sont indispensables pour réaliser l'ouverture sur pâturage ;
- Que l'autosuffisance vivrière est atteinte, dans la majorité des cas, après 4 années de culture.

Ces observations, corroborées par NYONGABO (1972), paraissent aussi largement confirmées par OPDECAMP (1988b). Ce dernier s'adressait à des séquences sous cultures vivrières régulièrement fumées, sous jachères de longue durée non fumées et sous prairie. On y relève des valeurs du facteur «m» inférieures à 50 jusqu'à 85 cm de profondeur dans les sols sous cultures tandis que sous jachères longues, elles augmentent fortement sans toutefois s'identifier à celles des sols sous prairies.

L'abaissement du facteur «m» n'affecte pas le pH de manière significative (pouvoir tampon élevé) ; l'absence d'informations précises concernant le facteur «temps» ne permet pas de préciser la dynamique de l'évolution de l'aluminisation du complexe d'échange. Les seules données disponibles (OPDECAMP 1988b) laissent cependant supposer que, durant la période des jachères succédant aux cultures, l'aluminisation du complexe d'échange pourrait être rapide.

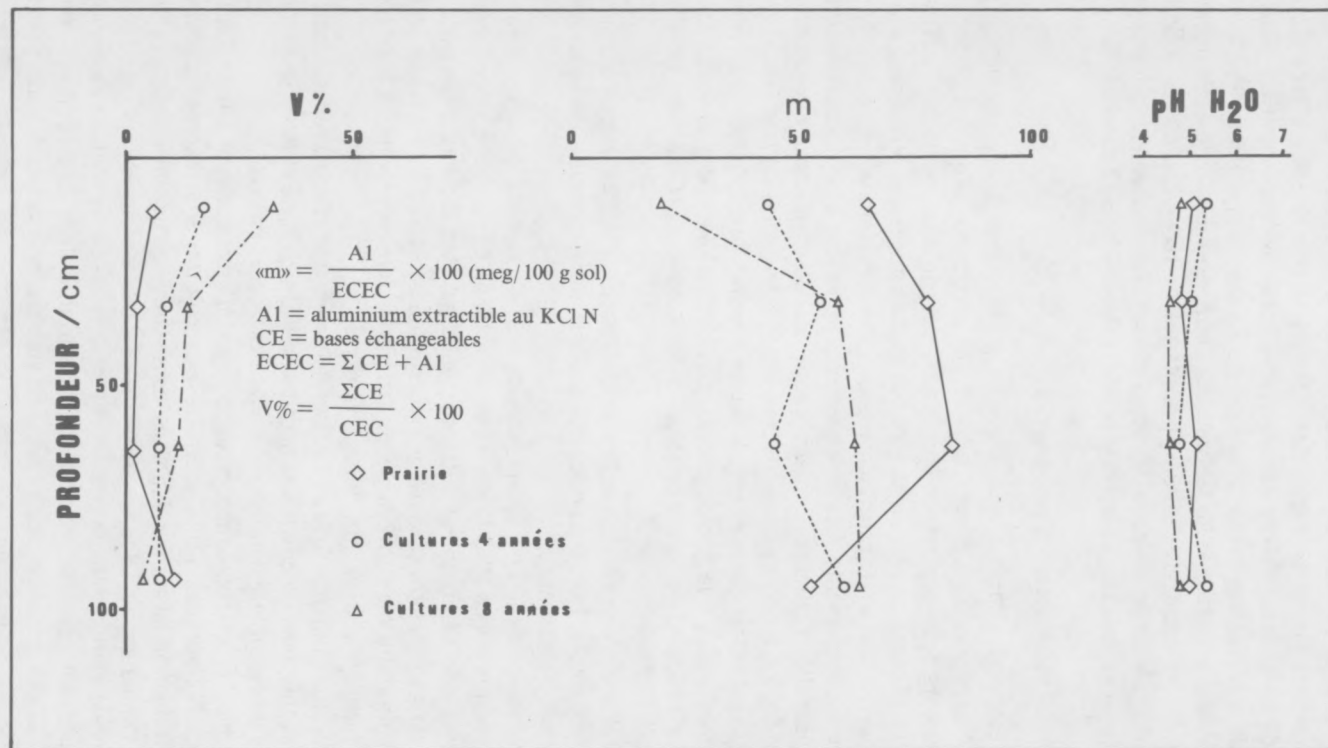


Fig. 7. — Propriétés chimiques des sols et aménagement agricole (PIRAUX 1988).

Si le scénario proposé traduit une réalité même nuancée et même si l'information verbale est la moins fiable (DE SCHLIPPE 1986), ce type d'étude mérite d'être poursuivi dans des aires d'échantillons représentatives pour en définir la signification réelle. L'impact du facteur temps devra être évalué, quantifié, sur le terrain et au laboratoire. On pourra ainsi vraisemblablement dégager de ces enquêtes des axes prioritaires de recherche où les sols déjà «améliorés» seront le support des programmes d'aménagement orientés vers une maîtrise de l'acidité, tremplin vers une ultérieure intensification.

2.3.2. Problèmes annexes et perspectives.

On s'étonnera peut-être que, dans les programmes d'aménagement, l'application généralisée de fumier ne soit pas préconisée. Tous les chercheurs et utilisateurs sont cependant convaincus de son effet bénéfique qu'il soit employé seul ou en combinaison avec des engrais minéraux. Vingt-cinq tonnes de fumier/ha/an sont généralement considérées comme nécessaires pour accroître les rendements. Ces amendements apportent au sol sensiblement la même quantité d'éléments minéraux que les doses d'engrais couramment utilisées, 400 kg/ha d'un engrais de formule 17-17-17 (NEEL 1986).

Cette situation est essentiellement due au manque de disponibilités en fumier (bétail insuffisant), à la faible richesse chimique et à la valeur alimentaire des prairies à *Eragrostis*, sources principales des biomasses (COMPÈRE 1984, cité par PIRAUX 1988).

Dans le souci de promouvoir les améliorations, d'autres démarches furent ou sont proposées. Elles sont orientées vers des aménagements agro-pastoraux ou agro-sylvo-pastoraux.

Le premier s'identifie à l'implantation des «fermettes» dont les premiers jalons furent posés en 1969 (DESCHUYTENER 1986). Ces unités d'aménagement impliquent une disponibilité suffisante en terre (1 à 1,5 ha), l'existence de bovins, de parcelles fourragères et vivrières ainsi que l'adoption d'une stabulation temporaire ou permanente du bétail. Le fumier produit (5 à 10 t/an) est généralement réservé aux cultures vivrières.

Les résultats obtenus à Mawha (Bututsi) sont très encourageants, mais ils ont été acquis dans un environnement technique privilégié et leurs projections spatiales devraient être confirmées et évaluées (études en cours).

Les objectifs et conséquences de ce type d'aménagement furent parfois controversés : surfaces utiles sacrifiées aux cultures fourragères exigeantes, faible production de fumier. Un consensus semble actuellement acquis (NEEL 1986) si l'on admet qu'il doit tendre en premier lieu à promouvoir la production de lait et de viande dans la mesure où les conditions de marché l'autorisent, le fumier étant considéré comme un sous-produit dont la gestion sera rationalisée. Si des parcours sont libres, la stabulation nocturne seule pourrait être envisagée pour réduire les surfaces consacrées aux parcelles fourragères (transferts latéraux extérieurs).

Pour pallier ces critiques, de nombreuses alternatives ont été évoquées : compost, paillis, jachères améliorées ou non, engrais verts, etc. Mais c'est l'implantation d'aménagements agro-sylvicoles associés à l'exploitation judicieuse des composantes floristiques des équipements antiérosifs qui retient l'attention des aménagistes.

Selon DESCHUYTENER (1986), les biomasses ainsi produites seraient supérieures à celles livrées par les parcelles fourragères et assureraient 50% des besoins alimentaires du bétail.

L'agroforesterie poursuit divers buts (EGLI & RAQUET 1985) : maintenir ou améliorer la fertilité du sol, assurer une production forestière d'autoconsommation et intensifier la production fourragère. Elle impose un choix des essences et des méthodes d'aménagement spécifiques. C'est cette stratégie agro-sylvo-pastorale que propose d'appliquer le projet Bututsi (Burundi) pour la restauration de la fertilité des sols d'une des régions naturelles les plus pauvres des deux pays. Cette action coiffe les volets agro-pastoraux (fermettes), agro-sylvicoles (microboisements), conservation eau-sols (lutte antiérosive) ainsi que ceux axés sur l'intensification.

3. Conclusions — Recommandations

Les causes et les conséquences pédo-agronomiques de l'acidification et de l'aluminisation des terres des écosystèmes humifères d'altitude rendent compte de leur faible taux d'occupation et de leur dérisoire productivité. Les résultats agronomiques acquis ont mis en évidence la possibilité de maîtriser ou, plus modestement, de limiter les impacts de l'acidification en laissant planer un espoir d'assurer une agriculture de subsistance faisant appel aux amendements organiques et minéraux en quantités relativement limitées. L'approche socio-économique devrait être affinée avant d'en évaluer le degré de généralisation potentielle.

La démarche agrotechnologique proposée pour leur récupération dont l'objectif est d'amener les terres à des seuils d'acidité compatibles avec une agriculture de subsistance de qualité s'appuie sur l'implantation de systèmes agricoles, agro-pastoraux ou agro-sylvo-pastoraux où l'aménagement traditionnel est soutenu par des techniques d'intensification dans la mesure où celles-ci s'inscrivent dans une enveloppe socio-économique adéquate.

Le choix de cultivars résistant à l'acidité et à productivité suffisante est une des premières techniques éprouvées et souvent la seule économique. Certains gènes contrôlant cette résistance ont été localisés (FOY 1983), d'où perspectives de manipulations génétiques.

La tolérance de nombreuses espèces ou variétés est largement connue ou codifiée (DABIN 1984, BOYER 1976), mais d'autres paramètres concernant la plante et son support doivent être maîtrisés.

En effet, l'impact des limitations induites est fonction à la fois de la profondeur optimale et de la stratification de la rhizosphère, de l'intensité et de l'épaisseur du pédon livré à l'acidification ou à l'aluminisation (indice «m» de Kamprath).

Si les facteurs généraux qui influencent cet indice sont connus, sa variation spatiale est telle que les approches cartographique et pédo-agronomique devront l'identifier en catégories aux limites assez larges, réalistes, compatibles avec les méthodes normales d'investigation de terrain (structure, revêtements) et de laboratoire (acidité d'échange, etc.). Elles devront, dans la mesure du possible, évaluer ces variations sous l'action «anthropique», génératrice d'une structure agraire à productivités contrastées.

Pour OPDECAMP (1988a), la majorité des sites sous prairies ont un indice «m» supérieur à 60 sur plus d'un mètre d'épaisseur. Les méthodes phytotechniques rurales privilégient les horizons superficiels (0-40 cm). Le système racinaire prospecte essentiellement les couches améliorées et son développement s'arrête ou se réduit dès qu'il aborde les couches aluminisées. Ce front d'acidité est désigné sous le nom de goulot ou de barrière chimique d'étranglement (VAN WAMBEKE 1971).

Si la correction partielle de l'aluminisation de la couche superficielle (labourée) peut être rapide sous l'effet des méthodes phytotechniques locales, les migrations en profondeur du front d'amélioration sont par contre progressives et leur intensité s'amortit rapidement dès que cesse l'apport d'amendements tandis que leur application régulière, permanente peut entraîner une métamorphose significative des propriétés physico-chimiques et morphologiques du pédon sur une épaisseur importante (1 m et plus).

Les recherches ont, d'autre part, démontré que l'envahissement du pédon par les amendements calco-magnésiens sous leurs formes les plus répandues est souvent lent, limité en profondeur, d'où frein important à l'amélioration (PONETTE 1989, GENON 1989). Pour contourner cet obstacle, l'application de sulfates ou de chlorures de calcium s'avère très efficace (RITCHEY *et al.* 1980 in GOEDERT & LOBATO 1986). La préférence est donnée aux sulfates, les chlorures favorisant le lessivage du calcium. L'application simultanée de chaux et de sulfate (SUMMER & CARTER 1988), de phosphogypse est également positive.

La réponse aux engrais minéraux s'étant révélée favorable, l'inventaire des sources et réserves potentielles locales en amendements minéraux sera complété. Des disponibilités en matériaux calco-magnésiens et phosphatés existent et des études ont été entreprises en vue de la production d'urée, de nitrophosphates, de cyanamide calcique, etc. (NEEL 1986).

L'élaboration d'une stratégie phytotechnique efficace est subordonnée aux réponses que l'on pourra apporter aux nombreuses questions techniques et pédo-agronomiques en suspens.

Celles-ci concernent notamment :

- L'étude de la dynamique (processus, temps) qui contrôle la saturation, la désaturation, la stabilisation de la teneur en aluminium du complexe d'échange sous divers niveaux d'aménagement et dans des conditions écoclimatiques et physiographiques contrastées ;
- L'identification des seuils, des teneurs relatives et absolues en Al qui permettent de considérer comme acquise la récupération des terres « alliques », compte tenu de leurs variabilités spatiales, des tolérances spécifiques des cultivars, des processus de lessivage, etc. ;
- L'expression cartographique de la variabilité spatiale du degré d'aluminisation ;
- La définition de la surface minimum de l'unité d'aménagement (paysage, formes de relief, complexes de pente) ;

Sur ces aspects techniques se greffent des problèmes plus généraux relevant de la problématique de l'aménagement.

Quelle attitude adopter face aux problèmes posés par la récupération des terres acides ou « alliques » et/ou par leur intensification ?

Faut-il les exclure de l'aménagement, les abandonner à une agriculture d'autosubsistance non organisée, à la sylviculture ou bien poursuivre les études qui livreront à moyen ou à long terme une réponse phytotechnique qui servira de support à un aménagement généralisé mais vraisemblablement diversifié en équilibre avec le cadre socio-économique régional ?

Doit-on aborder la récupération et l'intensification simultanément ou successivement, faut-il élaborer des programmes d'amélioration à deux niveaux ? La première solution s'adresse aux sites déjà partiellement récupérés et pouvant faire l'objet d'un projet d'intensification, l'autre prend en charge la phase initiale de récupération en vue d'amener les terroirs à l'autosubsistance, tremplin vers une intensification ultérieure.

Il n'y a pas actuellement de solution généralisable à l'ensemble des écosystèmes. Il faut orienter la recherche vers des solutions originales plutôt que vers des solutions importées dont l'application locale n'aurait pas fait l'objet de test de confirmation. L'enquête doit privilégier l'aspect multidisciplinaire tout en sauvegardant l'originalité des agrosystèmes existants ou potentiels.

Une étude à l'échelon national est indispensable si l'on désire évaluer les potentialités des écosystèmes et agrosystèmes identifiés. À l'approche qualitative pourrait être greffée une analyse quantitative où la collaboration des socio-économistes sera sollicitée.

Une démarche d'identification, d'inventaire en constitue la phase initiale. Un plan d'action est proposé (p. 524).

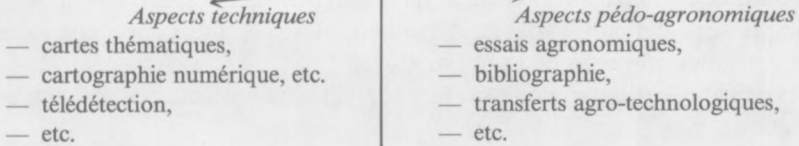
Ce large survol des aspects agrotechniques associés aux causes et conséquences de l'acidification et de l'aluminisation des terres des écosystèmes humifères d'altitude du Rwanda et du Burundi n'a pas livré de réponses adé-

PLAN D'ACTION

Définition des objectifs

Identification, caractérisation des écosystèmes

Enquêtes préliminaires



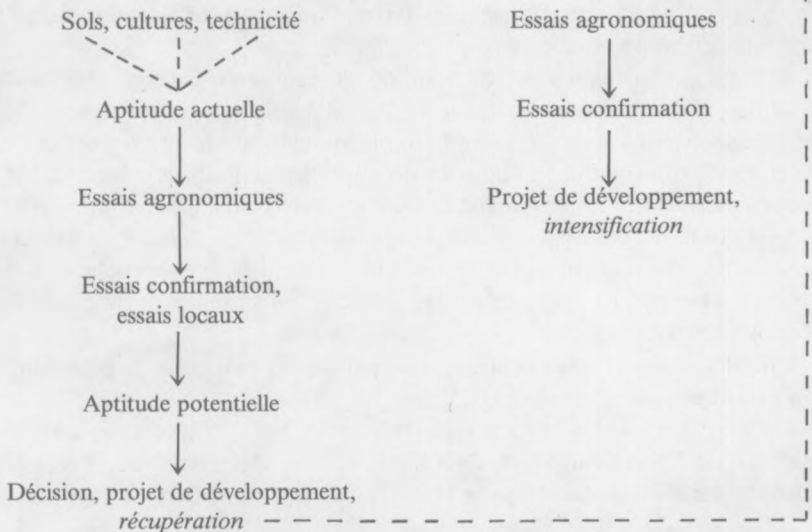
Identification des écosystèmes

- facteurs physiques,
- facteurs socio-économiques,
- facteurs pédo-agronomiques,
- niveau d'aménagement,
- sources d'intrants,
- etc.

Choix du type d'aménagement
agricole, agro-pastoral, agro-sylvo-pastoral, sylvicole
(enquête multidisciplinaire)

Récupération

Intensification



quates quant aux possibilités actuelles de récupération généralisée dans le contexte socio-économique régional malgré l'existence de nombreuses informations pédo-agronomiques.

Il a surtout contribué à élargir l'éventail des problèmes techniques posés tout en mettant en évidence l'intérêt manifesté par les chercheurs œuvrant dans ces pays pour ce thème d'extension géographique mondiale et l'importance des acquis. Il a souligné l'impérieuse nécessité qu'il y avait de promouvoir ou de poursuivre les recherches fondamentales et appliquées susceptibles de contrôler ou de maîtriser cette acidité de façon à minimiser les conséquences de la croissance démographique en favorisant la mise en valeur des terres d'altitude généralement considérées comme inaptes à l'aménagement agricole.

Seule l'application d'une méthodologie permettant d'évaluer les potentialités des écosystèmes concernés est suggérée. Cette analyse multidisciplinaire doit faciliter l'élaboration d'une stratégie phytotechnique de récupération et d'intensification des terres «alliques» dans les écosystèmes évoqués, sous des niveaux d'aménagement et des alternatives socio-économiques divers.

Une attention particulière sera accordée aux technicités mises en œuvre actuellement par les agriculteurs-éleveurs locaux pour atteindre cet objectif. Toute innovation agrotechnologique fera l'objet d'une évaluation de son efficacité dans un environnement où l'encadrement et la formation des utilisateurs potentiels seront assurés.

La rentabilité «économique» des aménagements ne devrait pas être, dans une première phase, un facteur limitant absolu. Dans cette perspective, le facteur «temps» ne sera pas contraignant.

Toutes les informations pédo-agronomiques, écoclimatiques, socio-économiques seront collectées, codifiées et stockées dans des banques de données. Les transferts d'agrotechnologie, l'utilisation des systèmes géographiques d'information et la télédétection seront d'application, la concertation et la coordination des recherches seront améliorées et amplifiées.

À ces conditions, le défi peut être relevé avec un certain optimisme.

REMERCIEMENTS

M. L. Opdecamp, responsable du Groupe Fertilisation de l'Institut des Sciences agronomiques du Burundi (ISABU), qui est confronté depuis plusieurs années aux problèmes soulevés par la récupération des terres «alliques» du Burundi, nous a fait partager sa compétence dans ce domaine. Qu'il trouve ici l'expression de notre gratitude.

RÉFÉRENCES

- AFRENA. 1988. Potentiel agroforestier des systèmes d'utilisation des sols des hautes terres d'Afrique de l'Est à régime pluviométrique bimodal. Burundi. — *Réseaux africains de recherche agroforestière*, (ISABU, B.P. 795, Bujumbura), 2 : 1-42.

- BERGEN, W. D. 1988. Réflexions fondamentales sur les possibilités d'augmentation de la performance du système traditionnel d'exploitation. — Publication n° 120, ISABU, B.P. 795, Bujumbura, Burundi, 58 pp.
- BOYER, J. 1976. L'aluminium échangeable : Incidences agronomiques et correction de sa toxicité dans les sols tropicaux. — *Cah. ORSTOM*, série Pédologie, **14** (4) : 259-269.
- BULTOT, F. 1950. Carte des régions climatiques du Congo belge. — Bureau climatologique, INEAC, comm. n° 2, Bruxelles, 15 pp.
- C.P.C.S. 1967. Classification des sols. — Travaux C.P.C.S., 1963-1967, ENSA, Grignon, France, 88 pp.
- COMPÈRE, R. 1984. Agrostologie des régions chaudes. — Notes de cours, Faculté des Sciences Agronomiques de Gembloux, 173 pp.
- DABIN, B. 1984/1985. Les sols tropicaux acides. — *Cah. ORSTOM*, série Pédologie, **21** (1) : 7-19.
- DELECOUR, F. 1980. Essai de classification pratique des humus. — *Pédologie*, **30** (2) : 225-241.
- DELEPIERRE, G. 1985. L'évolution de la production vivrière et les besoins d'intensification. — *In* : Comptes rendus du Premier Séminaire National sur la Fertilisation des Sols au Rwanda (Kigali, 17-20 juin 1985), pp. 58-86.
- DE SCHLIPPE, P. 1957. Enquête préliminaire du système agricole des Barundi de la région du Bututsi (Ruanda-Urundi). — *Bull. agric. du Congo belge*, **6** (4) : 828-882.
- DE SCHLIPPE, P. 1986. Écocultures d'Afrique. — Terre et Vie, Bruxelles, 202 pp.
- DESCHUYTENER, G. 1986. Association agriculture-élevage pour la fertilisation des terres au Rwanda. — AGCD, Bruxelles, 19 pp.
- D'HOORE, J. 1964. Carte des Sols d'Afrique. — CCTA, Service Pédologique Interafricain, projet conjoint n° 11, Lagos, 209 pp.
- EID, A. 1985. Activités et recommandations du programme engrais FAO au Rwanda. — *In* : Comptes rendus du Premier Séminaire national sur la Fertilisation des Sols au Rwanda (Kigali, 17-20 juin 1985), pp. 160-183.
- EID, A. & VAN DROOGENBROEK, J. 1985. Disponibilités et aspects économiques de l'utilisation des engrais au Rwanda. — *In* : Comptes rendus du Premier Séminaire national sur la Fertilisation des Sols au Rwanda (Kigali, 17-20 juin 1985), pp. 271-282.
- EGLI, A. & RAQUET, K. 1985. L'agroforesterie au service de la fertilisation et de la conservation du sol au Rwanda. — *In* : Comptes rendus du premier Séminaire national sur la Fertilisation des Sols du Rwanda (Kigali, 17-20 juin 1985), pp. 235-254.
- ESPIAU, P. & PEDRO, G. 1980. Caractérisation du complexe d'échange des sols acides. Le taux d'acidité d'échange et sa signification sous climat tempéré. — *Annales agronomiques*, **31** (4) : 363-383.
- EVANS, C. E. & KRAMPATH, E. J. 1970. Lime response at related to percent Al saturation, solution Al and organic matter content. — *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, **34** (6) : 893-896.
- FAO, 1976. A framework for land evaluation. — *FAO Soils Bulletin*, **32**, 72 pp.
- FAO, 1984. Assistance à l'Institut des Sciences agronomiques. — Rapport technique : La recherche agronomique : Situation actuelle et perspectives.

- FAO-UNESCO 1988. Soil map of the World. Revised legend. — World Soil Resources, report 60, 119 pp.
- FOUCAULT, A. RAULT, J. F. 1984. Dictionnaire de géologie. — Masson, Paris, 341 pp.
- FOY, C. D. 1974. Effects of aluminium on plant growth. — Univ. Press of Virginia, pp. 601-642.
- FOY, C. D. 1982. Effects of soil acidity of plants. — Invitational contribution to an EPA «Acidic deposition critical assessment document», being prepared under a cooperative agreement between E.P.A. and North Carolina State University.
- FOY, C. D. 1983. Plant adaptation to mineral stress in problem soils. — *Iowa State Journal of Research*, 57 (4) : 355-391.
- FRANKART, R., HERBILLON, A. & SOTTIAUX, G. 1963. Prospection des terroirs théicoles du Burundi. — FED/CEE, Bruxelles, 157 pp.
- FRANKART, R., NEEL, H. & SOTTIAUX, G. 1974. Les sols humifères d'altitude du Rwanda et du Burundi. — *Pédologie*, 29 (2) : 164-177.
- FRANKART, R. & SOTTIAUX, G. 1972. Carte des sols et de la végétation du Burundi : Planchette Muramvya — AGCD/FED-CEE, Bruxelles, 83 pp.
- FRANKART, R. 1983. The soils with sombric horizons in Rwanda and Burundi. — *In* : Proceedings of the Fourth Int. Soil Classif. Workshop, Rwanda (Kigali, 2-12 juin 1981), ABOS-AGCD, bruxelles : 48-65.
- GENON, J. 1989. Contribution à l'étude de la toxicité aluminique pour le riz. — Mémoire de fin d'études, U.C.L., Louvain-la-Neuve, 97 pp.
- GOEDERT, J. W. & LOBATO, E. 1986. Agro-economic considerations of modern agriculture on oxisols. — *In* : Proceedings of the VIIIth International Soil Classification Workshop on Oxisols (Brazil), 19 pp.
- I.S.A.B.U. Groupe cartographie. 1986. Propositions d'une taxonomie des sols de la région des Grands Lacs d'Afrique Centrale. — ISABU, B.P. 795, Bujumbura, Burundi, 41 pp.
- KAMPRATH, E.J. 1967. Soil acidity and response to liming. — *Soil Sc. Am. Proc.*, 28 (1) : 27-32.
- KANG, B. T. & JUO, A. S. R. 1983. Management of low activity clay soils in tropical Africa for food crop production. — *In* : Proceedings of the Fourth International Soil Classification Workshop (Rwanda, 2-12 juin 1989), ABOS - AGCD, Brussels.
- LEBRUN, J. 1956. La végétation et les territoires botaniques du Ruanda-Urundi. — *Naturalistes belges*, 36 (11-12) : 230-256.
- LE COZ, J. 1974. Les réformes agraires : de Zapata à Mao-Tsé-Toung et la F.A.O. — Presses Univ. de France (Magellan), Paris, 308 pp.
- LOPEZ, A.S. & CURI, N. 1986. Soil acidity and fertility evaluation of oxisol : A need for adequate management. — *In* : Proceedings of the VIIIth International Soil Classification Workshop on Oxisols (Brazil), 34 pp.
- MARION, G. H., HENDRICKS, D. M., DUTT, G. R. & FULLER, W. H. 1976. Aluminium and silica solubility in soils. — *Soil Sci.*, 121 : 78-85.
- MENGEL, K. & KIRBY, A. 1982. Principles of plant nutrition. — *In* : Proceedings of the International Potash Institute (Bern), 655 pp.
- MERTENS, P. 1982. Contribution à la connaissance des régions naturelles du Burundi. Le système d'exploitation traditionnel au Bututsi. — Publication n° 65, ISABU, Bujumbura, 79 pp.

- Ministère des Colonies, 1951. — Plan décennal pour le développement économique et social du Ruanda-Urundi. — Bruxelles.
- MOHR, W. 1960. A influencia de acidez sobre a fertilidade dos solos. — Primeiro Cong. Nacional de Conservação dos Solos, Campinas, Brésil.
- NDEREYEHE, K. N. 1985. La recherche appliquée sur la fertilisation à l'Ovapam. — *In* : Comptes rendus du Premier Séminaire National sur la Fertilisation des Sols au Rwanda (Kigali, 17-20 juin 1985), pp. 136-157.
- NEEL, H. 1972. Les sols humifères des régions d'altitude au Rwanda. Leur productivité et leur potentialité. — ISAR, note technique n° 11, Kigali, Rwanda, 17 pp.
- NEEL, H. 1973. Bilan de trois années d'essai d'engrais chimiques en milieu rural dans la région de Rwondo. — ISAR, note technique n° 14, Kigali, Rwanda, 10 pp.
- NEEL, H. & DE PRINS, H. 1973. Essai d'amélioration des sols des prairies d'altitude à Mata (1971-1973). — ISAR, note technique, Kigali, Rwanda, 35 pp.
- NEEL, H. 1974. L'amélioration des sols des régions d'altitude. — ISAR, note technique n° 11, Kigali, 31 pp.
- NEEL, H., DE PRINS, H. & VINDEVOGEL, E. 1976. Étude de la fertilité des sols à l'aide de vases de végétation. — ISAR, note technique n° 1, Kigali, 71 pp.
- NEEL, H. & RUTUNGA, V. 1980. Problèmes de fertilisation des sols de prairie à *Eragrostis* de haute altitude (Mata). — ISAR, note technique n° 4, Kigali, 77 pp.
- NEEL, H. 1986. Fertilisation des terres au Rwanda. — AGCD, Bruxelles, 46 pp.
- NYONGABO, E. 1972. Contribution à la connaissance des sols humifères d'altitude de la région de Kisozi (Burundi). — Mémoire de fin d'études, Université Catholique de Louvain, Louvain-la-Neuve, 63 pp.
- NZISABIRA, J. 1986. Évolution de l'agriculture et croissance de la population au Rwanda. — Thèse de doctorat en Sciences agronomiques, Université Catholique de Louvain, Louvain-la-Neuve, 559 pp.
- O'BRIEN, L. O. & SUMNER, M. E. 1988. Effects on phosphogypsum on leachate and soil chemical composition. — *Soil Sci. Plant. Anal.*, **19** : 1319-1329.
- OHKI, K. 1985. Aluminium toxicity effects on growth and nutrient composition in wheat. — *Agronomy Journal*, **77** : 951-956.
- OPDECAMP, L. & LAUDELOUT, H. 1985. Mise au point d'une agrotechnologie à minimum d'intrants pour remédier à la toxicité aluminique des hautes terres au Burundi. — *Bull. Rech. agron. Gembloux*, **20** (3/4) : 887-894.
- OPDECAMP, L. 1988a. Étude de la toxicité aluminique des sols d'altitude du Burundi. — Contrat C.E.E., rapport scientifique final, ISABU, Bujumbura, 123 pp.
- OPDECAMP, L. 1988b. Mécanismes de pédogenèse acide dans les régions agro-pastorales d'altitude du Burundi. — Publication n° 127, ISABU, Bujumbura, 14 pp.
- OPDECAMP, L., MUSONI, I. & GOURDIN, J. 1988. Effets stimulants et toxiques de l'aluminium sur la croissance des plantes cultivées dans les sols humifères acides du Burundi. — Publication n° 129, ISABU, Bujumbura, 32 pp.
- PAVAN, M. A., BINGHAM, F. T. & PRATT, P. F. 1982. Toxicity of aluminium to coffee in ultisols and oxisols amendments with CaCO_3 , MgCO_3 and $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. — *Soil Sci. Soc. Am. J.*, **46** : 1201-1206.
- PEDRO, G. 1979. Les conditions de formation des constituants secondaires. — *In* : Pédologie. 2. Constituants et propriétés du sol, Masson : 38-72.
- PIRAUX, M. 1988. Contribution à la mise en valeur des sols acides dans le Bututsi

- au Burundi. — Mémoire de fin d'études, Fac. des Sciences agronomiques, Gembloux, Belgique, 104 pp.
- PONETTE, Q. 1989. Évolution de la garniture cationique d'un sol acide forestier, suite à l'apport de dolomie et de kiésérite. — Mémoire de fin d'études, Université Catholique de Louvain, Louvain-la-Neuve, 119 pp.
- POZY, P. 1986. Intensification des productions animales dans le Bututsi. Méthodologie de transfert Sahiwal en milieu rural. — ISABU, B.P. 795, Bujumbura, Burundi, 51 pp.
- RANGER, J. & ROBERT, M. 1985. Caractérisation du fonctionnement physico-chimique des sols acides par une approche expérimentale utilisant des minéraux primaires. — *Agronomie*, 1985 : 157-168.
- RANGER, J., ROBERT, M., BERTHELIN, J. & NYS, C. 1986. Utilisation de la méthode des minéraux tests pour la connaissance du fonctionnement actuel des sols forestiers. — *Sciences du Sol* (1986) 2 : 183-199.
- République du Burundi, Ministère de l'Agriculture et de l'Élevage. 1988. Projet de développement agro-sylvo-pastoral du Bututsi. — Bujumbura, 90 pp.
- RIQUIER, J., BRAMAO, D. L. & CORNET, J. P. 1970. A new system of appraisal in terms of actual and potential productivity (mimeograph). — AGL : TESR/70/6, FAO, Rome.
- RITCHEY, D. K., SOUDA, D. M. G., LOBATO, E. & CORREA, O. 1980. Calcium leaching to increase rooting depth in a Brazilian savannah oxisols. — *Agronomy J.*, 72 : 40-44.
- ROCHE, E. 1987. Apports de la palynologie à la connaissance du quaternaire supérieur au Rwanda. — Musée royal de l'Afrique Centrale (Tervuren), section économie, PAL 05, Bruxelles : 79-89.
- ROCHE, E., BIKWEMU, G. & NTAGANDA, C. 1987. Évolution du paléo-environnement du Rwanda et du Burundi au quaternaire récent. Analyse des phénomènes morphotectoniques et des données sédimentologiques et palynologiques. — Musée royal de l'Afrique Centrale, X^e Symposium de l'A.L.P.F., Bordeaux, 26 pp.
- ROMEDENNE, B. 1989. Cinétique d'action de la dolomie du sol. Effet de la granulométrie de l'amendement. — Mémoire de fin d'études, Université Catholique de Louvain, Louvain-la-Neuve, 63 pp.
- ROSSI, G. 1980. Tectonique, surfaces d'aplanissement et problèmes de drainage au Rwanda, Burundi. — *Rev. Géom. dynamique*, 29 (3) : 81-100.
- RUHE, R. V. 1954. Erosion surfaces Central Africa interior high plateaux. — Publ. INEAC, Série scient. n° 59, 38 pp.
- SANCHEZ, P. A. 1976. Properties and management of soils in the tropic. — John Wiley and Sons, London, 618 pp.
- SEGALÉN, P. 1973. L'aluminium dans les sols. — Initiations doc. tech., ORSTOM n° 22, Paris, 281 pp.
- Soil Survey Staff, 1975. Soil taxonomy. A basic system of soil classification for making and interpreting soil survey. — Soil Conservation Service, U.S. Department of Agriculture, Handbook No. 436, 764 pp.
- SOTTIAUX, G., OPDECAMP, L., BIGURA, C. & FRANKART, R. 1988. Carte des sols du Burundi. Notice explicative. — Publication n° 9 du Service Agricole, AGCD, Bruxelles, 135 pp.

- SUMMER, M. E. & CARTER, E. 1988. Amelioration of subsoil acidity. — *Soil Sci. Plant. Anal.*, **19** : 1309-1318.
- SYS, C. 1960. Carte des sols et de la végétation du Congo belge et du Ruanda-Urundi. Notice explicative de la carte des sols du Congo belge et du Ruanda-Urundi. — Publication INEAC, Bruxelles, 84 pp.
- SYS, C. 1985. Land evaluation. — AGCD, Part I, II, III, Bruxelles, 319 pp.
- TANG VAN HAI, DE CUYPER, X. & LAUDELOUT, H. 1983. Influence de l'aluminium sur l'absorption du phosphore par le riz (*Oryza sativa* L.) et sur celle de l'azote en présence de différentes concentrations en potassium. — *Agronomie*, **3** (5) : 417-21.
- TANG VAN HAI, TRUONG THI NGA & LAUDELOUT, H. 1989. Effect of aluminium on the mineral nutrition of rice. — *Plant and Soil*, **114** : 173-185.
- TAVERNIER, R. & SYS, C. 1965. Classification of the soils of the Republic of Congo (Kinshasa). — *Pédologie* (Intern. Symp. Soil Classif.), **3** : 91-136.
- TESSENS, L. & SOTTIAUX, G. 1988. Classification régionale des sols du Burundi. — ISABU, groupe cartographie, Bujumbura, 28 pp.
- THOREZ, J. 1976. Practical identification of clay minerals. — Ed. G. Lelatte, Belgique, 90 pp.
- TREWARTHA, G. T. 1954. An introduction to climate. — McGraw-Hill, New York, 402 pp.
- VAN WAMBEKE, A. 1963. Carte des sols et de la végétation du Congo, du Rwanda et du Burundi. Rwanda et Burundi : A. Sols. — Publication INEAC, 67 pp.
- VAN WAMBEKE, A. 1971. Recherches sur la mise en valeur agricole des sols acides des savanes arborées du Brésil. — *Pédologie*, **21** (2) : 211-255.
- VINK, A.P.A. 1975. Land use in advancing agriculture. — Springer Verlag, 394 pp.

DISCUSSION

J. D'Hoore. — Les terres des prairies d'altitude soumises à la culture sont-elles sujettes à l'érosion ?

R. Frankart. — Dans les paysages accidentés, en l'absence de mesures anti-érosives, l'érosion pluviale est intense. La mise en cultures des prairies, après brûlis, s'accompagne d'un lessivage mécanique et chimique très important des éléments biogènes hérités du passage des feux et des horizons humifères. Sous les averses, les surfaces labourées sont rapidement envahies par des filets d'eau qui s'anastomosent et se transforment en rigoles amorçant ainsi les griffes d'érosion.

Sous couverts «naturels» et plus particulièrement «sous prairie», la densité du système racinaire de l'*Eragrostis olivacea* est telle que son feutrage semble entraver et réduire fortement l'érosion et l'infiltration, ce qui peut paraître paradoxal.

R. Tavernier. — Les sols humifères de la dorsale ne semblent pas homogènes. Certains profils montrent des horizons à caractères spodiques prononcés : dans d'autres profils, ces caractères sont peu marqués ou inexistants. On les identifie soit dans les horizons humifères, soit en profondeur.

R. Frankart. — Ces horizons, désignés sous le nom d'horizons «socles» dans la classification régionale du Burundi, ont été identifiés morphologiquement, dans les terroirs sous couverts «naturels» (forêt — recrû forestier — prairie) dès 1600-1700 m d'altitude. Leur intensité, épaisseur et continuité semblent maximales dans les prairies, termes ultimes des séries végétales régressives. Cette structure peut concerner l'ensemble des horizons hémi-organiques, mais très fréquemment, elle s'individualise en plancher de ceux-ci. Localement, dans les sites érodés, l'horizon «socle» forme un encroûtement massif, continu en surface, favorable au ruissellement. Parfois, cette structure envahit les horizons B superficiels non contaminés par la matière organique. À notre connaissance, ces horizons n'ont pas encore été livrés à une étude pédogénétique complète. Seules certaines de leurs propriétés spodiques ont été mises en évidence, sans être pour autant généralisables. Certains échantillons ont fait l'objet d'études micromorphologiques partielles.

L'impact pédo-agronomique de l'horizon «socle» paraît relativement limité et son démantèlement efficace sous l'effet des pratiques culturales traditionnelles (labours profonds, ...).

La genèse de ce développement morphologique particulier devrait retenir l'attention des chercheurs. Les qualités des matières organiques ainsi que d'autres propriétés physico-chimiques (densité, porosité, etc.) devraient être précisées. Si les conditions écoclimatiques régionales, la pauvreté chimique des terres, ainsi que leur lessivage (grains de sables dépourvus de revêtements) rencontrent quelques-uns des facteurs favorisant le processus de podzolisation, le développement de ce faciès structural dans les horizons B n'a pas encore reçu de réponse.

CLASSE DES SCIENCES TECHNIQUES

**KLASSE VOOR TECHNISCHE
WETENSCHAPPEN**

Séance du 24 novembre 1989

(Extrait du procès-verbal)

La séance est ouverte à 14 h 30 par le directeur, M. G. Froment, assisté de M. J.-J. Symoens, secrétaire perpétuel.

Sont en outre présents : MM. F. Bultot, J. Charlier, H. Deelstra, P. De Meester, A. Deruyttere, Mgr L. Gillon, MM. A. Lederer, R. Leenaerts, R. Sokal, A. Sterling, R. Thonnard, R. Tillé, J. Van Leeuw, R. Wambacq, membres titulaires ; MM. P. Beckers, M. De Boodt, J. Michot, J. Roos, membres associés.

Absents et excusés : MM. E. Aernoudt, A. Clerfaÿt, J. De Cuyper, J. J. Driesbeke, P. Evrard, P. Fierens, P. Goossens, A. Jaumotte, J. Lamoën, W. Loy, A. Monjoie, R. Paepe, F. Pietermaat, A. Prigogine, M. Snel, F. Suykens, ainsi que M. R. Vanbreuseghem, secrétaire perpétuel honoraire.

Décès de M. André Van Haute

Le Directeur informe la Classe du décès de M. A. Van Haute, membre titulaire de la Classe et ancien président de l'Académie, survenu à Heverlee le 22 octobre 1989.

Il retrace brièvement la carrière scientifique du Confrère disparu.

La Classe désigne M. E. Aernoudt pour rédiger l'éloge de M. Van Haute.

«Fysico-chemische grondslagen en praktijkervaring bij de sorptie van zware metalen in bezoedelde bodems en waters»

M. M. De Boodt présente une étude à ce sujet.

MM. R. Sokal, J. Roos, H. Deelstra et R. Wambacq interviennent dans la discussion.

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

Présentation de l'ouvrage du Dr Martin Pabst : «Tram and (und) Trolley in Africa»

M. A. Lederer présente brièvement à la Classe l'ouvrage de M. Pabst «Tram and (und) Trolley in Africa», récemment sorti de presse (v. pp. 541-542).

Zitting van 24 november 1989

(Uittreksel van de notulen)

De zitting wordt geopend te 14 h 30 door de directeur, de H. G. Froment, bijgestaan door de H. J.-J. Symoens, vast secretaris.

Zijn bovendien aanwezig : De HH. F. Bultot, J. Charlier, H. Deelstra, P. De Meester, A. Deruyttere, Mgr. L. Gillon, de HH. A. Lederer, R. Leenaerts, R. Sokal, A. Sterling, R. Thonnard, R. Tillé, J. Van Leeuw, R. Wambacq, werkende leden ; de HH. P. Beckers, M. De Boodt, J. Michot, J. Roos, geassocieerde leden.

Afwezig en verontschuldigd : De HH. E. Aernoudt, A. Clerfaÿt, J. De Cuyper, J. J. Droesbeke, P. Evrard, P. Fierens, P. Goossens, A. Jaumotte, J. Lamoën, W. Loy, A. Monjoie, R. Paepe, F. Pietermaat, A. Prigogine, M. Snel, F. Suykens, alsook de H. R. Vanbreuseghem, erevast secretaris.

Overlijden van de H. André Van Haute

De Directeur deelt aan de Klasse mee dat de H. A. Van Haute, werkend lid van de Klasse en gewezen voorzitter van de Academie, overleden is te Heverlee op 22 oktober 1989.

Hij schetst in het kort de wetenschappelijke loopbaan van de overleden Confrater.

De Klasse duidt de H. E. Aernoudt aan om de lofrede van de H. Van Haute op te stellen.

Fysico-chemische grondslagen en praktijkervaring bij de sorptie van zware metalen in beoedelde bodems en waters

De H. M. De Boodt stelt hierover een studie voor.

De HH. R. Sokal, J. Roos, H. Deelstra en R. Wambacq komen tussen in de bespreking.

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

Voorstelling van het werk van Dr. Martin Pabst : «Tram and (und) Trolley in Africa»

De H. A. Lederer geeft voor de Klasse een korte beschrijving van het werk van M. Pabst «Tram and (und) Trolley in Africa» dat zopas uitgegeven is (zie pp. 541-542).

«Energie-uitsparing in konstrukties voor ontwikkelingslanden»

M. G. Patfoort, chargé de cours honoraire à la «Vrije Universiteit Brussel», a présenté une étude à ce sujet à la séance du 27 janvier 1989.

Après avoir entendu les rapports de MM. M. De Boodt et G. Froment, qui souhaitent que le texte déposé soit complété par plus de renseignements techniques, la Classe décide de publier cette étude dans le *Bulletin des Séances*, en faisant siens les souhaits exprimés par les rapporteurs (pp. 543-551).

Distinctions honorifiques

Par arrêté royal du 17 juillet 1989, M. G. Heylbroeck a été promu au grade de grand officier de l'Ordre de Léopold et M. P. De Meester au grade de commandeur de l'Ordre de Léopold.

D'autre part, il a plu au Roi de conférer à M. André Jaumotte, concession de noblesse héréditaire et titre personnel de baron.

Éloges de membres décédés

L'éloge de M. R. Spronck sera rédigé par M. A. Lejeune et l'éloge de M. P. Grosemans par M. R. Tillé.

Colloque sur la Géochimie des Gaz

La Faculté Polytechnique de Mons organise un Colloque international sur la Géochimie des Gaz (Radon et Gaz rares dans les Sciences de la Terre et de l'Environnement) du 3 au 5 octobre 1990.

Renseignements et inscriptions :

M. P. Doremus
Faculté Polytechnique de Mons
Rue de Houdain 9
7000 Mons
Tél. (065)37.46.02 — Fax (065)37.42.00.

Biographie Nationale

En octobre 1986, la Commission administrative de l'Académie royale des Sciences, des Lettres et des Beaux-Arts de Belgique a décidé de mettre fin à la *Biographie Nationale*, après publication du tome 44 de cette série.

Toutefois, pour respecter le prescrit de l'arrêté royal du 1^{er} décembre 1845 qui confiait à cette Académie la réalisation d'une *Biographie Nationale*, la

Energie-uitsparing in konstrukties voor ontwikkelingslanden

De H. G. Patfoort, ere-docent aan de Vrije Universiteit Brussel, heeft hierover een studie voorgesteld tijdens de zitting van 27 januari 1989.

Na de verslagen gehoord te hebben van de HH. M. De Boodt en G. Froment, die de wens uitdrukken dat de neergelegde tekst meer technische gegevens zou bevatten, beslist de Klasse deze studie te publiceren in de *Mededelingen der Zittingen* op voorwaarde dat er met de wensen van de verslaggevers rekening wordt gehouden (pp. 543-551).

Eretekens

Bij koninklijk besluit van 17 juli 1989 werd de H. G. Heylbroeck bevorderd tot de graad van grootofficier in de Leopoldsorde en de H. P. De meester tot de graad van commandeur in de Leopoldsorde.

Anderzijds heeft de Koning aan de H. André Jaumotte de erfelijke adelstand toegekend alsmede de persoonlijke titel van baron.

Lofrede van overleden leden

De lofrede van de H. R. Spronck zal door de H. A. Lejeune opgesteld worden en die van de H. P. Grosemans door de H. R. Tillé.

Colloquium over de Geochemie van de Gassen

De «Faculté Polytechnique de Mons» organiseert een internationaal colloquium over de Geochemie van de Gassen (Radon en zeldzame gassen in de Wetenschappen van de aarde en van het leefmilieu) van 3 tot 5 oktober 1990.

Inlichtingen en inschrijvingen :

De H. P. Doremus
Faculté Polytechnique de Mons
Rue de Houdain 9
7000 Mons
Tel. (065)37.46.02 — Fax (065)37.42.00.

«Biographie Nationale»

In oktober 1986 besliste de Bestuurscommissie van de «Académie royale des Sciences, des Lettres et des Beaux-Arts de Belgique» een einde te maken aan de «*Biographie Nationale*» na deel 44 van deze reeks gepubliceerd te hebben.

Evenwel, om de bepaling van het koninklijk besluit van 1 december 1845 te eerbiedigen dat aan deze Academie de uitgave van een «*Biographie Natio-*

Commission décidait simultanément de mettre en chantier une *Nouvelle Biographie Nationale* d'une conception repensée *ab ovo*.

Le volume 1 en a été publié en juin 1989. Il comporte 376 pages et 16 planches dont la plupart en couleurs. Il renferme 103 notices biographiques dont plusieurs d'anciens membres de l'Académie royale des Sciences d'Outre-Mer.

La séance est levée à 16 h 15.
Elle est suivie d'un Comité secret.

nale» toevertrouwde, besloot de Bestuurscommissie terzelfder tijd een «*Nouvelle Biographie Nationale*» op het getouw te zetten met een heel nieuwe opvatting.

Het eerste boek werd in juni 1989 gepubliceerd. Het bevat 376 pagina's en 16 afdrukken, waarvan de meeste in kleur zijn. Het omvat 103 biografische nota's, waarvan verscheidene van gewezen leden van de Koninklijke Academie voor Overzeese Wetenschappen.

De zitting werd geheven te 16 h 15.

Ze wordt gevolgd door een Geheim Comité.

Présentation de l'ouvrage du Dr Martin Pabst : Tram and (und) Trolley in Africa *

par

A. LEDERER **

MOTS-CLÉS. — Afrique ; Tramways ; Transports.

Le Dr Martin Pabst vient de publier en novembre 1989 un ouvrage édité chez Röhr Verlag à Krefeld *** ; le titre du livre «Tram and (und) Trolley in Africa» laisse entendre que les textes sont donnés en allemand et en anglais. Cette édition de luxe est au format habituel de 297 × 265 et les figures sont en noir et blanc.

Dans la préambule, R. Peschkes, archiviste des transports publics, fait remarquer qu'en Afrique on a peu investi dans les transports publics urbains ; sur 4100 réseaux de tramways existants, à peine 2% ont été établis en Afrique et sur les 3000 réseaux électrifiés, à peine 1% se trouve sur ce continent.

Les deux réseaux les plus importants, ceux du Caire et de Johannesburg, sont modestes par rapport à ceux des autres continents. Ceci provient de ce que, de 1890 à 1920, période de grande expansion des tramways dans le monde, la plupart des pays africains vivaient sous régime colonial qui n'investissait guère dans les transports urbains.

L'explosion démographique survint vers 1950, alors que l'usage des tramways était en déclin. Le Dr Martin Pabst a eu le courage de recueillir de nombreux renseignements relatifs aux réseaux qui ont été projetés ou qui ont été réalisés en Afrique.

Dans la préface, le Dr Martin Pabst expose qu'il a travaillé six ans à récolter les données sur des réseaux dont beaucoup ont disparu depuis des décennies et qu'il a sauvées de l'oubli. Cette tâche était d'autant plus difficile que beaucoup de souvenirs avaient été dispersés, si pas détruits.

De nombreux pays n'avaient jamais été équipés de réseaux de transports urbains, ni tramways, ni autobus, ni chariots. Seuls les pays d'Afrique du

* Communication présentée à la séance de la Classe des Sciences techniques tenue le 24 novembre 1989.

** Membre titulaire honoraire de l'Académie ; rue de la Tarentelle 15, B-1080 Bruxelles (Belgique).

*** PABST, M. 1989. Tram and (und) Trolley in Africa. — Röhr Verlag, Krefeld, 153 pp., 104 photos et dessins, 52 cartes.

Nord et l'Afrique du Sud avaient adopté des tramways correspondant aux standards européens ou américains. Dans les autres pays, si quelques tramways électriques ont circulé, on trouve des véhicules automobiles, hippomobiles et même anthropomobiles.

Ce sont les souvenirs relatifs à ces réseaux qui ont été rappelés dans le livre présenté. Ils concernent vingt-deux pays et quatre-vingt-six villes, certains réseaux n'existant qu'à l'état de projet.

D'une façon générale, pas mal de réalisations ont été faites à l'initiative ou avec la collaboration de Belges. Citons en premier lieu le tramway à vapeur construit par Hector Charmanne de 1882 à 1887, entre Tunis et le port de Lagoulette, sur une digue de 13 km de longueur au travers du lac de Tunis. À l'initiative de Maurice Huberland de Dave (et non A. Huberlant de Laneffe, comme cité erronément dans le *Bull. Séanc. Acad. r. Sci. Outre-Mer*, 33, p. 678), hommage lui a été rendu le 25 mai 1987, à Yves-Gommezee. En Égypte, les Belges furent très actifs, surtout le baron Empain, qui créa Héliopolis relié au Caire par un réseau de tramways électriques, dont le matériel provenait de la Franco-Belge, à la Croyère, et des Ateliers de la Dyle, à Louvain. Les tramways du Caire, inaugurés en 1896, constituaient la première réalisation de ce genre dans le Proche-Orient. De même, du matériel belge circulait sur les réseaux d'Alexandrie, de Mansoura et de Port-Saïd, tout comme à Alger et Oran.

Dans les colonies anglaises et l'Afrique du Sud, le matériel était d'origine britannique.

En ce qui concerne le Zaïre, en 1890 la «Compagnie des Magasins généraux» inaugura une modeste ligne de tramway à vapeur, longue de 2 km, reliant Boma-plateau à Boma-rive et passant près de la résidence du gouverneur général et de l'hôpital ; elle fut supprimée vers 1910. Tout le matériel était belge.

À Léopoldville, il n'y eut guère que les gyrobus, mais le matériel était suisse. A Lubumbashi, de petits trains électriques furent installés dans les mines de cuivre en 1986.

Le livre du Dr Pabst mentionne également le projet fort peu connu d'un tramway à vapeur à Vivi entre les habitations et les magasins où l'on entassait les marchandises destinées à Isangila. Cette voie de 2 km de longueur ne fut jamais construite.

Grâce à cet ouvrage, les souvenirs relatifs aux réseaux de tramways ou à leurs projets ont été sauvés par l'auteur et on doit lui en savoir gré.

Cependant, quelques petites inexactitudes, altérant peu la qualité du travail, devront être corrigées pour une future édition.

Energie-uitsparing in konstrukties voor ontwikkelingslanden *

door

Georges A. PATFOORT **

TREFWOORDEN. — Bouwmaterialen ; Energiebesparing ; Minerale polymeren ; Ontwikkelingslanden.

SAMENVATTING. — Tijdens de periode van 1972 tot 1982 werden een reeks projecten voor huizenbouw op punt gesteld in Chili, Cyprus, Uruguay, Zaïre, Ecuador en Mexico, met de bedoeling de energie-input in afgewerkte produkten af te slanken, zowel in materiaal, verwerkingsmethode als structuurconcepten. Een reeks variabelen werden onderzocht. Na onderzoek van de fysische en economische eigenschappen van de materialen was het gebruik van komposieten de enige oplossing. Op dat ogenblik waren alleen glasvezelversterkte polyesters voor dit doel beschikbaar. Er werd ook gesleuteld aan het gebruik van lokale natuurlijke vezels en minerale vulstoffen. Vereenvoudigen van machines en transport, alsook de geometrie, vorm, sterkte en stijfheid van structuren werden beproefd. Vanaf 1983 was het mogelijk, dank zij de ontwikkeling van nieuwe materialen, het volledige bouwsysteem te herzien. Minerale polymeren kunnen vandaag vanuit grondstoffen — die nagenoeg in alle tropische zones beschikbaar zijn — gemakkelijk geproduceerd worden met een minimum aan energie, eventueel met de hulp van zonneënergie.

RÉSUMÉ. — *Economies d'énergie dans la construction pour les pays en voie de développement.* — Pendant la période de 1972 à 1982, une série de projets d'habitations ont été réalisés au Chili, à Chypre, en Uruguay, au Zaïre, en Équateur et au Mexique, dans le but de diminuer la quantité d'énergie dans la production de produits finis tout en tenant compte des matériaux, des procédés de transformation ainsi que des concepts des structures. Une série de variables ont été examinées. Les propriétés physiques et économiques ont imposé l'utilisation de composites. À ce moment, seul le polyester renforcé de fibres de verre était disponible. Des essais avec des fibres naturelles et des charges minérales ont également donné des résultats. La simplification des machines et du transport, la forme ainsi que la résistance et la rigidité des structures

* Mededeling voorgelegd, op uitnodiging van het Bureau van de Academie, op de zitting van de Klasse voor Technische Wetenschappen gehouden op 27 januari 1989. Publikatie beslist op de zitting van 24 november 1989. Definitieve tekst neergelegd op 19 december 1989.

** Eredocent aan de Vrije Universiteit Brussel ; Faculteit van de Toegepaste Wetenschappen, Vrije Universiteit Brussel, Pleinlaan 2, B-1050 Brussel (België).

ont été expérimentées. À partir de 1983, des matériaux nouveaux ont permis de revoir complètement le système de construction. Des polymères minéraux, fabriqués à partir de matières premières largement disponibles dans les zones tropicales, sont manufacturés facilement et réalisables au moyen d'un minimum d'énergie, éventuellement de l'énergie solaire.

SUMMARY. — *Energy saving in construction for developing countries.* — During the period from 1972 until 1982, different low cost housing projects were executed in Chili, Cyprus, Uruguay, Zaire, Ecuador and Mexico, with the aim to reduce the energy input in finished products as well as in materials, in processing as in the concept of structures. Different materials and their variables were tested. The physical and economical properties obliged us to use composites. At that time, only glass-fibre reinforced polyester was adapted to the circumstances. Natural fibres and mineral fillers were tried. Simplifying machines and transport, the geometrical form and strength and stiffness of the structure were tested. Since 1983 it was possible, thanks to the development of new materials, to reconsider the complete building system. Mineral polymers made with raw materials which are available nearly in all tropical zones are easily manufactured and produced with a minimum of energy, even with sun energy.

Inleiding

Tijdens de periode 1972-1983, werd systematisch gewerkt aan de ontwikkeling van een energiebesparende behuizing van lage prijs voor ontwikkelingslanden.

De argumentatie beoogde een dubbel doel, nl. tegemoet komen aan het huizentekort en het beperken van energieverbruik bij de productie :

- De statistieken van de Verenigde Naties wezen in 1976 — ter voorbereiding van de Habitat-Conferentie in Vancouver — op een tekort van 370 000 000 woningen in de wereld. Ondertussen is de toestand aanmerkelijk verergerd en in weerwil van alle goede wil en investeringen, groeit het tekort aan. Vanaf het begin van de jaren zeventig was «Low Cost Housing» aan de orde van de dag. De interesse steeg tot een climax in het vooruitzicht van de Habitat-Conferentie.
- De publikatie van het MIT-rapport van de Club van Rome (1972) trok bij de media de aandacht op het begrip exponentiële groei. Er werd gesproken van een vernieuwd economisch inzicht waarin sociale kosten in rekening zouden worden gebracht en waarbij het gebruik van uitputbare reserves, zoals het aanspreken van kapitaalgoederen, werd ingerekend. De mogelijkheid of de wenselijkheid van een economische ontwikkeling met minder verspilzucht van grondstoffen en energie, werd een alternatief.

Behuizing met lage energie-input

Het was in de jaren zeventig duidelijk, dat nagenoeg 40% van de wereld-energie gebruikt werden in de industrie. Het leeuwenandeel werd gebruikt voor de aanmaak van grondstoffen, en in mindere mate in het vervaardigen van afgewerkte produkten.

De lage kostprijs van de energie werd sedert de industriële revolutie als een verwaarloosbare input beschouwd in een produkt. Was het dus niet noodzakelijk dat we onze moderne technologische middelen aanwendden, om onze produkten en artefakten te herdenken en opnieuw te ontwerpen met de primaire eis, nl. «energiebesparing», voorrang te geven? Als voorbeeld werd een illustratief produkt gekozen: een behuizing voor een ontwikkelingsland, af te leveren in grote hoeveelheden en waarvan de structuur en het materiaal ruime technologische mogelijkheden bieden.

In de materialenleer worden de konstruktiematerialen volgens een zeer pragmatisch systeem ingedeeld, dat wellicht een wetenschappelijke nauwkeurigheid ontbeert, maar zijn praktisch nut bewezen heeft. Men onderscheidt metalen, keramieken en glazen en organische polymeren. Vermits de materialen per gewichtseenheid worden verkocht is het ook de gewoonte de energetische input per gewichtseenheid uit te drukken. Bij vele toepassingen is echter het verbruikte volume belangrijker. Ter illustratie een overzicht van enkele belangrijke structuurmaterialen (ruw afgeronde waarden berekend vanaf de minerale of plantaardige grondstof tot een bruikbaar konstruktief materiaal) van energie-input in MJ/kg en MJ/dm³.

	MJ/kg		MJ/dm ³
Staal	45	340	metalen
Aluminium	200	600	
Cement	5	10	keramieken
Baksteen	4,5	9	
Glas	20	50	
Hout	20	14	polymeer en komposiet
Plastiek	90	90	polymeer
Schuimen	125	3,5	
Glas versterkte polymeren	90	150	

Bij polymeren, en eveneens met natuurlijke polymeren als hout, wordt de energetische verbrandingswaarde in rekening gebracht (PATFOORT 1982).

Energetische ekonomie

De direkte methode om energie uit te sparen lag in de aanmaak van grondstoffen en in de produktie, veeleer dan in het aanspreken van transport of

verwarming, die onmiddellijk een beknotten zou inhouden van de sociale levensstandaard. Sedert het begin van de industriële revolutie en de produktie van massa artefakten, voldeden de produktieprocessen aan een aantal voorwaarden : produktiesnelheid, automatizatie, kwaliteit, sterkte, weerstand en duurzaamheid. In het eisenpakket werd «energie» progressief van de lijst geveegd. Vanaf de vorige eeuw werd het gering belang van de energieprijs in de hand gewerkt door het opeenvolgend vervangen van de menselijke en dierlijke energie door hout, kolen en uiteindelijk petroleum. Zelfs in de voor-industriële periode was de prijs van de kWh geproduceerd door menselijke arbeid (een vermogen van nagenoeg 800 Watt) buitenissig duur nl. in de orde-grootte van 6 dollar/kWh (hedendaagse US dollars). De welvaart van onze westerse economie gaat gepaard met een permanente beperking van de menselijke tussenkomst en het gebruik van steeds goedkopere energiebronnen. Zo werd het inrekenen van de fysische energie in de kostprijs van het produkt betekenisloos, terwijl de menselijke tussenkomst onder de naam van «salaris» met een andere maat wordt aangerekend.

Na 1973 won de interesse voor de prijswaarde van de energie in het produktieproces veld, en werd zelfs centraal. De zg. oliecrisis, een louter politiek en zeker geen energetisch incident, is vandaag ingedijkt. Het basisprobleem is echter gebleven. De vraag gesteld door de Club van Rome in 1972, is tot op heden aktueel gebleven. Het voortbestaan van deze welvaartsbeschaving hangt volledig af van een goedkope energiebron, die produkten kan afleveren aan een identieke levensstandaard.

Komposieten

Het bleek ons snel dat de afslanking van de energetische waarde van een behuizing zeker niet met klassieke materialen, vormen en structuren te ontwikkelen was. De reeds opgegeven waarden voor materialen zijn ontgoochelend wanneer de kwaliteit van een behuizing of een artefakt niet mag worden afgetakeld.

Hoe de gesloten kring doorbreken ? Een volgend voorbeeld ter illustratie. Vanuit de energie-input in MJ/kg citeren we voor enkele materialen het volgende : de relatieve equivalente massa nodig voor eenzelfde treksterkte met als basiseenheid de specifieke treksterkte van staal, het energetisch potentiaal, d.i. een relatieve energiewaarde, nodig voor eenzelfde treksterkte, beiden voor verschillende types glasvezel versterkt polyester (GRP) en staal (zie tabel 1).

Op dezelfde manier is het natuurlijk mogelijk om relatieve hoeveelheden energie te bekijken, nodig om een bepaalde eigenschap te verkrijgen : termische isolatiewaarde, buigsterkte, stijfheid, corrosiegevoeligheid, verwerkingsproductiviteit, enz. Globaal betekent dit de energetische efficiëntie bij een proces, als bijvoorbeeld het bouwen (PATFOORT 1982).

Het was in 1973 evident dat alleen een oplossing kon groeien in de richting van de komposieten.

Komposieten zijn complexe materialen samengesteld uit enkelvoudige componenten die zich onder diverse vormen aandienen, en waarbij het geheel meer of andere eigenschappen bezit dan de som van de eigenschappen van de afzonderlijke componenten.

Tabel 1

Energie-input, relatieve equivalente massa en equivalent potentiaal voor enkele materialen.

	Energie	Equiv. Massa	Equiv. Potent.
GRP			
Unidirektionele vezels (70% Glas), wikkelen	83	0,2	16,5
GRP			
Weefsel, persen (60% Glas)	94	0,5	47,5
GRP			
Gesneden vezel (30% Glas) persen, GRP	105	0,9	94
Staal	45	1	45

Komposiet-systemen

De tabel hierboven laat zien dat bepaalde komposieten, bv. de unidirektionele vezel ingebed in polyesterhars via de vezelwikkelingstechniek, bepaalde eigenschappen optimalizeert met kleinere hoeveelheden massa en energie-input.

De efficiëntie kan bereikt worden dank zij de samenwerking in een komposiet systeem tussen materialen, verwerkingsproces en aangepaste *engineering design*.

Een enkel voorbeeld. In een toepassing van buizen voor petroleumboringen met een lengte van 15 meter, is de gewichtsverhouding voor gelijke mechanische prestaties voor buizen in staal en gewikkelde glasvezel versterkt met epoxy, 3,1 terwijl dezelfde verhouding onder water 4,2 wordt. Het is duidelijk dat de densiteit hier een onverwachte positieve rol speelt bij transport, verwerking, behandeling met hefwerktuigen met een kumulatief effect. Daarbij blijkt dat aanladen aan de binnenwand geminimaliseerd worden en drukverliezen en turbulenties bij stroming, verminderd wordt dank zij nieuwe komposiet-systemen. Alweer is de uiteindelijke energetische prestatie onvoorzien en niet direkt uit zuiver fysische oorzaken af te leiden.

Wat de behuizing voor ontwikkelingslanden betreft, werden de componenten vervaardigd uit glasvezel-polyester en de volledige wooneenheden werden volgens een vezelwikkelingssysteem uitgevoerd. In de beste gevallen wordt per woonoppervlakte een energiewinst van 90% bereikt in vergelijking met klassieke bouwsystemen.

In opdracht van UNIDO (United Nations Industrial Development Organization, Wenen) werden projecten uitgevoerd in Chili, Uruguay, Cyprus, Burkina Faso, Ecuador en Mexico.

Gebrekkige technologie

Vanuit ontwikkelingslanden werd de afhankelijkheid van westerse chemische industrieën gelaakt. De energetische winst werd bovendien niet uitgewonnen via de materialen maar zuiver afgeleid uit de *engineering design*. In die tijd was er — economische overwegingen in acht genomen — echter geen ander alternatief voorhanden, dan glasvezel versterkt polyester. De matrix van de komposiet is een organisch polymeer, waardoor het probleem van de brandbaarheid niet was opgelost.

Vanaf 1983 werd besloten het probleem aan de basis te hernemen, te herdenken en te herwerken. Rond die tijd begonnen geologen, klimatologen, ekologen en andere wetenschappers zich meer geëngageerd te voelen met milieuproblemen. Erosie, desertifikatie, serre-effecten, ozonconcentratie, klimatische fluctuaties e.a., leerden ons te denken in termen van veranderingen op lange termijn en voorzieningen in verband met energie- en grondstoffenvoorraden. Na tien jaar intensief dromen over alternatieve energiebronnen, blijven globale oplossingen in gebreke. De recente vergissing met de kernfusie bewees dat het einde van het probleem niet naar een oplossing neigt binnen een kort tijdsperspectief.

Na een periode van dalende interesse voor het energieprobleem, is het tijd om de kontekst terug op te nemen nl. om het aandeel van de energie in de industriële produktie van grondstoffen en goederen opnieuw te evalueren.

Nieuwe materialen

De ingenieur moet uitkijken naar oplossingen om aangepaste materialen, processen, ontwerpen en afgewerkte produkten te ontwikkelen. De materiaalkunde heeft in deze kontekst, in strikte zin, niet veel sukses behaald. De belangrijkste konstruktiematerialen als cement en gewapend beton, zijn niet tegen zure regen bestand en staal niet tegen korrosie. Konstrukties met bakstenen weerstaan niet aan trillingen en aardbevingen door gebrek aan weerstand bij dwarsbelastingen, beperkte trek- en buigsterkte en vooral gebrek aan taaheid. Vensterglas en glazen flessen zijn bros. Alleen de organische polymeren hebben een zeer lage densiteit maar deze zijn brandbaar.

Het is hoog tijd het materiaalvraagstuk te herdenken, vooral in verband met het probleem van de hulpbronnen en de energie. Zelfs met de komposieten bleef het energieprobleem van de grondstoffen onoplosbaar om ons ekologisch systeem in evenwicht te houden. Er moet gezocht worden naar een onbrandbaar materiaal met lage densiteit, hoge brandweerstand, goede taaheid en bestendig

aan hoge temperaturen en chemische reacties, met een lage energie-input en natuurlijk lage kostprijs, daarenboven beschikbaar in grote en onuitputtelijke hoeveelheden en ekologisch aantrekkelijk.

Sommige materialen zijn in grote hoeveelheden in de aardkorst aanwezig en vrijwel over de ganse planeet te vinden. De aardkorst bevat o.a. 46% zuurstof, 27% silicium en 7% aluminium. De aardkorst bevat slechts 0,007% koper, 0,008% nikkel en zelfs 0,00001% zilver. Gelukkig zijn de eerste drie elementen overal op het aardoppervlak verspreid in klei, rotsen en zand.

Sedert duizenden jaren wordt dezelfde technologie gebruikt voor het vormen uit deze materialen van produkten als bakstenen, keramieken, later cement en porselein. Primitieve beschavingen hebben het kleimateriaal altijd gehard via een droogproces. Het gebrek aan waterresistentie noopte tot energie-intensieve sinter- en bakprocessen. Het maken van glas of cement, het vormen door densifikatie van poeders en de kombinaties van mikrostrukturen als vitro-keramieken, zijn principieel en fundamenteel dezelfde gebleven als vroeger. Het energieprobleem blijft. Zijn er andere mogelijkheden om de basiselementen zuurstof, silicium, aluminium om te zetten in waardevolle konstrukties met een minimum energieconsumptie?

Sedert enkele jaren wordt de term «polymerisatie reactie» nl. het proces dat bestaat uit het vormen van grote of macromolekulen vanuit kleinere molekulen, overgenomen uit de organische chemie en toegepast in de anorganische of minerale chemie. Er is sedert geruime tijd onderzoek aan de gang om ketens te vormen als homo- of heteropolymeren met silicium, zwavel, boor, beryllium, selenium, arsenicum, fosfor, aluminium en andere, in analogie met de gekende organische polymeer chemische processen. Buiten de silikonen is de industriële ontwikkeling van dit gebied beperkt gebleven o.a. door problemen in verband met verwerkbaarheid, scheikundige stabiliteit, produktiekosten, grootte van de moleculaire massa, enz.

Minerale polymeren

Door het feit dat de silikoon-ketenmolekule eveneens met zuurstof is opgebouwd en dat recente ontwikkelingen op het gebied van de zeolieten en de ultrastrukturen gekend als sol-gel-glas processen, bekend zijn geworden, wordt het duidelijk dat er een doorbraak is voor de struktuurmaterialen verkregen via polymerisaties van verschillende oxydes van minerale oorsprong (BRECK 1974, pp. 27-44 ; LIEBAN 1985, pp. 90-130).

Er kunnen vandaag konstruktiematerialen opgebouwd worden uit macromolekulen, hoofdzakelijk vanuit aluminium silicium-oxydes door polymerisatie of polycondensatie. De bekomen materialen hebben een soortgelijke struktuur als de bekende thermohardende harsen. Met verschillende reagentia en additieven en onder invloed van oxydes van H, Li, Na, K, Al, Si, Mg, Ca, P, ... kan men zowel in alkalisch als in zuur midden tot de vorm van een oligomeer

overgaan naar een gelifikatie, gevolgd door een polycondensatie en het vervaardigen van een «mineraal polymeer», MIP genaamd. Een groot aantal verschillende formulaties zijn mogelijk en diverse eigenschappen realiseerbaar.

Fysische en mechanische eigenschappen

Hoofdbestanddelen blijven aluminium- en siliciumoxyden, die als polymeer synthetisch vanuit gasvorm bereidbaar zijn, maar ook als een natuurlijk mineraal materiaal (aluminiumsilikaat of klei) te vinden. Dezelfde grondstoffen komen eveneens voor in vliegas en een reeks afvalmaterialen. Ekologisch en economisch zijn de vooruitzichten dus uitstekend.

De meest gebruikte grondstoffen gaan uit van tweelagige kleien onder andere bv. kaoliniet. De kaoliniet bestaat uit twee lagen namelijk een oktaëder aluminium laag en een tetraëder silicium laag.

Met een alkalische catalysator wordt deze alumino silicaat omgezet tot een silico-aluminaat met andere woorden de oktaëder aluminium laag wordt omgezet tot een tetraëder aluminium laag.

Aldus is de zesvoudige gecoördineerde aluminium omgezet tot een zeer actief viervoudig gecoördineerd aluminium. Om de elektrische ladingen te compenseren kunnen aldus interstitieel kationen in worden gebracht. Aldus van een twee-dimensioneel polymeer kan men overgaan naar een netwerk dat kan vergeleken worden met een condensaat zoals een bakeliet.

De belangrijkste eigenschappen van de MIPs (Mineral Polymers) zijn zeker hun absolute onbrandbaarheid, hoge termische en chemische weerstand en hun niet-geleidbaarheid. Het zijn eigenschappen die bij constructie onontbeerlijk zijn. De MIPs zijn vergelijkbaar met keramieken zoals porselein, glas, cement, beton maar ze worden niet geproduceerd door fusie, sinteren of bakken op hoge temperatuur. Vele reacties verlopen bij atmosferische druk en lage temperatuur (tussen 50 en 100°C). Deze temperatuur is ruim voldoende om de reactie door te voeren. In druksterkte wordt 150 mPa en in buigsterkte 20 mPa bereikt, hetgeen gunstig afsteekt t.o.v. beton.

De materialen kunnen geproduceerd worden onder vorm van een half-droog poeder. Het produkt kan door persen verkregen worden. Andere formulaties geven pasta's die kunnen geperst worden, gevormd, gespoten, geïnjecteerd, gekalanderd, enz. De grondstof kan ook voorkomen als vloeistof, waarop dan de normale processen voor composieten met een organische matrix zoals polyester of epoxy, worden toegepast. Aldus kunnen versterkende vezels of vulstoffen geïncorporeerd worden met een hoog volume-gehalte wat wegens de reologische eigenschap een hindernis betekent met cement. De matrix kan eveneens geschuimd worden.

Een van de schaduwzijden blijft de brosheid, een eigenschap inherent aan de minerale polymeren en andere keramische materialen. Automatisch grijpen we terug naar de complexe systemen voordien beschreven bij de bespreking

van organische komposieten met het inkorporeren van partikulen of vezels onder geschikte vorm. Met een voldoende volume-inhoud kan de brosse matrix zich aanpassen aan verschillende eigenschappen, in het bijzonder taaiheid en slagvastheid (PATFOORT *et al.* 1988).

Komposieten met minerale polymeren dekken de vroegere gebreken als brandbaarheid, temperatuur en scheikundige weerstand. Bij broze constructies en onder invloed van bijvoorbeeld aardbevingen kunnen de karakteristieken in buiging, trekspanning en impact opgevangen worden. In de tussentijd worden processen en ontwerpen ontwikkeld voor weerstand tegen vibraties en aardbevingen voor structurele constructies. De bouw- en konstruktie-materialen-kringloop blijkt voor de meeste eigenschappen gesloten.

De eigenschappen van de nieuwe minerale polymeren laten toe het enge gebied van de bouw naar de mechanische constructie te verschuiven. Vooral wanneer hoge temperaturen in het spel zijn, is de partij van de organische polymeren uitgespeeld. Twee verschillende gebieden worden ontwikkeld : het gebruik van prijs- en energetisch gunstig materiaal in de bouw met daaraan gekoppeld het gebruik of de incorporatie van afval en daarnaast de hoog technologische toepassingen die de rij van de zg. nieuwe materialen aanvullen.

De ontwikkeling op het gebied van de minerale polymeren wordt uitgevoerd in de afdeling bouwkunde van de Vrije Universiteit Brussel (V.U.B.) in samenwerking met Prof. Dr. Jan Wastiels.

REFERENTIES

- BRECK, D. W. 1974. Zeolite molecular sieves. — John Wiley, New York.
LIEBAN, F. 1985. — Structural Chemistry of Silicate. — Springer Verlag Berlin.
PATFOORT, G. A. 1982. Energie en materiaal uitsparing in woonconstructies met komposiet systemen. — Vrije Universiteit Brussel, Brussel.
PATFOORT, G. A., WASHELS, J. & BRUGGEMAN, P. 1988. Mineral Polymer Matrix Composites. — *In*: Symposium on Brittle Matrix Composites (Cedzyna, September 1988).

Séance du 15 décembre 1989

(Extrait du procès-verbal)

La séance est ouverte à 14 h 30 par le vice- directeur, M. J. De Cuyper, assisté de M. J.-J. Symoens, secrétaire perpétuel.

Sont en outre présents : MM. J. Charlier, I. de Magnée, P. De Meester, A. Deruyttere, Mgr L. Gillon, MM. G. Heylbroeck, A. Lederer, M. Snel, A. Sterling, F. Suykens, R. Tillé, membres titulaires ; MM. J. J. Droesbeke, A. François, R. Winand, membres associés.

Absents et excusés : MM. A. Clerfaÿt, M. De Boodt, H. Deelstra, P. Evrard, P. Fierens, G. Froment, A. Jaumotte, J. Lamoën, R. Leenaerts, W. Loy, A. Monjoie, R. Paepe, F. Pietermaat, A. Prigogine, J. Roos, R. Sokal, J. Van Leeuw, R. Wambacq ; M. R. Vanbreuseghem, secrétaire perpétuel honoraire.

Électroraffinage du cuivre à haute densité de courant

M. R. Winand présente une étude à ce sujet.

Il répond ensuite à une question de Mgr L. Gillon relative aux implications économiques de la technique d'électroraffinage à haute densité de courant.

Le texte intégral de l'étude présentée ayant déjà été publié en version anglaise, la Classe décide d'en publier dans le *Bulletin des Séances* un résumé avec renvoi à la publication originale.

L'uranium du Congo belge et la découverte de l'énergie atomique

Mgr L. Gillon présente une étude à ce sujet.

MM. P. De Meester et M. Snel prennent part à la discussion.

La Classe décide la publication de cette étude dans le *Bulletin des Séances* (pp. 557-570).

Séance de Classe avec la CEE

Par lettre du 5 décembre 1989, M. G. Valentini, membre correspondant, propose de participer avec ses collègues de la Direction générale de la Science, de la Recherche et du Développement de la CEE à une séance de la Classe pour une information suivie d'un débat sur les activités de cette Direction.

La Classe exprime son vif intérêt pour cette proposition et marque son accord à ce sujet.

Zitting van 15 december 1989

(Uittreksel van de notulen)

De zitting wordt geopend te 14 h 30 door de vice-directeur, de H. J. De Cuyper, bijgestaan door de H. J.-J. Symoens, vast secretaris.

Zijn bovendien aanwezig : De HH. J. Charlier, I. de Magnée, P. De Meester, A. Deruyttere, Mgr. L. Gillon, de HH. G. Heylbroeck, A. Lederer, M. Snel, A. Sterling, F. Suykens, R. Tillé, werkende leden ; de HH. J. J. Drosbeke, A. François, R. Winand, geassocieerde leden.

Afwezig en verontschuldigd : De HH. A. Clerfaÿt, M. De Boodt, H. Deelstra, P. Evrard, P. Fierens, G. Froment, A. Jaumotte, J. Lamoën, R. Leenaerts, W. Loy, A. Monjoie, R. Paepe, F. Pietermaat, A. Prigogine, J. Roos, R. Sokal, J. Van Leeuw, R. Wambacq ; de H. R. Vanbreuseghem, erevast secretaris.

«Électroraffinage du cuivre à haute densité de courant»

De H. R. Winand stelt hierover een studie voor.

Hij beantwoordt vervolgens een vraag van Mgr. L. Gillon betreffende de economische implicaties van de techniek van electroraffinering bij hoge stroomdichtheid.

Aangezien de integrale tekst van de voorgestelde studie reeds in het Engels gepubliceerd werd, besluit de Klasse er een samenvatting van te publiceren in de *Mededelingen der Zittingen*, met verwijzing naar de originele publikatie.

«L'uranium du Congo belge et la découverte de l'énergie atomique»

Mgr. L. Gillon stelt hierover een studie voor.

De HH. P. De Meester en M. Snel nemen deel aan de bespreking.

De Klasse besluit deze studie te publiceren in de *Mededelingen der Zittingen* (pp. 557-570).

Zitting van de Klasse met de EEG

Bij brief van 5 december 1989 stelt de H. G. Valentini, corresponderend lid, voor met zijn collega's van de Algemene Directie voor de Wetenschap, het Onderzoek en de Ontwikkeling van de EEG, deel te nemen aan een zitting van de Klasse voor een informatie, gevolgd door een debat over de activiteiten van deze Directie.

De Klasse uit zijn grote belangstelling voor dit voorstel en verklaart zich hiermee akkoord.

Séance publique à Anvers

La Commission administrative, en sa séance du 30 septembre 1987, et le Bureau de l'Académie, en sa séance du 4 novembre 1988, ont accepté la proposition de M. F. Suykens d'organiser à Anvers une séance publique de la Classe en vue de mieux faire connaître l'Académie en province.

Cette séance est envisagée pour le 21 avril 1990.

De semblables initiatives pourraient être organisées ultérieurement dans d'autres villes du pays.

Monitor

La Direction générale de la Coopération Internationale du Ministère néerlandais des Affaires étrangères et l'Université d'Amsterdam annoncent l'édition d'un nouveau périodique *Monitor Biotechnology and Development* qui publiera des informations sur les applications de la biotechnologie d'un intérêt particulier pour les pays en voie de développement.

Informations : Monitor Biotechnology and Development
University of Amsterdam
Department of International Relations
and Public International Law
Oudezijds Achterburgwal 237
1012 DL Amsterdam
Tel. (020)525.21.63 — Fax (020)525.20.86.

La séance est levée à 16 h 15.
Elle est suivie d'un Comité secret.

Openbare zitting in Antwerpen

De Bestuurscommissie, tijdens haar zitting van 30 september 1987, en het Bureau van de Academie, tijdens zijn zitting van 4 november 1988, hebben het voorstel van de H. F. Suykens aanvaard om te Antwerpen een openbare zitting van de Klasse te organiseren met als doel de Academie beter te doen kennen buiten de hoofdstad.

Deze zitting zou kunnen doorgaan op 21 april 1990.

Dergelijke initiatieven zouden later kunnen georganiseerd worden in andere steden van het land.

Monitor

De Algemene Directie van de Internationale Samenwerking van het Nederlandse Ministerie van Buitenlandse Zaken en de Universiteit van Amsterdam kondigen de uitgave aan van een nieuw tijdschrift, *Monitor Biotechnology and Development*, dat informatie zal publiceren over de toepassingen van de biotechnologie die een bijzonder belang voor de ontwikkelingslanden hebben.

Informatie : Monitor Biotechnology and Development
University of Amsterdam
Department of International Relations
and Public International Law
Oudezijds Achterburgwal 237
1012 DL Amsterdam
Tel. (020)525.21.63 — Fax (020)525.20.86.

De zitting wordt gegeven te 16 h 15.
Ze wordt gevolgd door een Geheim Comité.

L'uranium du Congo belge et la découverte de l'énergie atomique *

par

L. GILLON **

MOTS-CLÉS. — Belgique ; Congo belge ; Sengier, E. ; Uranium.

RÉSUMÉ. — En 1913 fut découvert le gisement de pechblende de Shinkolobwe (Katanga, Congo belge). Ce gisement, extrêmement riche, fut exploité par l'Union Minière du Haut-Katanga (UMHK), d'abord pour son minerai de radium. Mais la découverte du neutron, en 1932, suscita un intérêt pour l'uranium lui-même : des neutrons, en bombardant les atomes d'uranium, provoquent sa fission en baryum et d'autres éléments avec émission de nouveaux neutrons et d'une grande quantité d'énergie. Dès mai 1939, F. Joliot proposa à E. Sengier, de l'UMHK, une association pour le développement de cette énergie nouvelle et un contrat fut même signé entre l'UMHK et le CNRS français. Mais en octobre 1939, Sengier s'installa à New York ; il fit transférer au Royaume-Uni puis aux USA les stocks de radium de Belgique, puis les minerais d'uranium du Congo belge. Pour développer les applications militaires de la fission de l'uranium, les USA créèrent le «Manhattan Engineering District» dont les besoins en uranium furent satisfaits à 90% par le Congo belge. La guerre se termina en 1945 par l'usage militaire de l'énergie atomique, mais les USA furent longtemps réticents, malgré leurs engagements, à associer la Belgique aux applications, même industrielles de cette énergie. La Belgique insista pour obtenir un supplément de prix pour l'uranium. Finalement, une surtaxe de 0,4 \$ par lb. pour les livraisons postérieures au 13 juillet 1951 servit à financer la recherche nucléaire en Belgique. Le Congo ne fut cependant pas oublié. Le physicien qui aurait dû développer l'énergie nucléaire en Belgique fut envoyé au Congo en 1954 pour y fonder et y développer l'Université Lovanium ; il y fit installer en 1959 le réacteur Triga, toujours en service comme réacteur de recherche.

SAMENVATTING. — *Het uranium van Belgisch-Congo en de ontdekking van de atoomenergie.* — In 1913 ontdekte men de pikblendelaag van Shinkolobwe (Katanga, Belgisch-Congo). Deze zeer rijke laag werd eerst voor het radiumerts ontgonnen door de Union Minière du Haut-Katanga (UMHK). Maar de ontdekking van het neutron, in 1932, wekte een belangstelling op voor het uranium zelf : neutronen die de ura-

* Communication présentée à la séance de la Classe des Sciences techniques tenue le 15 décembre 1989. Manuscrit reçu le 3 janvier 1990.

** Membre titulaire honoraire de l'Académie ; rue du Blanc Try 23, B-1301 Bierges (Belgique).

niematomen bombarderen veroorzaken de splitsing ervan in baryum en andere elementen, met emissie van nieuwe neutronen en van een grote hoeveelheid energie. Reeds in mei 1939 stelde F. Joliot aan E. Sengier van de UMHK een vereniging voor om deze nieuwe energie te ontwikkelen en er werd een contract ondertekend tussen de UMHK en de Franse CNRS. Maar in oktober 1939 vestigde Sengier zich in New York ; hij liet de radiumvoorraden van België eerst naar het Verenigd Koninkrijk en vervolgens naar de USA overbrengen ; later deed hij hetzelfde met de uraniumertsen van Belgisch-Congo. Om de militaire toepassingen van de uraniumsplitsing te ontwikkelen, stichtten de USA het «Manhattan Engineering District», waarvan de behoefte aan uranium voor 90% door Belgisch-Congo bevredigd werd. De oorlog eindigde in 1945 met het militaire gebruik van de kernenergie, maar de USA waren lang onwillig, ondanks hun verplichtingen, België te associëren aan de toepassingen, zelfs industriële, van deze energie. België drong aan op een prijsverhoging voor het uranium. Uiteindelijk diende een bijkomende taks van 0,4 \$ per lb. voor de leveringen na 13 juli 1951 om het nucleair onderzoek in België te financieren. Men vergat echter Congo niet. De fysicus die de atoomenergie in België had moeten ontwikkelen, werd in 1954 naar Congo gestuurd om er de Universiteit Lovanium op te richten en te ontwikkelen. In 1959 liet hij er de Triga-reactor bouwen, die nog steeds in dienst is als onderzoeksreactor.

SUMMARY. — *The uranium of the Belgian Congo and the discovery of atomic energy.* — In 1913, a pitchblende vein was discovered at Shinkolobwe (Katanga, Belgian Congo). This extremely rich vein was exploited by the Union Minière du Haut-Katanga (UMHK), firstly for radium ore. But the discovery of the neutron, in 1932, increased interest in uranium itself : the bombardment of uranium atoms by neutrons provokes the fission of the atom into barium and other elements, with emission of new neutrons and a large quantity of energy. From May 1939, F. Joliot proposed to E. Sengier of the UMHK an association for the development of this new energy and a contract was even signed between the UMHK and the French CNRS. But in October 1939, Sengier moved to New York ; he arranged the transfer to the UK then the USA of the Belgian radium stockpile, then the uranium ore from the Belgian Congo. To develop the military applications of uranium fission, the USA created the Manhattan Engineering District, 90% of whose uranium needs were met by the Belgian Congo. The war finished in 1945 with the military use of the atomic bomb, but the USA were long reticent, in spite of its commitments, to associate Belgium with the applications, even industrial, of this energy. Belgium insisted on obtaining a price increase for uranium. Finally, a surtax of 0.4 \$ per lb. for deliveries after 13 July 1951 served for financing nuclear research in Belgium. The Congo, however, was not forgotten. The physicist who should have developed nuclear energy in Belgium was sent to the Congo in 1954 to found and develop Lovanium University ; he arranged the installation in 1959 of the Triga reactor, still used for research.

*
* *

L'uranium fut découvert en 1789 par le chimiste allemand Martin Klaproth dans de la pechblende en provenance de la mine de Joachimsthal en Bohême.

Il fut, pendant le xix^{e} siècle, employé simplement comme matière colorante pour les verres et les céramiques : quelque 300 tonnes d'uranium furent extraites et utilisées à cette époque.

L'uranium, le plus lourd des éléments naturels, n'est pas rare dans la nature. Il est plus abondant que des métaux tels que l'argent ou le cadmium. Cependant, il est généralement présent en très faible teneur et des gisements concentrés sont exceptionnels.

En 1896, H. Becquerel découvrit la radioactivité naturelle de l'uranium qui émettait spontanément des particules ionisantes. Deux ans plus tard, Pierre et Marie Curie purent extraire de la pechblende un sous-produit très hautement radioactif : le radium, émetteur de particules α très énergétiques et de rayons γ utilisables pour les applications médicales dans le traitement du cancer.

En dehors du gisement de Joachimsthal connu depuis le xviii^{e} siècle, certains gisements furent découverts au Canada et au Colorado. En 1913, Sharp en prospection au Katanga trouva à Shinkolobwe un gisement de pechblende qui fut formellement identifié par du Trieu de Terdonck en 1917. Ce gisement contenait essentiellement le minerai appelé uraninite.

L'Union Minière du Haut Katanga, installée depuis 1906 dans l'État Indépendant du Congo, commença dès 1910 à extraire de cette région principalement le cuivre et le cobalt.

Il y eut à Tervueren, le 13 novembre 1922, une cérémonie officielle en présence du roi Albert au cours de laquelle Edgar Sengier, directeur de l'Union Minière, fit une communication intitulée «La découverte du minerai de radium au Katanga».

Le gisement de Shinkolobwe est situé au Katanga à environ 25 km à l'ouest de Likasi (antérieurement Jadotville). Il est unique en son genre par sa richesse et par sa concentration, car l'essentiel du gisement était constitué de pechblende contenant de l' U_3O_8 presque pur. Depuis la découverte du gisement jusqu'en 1944, l'exploitation consistait essentiellement à trier à la main le minerai en séparant les blocs d' U_3O_8 des matières stériles. Cette exploitation se fit en carrière à ciel ouvert jusqu'au niveau -56 m. Elle se faisait par campagne de 4 à 6 mois durant lesquels on stockait en surface le minerai nécessaire à alimenter l'usine de radium de Olen durant un certain temps.

Après l'exploitation en carrière vint l'exploitation en souterrain dont les puits atteignirent la cote de -150 m en 1937 pour atteindre finalement -255 m en 1958. Le principal problème technique de la mine était la quantité très importante d'eau qu'il fallait pomper pour maintenir les chantiers accessibles. En 1944, il fallut dénoyer la mine et attendre pour cela de puissantes pompes fournies par les États-Unis.

En 1943, sous la pression des États-Unis, on se mit à concentrer par des procédés gravifiques (bacs à piston) les morceaux de minerais trop petits pour être triés à la main. Ultérieurement, on construisit sur le carreau de la mine

une véritable usine de traitement chimique des minerais avec dissolution à l'acide de ceux-ci, fixation sur des résines échangeuses d'ions, puis récupération finale du *yellow cake* sur des filtres à tambour.

Les invités aux fêtes du 50^e anniversaire de l'Union Minière purent, en juillet 1956, visiter le site de Shinkolobwe encore en pleine activité.

Le marché du radium

Au début du XIX^e siècle du radium fut extrait de la pechblende aux États-Unis. L'opération était complexe et difficile et il fallait plusieurs tonnes de minerais d'uranium pour produire un gramme de radium qui fut commercialisé à des prix élevés de 170 000 \$ le gramme.

L'Union Minière envoyait le minerai de Shinkolobwe en Belgique où on en extrayait le radium à l'usine de Olen. Il fallait traiter environ 3000 kg d' U_3O_8 pour obtenir 1 g de radium. L'Union Minière avait, en dehors de ses installations industrielles, un important groupe de recherche qui travaillait sur le radium et ses applications possibles. En dehors des applications médicales se développèrent les usages du radium pour les peintures phosphorescentes des cadrans de montres, etc.

À partir de 1924, l'Union Minière commercialisa du radium au prix de 70 000 \$ le gramme. Ce prix descendit ensuite vers 50 000 \$ le gramme dans le milieu des années 30 ; les Canadiens reprirent la production à partir des minerais du Great Bear Lake. Les quantités produites par l'Union Minière étaient dominantes sur le marché mondial et elle put, par un accord avec le producteur canadien, conserver 60% du marché au prix de 25 000 \$ le gramme. Cependant, la production de radium était excédentaire.

Avant 1937, l'Union Minière arrêta l'exploitation de la mine d'uranium ; elle avait en stock 6000 t de concentré d' U_3O_8 , 2500 de composés divers d'uranium et plus de 180 g de radium.

Elle avait également prêté plusieurs dizaines de grammes de radium à des universités et des centres de recherche. La production mondiale totale de radium était restée inférieure à 2000 grammes.

Après la guerre, l'Union Minière reprit la production de radium en partie avec les *tailings* restant à Olen ou récupérés de la fourniture d'uranium au Royaume-Uni. En 1947, l'Union Minière fêta sa production du 2000^e gramme de radium.

Mais le marché mondial du radium s'effondra sous la concurrence des isotopes radioactifs produits dans les réacteurs nucléaires et en particulier du cobalt qui remplaçait le radium pour la thérapie du cancer. Les sources de neutrons (Ra, Be) restaient demandées pour la prospection pétrolière. Quant aux peintures lumineuses au radium, elles furent strictement interdites.

La propriété des *tailings* exigés par Edgar Sengier aurait pu tourner à la catastrophe financière si l'Union Minière avait été effectivement obligée de

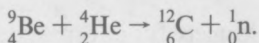
les rapatrier des États-Unis vers la Belgique après 1970. Fort heureusement, certains se souvenaient encore à Washington des services rendus du temps de la guerre et une solution à l'amiable fut trouvée avec l'Atomic Energy Commission qui avait repris les obligations et droits du Manhattan Project.

Des essais de diversification du radium, tel le programme actinium pour des applications spatiales, furent sans rendement commercial.

La grande découverte

En 1932, James Chadwick, physicien anglais travaillant à Cambridge, découvrit le neutron : proton et neutron sont les particules fondamentales de la structure des noyaux atomiques. Le neutron est une particule de masse voisine de celle du proton mais qui ne porte pas de charge électrique ; il entre donc facilement dans le noyau atomique où il provoque d'importantes modifications.

Un nouvel usage du radium se développa immédiatement ; un mélange de radium et de poudre de beryllium produisait un intense faisceau de neutrons par réaction des particules alpha émises par le radium avec le beryllium :



Les physiciens se mirent immédiatement à bombarder de très nombreux corps avec les neutrons émis par cette source. Beaucoup de ces corps se transformaient en isotopes radioactifs souvent voisins du corps bombardé et contenant un proton de plus que l'élément primitif.

L'uranium est l'élément le plus lourd trouvé dans la nature. Il contient 92 protons. On espérait en le bombardant avec des neutrons arriver à créer un nouvel élément transuranien, qui contiendrait 93 ou même 94 protons, suite à l'émission d'électrons négatifs.

Des physiciens tels que Enrico Fermi à Rome, Mme Joliot-Curie à Paris et Otto Hahn à Berlin, s'étaient mis à la recherche de cet élément. Il y eut à ce moment une chimiste allemande, Mme Ida Noddack, qui écrivit le 10 septembre 1934 «La possibilité de fission» :

À la place d'un transuranien, on peut penser que sous l'action des neutrons, les éléments lourds puissent se casser en plusieurs gros fragments qui seraient des isotopes de corps connus mais pas des voisins de l'uranium.

Mais Ida Noddack ne faisait pas partie de la «nomenklatura» des physico-chimistes de l'époque. Elle avait déjà fait certaines erreurs : personne ne prêta l'attention voulue à sa prédiction.

Et c'est probablement pourquoi Hitler n'eut pas la bombe atomique. Car si Otto Hahn avait pris au sérieux la suggestion d'Ida Noddack, il aurait

pu découvrir la fission dès 1935, bien des années avant que les États-Unis se soient motivés pour développer le Manhattan Project.

Frédéric Joliot, en recevant le prix Nobel en 1935, annonça d'ailleurs dans son discours : «L'homme pourrait réaliser des réactions en chaîne explosives libérant une énorme énergie».

En 1938, on en était toujours à chercher les transuraniens. Cependant, il devint de plus en plus évident que le bombardement de l'uranium par des neutrons cassait ces noyaux en «morceaux». En janvier 1939, Otto Hahn, à Berlin, publia l'annonce de la découverte de cette fission. Il avait mis en évidence que parmi les produits résultant de l'action des neutrons sur l'uranium, il y avait du baryum et d'autres morceaux de noyaux lourds. Il ne fallut pas longtemps au monde scientifique pour reproduire ces expériences et montrer que lors de la fission de l'uranium, il y avait non seulement de gros morceaux de noyaux mais également plusieurs neutrons qui étaient émis et une grande quantité d'énergie.

C'était la première réalisation par l'homme de la transformation de la matière en énergie, annoncée par Einstein dès 1912 dans sa fameuse équation :

$$\Delta mc^2 = \Delta w.$$

Très rapidement, l'Union Minière fut informée de l'importance que pourrait prendre l'uranium, jusqu'à présent simple sous-produit de la production radium, non seulement en application énergétique mais même en application militaire.

Le 8 mai 1939, F. Joliot, après avoir déposé le 4 mai des brevets secrets couvrant l'utilisation de l'énergie atomique, vint trouver Edgar Sengier à Bruxelles pour lui proposer une association avec l'Union Minière pour le développement de cette énergie nouvelle.

Le 10 mai, Sengier est à Londres chez Lord Stonehaven, directeur de l'Union Minière en Angleterre, où il rencontre le physicien britannique Sir Henri Tizard de l'Imperial College, qui est conseiller scientifique du gouvernement anglais.

Tizard demande à Sengier une option pour le Royaume-Uni sur l'uranium disponible à l'Union Minière. Sengier ne s'engage pas et se rend à Paris chez Joliot, le 13 mai, où il paraphe en compagnie de son directeur de la section radium, Lechien, un contrat entre l'Union Minière et le Centre National français de la Recherche Scientifique, détenteur des brevets secrets de Joliot. Dès le 23 mai 1939, l'Union Minière expédie à Paris 5000 kg d'oxyde d'uranium ; une promesse était faite d'en fournir 50 tonnes.

Mais la guerre entre l'Allemagne hitlérienne et l'Europe de l'Ouest se prépare. Sengier quitte la Belgique pour s'installer à New York en octobre 1939. Avant son départ, il donne ordre d'évacuer les stocks de radium et de sels d'uranium se trouvant en Belgique vers le Royaume-Uni puis les États-Unis. Plus de 120 grammes de radium prendront ainsi le chemin de New York ; l'expédition

de l'uranium n'aura pas eu lieu. Les stocks d'Olen furent partiellement dispersés en France (72 tonnes), aux Pays-Bas (quelques wagons) et tombèrent en majeure partie en Belgique aux mains des Allemands qui les réquisitionnèrent en 1941.

Vers la fin de la guerre, les Américains, anxieux de savoir où en étaient les Allemands dans leur recherche nucléaire, organisèrent une opération appelée ALSOS, traduction grecque du mot «cave» c'est-à-dire «Groves» du nom du général américain dirigeant le Manhattan Project. Cette opération retrouvera 42 tonnes de sels d'uranium à Toulouse et surtout en avril 1945, 1100 tonnes dans une usine près de Strassfurt dans le sud de la Bavière.

Cette découverte prouva aux alliés que les nazis avaient abandonné l'espoir de développer l'arme atomique après avoir essayé de construire des réacteurs avec de l'eau lourde de Norvège.

Mais en dehors de l'uranium se trouvant en Belgique, il y a la mine de Shinkolobwe au Congo. Son exploitation a été arrêtée avant 1937 mais il reste sur le carreau de cette mine toute une production qui n'a pas encore été expédiée. En septembre 1940, Sengier ordonne d'envoyer du Katanga aux États-Unis via Lobito $470 + 669 = 1139$ tonnes métriques de minerai riche à plus de 65% d'oxyde. Il est stocké dans un hangar à Port Richmond dans Staten Island près de New York. Personne, en 1941 et jusqu'en septembre 1942, ne s'intéresse à ce minerai malgré des offres de Sengier au Département d'État à Washington. Tant et si bien que Sengier voulut vers juillet 1942 en expédier 100 tonnes au Canada pour en extraire le radium.

La fuite des cerveaux

Le régime nazi sévit contre les Juifs dès 1934. Ils sont une pléiade de physiciens de valeurs d'origine juive. Einstein en Allemagne, Teller, Wigner, Szilard en Hongrie et bien d'autres. En Italie, Fermi n'est pas juif, mais son épouse est juive. Tous, ils vont quitter l'Europe pour s'installer aux États-Unis avant 1940.

Dès le 15 janvier 1939, ils ont été avertis de la découverte de Hahn : ils ont répété l'expérience, mesuré les neutrons de fission, calculé l'énergie libérée : ils entrevoient la possibilité d'applications explosives.

Ces émigrés de récente date sont terrifiés à l'idée que les nazis pourraient développer l'arme atomique. Ils veulent alerter le président des États-Unis. Une première tentative échoue. Certains poussent Einstein à écrire une lettre à la Reine Élisabeth de Belgique qu'il connaît très bien. Einstein signe finalement une lettre qui atteint le président Roosevelt via Alexandre Sachs et Roosevelt crée au début de 1940 un comité consultatif sur l'uranium.

Le Manhattan Engineering District

Le comité consultatif sur l'uranium est intégré dans le comité de recherche pour la défense nationale en 1941.

En mars 1941, Glenn Seaborg sépare une première micro-quantité de plutonium ; la possibilité de construire une bombe atomique se concrétise dans bien des cerveaux. En juin 1942, le projet est pris très au sérieux par le Président des États-Unis et le 11 août est créé le «Manhattan Engineering District» (MED) dont le général Groves devient le chef en date du 16 septembre 1942. Immédiatement, il se préoccupe de l'approvisionnement du MED en uranium. Le 18 septembre, il envoie son adjoint, le colonel Nichols, rencontrer Edgar Sengier à New York. À son arrivée, Sengier lui demande s'il vient bavarder ou s'il est réellement client pour l'uranium. Nichols répond qu'il est venu pour faire du business. Sengier est content de vendre son stock. Pour lui, l'important c'est le marché du radium. On convient d'un prix de 1 \$ la livre de minerai à condition qu'après séparation de l'uranium, le radium contenu dans les résidus, appelés les *tailings*, reste propriété de l'Union Minière. De plus, Sengier fera expédier du Katanga 1000 tonnes d'oxyde encore disponibles sur le carreau de la mine de Shinkolobwe.

Entre temps, les progrès sont importants : Fermi a fait fonctionner le 2 décembre 1942 la première pile atomique. Sans attendre même cette démonstration, le Manhattan Project s'est lancé dans la construction d'une série de grandes piles à Hanford, dans l'État de Washington, pour y produire les kilos de plutonium nécessaires à la fabrication d'une bombe. Il fallait plusieurs milliers de tonnes d'uranium pour construire ces piles. En même temps, MED décide de se mettre à la séparation de l'uranium 235. Ce seront les usines d'Oak Ridge de séparation électromagnétique et de séparation par diffusion gazeuse. Ici aussi, il fallait des centaines de tonnes d'uranium.

Les besoins du Manhattan Project sont immenses. En 1943, Groves envoie le capitaine Philippe Merritt au Congo pour s'informer de la possibilité d'existence de gisements d'uranium autres que Shinkolobwe. La réponse est négative, mais Merritt doit aussi évaluer ce que peut fournir rapidement la mine. L'oxyde, jusqu'alors trié à la main, a déjà été expédié. Mais il reste des *tailings* contenant de 3 à 20% d' U_3O_8 . Ces *tailings* sont achetés par le MED en 1943. Ils seront concentrés dans des bacs à piston.

Plusieurs milliers de tonnes sont ainsi transférées avant la fin de la guerre. Il s'avère que 430 tonnes ont été perdues lorsque deux bateaux furent coulés par des sous-marins allemands. La quantité transférée du Congo vers les États-Unis durant la guerre aurait atteint environ 5000 tonnes. Le prix était passé de 1 \$ la livre en 1942 à 1,45 \$ la livre puis à 1,90 \$ pour atteindre 2,9 \$ la livre. Sur ce prix, il y avait 6% de droits de sortie prélevés au profit du gouvernement de la Colonie.

En 1944, le MED veut augmenter ses approvisionnements en uranium. Sengier refuse de s'engager sans associer le gouvernement belge de Londres aux négociations. On voit se pointer le débarquement et la libération. Les Américains ont créé un organe d'achat de l'uranium commun avec les Anglais dont l'influence sur le Gouvernement belge de Londres et l'Union Minière est importante. Cet organisme d'achats anglo-américains, le «Combined Policy Committee» (CDC) qui plus tard s'appellera le «Combined Development Trust» (CDT), est constitué en 1944. Il contacte, dès le 17 février 1944, Camille Gutt, ministre des Finances dans le Gouvernement belge de Londres.

Le gouvernement négocie sur la base d'un maintien de sa souveraineté et d'une participation ultérieure de la Belgique dans le développement industriel de l'énergie nucléaire fait avec l'uranium fourni par la Belgique. Pour les aspects commerciaux, le CDC doit s'entendre directement avec l'Union Minière.

Sengier déclarait qu'en 1937 la mine a été exploitée jusqu'à 70 m de profondeur mais qu'il y a encore 100 m de bons minerais pouvant fournir de 10 000 à 12 000 tonnes à 50 ou 60% d' U_3O_8 . La réalité dépassera nettement ces chiffres.

Mais les négociations sont devenues politiques. Commencées le 17 février 1944, elles ne se termineront que par la signature d'un accord, le 26 septembre 1944, après que le gouvernement belge fût revenu de Londres à Bruxelles, ville qui a été libérée le 2 septembre 1944.

Lors de ces négociations, il y a eu très rapidement un accord pour une aide importante en équipement à l'Union Minière permettant la réouverture de la mine fermée et noyée avant 1937. En contrepartie, il y aurait une livraison rapide de 3,4 millions de livres d'oxyde d'uranium au prix de 1,71 \$ la livre.

On discute beaucoup sur le droit du gouvernement belge à donner le monopole d'achat au trust anglo-américain alors que la convention de Saint-Germain-en-Laye obligeait le Congo à être un marché «ouvert». La durée du contrat fait aussi l'objet de palabres : certes, le CDC voudrait 99 ans ; la Belgique finit par accepter 10 ans après la livraison des 3,4 millions de livres prévus dans le contrat.

Mais l'essentiel des négociations portera sur la façon d'associer la Belgique aux applications pacifiques de l'énergie atomique. Ceci se concrétise dans l'article 9 de l'accord entre le gouvernement belge et les gouvernements des États-Unis et du Royaume-Uni concernant le contrôle de l'uranium [1] *.

La Belgique sera admise à participer à la mise en œuvre de la production commerciale d'énergie à partir des minerais qu'elle a fournis dans l'hypothèse où les gouvernements des États-Unis et du Royaume-Uni développeraient cette utilisation avec ces minerais.

Le CDC voulait que le gouvernement belge signe l'accord avant de quitter Londres pour Bruxelles. Officiellement, l'accord fut signé «à Londres» le 26

* Les chiffres entre crochets [] renvoient aux notes, p. 570.

septembre 1944. Le gouvernement démissionna le 27 septembre 1944. La veille, Sengier avait signé à New York le contrat de vente des 3,4 millions de lb d' U_3O_8 , puis il partit pour Bruxelles ; cependant, les Américains le prièrent de ne pas passer par Paris tant ils craignaient l'influence de Frédéric Joliot.

Au-delà des 3,4 M lb cités nominalement dans l'accord de septembre 1944, deux contrats complémentaires furent signés en 1945. D'après J. E. Helmreich, ils auraient porté sur 20 et 40 M lb qui, ajoutées aux 3,4 millions, auraient totalisé 63,4 M lb, soit 29 000 tonnes métriques. D'autres documents font état, au total, d'engagement de fournir 46 M lb, soit 20 865 tonnes métriques. C'est ce dernier chiffre qui semble exact. Ces négociations de 1944 ont été décrites en détail dans le travail de J. E. Helmreich publié dans le Recueil d'études de l'Académie royale des Sciences d'Outre-Mer, «Le Congo belge durant la seconde guerre mondiale» (1983).

Les premières désillusions

Le Congo belge avait fourni plus de 90% de l'uranium nécessaire au Manhattan Project. Par l'article 9 de l'accord du 26 septembre 1944, la Belgique espérait être associée rapidement à la mise en œuvre pacifique de l'énergie nucléaire surtout après la manifestation explosive de la réalité de l'énergie atomique le 6 août 1945 et la fin de la guerre.

Pour le CDC, la fourniture d'uranium en application de l'accord de 1944 se poursuit à un rythme accéléré. Dès fin 1944 et 1945, les Américains fournissent à la mine de Shinkolobwe 13 millions de \$ d'équipement, en particulier des pompes, afin d'accélérer la remise en route de la mine.

Les livraisons d'uranium se poursuivent : 1620 tonnes sont livrées en 1945 ; 3900 tonnes en 1946 ; 3000 tonnes en 1947 et en moyenne 2000 tonnes par an de 1948 à 1953.

Les Belges cependant se sentent frustrés ; mais le Congo belge aussi se sent frustré. Dès 1946, le ministre des Colonies, M. Godding, estime que les 6% de droits de sorties sur l'uranium au profit du Congo sont insuffisants comparés aux profits de l'Union Minière. Il refuse un chèque de 100 M FB que lui offre Van Bree de la part de l'Union Minière. En mai 1947, Wigny, devenu ministre des Colonies, décide d'ajouter à la taxe à l'exportation de 6% un droit supplémentaire de 60 FB/kg, imposé par décret du 9 juin 1947 avec effet au 1^{er} janvier 1947. Ce droit sera payé par l'Union Minière sans être répercuté sur le prix de vente de l'uranium au CDC.

Sengier accepte «pour éviter la nationalisation» mais en insistant pour que le produit de cette taxe reste au Congo. Le droit sera porté de 60 à 85 FB/kg le 1^{er} mai 1948. Il est effectivement une recette du budget congolais.

L'Union Minière donne également 10 M FB à l'ULB et 10 M FB à l'UCL pour la recherche nucléaire, ce qui permettra à Marc de Hemptinne de mettre en route la construction du premier cyclotron belge.

Au parlement belge, les communistes proposent en décembre 1945 la nationalisation de la production d'uranium.

Fin juillet 1946, le Congrès américain adopte la loi McMahon (PL 585) qui confie les problèmes de l'énergie atomique à l'Atomic Energy Commission (AEC) et interdit l'échange d'informations avec d'autres nations sur l'utilisation industrielle de l'énergie atomique avant que...

L'article 9 de l'accord avec la Belgique devenait pratiquement inapplicable.

En avril 1947, P. H. Spaak insiste pour que soit trouvée une interprétation acceptable de l'article 9 de l'accord avec la Belgique malgré la loi McMahon. Les États-Unis arguent des discussions aux Nations Unies (le plan Baruck) pour refuser toute divulgation des accords de 1944. Les Belges étudient, en 1948, la possibilité de fournir de l'uranium à l'URSS. Les États-Unis acceptent de fournir des isotopes à la Belgique et de former des techniciens belges à leur emploi.

Fin 1947, l'AEC envisage le développement civil de l'énergie atomique mais réservé à l'industrie américaine. Marc de Hemptinne, envoyé en mission aux États-Unis, conclut fin 1947 que les États-Unis restent opposés à l'installation d'un réacteur en Belgique.

Fin 1949, la Belgique estime que pour compenser l'effet retardateur de la loi McMahon sur l'accord de 1944, il faut demander aux États-Unis un supplément de prix pour l'uranium livré. Les négociations à ce sujet commencent à Washington le 30 janvier 1950.

Les États-Unis acceptent la discussion et envisagent un «sur-prix» en février 1950, dans l'intérêt de la Belgique. Van Zeeland est alors ministre des Affaires étrangères. Il veut, immédiatement, au minimum 5 millions de \$, ce qui ferait un supplément de 1,25 \$ par livre d'oxyde d'uranium pour les livraisons restant à faire sur l'accord de 1944.

En mars 1950, certains estiment que la Belgique doit créer un Institut de recherche nucléaire. Les États-Unis proposent de préparer un réacteur aux États-Unis et de l'ériger au Congo belge ! (le 27 mars 1950).

Le Gouvernement belge décide de créer un commissariat à l'énergie atomique avant la fin de l'année 1950. En novembre 1950, les États-Unis acceptent de déclassifier certaines données sur les réacteurs de recherche. Le 1^{er} janvier 1951, P. Ryckmans est nommé commissaire à l'énergie atomique. Il demande une surtaxe qui bénéficie avant tout au Congo [2].

Les États-Unis n'acceptent pas ce point de vue «arguer du bien du Congo pour la surtaxe ne ferait que différer et compliquer la négociation de l'accord». Ils proposent une surtaxe de 0,4 \$ par livre. Ryckmans précise : «le financement du programme atomique belge est une affectation par la Colonie d'une partie de ses ressources venant de l'uranium». Les États-Unis acceptent finalement une surtaxe de 0,6 \$ par livre. L'accord est signé le 14 juin 1951 et confirmé par le Conseil des ministres belges le 28 juin 1951. On prévoit la livraison

de 10 000 Sh t d' U_3O_8 , soit 20 M de livres qui rapporteraient pour la surtaxe un montant de 12 millions de \$.

La surtaxe sera payée par le CDC à l'Union Minière qui la ristournera au Ministère des Colonies sur un compte géré par le Commissaire à l'énergie atomique. Il n'y aura pas d'effet rétroactif ; la surtaxe sera payée pour les livraisons postérieures au 13 juillet 1951.

Ce nouvel accord prévoyait de prolonger de 10 ans l'accord de 1944 qui devait se terminer juridiquement le 15 février 1956. En fait, la prolongation de l'accord se limitera à 3 ans car, dès 1959, les États-Unis ne sont plus preneurs des minerais de Shinkolobwe.

Le 30 août 1954, la loi McMahon est modifiée, permettant le partage de certains secrets atomiques n'ayant pas d'implication vers les armes atomiques. Les États-Unis inaugurent le 6 septembre 1954 le chantier de la première centrale électro-nucléaire civile de «Shippingport». Entre temps, les États-Unis ont diversifié leurs approvisionnements en uranium. Ils soutiennent la production nationale de ce minerai et développent également la production canadienne. L'Afrique du Sud récupère l'uranium dans le traitement des minerais d'or. L'uranium congolais est une aide et n'est plus un besoin vital pour les Américains.

Le 7 juin 1955 est signé à Washington un accord de coopération entre les Gouvernements belge et des États-Unis sur les applications civiles de l'énergie atomique et un accord de coopération entre la Belgique et l'Atomic Energy Commission.

La Belgique organise, dès avril 1952, le Centre d'études et d'applications nucléaires, constitué en a.s.b.l. et présidé par P. Ryckmans. Ce centre a comme premier objectif de construire, avec l'aide américaine, un réacteur à uranium naturel modéré au graphite et refroidi à l'air.

En avril 1957, cette a.s.b.l. est remplacée par le Centre d'Études Nucléaires, institution d'utilité publique. Outre le réacteur BR1 déjà en construction, le CEN construira un réacteur genre «Shippingport» demandé aux Américains pour l'exposition universelle de 1958, mais que la ville de Bruxelles refuse, à juste titre, d'installer à sa porte.

La position des Américains s'assouplit quelque peu dès 1953 car ils voient arriver l'échéance de 1956 à laquelle se terminerait le contrat de fourniture. Ils acceptent donc une série de scientifiques belges en stage aux États-Unis ; ils acceptent de fournir les matériaux nécessaires à la construction du réacteur BR1.

Le 8 décembre 1953, le président Eisenhower prononce à l'ONU un grand discours «Atom for Peace» où il annonce la déclassification de nombreuses données sur l'énergie atomique.

Où sont donc les privilèges de la Belgique ?, s'écrie P. H. Spaak, voyant que les concessions qu'on nous a faites, on est en train de les faire à n'importe qui.

En août 1955 se tient à Genève la première conférence mondiale «Atom for peace». Les États-Unis y dévoilent beaucoup de données importantes et y présentent un réacteur de recherche type «swimming pool» qu'ils offrent à la Belgique pour 350 000 \$.

La Belgique n'y tient pas. Elle veut mieux que cela.

Pour ma part, j'examine ce réacteur à Genève pour voir s'il pourrait nous convenir au Congo, mais ses caractéristiques ne me paraissent pas adéquates pour une installation en Afrique. Ce sera la Suisse qui achètera ce réacteur.

Le premier réacteur belge, BR1, fut rendu critique en 1956. Il avait été financé essentiellement par la surtaxe pour valoriser l'uranium du Congo belge. Le second réacteur demandé pour l'exposition universelle devint le réacteur BR3 du Centre de Mol, prototype de nos centrales électro-nucléaires à eau pressurisée (PWR). Il fonctionna à partir de 1962.

Pour achever d'apurer les contrats de 1944-45 pour lesquels il fallait livrer 20 865 tonnes, 1200 tonnes furent fournies en 1954, 1200 en 1955 et le solde début 1956. Après cela, puisque les accords avaient été renouvelés, on livra 2000 tonnes en 1956, 2000 tonnes en 1957 et 2000 tonnes en 1958. Ce fut la fin des livraisons sur les accords CDC. Il restait en 1959 quelque 2000 tonnes sur le carreau de la mine, qui furent expédiées en Belgique à Olen. La mine avait été exploitée jusqu'à -255 m.

Conclusions

L'argent reçu par la surtaxe pour valoriser l'uranium du Congo belge fut très bien investi dans la recherche nucléaire. Malheureusement, lorsque fut fini cet investissement, à la veille de l'indépendance du Congo, il n'y avait plus d'uranium accessible dans le gisement de Shinkolobwe qui aurait pu être valorisé par cet investissement.

Cependant, le Congo ne fut pas oublié. À l'exposition «Atom for Peace» de 1958, je vis le réacteur Triga, qui, à mes yeux, convenait parfaitement pour une installation en Afrique centrale. Ce réacteur, rapidement acheté, fonctionna à partir du 6 juin 1959 à Léopoldville. Il était le premier réacteur construit par l'homme sur le sol africain. Il fut amélioré en 1971 et demeure aujourd'hui un réacteur de recherche extrêmement valable, plus valable même à l'heure actuelle que le réacteur BR1 construit grâce au produit de la surtaxe.

L'échange de bons procédés ne se limita pas au réacteur Triga. Celui qui aurait dû se consacrer, en Belgique, au développement de l'énergie nucléaire, avait été envoyé, sur l'insistance de P. Ryckmans, à Léopoldville dès 1954 pour y fonder et y développer la première université du pays, l'université Lovanium.

Cette université représentait un investissement essentiel pour l'avenir du Congo. Sa valeur intellectuelle, humaine et même financière, était sans com-

paraison avec ce qu'aurait pu rapporter, au Congo, la réalisation d'une installation de recherches nucléaires à laquelle on aurait consacré la surtaxe de l'uranium.

NOTES

[1] «Memorandum of Agreement between the United States, the United Kingdom and Belgium regarding Control of Uranium.

...9. As regards the use of the above mentioned ores as a source of energy the following arrangement shall apply :

(a) In the event of the Governments of the United States of America and of the United Kingdom deciding to utilize as a source of energy for commercial purpose ores obtained under this agreement the said Governments will admit the Belgian Government to participation in such utilization on equitable terms.

(b) The Belgian Government undertakes that, in the event of their contemplating the use of such ores as a source of energy, they will so use them only after consultation and in agreement with the Governments of the United States of America and of the United Kingdom.»

[2] Il est d'ailleurs nécessaire, pour respecter la loi du 18 octobre 1908 (charte coloniale) sur la séparation des patrimoines entre la Belgique et le Congo belge, que la «surtaxe» soit comptabilisée en recette au budget du Congo.

TABLE DES MATIÈRES — INHOUDSTAFEL

Séance plénière du 18 octobre 1989 Plenaire zitting van 18 oktober 1989

Procès-verbal de la séance/Notulen van de zitting	438 ; 439
Liste de présence des membres de l'Académie/Aanwezigheidslijst van de leden van de Academie	440 ; 441
Y. VERHASSELT. — Allocution d'ouverture/Openingsrede	443
J.-J. SYMOENS. — Rapport sur les activités de l'Académie (1988-1989)/Verslag over de werkzaamheden van de Academie (1988-1989)	445
J. SEMAL & P. LEPOIVRE. — Biotechnologies adaptées et développement	451
F. SUYKENS. — De vrijheid der zeeën	463

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

Séance du 21 novembre 1989/Zitting van 21 november 1989	476 ; 477
Séance du 12 décembre 1989/Zitting van 12 december 1989	480 ; 481

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

Séance du 28 novembre 1989/Zitting van 28 november 1989	484 ; 485
Séance du 19 décembre 1989/Zitting van 19 december 1989	490 ; 491
R. FRANKART. — Les sols acides des écosystèmes humifères d'altitude du Rwanda et du Burundi. Aspects pédo-agronomiques	495

Classe des Sciences techniques Klasse voor Technische Wetenschappen

Séance du 24 novembre 1989/Zitting van 24 november 1989	534 ; 535
A. LEDERER. — Présentation de l'ouvrage du Dr Martin Pabst : Tram and (und) Trolley in Africa	541
G. A. PATFOORT. — Energie-uitsparing in konstrukties voor ontwikkelingslanden	543
Séance du 15 décembre 1989/Zitting van 15 december 1989	552 ; 553
L. GILLON. — L'uranium du Congo belge et la découverte de l'énergie atomique	557

CONTENTS

Plenary Meeting held on 18 October 1989

Minutes of the Plenary Meeting	438
Presence list of the members of the Academy	440
Y. VERHASSELT. — Opening Speech	443
J.-J. SYMOENS. — Report on the activities of the Academy (1988-1989)	445
J. SEMAL & P. LEPOIVRE. — Adapted biotechnologies and development	451
F. SUYKENS. — The freedom of the seas	463

Section of Moral and Political Sciences

Meeting held on 21 November 1989	476
Meeting held on 12 December 1989	480

Section of Natural and Medical Sciences

Meeting held on 28 November 1989	484
Meeting held on 19 December 1989	490
R. FRANKART. — The acidic soils of the high humiferous ecosystems of Rwanda and Burundi. Pedo-agronomic aspects	495

Section of Technical Sciences

Meeting held on 24 November 1989	534
A. LEDERER. — Presentation of the work of Dr. Martin Pabst : Tram and (und) Trolley in Africa	541
G. A. PATFOORT. — Energy saving in construction for developing countries	543
Meeting held on 15 December 1989	552
L. GILLON. — The uranium of the Belgian Congo and the discovery of atomic energy	557