

**KONINKLIJKE ACADEMIE
VOOR OVERZEESE
WETENSCHAPPEN**

Onder de Hoge Bescherming van de Koning

ISSN 0001-4176

Nieuwe Reeks
Nouvelle Série

44 (2)

Jaargang 1998
Année

MEDEDELINGEN DER ZITTINGEN

Driemaandelijkse publicatie

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

Sous la Haute Protection du Roi

BULLETIN DES SEANCES

Publication trimestrielle



BERICHT AAN DE AUTEURS

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

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

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

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

AVIS AUX AUTEURS

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

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

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

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

Abonnement 1998 (4 nummers - 4 numéros) : 2 650 BEF

Defacqzstraat 1 bus 3
B-1000 Brussel (België)

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

**KONINKLIJKE ACADEMIE
VOOR OVERZEESSE
WETENSCHAPPEN**

Onder de Hoge Bescherming van de Koning

ISSN 0001-4176

Nieuwe Reeks
Nouvelle Série

44 (2)

Jaargang 1998
Année

**MEDEDELINGEN
DER ZITTINGEN**

Driemaandelijkse publicatie

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

Sous la Haute Protection du Roi

**BULLETIN
DES SEANCES**

Publication trimestrielle



AGENDA 1999

KLASSEN (1)				COMMISSIES (2)			
MAAND	Morele en Polit. Wetensch. (3de dinsd.)	Natuur- en Geneesk. Wetensch. (4de dinsd.)	Technische Wetensch. (laatste vrijdag)	Geschiedenis (donderdag)	Bureau (donderdag)	Bestuurs-comm. (donderdag)	Biografie (donderdag)
Januari	19	26	29	—	—	—	—
Februari	16	23	26	—	—	—	—
	Vastleggen onderwerp wedstrijd 2001						
Maart	16	23	26	—	11	18	25
	Tekst vragen wedstrijd 2001						
April	20	27	30	—	—	—	—
Mei	18	25	28	6	—	—	—
	Aanduiden verslaggevers wedstrijd 1999						
Juni	15	22	25	—	—	—	—
	Toekennen prijzen wedstrijd 1999						
Juli	—	—	—	—	—	—	—
Augustus	—	—	—	—	—	—	—
September	—	—	—	—	9	16	—
Oktober	Plenaire zitting : 21						
November	16	23	26	4	—	—	25
	Voorstellen kandid. openstaande plaatsen Bespreken vice-directeurs 2000						
December	14	21	17	—	—	—	—
	Verkiezingen Aanduiden vice-directeurs 2000						

(1) De Klassen houden hun vergaderingen om 14 u. 30 in het Paleis der Academiën, Regentlaan, 1000 Brussel : plenaire zitting, auditorium, gelijkvloers ; maandelijkse zittingen, eerste verdieping.

(2) De Commissies vergaderen om 14 u. 30 op het secretariaat, Defacqzstraat 1, 1000 Brussel.
Cursief : Besloten Vergadering.

In vet : niet-traditionele data.

CLASSES (1)				COMMISSIONS (2)			
MOIS	Sc. mor. et pol. (3 ^e mardi)	Sc. natur. et médic. (4 ^e mardi)	Sciences techniques (dernier vendredi)	Histoire (jeudi)	Bureau (jeudi)	Admin. (jeudi)	Biographie (jeudi)
Janvier	19	26	29	—	—	—	—
Février	16	23	26	—	—	—	—
	Détermination matière concours 2001						
Mars	16	23	26	—	11	18	25
	Texte questions concours 2001						
Avril	20	27	30	—	—	—	—
Mai	18	25	28	6	—	—	—
	Désignation rapporteurs concours 1999						
Juin	15	22	25	—	—	—	—
	Attribution prix concours 1999						
Juillet	—	—	—	—	—	—	—
Août	—	—	—	—	—	—	—
Septembre	—	—	—	—	9	16	—
Octobre	Séance plénière : 21						
Novembre	16	23	26	4	—	—	25
	Présentation candidats places vacantes Discussion vice-directeurs 2000						
Décembre	14	21	17	—	—	—	—
	Elections Désignation vice-directeurs 2000						

(1) Les Classes tiennent leurs séances à 14 h 30 au Palais des Académies, bd du Régent, 1000 Bruxelles : séance plénière, auditorium du rez-de-chaussée ; séances mensuelles, premier étage.

(2) Les Commissions se réunissent à 14 h 30 au secrétariat, rue Defacqz 1, 1000 Bruxelles.
En italique : Comité secret.

En gras : dates non traditionnelles.

**KLASSE VOOR MORELE
EN POLITIEKE WETENSCHAPPEN**

**CLASSE DES SCIENCES MORALES
ET POLITIQUES**

Zitting van 20 januari 1998

(Uittreksel van de notulen)

De zitting wordt om 14 u. 30 geopend door M. M. Graulich, Directeur, bijgestaan door M. F. de Hen, deken van jaren van de aanwezige werkende leden.

Zijn bovendien aanwezig: de HH. E. Haerinck, J. Jacobs, J. Klener, J. Ryckmans, werkende leden ; de HH. F. De Boeck, V. Drachoussoff, P. Petit, Mevr. B. Vanhoudt, M. U. Vermeulen, geassocieerde leden ; M. E. De Langhe, lid van de Klasse voor Natuur- en Geneeskundige Wetenschappen, en M. J.-J. Symoens, Erevast Secretaris.

Betuigden hun spijt niet aan de zitting te kunnen deelnemen: de HH. P. Collard, P. de Maret, R. Devisch, Mevr. A. Dorsinfang-Smets, de HH. A. Huybrechts, E. Lamy, E.P. F. Neyt, de HH. P. Raymaekers, F. Reyntjens, R. Rezsohazy, P. Salmon, A. Stenmans, E. Vandewoude, C. Willemen, en Mevr. Y. Verhasselt, Vast Secretaris.

„Les relations de l’Egypte pharaonique avec les pays du Sud”

M. C. Obsomer, Instituut voor Oosterse Studies, „Université Catholique de Louvain”, stelt een mededeling voor getiteld als hierboven.

De HH. M. Graulich, E. Haerinck, J. Klener, J.-J. Symoens, J. Ryckmans, U. Vermeulen en E. De Langhe nemen aan de bespreking deel.

De HH. Haerinck en Klener worden als verslaggevers aangeduid.

Het graf voorbij : geschiedenis, herinnering en dood in postkoloniaal Congo/Zaire

M. F. De Boeck stelt een mededeling voor getiteld als hierboven.

Mevr. B. Vanhoudt en M. E. De Langhe nemen aan de bespreking deel.

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

Besloten Vergadering

De werkende en erewerkende leden, in Besloten Vergadering bijeen, verkiezen tot :

Geassocieerd lid : M. C. Sturtewagen.

Corresponderend lid : M. A. López Austin.

De zitting wordt om 17 u. 20 geheven.

Séance du 20 janvier 1998

(Extrait du procès-verbal)

La séance est ouverte à 14 h 30 par M. M. Graulich, Directeur, assisté de M. F. de Hen, doyen d'âge des membres titulaires présents.

Sont en outre présents : MM. E. Haerinck, J. Jacobs, J. Klener, J. Ryckmans, membres titulaires ; MM. F. De Boeck, V. Drachoussoff, P. Petit, Mme B. Vanhoudt, M. U. Vermeulen, membres associés ; M. E. De Langhe, membre de la Classe des Sciences naturelles et médicales, et M. J.-J. Symoens, Secrétaire perpétuel honoraire.

Ont fait part de leur regret de ne pouvoir assister à la séance : MM. P. Collard, P. de Maret, R. Devisch, Mme A. Dorsinfang-Smets, MM. A. Huybrechts, E. Lamy, R.P. F. Neyt, MM. P. Raymaekers, F. Reyntjens, R. Rezsohazy, P. Salmon, A. Stenmans, E. Vandewoude, C. Willemen, et Mme Y. Verhasselt, Secrétaire perpétuelle.

Les relations de l'Égypte pharaonique avec les pays du Sud

M. C. Obsomer, Institut Orientaliste, Université Catholique de Louvain, présente une communication intitulée comme ci-dessus.

MM. M. Graulich, E. Haerinck, J. Klener, J.-J. Symoens, J. Ryckmans, U. Vermeulen et E. De Langhe interviennent dans la discussion.

MM. Haerinck et Klener sont désignés en qualité de rapporteurs.

«Het graf voorbij : geschiedenis, herinnering en dood in postkoloniaal Congo/Zaire»

M. F. De Boeck présente une communication intitulée comme ci-dessus.

Mme B. Vanhoudt et M. E. De Langhe interviennent dans la discussion.

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

Comité secret

Les membres titulaires et titulaires honoraires, réunis en Comité secret, élisent en qualité de :

Membre associé : M. C. Sturtewagen.

Membre correspondant : M. A. López Austin.

La séance est levée à 17 h 20.

Zitting van 17 februari 1998

(Uittreksel van de notulen)

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

Zijn bovendien aanwezig : Mevr. P. Boelens-Bouvier, de HH. A. Coupez, F. de Hen, E. Haerinck, J. Jacobs, J. Ryckmans, A. Stenmans, werkende leden ; de HH. V. Drachoussoff, P. Halen, C. Willemen, geassocieerde leden ; en M. J.-J. Symoens, Erevast Secretaris.

Betuygden hun spijt niet aan de zitting te kunnen deelnemen : Mevr. E. Bruyninx, M. R. Devisch, Mevr. A. Dorsinfang-Smets, M. Engelborghs-Bertels, de HH. A. Huybrechts, J. Klener, E. Lamy, E.P. F. Neyt, de HH. F. Reyntjens, R. Reszohazy, P. Salmon, U. Vermeulen.

„Essai sur la conflictualité en Afrique subsaharienne. Etiologie d'une endémie politique”

Mevr. P. Bouvier stelt een mededeling voor getiteld als hierboven.

De HH. M. Graulich, G. de Villers, J.-J. Symoens en A. Stenmans nemen aan de bespreking deel.

De Klasse beslist deze mededeling in de *Mededelingen der Zittingen* te publiceren (pp. 105-118).

Wedstrijd 2000

De Klasse beslist de eerste vraag van de wedstrijd 2000 te wijden aan de materiële cultuur in de vroege IJzertijd in Luristan, Pusht-i Kuh (West-Iran).

Zij duidt Mevr. F. Nahavandy en M. E. Haerinck aan om deze vraag op te stellen.

De Klasse beslist de tweede vraag van de wedstrijd 2000 te wijden aan de betrouwbaarheid en de wederzijdse verhoudingen van de eerste Europese getuigenissen over het Oude Mexico.

Zij duidt de HH. J. Everaert en M. Graulich aan om deze vraag op te stellen.

Ereteken

Bij koninklijk besluit van 18 september 1997 werd M. F. Reyntjens tot Commandeur in de Orde van Leopold II benoemd.

De zitting wordt om 16 u. 15 geheven.

Séance du 17 février 1998

(Extrait du procès-verbal)

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

Sont en outre présents : Mme P. Boelens-Bouvier, MM. A. Coupeuz, F. de Hen, E. Haerinck, J. Jacobs, J. Ryckmans, A. Stenmans, membres titulaires ; MM. V. Drachoussoff, P. Halen, C. Willemen, membres associés ; et M. J.-J. Symoens, Secrétaire perpétuel honoraire.

Ont fait part de leur regret de ne pouvoir assister à la séance : Mme E. Bruyninx, M. R. Devisch, Mmes A. Dorsinfang-Smets, M. Engelborghs-Bertels, MM. A. Huybrechts, J. Klener, E. Lamy, R.P. F. Neyt, MM. F. Reyntjens, R. Reszohazy, P. Salmon, U. Vermeulen.

Essai sur la conflictualité en Afrique subsaharienne. Étiologie d'une endémie politique

Mme P. Bouvier présente une communication intitulée comme ci-dessus.

MM. M. Graulich, G. de Villers, J.-J. Symoens et A. Stenmans interviennent dans la discussion.

La Classe décide de publier cette étude dans le *Bulletin des Séances* (pp. 105-118).

Concours 2000

La Classe décide de consacrer la première question du concours annuel 2000 à la culture matérielle à l'âge du fer ancien au Luristan, Pusht-i Kuh (Iran occidental).

Mme F. Nahavandy et M. E. Haerinck sont désignés pour la rédaction de cette question.

La Classe décide de consacrer la deuxième question du concours annuel 2000 à la fiabilité et les relations mutuelles des premiers témoignages européens relatifs au Mexique ancien.

MM. J. Everaert et M. Graulich sont désignés pour la rédaction de cette question.

Distinction honorifique

Par arrêté royal du 18 septembre 1997, M. F. Reyntjens a été nommé Commandeur de l'Ordre de Léopold II.

La séance est levée à 16 h 15.

Essai sur la conflictualité en Afrique subsaharienne. Étiologie d'une endémie politique *

par

Paule BOUVIER **

MOTS-CLES. — Conflit ; Diaspora ; Clientélisme ; Emergence ; Etat ; Ethnie ; Gouvernants-gouvernés ; Informel ; Interrelation ; Rétroaction ; Structure ; Totalité.

RESUME. — Les conflits qui s'inscrivent dans la longue durée doivent être saisis, pour en comprendre la logique d'émergence, comme des processus structurels qui, par le jeu de l'enchaînement des interactions qu'ils comportent, mènent au stade des affrontements antagoniques aigus. Compte tenu du socle structurel caractérisant les Etats post-coloniaux en Afrique subsaharienne, les parcours respectifs des gouvernants, des gouvernés, de la diaspora, de la façon dont ils interagissent et rétroagissent les uns envers les autres, constituent le substrat dans lequel s'enracinent les conflits ouverts. Ceux-ci surgissent de la greffe sur cette structure dissonante de plusieurs facteurs qui, sur un temps court, créent le momentum historique engendrant la déflagration violente.

TREFWOORDEN. — Conflict ; Diaspora ; Vriendjespolitiek ; Oorsprong ; Staat ; Etnie ; Regeerder-geregeerden ; Informeel ; Interrelatie ; Retroactie ; Structuur ; Totaliteit.

SAMENVATTING. — *Essay over de conflictualiteit in Afrika ten zuiden van de Sahara. Aetiologie van een politieke endemie.* — Om de oorsprongslogica van de conflicten van lange duur te vatten, moeten zij beschouwd worden als structurele processen die, door de opeenvolging van de interacties die zij met zich brengen, tot het stadium van acute confrontaties van tegenstrijdigheden leiden. Rekening houdend met de structurele sokkel die de postkoloniale Afrikaanse Staten ten zuiden van de Sahara kenmerkt, vormen de respectieve parcours van de regeerders, de geregeerden, de diaspora en de manier waarop zij interageren en de ene t.o.v. de andere retro-ageren, het substraat waarin de open conflicten wortel schieten. Deze ontspringen aan de ent op deze dissonante structuur van verschillende factoren die, op korte tijd, het historisch moment creëert dat de heftige ontploffing veroorzaakt.

KEYWORDS. — Conflict ; Diaspora ; Clientelism ; Emergence ; State ; Ethnic Group ; Governing-Governed ; Informal ; Interrelation ; Retroaction ; Structure ; Globality.

SUMMARY. — *Essay on the Conflictuality in sub-Saharan Africa. Etiology of a Political Endemic.* — Long-term conflicts should be interpreted, in order to understand

* Communication présentée à la séance de la Classe des Sciences morales et politiques tenue le 17 février 1998. Texte reçu le 2 avril 1998.

** Membre de l'Académie ; prof. Faculté des Sciences politiques, sociales et économiques, Université Libre de Bruxelles, av. F. Roosevelt 50, B-1050 Bruxelles (Belgique).

how they emerge, as structural processes which, through a series of interactions, lead to a stage of acute antagonistic confrontations. Considering the characteristic structural basis of post-colonial states in sub-Saharan Africa, the respective behaviours of the governed and the governing, of the diaspora, of the way they interact and retroact one another, form the substratum in which the open conflicts take their roots. Such conflicts arise from the addition to this clashing structure of different factors which, on a short term, produce the historical momentum generating the violent explosion.

1. Introduction

Une réflexion sur ce thème, aujourd'hui au centre de nombreuses analyses et efforts de conceptualisation, exige tout d'abord une clarification sur la portée de son objet même. En effet, la conflictualité est souvent abordée comme telle alors qu'en fait plusieurs types de rapports antagoniques se sont succédé ou ont coexisté dans plusieurs pays du continent africain constituant ainsi autant de cas de figure à différencier (ceci n'ayant d'ailleurs rien d'inhabituel). Partant du constat de Rodolfo Stavenhagen selon lequel chaque conflit est spécifique [1]*, une mise au point préalable s'impose ; s'agit-il de se pencher dans une même perspective uniformisante sur les tentatives de sécession, les coups d'Etat, les soulèvements populaires, les rivalités intercommunautaires, les conflits religieux, les luttes à tendance génocidaire ... ? Qu'il s'agisse de recherches causales ou de la théorie de l'émergence, l'amalgame de ces différents ordres d'affrontement apparaît, tout au moins au stade actuel de l'observation, comme inapproprié. «Comment pourrait-on, en effet, conjuguer sur le même registre purges, passages à tabac, arrestations, transferts de force, incarcérations dans des camps spéciaux, extraditions, peines de mort, châtiments divers, guerres proprement dites, tueries, massacres et autres formes d'affrontements au quotidien ?» s'interroge Achille Mbembe [2].

En fait, l'investigation entreprise ici porte essentiellement sur la problématique de la conflictualité qui s'inscrit dans la durée, c'est-à-dire qui présente une certaine récurrence et qui mobilise tout ou partie de la société civile ou à défaut de la population, la phase la plus aiguë, paroxystique souvent d'un tel cas de figure «hyperbelligène» étant la volonté d'extermination d'un peuple, d'un groupe, d'une communauté. Or c'est justement parce qu'il s'agit d'une situation d'hyperconflictualité qu'elle nécessite un schéma d'explication particulier par rapport aux autres données factuelles plus sectorialisées, plus conjoncturelles ou plus localisées. En outre, il convient dès l'abord de faire observer que la réflexion se situe essentiellement dans le domaine du politique.

* Les chiffres entre crochets [] renvoient aux notes et références pp. 117-118.

2. La genèse des situations hyperconflituelles

Toute une série de modèles : corrélatifs, séquentiels, conjoncturels, rétroactifs, ..., d'approches : narrative, déductive, rationalisante, phénoménologique, dynamique, structuraliste, déconstructionniste, ... a été proposée à cet égard. Cette tendance à la modélisation a prêté à controverse surtout en ce qui a trait à sa valeur prédictive. Certains estiment cependant qu'elle est indispensable pour traiter et structurer l'information [3]. Quoi qu'il en soit, et sans vouloir se référer à telle ou telle école, il apparaît que le questionnement en ce domaine doit s'opérer selon une logique d'émergence, comme un processus, un enchaînement d'interactions [4] d'une part et doit s'inscrire dans l'ordre structurel au sens où l'entend Jean Piaget d'autre part. Cette démarche est d'ailleurs une dans la mesure où, selon Jean Piaget, «... une structure est un système de transformations, qui comportent des lois [des règles dans les théories du chaos] en tant que système (par opposition aux propriétés des éléments) et qui se conserve ou s'enrichit, par le jeu même de ses transformations ... En un mot, une structure comprend ainsi les trois caractères de totalité, de transformations et d'autorégulation ... Une structure est certes formée d'éléments, mais ceux-ci sont subordonnés à des lois caractérisant le système comme tel ; et ces lois dites de composition ne se réduisent pas à des associations cumulatives, mais confèrent au tout en tant que tel des propriétés d'ensemble distinctes de celles des éléments ... le propre des totalités ... [est] cette constante dualité ou plus précisément bipolarité de propriétés d'être toujours et simultanément structurantes et structurées ... Le troisième caractère fondamental des structures est de se régler elles-mêmes, cet autorégulation entraînant leur conservation et une certaine fermeture ... Rythmes, régulations et opérations, telles sont donc les trois procédures essentielles de l'autorégulation ou de l'autoconservation des structures ...» [5]. Les mécanismes d'interaction, de sélection, de réplication expliquent ainsi ce que Jacques Austruy appelle la «prégnance des structures», c'est-à-dire le fait qu'elles aient tendance à se perpétuer à l'identique, à se reformer, lorsqu'elles sont modifiées selon la même organisation caractéristique [6]. Le phénomène à expliquer est donc la déstabilisation de ce socle structurel, les mutations ou transmutations qui se produisent à l'intérieur du système et au sein de sa morphologie transcendante, freinant ou favorisant dès lors l'émergence de nouvelles structures. Quel est ce substrat structurel dans lequel s'inscrit la conflictualité ?

2.1. LES COMPOSANTES DES STRUCTURES POLITIQUES POST-COLONIALES

Schématiquement, les structures politiques qui ont émergé et se sont consolidées dans les Etats africains au lendemain des indépendances sont, à quelques exceptions près (Botswana, île Maurice), de type autocratique. Ces régimes, qualifiés par Bernard Asso [7] de «monarchies présidentielistes» se

caractérisent avec des intensités variables (car il convient d'éviter les généralisations hâtives et les amalgames abusifs) par les phénomènes suivants :

a) Un «espace» politique (c'est-à-dire un champ à couvrir par l'appareil d'Etat) démesuré : intégration nationale, stratégie de développement, redéfinition identitaire au plan socio-culturel (négritude, authenticité, ...), consolidation et africanisation du dispositif institutionnel, etc. Il faut insister à ce sujet sur le fait que, si les grands Etats (Nigeria, R.D.C.) paraissent démultiplier en raison de l'effet de taille les aires à couvrir, les petits Etats souvent ne sont pas en reste. De par leurs lois de composition spécifiques, ils sont susceptibles d'arriver à des résultats parallèles, cette fois non par la diversification des régions, la multiplication des acteurs, mais par l'imbrication de facteurs sectoriels tels l'enclavement, la densité de population, les effets de proximité, les disponibilités foncières, ...

b) L'érosion graduelle des sphères de pouvoir effectivement assumées en tant qu'effet pervers de la situation évoquée au point précédent à la fois en contradiction avec celle-ci et en décollant néanmoins ; ce rétrécissement des zones d'autorité couvertes se constate :

- Sectoriellement : développement de l'informel, de la fraude, de la contrebande, et création de circuits spécifiques échappant à l'emprise de l'Etat ;
- Géographiquement : dominance de la capitale, centrage régional en fonction des origines du chef de l'Etat et/ou de son entourage, marginalisation des zones excentrées ou d'opposition réelle ou potentielle, autonomisation des confins frontaliers ;
- Socialement : constitution de «cours» présidentielles, développement d'une bourgeoisie para-politique, établissement de filières clientélistes, les autres strates de la population étant pratiquement exclues de ces zones effectives d'autorité, d'autant plus qu'elles développent fréquemment dans ce cas des formes d'auto-organisation parfois efficaces : «Révoltes, refus de certaines cultures ou sous-productivité, grèves, abstentionnisme électoral, migrations, recours à la sacralité pouvant aller jusqu'à la création de véritables communautés théocratiques hors de l'Etat, contrebande, bourgeoinement d'un secteur économique informel, circulation intensive d'une information non contrôlée par les médias officiels, disqualification du pouvoir par un humour corrosif ou par référence à une transcendance religieuse, messianique ou révolutionnaire, participation conflictuelle aux appareils de contrôle politique : la liste est longue des pratiques populaires qui limitent et relativisent le champ étatique, assurant ainsi une certaine revanche à la société sur celui-ci et contribuant à sa faillite économique» [8].

c) La dualisation des structures d'autorité ; les institutions formelles finissent par se réduire à un décor de façade ou de carton-pâte comme le note Jean-François Bayart [9], les vrais centres de décision, les réels détenteurs de

l'autorité se situant ailleurs. Il se produit ainsi un effet de duplication : conseillers, parents, clients, milices, informateurs, délateurs sont les acteurs de ce que Jean-François Bayart encore évoque en ces termes : «Le dédoublement des systèmes sociaux africains entre 'un pays légal' ... et le 'pays réel' se manifeste dans les cas extrêmes par l'existence d'une structure occulte et collégiale de pouvoir. Celle-ci entoure, voire contrôle le détenteur officiel de la magistrature suprême. Pour défendre ses intérêts, elle recourt impunément à la violence par l'intermédiaire de l'appareil policier ou par le biais d'organisations paramilitaires et des milieux de la délinquance» [10].

2.2. LES COMPORTEMENTS DES PRINCIPAUX GROUPES D'ACTEURS : LES GOUVERNANTS, LES GOUVERNES, LES «NON-GOUVERNES»

2.2.1. *Les gouvernants*

Dans le milieu des gouvernants et groupes alliés, se produit une sorte de spirale délétère dont les effets ne se manifestent pas à court terme mais plutôt à moyen ou à long terme. La frustration, dans le chef des détenteurs du pouvoir, née du constat effectif ou diffus que le pouvoir leur échappe, entraîne par réaction compensatoire l'intensification de l'autoritarisme narcissique. En conséquence, le coût de la gestion étatique augmente à due proportion (appareils de surveillance, de renseignements ; gardes ou milices présidentielles ; filières clientélistes ; mécanismes de prédation ; cérémonies, manifestations ostentatoires, ...) aggravant l'appauvrissement de larges pans de la population, accentuant les clivages, isolant de plus en plus les instances politiques de leurs bases populaires. Au terme de cet enchaînement, avec les effets de rétroaction qu'il comporte, la dégénérescence du système en place devient inéluctable, d'autant plus que «... l'enjeu principal de la vie politique, celui de l'accumulation ...» [11] s'inscrivant dans une logique concussionnaire, est de plus en plus difficile à concrétiser étant donné la banqueroute de l'Etat.

Il faut toutefois remarquer que pendant un temps la configuration reste ou apparaît stable. Cette invariance est le résultat de l'autoréplication des comportements des acteurs de strate en strate de la pyramide politico-administrative. La chaîne de corruption et de prédation se dévide ainsi du sommet à la base par simple reproduction mimétique. Il en est de même *ipso facto* des règles et des procédures qui servent de texture uniformisante. Celles-ci sont d'autant plus contraignantes qu'elles se veulent ou se doivent d'être le calque de celles mises en œuvre par l'autorité suprême. Pendant un temps s'observe ainsi la prégnance des structures évoquée plus haut, sous-tendue entre autres par l'image projetée (construite et mystifiante) du chef de l'Etat. «Ainsi, constate Elikia M'Bokolo, l'Etat autoritaire parut destiné à consolider les positions et les privilèges des nouvelles bourgeoisies africaines, derrière la façade de la stabilité politique» [12].

Cette stabilité n'est qu'apparente. En effet, le processus de reproduction des normes comportementales et institutionnelles n'étant jamais parfait, le système subit progressivement un phénomène d'usure, de corrosion qui, par un nouvel effet de boomerang, finit par en saper les fondements. Le prix à payer, en termes humains et matériels pour essayer de maintenir le système en place, s'alourdit au point d'entraîner le dépérissement de l'économie et l'épuisement des ressources qu'elle génère, le dévoiement des cadres ou leur mise à l'écart comme souligné ci-avant.

La machinerie étatique formelle et informelle se rigidifie alors au point de casser les articulations qui avaient permis précédemment au système de fonctionner. Par réflexe d'autoprotection, les couches horizontales du pouvoir tendent à se refermer sur elles-mêmes et par sursaut d'égoïsme à s'autonomiser les unes par rapport aux autres. Par ailleurs, les relations clientélistes, structures verticales par essence, engendrent au sein même des rapports d'autorité (du fait du fractionnement des fidélités) un découpage pyramidal des systèmes d'allégeance qui mine toute autre forme de solidarité. Un tel agencement socio-politique où se trouvent croisées les structures fractales et les filières verticales engendre la dilution de la connectivité entre acteurs. Semblable configuration entraîne, par voie de conséquence, une quasi totale opacité du système (sauf pour quelques initiés sans doute, encore que cela ne soit par certain) et son blocage fonctionnel.

Tout d'abord, ceci résulte de la volonté des acteurs eux-mêmes au sein des cellules gouvernantes de préserver leur parcelle d'autorité, de garder, tout au moins pour certains d'entre eux, leur relatif anonymat, de sauvegarder leurs réseaux relationnels. En second lieu, cette opacité est la conséquence de ce que le non-dit, l'informel, la contrebande, ... occultent de façon systématique la trame des interrelations significatives au plan politique. «... l'Afrique réelle n'est pas toujours là où on la croit présente» souligne à ce sujet Jean-François Bayart et génère dès lors ce qu'il appelle une «illusion d'optique» [13]. Ce flux permanent d'actions et de rétroactions suscite un processus de dégénérescence du substrat structurel. Devenant en effet simultanément indéchiffrable et fortement éclaté voire atomisé, il devient par ces faits mêmes ingérable. Un tel processus est également dû à l'évolution qui se produit dans le chef des gouvernés.

2.2.2. *Les gouvernés*

Si, comme évoqué plus haut, la mouvance aboutit au sein du groupe des gouvernants à l'entrecroisement entre, d'une part, une structure fractale superposant dans un ordre hiérarchique ses diverses strates constitutives et, d'autre part, une segmentation verticale de type pyramidal provoquée par les liens clientélistes, le morcellement s'opère aussi parmi l'ensemble des gouvernés.

Les comportements vont désormais se déterminer par des liens de proximité géographique, professionnelle, socio-familiale, politique, religieuse, ... sans

articulation entre eux, ce processus de «typologisation», de compartimentage empêchant l'émergence de la société civile, d'autant plus qu'il rompt avec l'approche globalisante propre «... aux phénomènes sociaux totaux que sont les organisations traditionnelles et que Marcel Mauss définissait ainsi : 'Dans ces phénomènes sociaux totaux ... s'expriment tout à la fois et d'un coup toutes sortes d'institutions : religieuses, juridiques et morales — et celles-ci politiques et familiales en même temps ; économiques — et celles-ci supposent des formes particulières de la production et de la consommation, ou plutôt de la prestation et de la distribution ; sans compter les phénomènes esthétiques auxquels aboutissent ces faits et les phénomènes morphologiques que manifestent ces institutions'» [14]. L'implosion n'en sera que plus traumatisante.

Pour n'envisager que les situations extrêmes, les clivages s'approfondissent entre les franges de la population caractérisées par le phénomène d'exclusion et celles qui restent englobées dans l'aire d'exercice de l'autorité publique. Cette situation n'est cependant pas clichée une fois pour toutes, exclusion-inclusion pouvant varier dans le temps et selon les circonstances : «Tous les Africains, fait observer Jean-François Bayart, selon les contextes, tantôt participent à la dimension étatique, tantôt s'en détournent. Ils avancent de façon 'oblique', à 'pas de caméléon' dit joliment un jeune Malien» [15].

Or, compte tenu de l'insécurité croissante au plan physique (répression, violences, délinquance), social (démantèlement des organisations socioculturelles traditionnelles, inégalités se creusant, tensions s'envenimant), matériel (déperissement de l'économie, montée de la misère), les paysans et les citoyens pauvres sont obligés de mobiliser toutes leurs énergies pour assurer leur survie. Les univers sociologiques se réduisent dès lors à ces relations de proximité évoquées plus haut et considérées à tort ou à raison comme utiles et/ou sécurisantes. L'enfermement dans un exclusivisme de plus en plus marqué devient ainsi la norme sociologique pulvérisant le tissu citoyen en une multitude de micro-communautés cloîtrées sur elles-mêmes.

Car celles-ci agissent souvent à la frontière ou carrément à l'encontre de la légalité. S'investissant dans le secteur informel, la contrebande, les systèmes maffieux, elles tentent par là non seulement de pourvoir à leur ordinaire, mais aussi de contourner, de se dérober à l'autorité étatique, voire de s'en prémunir. Il s'agit effectivement pour elles d'éviter d'être dépossédées du produit de leurs activités par les agents publics agissant selon ou en dehors des règles juridiques en usage. Ce qui les conduit parfois à rechercher cette protection via les rapports de clientèle, ce qui les réinsère à un stade ou à un autre dans la sphère de l'autorité étatique. Jeff Haynes fait remarquer au sujet du clientélisme dans le Tiers-Monde que : «Clientelism comes into its own when kinship arrangements can no longer sustain the necessities of life. As a result, individuals ('clients') must step outside the existing system of kinship relations and arrange relations with other patrons instead» [16].

Se retrouve une fois encore en ce domaine la dynamique action-rétroaction impliquant que le structurant et le structuré interagissent. Le clientélisme

s'implante et se nourrit de la dégénérescence des organisations socio-familiales et en même temps accentue l'affaiblissement de ces dernières. Il est un remède à la précarité de l'existence mais il contribue à la ruine des ressources publiques. Il sécurise de part et d'autre les parties prenantes mais il fragilise l'édifice social en le déchaquetant.

En ce qui a trait aux fragments de la population qui entendent se maintenir dans l'orbite du pouvoir, leurs liens avec celui-ci prend le plus souvent, comme il vient d'être mentionné, la forme de relations patron-client ou de rapports d'allégeance de type mercenaire. Cette connexion envers l'Etat ne crée pas pour autant des filiations à base solidaire. Au contraire, les contacts ainsi noués entre les gouvernés et les représentants de l'Etat à un niveau intermédiaire étant de nature purement mercantile comme déjà souligné, l'environnement sociopolitique devient hautement concurrentiel. Une nouvelle source de fractionnement se crée ainsi qui intensifie la méfiance réciproque. A ce sujet même, nous signalions déjà il y a quelques années que : «Tout d'abord en anesthésiant les forces virtuelles d'opposition, elles [les pratiques clientélistes] créent une apparente légitimité du pouvoir en place. De plus, en court-circuitant les velléités d'organisations horizontales à base solidariste, elles lacèrent le tissu sociopolitique et empêchent l'émergence d'organisations dépassant les appartenances micro-sociétales» [17].

Cette dégénérescence de la substance citoyenne, loin de conduire rapidement à l'éclatement du système, permet d'entretenir l'illusion d'optique que se maintiennent pendant un temps plus ou moins long comme dans le cas des gouvernants, les modes de régulation sociologique qui en dérivent, s'adaptant et se métamorphosant suivant cette nouvelle donne.

La dilution des systèmes de référence identitaire suscitant l'imprévisibilité des comportements sociaux, chacun réagit désormais non plus en fonction des codes (*lato sensu*), des systèmes de valeurs auparavant en usage, mais en fonction d'intérêts immédiats, individualisés, consuméristes. Cependant, les normes traditionnelles n'ont pas totalement disparu pour autant, de telle manière que selon les circonstances, les interlocuteurs, des alternatives existent quant à la conduite à adopter ; dans tel cas, la balance penchera du côté de la tradition, dans tel autre du côté de la modernité. Mais tradition et modernité seront elles-mêmes souvent dévoyées par rapport à leur finalité fonctionnelle ou éthique initiale, car réinterprétées l'une vis-à-vis de l'autre et façonnées en concordance avec la conjoncture. Georges Balandier constatait déjà à la fin de la décennie 1960-70 : «Dans les sociétés en voie de développement économique et de modernisation, où les transformations se succèdent en chaîne, les retours à une tradition dégradée ou reconstruite sont à cet égard révélateurs. Elle fournit le 'langage' permettant de donner un sens à la nouveauté ou de formuler les réactions que celle-ci suscite» [18]. Quelques années plus tard, Maria Isaura Pereira de Queiroz complétait l'idée en soulignant que «... ni le traditionnel, ni le moderne n'existent en soi : il font

partie d'un phénomène social total à l'intérieur duquel ils doivent être captés et définis. D'autre part, ils ne sont pas opposés, mais complémentaires et ils s'impliquent mutuellement» [19]. Ce dualisme intégré qui modifie en permanence le paysage sociologique a pour conséquence de le rendre hautement volatil et pratiquement indéchiffrable. Or c'est justement cette absence de visibilité qui permet la perpétuation du système. Car la dérégulation n'est pas brutale et donc pas immédiatement perceptible. En effet, les acteurs réagissent de façon asynchrone, selon des rythmes différents, dans des sphères d'activité distinctes, avec des intensités variables, ce qui complexifie les modes de régulation sociologique.

Mais le laps de temps durant lequel cette prolifération de réponses possibles aux incitations de l'environnement se produit a un terme. Les éventails se referment alors en clichant, voire caricaturant les modernistes d'une part, les traditionalistes d'autre part. «Dans une situation de changement généralisé, souligne Georges Balandier, où de larges secteurs sont remis en question, la coupure s'accroît entre les organisateurs de l'avenir (qui ont de la société une vue prospective) et les gestionnaires du passé (qui entretiennent une vision rétrospective)» [20]. Les extrémismes nationalistes ou fondamentalistes s'alimentent souvent à ce clivage et l'étaillent dans le même temps. A cette phase de l'évolution, le décodage redevenant possible, la situation prend un tour fortement antagonique.

Malgré les niveaux de pauvreté et l'exiguïté des ressources dont dispose la population au quotidien, la cassure qui se produit au plan microsociologique n'est pas compensée par un certain rééquilibrage entre collectivités de base. Au contraire, en raison du haut degré de compétitivité soit ou simultanément pour la terre, les prébendes, les emplois publics, ..., la méfiance réciproque, l'agressivité ouverte, contenue ou latente, deviennent la norme, ce qui par effet de rétroaction, une fois de plus, accentue la fragmentation de la société. C'est Jean-François Bayart encore, qui note à ce propos : «... les sociétés africaines taraudent l'Etat 'en creux', plutôt que sous la forme d'une alternative constituée, quitte à le submerger périodiquement en des explosions de violence ... De tels soulèvements n'ont jamais débouché sur une redistribution générale des cartes ... En d'autres termes, aucun de ceux-ci [les groupes sociaux subordonnés] n'est jusqu'à présent parvenu à prendre la direction et à canaliser la revanche de la société en tant que 'vecteur principal'; les mécanismes d'émiettement et de dissociation l'ont emporté» [21].

2.2.3. *La dislocation du rapport gouvernant-gouverné*

Au moment où les gouvernants accèdent au pouvoir, par une voie ou une autre, ils disposent toujours d'un certain capital politique, qu'il s'agisse de la force, de la popularité (comme dans le chef des «pères fondateurs» par exemple), de la légitimité électorale, de la promesse d'un renouveau, ... Ceci leur permet pendant un temps d'assurer le contact direct, médiatisé ou indirect

avec les gouvernés. Mais la façon dont ils géreront ensuite ce capital conditionnera la consolidation ou la dislocation de ce rapport. Or, dans les situations conflictuelles, l'évolution tend généralement vers la seconde éventualité.

Etant donné que parmi le groupe des détenteurs du pouvoir, la connectivité entre acteurs se délite (voir ci-avant) et que la société citoyenne implose en micro-groupes concurrentiels, la préhension par l'Etat de la chose publique devient de plus en plus difficile. Et ce d'autant plus que certains demeurent en tout ou en partie, de façon permanente ou provisoire, dans l'orbite de l'autorité gouvernante, que d'autres tentent de s'y soustraire de manière totale ou fragmentaire et que participation, ostracisme, fuite, rétractation varient dans le temps au sein des mêmes groupes sociaux. «Faut-il s'étonner, se demande Jacques Giri, que dans ces conditions [celles prévalant au lendemain de leurs indépendances] l'Etat africain, tout en souhaitant être le moteur et l'agent principal du développement, se soit retrouvé sans prise réelle sur la société, comme suspendu entre ciel et terre ? Faut-il s'étonner que les ruraux aient pratiqué envers les nouveaux pouvoirs la stratégie de la dérobade et du repli sur soi qui leur avait réussi au temps de la domination coloniale et qu'ils ont sortie des greniers dès lors que la politique des nouveaux gouvernements ne leur était pas favorable ? Faut-il s'étonner que l'Etat se soit finalement contenté de l'apparence du développement et que les hommes politiques se soient laissés aller peut-être plus facilement qu'ailleurs à gouverner dans l'intérêt d'une petite minorité ?» [22].

La rupture de l'articulation n'est cependant pas immédiate, en raison des messages que diffuse l'Etat et qui favorisent provisoirement la prégnance des structures. Le discours des tenants de l'autorité mettant constamment en exergue leur souci du «peuple», agitant quasiment en permanence la menace d'un ennemi intérieur ou extérieur, mythique ou réel, a pour but de neutraliser ou en tout cas de camoufler le fractionnement des strates gouvernantes et la pulvérisation de l'univers sociologique. L'exaltation identitaire à quelque niveau que ce soit (national, gommant voire niant les différences, ou infranational, célébrant un groupe particulier au sein de la population) tient lieu d'idéologie, camouflant le vide ou l'inexistence de celle-ci. Le chef de l'Etat devient rapidement prisonnier de cette escalade mystifiante même si, par ailleurs, il se veut l'incarnation emblématique, sacralisée, révérée, d'une nation pourtant de plus en plus évanescence. Dans cet ordre d'idées, ce que certains ont appelé le «nominalisme ethnique» est également utilisé par le pouvoir pour tenter de conserver un certain potentiel d'adhésion, combler la vacuité de la pensée politique, et détourner l'attention des retombées de l'échec économique. Pour M.O. Heisler, le nominalisme ethnique correspond à la tendance des majorités culturellement dominantes à étiqueter, geler, stéréotyper les identités ; commençant comme une facilité rhétorique, comme une généralisation ponctuelle mais réductrice, elle verse rapidement dans la

réification et porte dès lors à conséquence [23]. G. Nicolas fait observer à propos du fait ethnique que : « Dans cette occurrence [l'échec de l'Etat moderne], de nombreux dirigeants, affrontés à de multiples conflits intérieurs et à des oppositions de plus en plus vigoureuses, ont redécouvert les mérites de certaines structures traditionnelles et se sont efforcés de greffer une autorité devenue fragile sur cette souche encore solide. L'Afrique des ethnies reprend vie ... La nature de l'ethnie est davantage du domaine du symbole, du modèle, que de l'organisation concrète : elle est emblème, étendard, slogan, pôle de référence, insigne d'union, cri de ralliement, de révolte, d'appel aux armes. Elle permet de donner une figure au champ de forces au sein duquel s'inscrit l'Africain moderne » [24].

La discordance qui se manifeste ainsi de plus en plus nettement entre la perception qu'a l'homme modeste de son environnement politique compte tenu de son vécu quotidien, d'une part, et du langage démagogique et métaphorique du pouvoir, d'autre part, engendre un comportement cyclothymique qui explique l'alternance de périodes de tensions aiguës, voire violentes, avec des phases marquées par une quasi-anomie. Cette évolution cyclique où le conflit resurgit selon des fréquences et des intensités variables sert à justifier la militarisation de l'Etat ou l'accroissement de celle-ci, voire le terrorisme d'Etat. Les actions punitives visant surtout les parties plus ou moins dissidentes de la population accentuent encore le clivage inclus-exclus et dissimulent l'anarchie rampante sous une apparente volonté d'ordre. Le carcan oppressif imposé par l'Etat empêche ainsi qu'émerge une opposition organisée, que se constitue une force révolutionnaire.

Et ce, d'autant plus que dans cette situation extrêmement fluctuante, opaque, dérégulée, de nouveaux acteurs apparaissent, qui essayent de reterritorialiser certains espaces de pouvoir alors que d'autres protagonistes entrent dans l'ombre, que certains domaines tombent en déshérence.

L'image que les observateurs extérieurs projettent de la situation ajoute un élément supplémentaire à cette situation de turbulence. Selon qu'ils se trouvent sur le terrain en période froide ou en période chaude, ils en repèruteront une vision ou sécurisante ou alarmante. Mais l'interprétation de la violence au moment où elle surgit se fera en termes d'explosion, de déflagration, gommant ainsi les tendances lourdes.

2.2.4. Les non-gouvernés

Mais une autre composante de la plupart des systèmes d'hyperconflictualité est à prendre en considération. Il s'agit des diaspora que ceux-ci génèrent et qui interfèrent sur leur évolution, c'est-à-dire non pas les réfugiés qui fuient des zones de combat ou de grande insécurité, espérant pouvoir rentrer chez eux dès l'apaisement engrangé, mais ceux qui sont contraints à un exil prolongé du fait de leur opposition au gouvernement du pays dont ils sont issus et/ou du refus de celui-ci de les réintégrer.

La diaspora constitue ainsi un acteur extérieur, certes, mais cependant très impliqué dont l'importance se mesure aux appuis qu'elle reçoit du fait de sa marginalité et/ou de ses options politiques par rapport aux gouvernants de son pays d'origine. Elle constitue par là un facteur de déstabilisation de ceux-ci pouvant aller jusqu'à l'effondrement du système politique qu'elle défie.

Son influence résulte de ce que justement elle échappe à l'emprise du gouvernement qu'elle brave et constitue dès lors pour ce dernier un élément d'imprévisibilité venant s'ajouter à ceux qui ont déjà été mentionnés. Que la menace qu'elle représente soit minimisée ou exagérée aux yeux de l'opinion interne, elle force les gouvernements concernés à adopter des mesures défensives s'ajoutant au processus répressif interne et grevant davantage les finances de l'Etat, sans pour autant améliorer sa capacité de contrôle.

La diaspora, de son côté, jouissant d'une liberté de manœuvre inaccessible aux populations demeurées sur place, fait preuve souvent d'un dynamisme, d'une combativité capable de relayer, de compenser, de surmonter la fatigue, la démobilisation, le dépérissement de celles-ci. Contrairement à ces dernières, de par les appuis qu'ils arrivent à se procurer de sources diverses, les exilés aiguillonnés par la vindicte des gouvernements auxquels ils s'opposent, arrivent à renforcer leur faculté d'action. Et ils ont tendance à le faire d'autant plus qu'eux non plus ne sont pas à même de mesurer correctement les capacités offensives et défensives des forces qu'ils ont à affronter.

Le facteur géographique interfère également en ce domaine. Selon que la diaspora agit dans le voisinage de son pays d'origine rendant les infiltrations (pour employer une expression chère au monde journalistique) de combattants, de matériel, ... possibles et permettant de recueillir des informations ou au contraire dans des territoires éloignés, la pression qu'elle est susceptible d'exercer sera aiguïlée ou minimisée.

En tout état de cause, le défaut de lisibilité de part et d'autre constitue en lui-même un facteur additionnel de conflictualité, favorisant les affabulations, les outrances, les mystifications et alimentant ainsi la spirale «belligène».

3. Le détonateur des conflits ouverts

Une situation à haut degré de conflictualité ne signifie pas pour autant que le conflit éclatera, s'approfondira ou encore embrasera la société tout entière, l'entraînant dans l'engrenage de la violence extrême.

Un tel scénario est sans doute le résultat du phénomène d'usure qui se constate et qui a été évoqué sur lequel se greffe la convergence en un temps court de plusieurs facteurs qui crée le momentum historique propice à la déflagration violente. Cette conjoncture particulière témoigne de l'incapacité du système à s'adapter au changement, à se restructurer en fonction d'un

nouvel environnement en raison même de la rigidité qu'il a acquise et de la façon dont il s'est déréglé.

Il faut noter qu'un tel contexte entrave et altère les facultés de prévision. Selon les théories de l'émergence qu'analyse Michel Theys, il apparaît que des perturbations mineures peuvent entraîner des bifurcations brutales par phénomène d'auto-amplification tandis que des modifications importantes peuvent être absorbées sans conséquence grave. Les environnements fortement antagoniques, étant marqués par une hypersensibilité des acteurs en présence et par une émotivité exacerbée du fait du danger pressenti en même temps que de la mobilisation effectuée, deviennent extrêmement aléatoires. Ils sont de nature à provoquer des prises de conscience salutaires ou le dépérissement incurable. En Afrique du Sud, lors de la succession de F. de Klerk à P. Botha, l'homme arrivé à la magistrature suprême étant le profil même du personnage appartenant au sérail du Parti National et des tenants de l'apartheid, tout portait à croire qu'il demeurerait dans la ligne tracée par son prédécesseur. Il n'en fut rien. Au Rwanda, les accords d'Arusha permettaient d'espérer que l'on fût entré dans une logique de paix. C'est l'inverse qui se produisit. Au Burundi, le déroulement jugé exemplaire du scrutin de 1993 semblait augurer d'une ère de stabilisation du système politique. L'assassinat du Président Melchior Ndadaye changea la donne.

La prospective paraît donc devoir s'inscrire dans des scénarios alternatifs laissant la porte ouverte à l'élément fortuit.

Il n'en demeure pas moins que la rencontre entre la mise en condition procédant d'un temps long et les éléments nouveaux apparaissant dans le temps court : nouveaux acteurs, nouvelles règles, nouvelles interactions nécessitant des transformations profondes mais se heurtant au caractère inébranlable du système, doit mener inexorablement à la conflagration.

Un tel entrecroisement conjoncturel peut comprendre, comme il vient d'être observé, des composants divers d'ordre événementiel, institutionnel, humain, interne-externe, ... Ce qui importe, c'est l'unité de temps durant laquelle s'effectue cette mise en relation qui éclaire brutalement la nature des enjeux. Mais le défi dépasse les capacités de réaction d'un système depuis trop longtemps englué dans ses attitudes, ses comportements nés de sa propre dérégulation. L'avènement d'une nouvelle structure s'avérant impossible, le point de non-retour est alors atteint et l'explosion devient inévitable.

NOTES ET REFERENCES

- [1] STAVENHAGEN, R. Reflections on some theories of Ethnic Conflict. — *In* : Early Warning of Communal Conflicts and Humanitarian Crises, *The Journal of Ethno.-Development* (Special issue, July 1994), 4 (1) : 15.
- [2] MBEMBE, A. Pouvoir, violence et accumulation. — *In* : BAYART, J.-F., MBEMBE, A.

- & TOULABOR, C., Le politique par le bas en Afrique Noire - Contributions à une problématique de la démocratie, Karthala, Paris, 1992, p. 248.
- [3] Early Warning of Communal Conflicts and Humanitarian Crisis, *op. cit.*, pp. 3 et ss.
- [4] THEYS, M. Out of control, 19 juin 1997, Bruxelles, Ronéotypé.
- [5] PIAGET, J. Le structuralisme, *Collection Que sais-je ?*, Presses Universitaires de France, 10^e éd., 1992, pp. 6-16.
- [6] AUSTRUY, J. Le scandale du développement, bilans de la connaissance économique, Ed. Marcel Rivière et Cie, Paris, 1965, pp. 100-103.
- [7] ASSO, B. Le chef d'Etat africain, l'expérience des Etats africains de succession française, Ed. Albatros, Paris, 1976, p. 150.
- [8] BAYART, J.-F. Les jalons d'une méthode. — In : BAYART, J.-F., MBEMBE, A. & TOULABOR, C., Le politique par le bas en Afrique Noire, *op. cit.*, pp. 74-75.
- [9] BAYART, J.-F. L'Afrique invisible, Communication à la conférence : «Beyond Lomé IV - Rethinking the EU's relations with the ACP countries», Résumé, A conference organised by Forum Europe on behalf of the European Commission's Directorate-General for Development, Brussels 25 & 26 January 1996.
- [10] *Id. ibid.*
- [11] BAYART, J.-F. Les jalons d'une méthode, *op. cit.*, p. 103.
- [12] M'BOKOLO, E. L'Afrique au XX^e siècle - Le continent convoité, Histoire, Editions du Seuil, Paris, 1985, p. 337.
- [13] BAYART, J.-F. L'Afrique invisible, *op. cit.*
- [14] MAUSS, M. Essai sur le don - Forme et raison de l'échange dans les sociétés archaïques. — In : Sociologie et Anthropologie, Quadriga, Presses Universitaires de France, Paris, 1950, p. 147.
- [15] BAYART, J.-F. L'Afrique invisible, *op. cit.*, l'auteur emprunte la métaphore à l'ouvrage de R. Deniel, Voix des jeunes dans la ville africaine, INADES, Abidjan, 1979, p. 69.
- [16] HAYNES, J. Third World Politics - A Concise Introduction, B, Blackwell, Oxford, Cambridge/UK - Massachusetts/USA, 1996, p. 30.
- [17] BOUVIER, P. Aux sources du pouvoir africain. — In : *Bull. Séanc. Acad. r. Sci. Outre-Mer*, N.S., 37 (1991-4) : 536-537.
- [18] BALANDIER, G. Tradition et continuité. — In : *Cahiers internationaux de sociologie*, Vol. XLIV, Cahier double, Nouvelle série, 15^e année, janvier-juin 1968, p. 10.
- [19] PEREIRA DE QUEIROZ, M. I. La sociologie du développement et la pensée de Georges Gurvitch. — In : *Cahiers internationaux de sociologie*, Vol. II, Nouvelle série, 18^e année, juillet-décembre 1971, pp. 213-236.
- [20] BALANDIER, G. *op. cit.*, p. 10.
- [21] BAYART, J.-F. Les jalons d'une méthode, *op. cit.*, pp. 93-94.
- [22] GIRI, J. L'Afrique en panne - Vingt-cinq ans de «développement», Karthala, Paris, 1986, pp. 190-191.
- [23] HEISLER, M. O. Some Norminative Caveats in the Pursuit of the Rights of Ethnic Minorities. — In : Early Warning of Communal Conflicts and Humanitarian Crises, *op. cit.*, p. 79.
- [24] NICOLAS, G. Les structures ethniques et l'Etat. — In : *Revue française de Sciences politiques*, oct. 1972, 22 (5) : 1019-1025.

Zitting van 17 maart 1998

Séance du 17 mars 1998

Zitting van 17 maart 1998

(Uittreksel van de notulen)

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

Zijn bovendien aanwezig : de HH. A. Coupeuz, F. de Hen, P. de Maret, R. Devisch, E. Haerinck, J. Jacobs, P. Salmon, A. Stenmans, werkende leden ; Mevr. E. Bruyninx, M. P. Raymaekers, Mevr. B. Vanhoudt, M. U. Vermeulen, geassocieerde leden.

Betuigden hun spijt niet aan de zitting te kunnen deelnemen : de HH. P. Collard, F. De Boeck, Mevr. A. Dorsinfang-Smets en M. Engelborghs-Bertels, de HH. J. Everaert, A. Huybrechts, J. Klener, E. Lamy, E.P. F. Neyt, de HH. P. Petit, S. Plasschaert, F. Reyntjens, F. Van Noten, E. Vandewoude, J.-L. Vellut, C. Willemen, en M. J.-J. Symoens, Erevast Secretaris.

Lofrede van M. Albert Gérard

M. P. Salmon spreekt de lofrede van M. A. Gérard uit.

De Klasse neemt enkele ogenblikken stilte waar ter nagedachtenis van de overleden Confrater.

De tekst van deze lofrede zal in het *Jaarboek* 1998 verschijnen.

„Préhistoire et protohistoire du Haut-Comoé”

M. P. Raymaekers stelt een mededeling voor getiteld als hierboven.

M. P. de Maret neemt aan de bespreking deel.

De Klasse beslist deze mededeling in de *Mededelingen der Zittingen* te publiceren (pp. 125-144).

Wedstrijd 2000

De Klasse legt de teksten van de eerste en de tweede vraag voor de wedstrijd 2000 als volgt vast :

Eerste vraag : Er wordt een studie gevraagd over de materiële cultuur in de vroege IJzertijd in Luristan, Pusht-i Kuh (West-Iran).

Tweede vraag : Er wordt een kritische studie gevraagd over de vroegste Europese verslagen over het Oude Mexico.

Séance du 17 mars 1998

(Extrait du procès-verbal)

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

Sont en outre présents : MM. A. Coupez, F. de Hen, P. de Maret, R. Devisch, E. Haerinck, J. Jacobs, P. Salmon, A. Stenmans, membres titulaires ; Mme E. Bruyninx, M. P. Raymaekers, Mme B. Vanhoudt, M. U. Vermeulen, membres associés.

Ont fait part de leur regret de ne pouvoir assister à la séance : MM. P. Collard, F. De Boeck, Mmes A. Dorsin角度-Smets et M. Engelborghs-Bertels, MM. J. Everaert, A. Huybrechts, J. Klener, E. Lamy, R.P. F. Neyt, MM. P. Petit, S. Plasschaert, F. Reyntjens, F. Van Noten, E. Vandewoude, J.-L. Vellut, C. Willemen, et M. J.-J. Symoens, Secrétaire perpétuel honoraire.

Eloge de M. Albert Gérard

M. P. Salmon prononce l'éloge de M. A. Gérard.

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

Le texte de cet éloge paraîtra dans l'*Annuaire* 1998.

Préhistoire et protohistoire du Haut-Comoé

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

M. P. de Maret intervient dans la discussion.

La Classe décide de publier cette étude dans le *Bulletin des Séances* (pp. 125-144).

Concours 2000

La Classe établit comme suit le texte des première et deuxième questions du concours 2000 :

Première question : On demande une étude sur la culture matérielle à l'âge du fer ancien au Luristan, Pusht-i Kuh (Iran occidental).

Deuxième question : on demande une étude critique des premières relations européennes relatives au Mexique ancien.

Denkgroep „Congo”

De subgroep „Documentatie : inventariseren en archiveren” van de denkgroep „Congo” vergaderde op woensdag 18 februari jl. De groep vraagt de leden van de drie Klassen een overzicht te geven van de domeinen waarvoor er archieven beschikbaar en toegankelijk zijn. De bedoeling is een gids van de inventarissen en archieven over Congo op te stellen. Privéfondsen komen in aanmerking.

Erelidmaatschap

Bij ministerieel besluit van 7 januari 1998 werden M. N. Bennett en E.P. L. de Saint Moulin tot het erelidmaatschap bevorderd.

Samenwerking Academie - Kabinet van Minister Moreels

De Vast Secretaris heeft de mogelijkheden van samenwerking met het kabinet van Minister Moreels onderzocht. Thema's worden aan de leden gevraagd.

„Réseau des Académies des pays méditerranéens”

Op de volgende vergadering van dit netwerk, die op 24 en 25 april 1998 in Parijs zal plaatsvinden, moeten thema's voorgesteld worden.

M. U. Vermeulen stelt voor : De geschiedenis van de betrekkingen tussen de Noordelijke en Zuidelijke oevers van de Middellandse Zee in de middeleeuwen. Politieke, economische en diplomatieke implicaties.

Broeikaseffect

M. E. De Langhe, lid van de Klasse voor Natuur- en Geneeskundige Wetenschappen, heeft voorgesteld een activiteit over het broeikaseffect te organiseren.

Een werkgroep, waarbij de belangstellenden zich kunnen aansluiten, werd samengesteld.

De zitting wordt om 16 u. 40 geheven.

Groupe de réflexion «Congo»

Le sous-groupe «Documentation : inventaire et archivage» du groupe de réflexion «Congo» s'est réuni le 18 février 1998. Il demande aux membres des trois Classes de lui fournir une liste des domaines pour lesquels des archives sont disponibles et accessibles. L'objectif est de réaliser un guide des inventaires et archives sur le Congo. Les fonds privés sont pris en considération.

Honorariat

Par arrêté ministériel du 7 janvier 1998, M. N. Bennett et le R.P. L. de Saint Moulin ont été promus à l'honorariat.

Collaboration Académie - Cabinet du Ministre Moreels

La Secrétaire perpétuelle a exploré les possibilités de collaboration avec le cabinet du Ministre Moreels. Des thèmes sont demandés aux membres.

Réseau des Académies des pays méditerranéens

Dans le cadre de la prochaine réunion de ce réseau, qui se tiendra à Paris les 24 et 25 avril 1998, des thèmes devront être proposés par les participants.

M. U. Vermeulen propose : L'histoire des relations entre les rives Nord et Sud de la Méditerranée au Moyen Age. Implications politiques, diplomatiques et économiques.

Effet de serre

M. E. De Langhe, membre de la Classe des Sciences naturelles et médicales, a proposé d'organiser une activité sur l'effet de serre.

Un groupe de travail, auquel les membres intéressés peuvent se joindre, a été constitué.

La séance est levée à 16 h 40.

Préhistoire et protohistoire du Haut-Comoé (Côte-d'Ivoire) *

par

Paul RAYMAEKERS **

MOTS-CLES. — Prospection archéologique ; Bassin d'érosion ; Site ; Préneolithique ; Néolithique (Guinéen) ; «Cigar» ; Fer ; Four (Fourneau) ; Céramique ; Tradition orale.

RESUME. — La réalisation de dix missions de prospection archéologique effectuées en étroite collaboration avec l'Institut d'Histoire, d'Art et d'Archéologie Africains (Université Nationale de Côte-d'Ivoire - Abidjan) a permis la découverte et l'examen de nombreux sites préhistoriques établis sur les rives du haut fleuve Comoé (nord-est de la Côte-d'Ivoire). Parallèlement aux sites précités, plus de 500 fourneaux du fer ont aussi été découverts et analysés, sur des sites souvent mêlés intimement aux sites préhistoriques. L'étude réalisée a permis de conclure que, si le préneolithique est très faiblement représenté (6 %), les sites préhistoriques découverts se rattachent essentiellement à la culture néolithique de Kintampo (environ 3 700 ans B.P.). L'on ignore jusqu'à quelle époque précise le néolithique a perduré dans ces régions. Ces sites préhistoriques, établis sur le niveau initial du sol, ont fréquemment fait place à des bassins d'érosion où se retrouvent dispersés les témoins de l'âge de la pierre. On y retrouve également de nombreux vestiges de la métallurgie du fer. Contrairement à une opinion fréquemment exprimée dans ces régions, il ne semble pas se vérifier une continuité entre l'âge de la pierre et celui du fer sur les sites en question. Il ne s'agirait donc pas de sites de transition comme on le croyait jusqu'ici. Tout indique en effet que les bassins d'érosion considérés n'ont connu de la part des métallurgistes qu'une occupation relativement récente remontant au 15^e siècle (*circa*). Cette occupation se serait maintenue jusqu'au début de la période coloniale française, si l'on en croit la tradition orale. Cette même tradition orale indique que les populations de métallurgistes auraient appartenu au groupe Koulango.

TREFWOORDEN. — Archeologische prospectie ; Erosiebekken ; Site ; Preneolithicum ; (Guinees) Neolithicum ; „Cigar” ; IJzer ; Oven ; Aardewerk ; Mondelinge traditie.

SAMENVATTING. — *Prehistorie en Protohistorie van de Boven-Comoé (Ivoorkust).* — Tien archeologische prospectiezingingen uitgevoerd in nauwe samenwerking met het „Institut d'Histoire, d'Art et d'Archéologie Africains (Université Nationale de Côte-d'Ivoire - Abidjan)” leidde tot de ontdekking en het onderzoek van talrijke prehistorische sites langs de oevers van de Boven-Comoé (Noord-Oosten van Ivoorkust). Tegelijkertijd

* Communication présentée à la séance de la Classe des Sciences morales et politiques tenue le 17 mars 1998. Texte reçu le 17 mars 1998.

** Membre de l'Académie ; Président du Bureau d'Etudes pour un Développement Harmonisé (BEDH), Bruxelles (Belgique).

werden meer dan 500 ijzerovens ook ontdekt en geanalyseerd vaak in de onmiddellijke nabijheid van de prehistorische sites. De uitgevoerde studie leidde tot de conclusie dat de ontdekte prehistorische sites zich hoofdzakelijk bij de neolithische cultuur van Kintampo (ongeveer 3 700 jaar B.P.) aansluiten terwijl preneolithicum slechts zeer sporadisch (6 %) vertegenwoordigd is. Het is nog niet bekend tot hoelang het neolithicum is blijven duren in deze regio. Deze prehistorische sites, gevestigd op het oorspronkelijk grondniveau, hebben vaak plaats geruimd voor erosiebekkens waar getuigenissen van het stenen tijdperk verspreid liggen. Men vindt er ook talrijke overblijfselen van de ijzermetallurgie. In tegenstelling tot een in deze streken wijdverspreide opinie schijnt een continuïteit tussen het steentijdperk en het ijzertijdperk op de betrokken sites niet bevestigd te kunnen worden. Het gaat dus niet over overgangssites zoals men tot nu toe geloofde. Alles wijst er inderdaad op dat de erosiebekkens slechts relatief recent, rond de 15de eeuw, door de metaalbewerkers bezet werden. Volgens de mondelinge traditie zou deze bezetting tot het begin van de Franse koloniale periode geduurd hebben. Dezelfde mondelinge traditie wijst er ook op dat de bevolkingen van metaalbewerkers tot de Koulangogroep zouden behoord hebben.

KEYWORDS. — Archaeological Prospect ; Erosion Basin ; Site ; Preneolithic ; (Guinean) Neolithic ; Cigar ; Furnace (Kiln) ; Pottery ; Oral Tradition.

SUMMARY. — *Prehistory and Protohistory of the Haut-Comoé (Ivory Coast).* — The achievement of ten missions of archaeological prospect carried out in close cooperation with the "Institut d'Histoire, d'Art et d'Archéologie Africains" ("Université Nationale de Côte-d'Ivoire" - Abidjan) has led to the discovery and survey of many prehistoric sites located on the banks of the upper Comoé (North-East of Ivory Coast). In addition to these sites, more than 500 iron furnaces have been found and analysed on sites often closely related to the prehistoric ones. Although preneolithic is very slightly represented (6 %), the study carried out has led to the conclusion that the prehistoric sites discovered are basically related to the neolithic culture of Kintampo (around 3,700 years BP). The exact period until which neolithic lasted in these regions is still unknown. Such prehistoric sites, located on the ground initial level, have frequently given way to erosion basins where the outliers from the Stone Age are found scattered. Many remains of iron metallurgy are also found. Contrary to a frequently spread opinion in these regions, there seems to be no evidence of a continuity between the Stone and the Iron Age on the actual sites. So these would not be transition sites as is so far believed. Everything points to a relatively recent occupation (*circa* 15th century) of the erosion basins by metallurgists. According to the oral tradition, this occupation would have maintained until the early French colonial period. The same oral tradition shows that the populations of metallurgists would have belonged to the Koulango group.

*
* *

La présente étude s'intègre dans une série de prospections archéologiques entreprises par le Bureau d'Etudes pour un Développement Harmonisé, de Bruxelles, dans divers pays de l'outre-mer :

- Au sud-Maroc, en association avec l'Institut National des Sciences de l'Archéologie et du Patrimoine, de Rabat ;
- Au Laos, en association avec la Direction de la Section d'Archéologie du Ministère de l'Information et de la Culture, à Vientiane ;
- En Côte-d'Ivoire enfin, où depuis 1986, une dizaine de missions ont été effectuées en étroite collaboration avec l'Institut d'Histoire, d'Art et d'Archéologie Africains de l'Université Nationale de Côte-d'Ivoire, à Abidjan.

1. Introduction

La préhistoire et la protohistoire du nord-est de la Côte-d'Ivoire sont assez mal connues. Cette région, parente pauvre du développement moderne ivoirien, n'offre guère de possibilités logistiques autorisant une recherche intensive, handicap auquel il fut paré par l'organisation de dix missions de prospection à court terme, s'échelonnant sur une dizaine d'années.

Il est intéressant de signaler que dans les rares recherches archéologiques effectuées, à la périphérie d'ailleurs de cette région, se retrouvent les noms de deux Belges :

- Maurice Bequaert qui traitera du néolithique dans le territoire de Gaoua, au départ d'une collection de documents préhistoriques offerte, vers 1932, à l'Université de Liège par le Français de Mathelin de Papigny ;
- Georges Celis qui, de 1987 à 1993, étudiera les fourneaux du fer dans la région de Korhogo.

Dès la première mission, réalisée en décembre 1986, en parcourant la Réserve forestière de Bouna et plus particulièrement les rives du fleuve Comoé, apparut l'existence, en surface, de nombreux outils préhistoriques et de fourneaux du fer. Il est assez extraordinaire que, particulièrement dans le Parc national ivoirien qui constitue une partie notable de la zone prospectée, ces vestiges n'aient jamais attiré l'attention des nombreux spécialistes et visiteurs fréquentant cette réserve.

Cette première mission sera suivie de neuf autres. Ce sont leurs constats qui sont ici présentés.

2. Cadre géographique

Le fleuve Comoé, d'une longueur totale de 1 000 km, prend sa source au Burkina Faso à proximité de la falaise de Banfora (réputée pour ses sites préhistoriques), atteint la frontière ivoirienne après un parcours d'environ 120 km, traverse la Côte-d'Ivoire du nord au sud et se jette dans le golfe de Guinée à une trentaine de km à l'est d'Abidjan.

La partie prospectée concerne :

- La rive droite du Comoé, depuis l'entrée du fleuve en territoire ivoirien jusqu'au lieu-dit «Gué Autos» dans la Réserve forestière de Bouna, soit une longueur approximative de 90 km. Cette section a fait l'objet d'une prospection intensive, c'est-à-dire renouvelée à plusieurs reprises.
- La rive gauche du Comoé, depuis l'entrée du fleuve en territoire ivoirien (Kafolo) jusqu'au carrefour du Boin dans la Réserve forestière de Bouna, soit une longueur approximative de 70 km. Cette section a fait également l'objet d'une prospection intensive. Toujours sur la rive gauche, la section «Carrefour du Boin - Localité de Gansé» a fait l'objet d'une unique prospection sur une longueur approximative de 105 km. La largeur moyenne des zones prospectées au départ des rives du fleuve Comoé est de 2 km.

Compte tenu de la complexité d'accès du terrain, les dix missions de prospection réalisées n'ont pas la prétention d'avoir découvert la totalité des sites existant sur les tracés précités.

Le terrain prospecté se caractérise par une galerie forestière, dont la largeur varie de cinquante mètres à plusieurs centaines de mètres. Cette galerie longeant le lit du fleuve, est fréquemment joutée de zones de savanes, elles-mêmes entrecoupées en de nombreux endroits par des bassins d'érosion, toujours non stabilisés.

L'observation de vestiges pré et protohistoriques s'effectue principalement dans ces bassins et sur les niveaux naturels originaux entourant ceux-ci. En quelques cas cependant, des outils lithiques ont été trouvés sur la piste actuelle de la rive droite du Comoé, piste qui lui est parallèle tout en étant éloignée de plusieurs kilomètres du fleuve.

La figure 1 précise la région où les prospections ont été réalisées, tandis que le tableau 1 ci-après précise les positionnements par satellites de quelques sites marquants.

3. Les sites préhistoriques du Haut-Comoé

3.1. DONNEES DE LA PROSPECTION

Du matériel lithique nombreux et assez varié s'observe tout au long des rives du Comoé. Si certains sites précis se définissent assez aisément, tels les ateliers de taille ou les polissoirs, la localisation exacte de sites à matériel lithique s'avère par contre difficile suite à la grande dispersion du matériel en question, particulièrement dans les bassins d'érosion.

Le plus souvent, le matériel lithique est découvert isolé, à même le sol. Aucune stratigraphie n'a pu être établie, soit par étude des fractures d'érosion, soit par tranchée de fouille. Par contre, l'existence d'outillage à différents

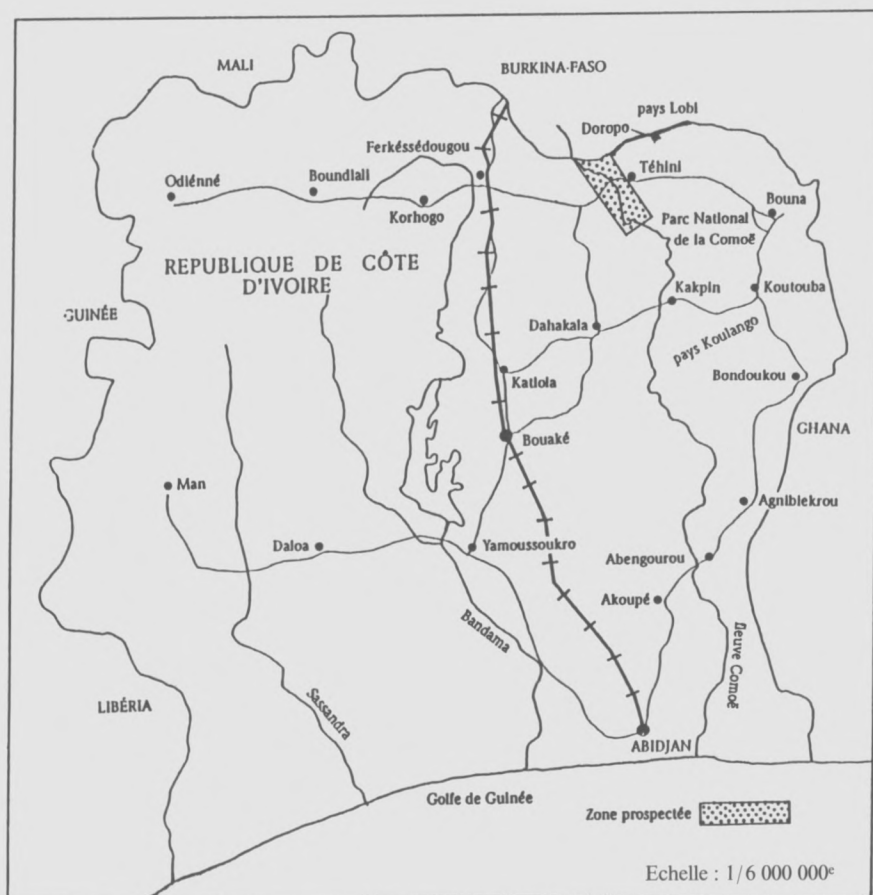


Fig. 1. — Localisation de la zone prospectée.

niveaux de la surface des parois des bassins d'érosion a été constatée à plusieurs reprises. Ce constat facilite l'interprétation de la dynamique des sites, et notamment celle de la coexistence sur la surface de base des bassins d'érosion de vestiges pré et protohistoriques.

Au cours des différentes missions effectuées, 250 objets lithiques ont pu être observés et analysés. Le tableau 2 présente la synthèse de ces découvertes.

3.1.1. Le Prénéolithique

Comme fréquemment en Afrique occidentale, le prénéolithique n'est que modestement représenté dans la zone prospectée. Seuls 5,6 % de l'ensemble des observations réalisées sur les documents lithiques pourraient concerner

Tableau 1

Positionnement par satellites de quelques sites
pré- et protohistorique du haut fleuve Comoé (GPS-SONY-IPS-360)

Dénomination	Rive Comoé	Latitude	Longitude	Observations
Atelier Taille outils	Gauche	9° 15'18,3"	4° 04'45,2"	Outillage lithique Pas de fours
Polissoirs	Droite	9° 28'23,0"	4° 14'20,5"	25 rainures
Site	Droite	9° 16'10,5"	4° 12'55,4"	Outillage lithique Pas de fours
Site mixte	Droite	9° 36'56,9"	4° 22'04,8"	Outillage lithique 36 fours
Site mixte	Droite	9° 28'18,1"	4° 14'09,3"	Outillage lithique 29 fours
Site mixte	Droite	9° 37'18,0"	4° 21'27,8"	Outillage lithique 24 fours
Site	Droite	9° 32'59,4"	4° 15'33,0"	30 fours
Atelier Taille meules	Droite	9° 27'49,4"	4° 13'51,1"	1 meule à même un rocher
Meules (en forêt)	Gauche	9° 33'46,0"	3° 57'32,0"	3 meules à même un rocher

l'époque préneolithique ; encore convient-il de remarquer que l'altération de certains documents rend leur identification malaisée. Une très grande prudence dans l'estimation reste donc de mise. L'on retiendra que, même s'il semble effectivement représenté, le préneolithique reste rare dans la zone prospectée. La typologie indique quelques choppers, bifaces, grattoirs, percuteurs, pics, «hache».

3.1.2. *Le Néolithique*

Le néolithique représente 94,4 % des documents observés. L'observation des documents néolithiques appelle les constats suivants :

- Prédominance quantitative des Herminettes, Haches, Houes (HHH) (fig. 2). La détermination de l'utilisation précise de ce type d'outillage n'étant pas évidente, il s'est avéré opportun de le laisser groupé. Dans cette catégorie, 44 % d'outils intacts ont pu être observés. Il convient d'y ajouter 27,5 % de débris du même outillage et 8,5 % d'outils similaires examinés dans deux ateliers de taille. L'on obtient ainsi un total de 80 % de Haches, Herminettes, Houes sur l'ensemble des documents du néolithique observés. La fabrication locale de cet outillage lithique se vérifie par la découverte de deux ateliers de taille et celle d'un site présentant, à même des dalles rocheuses baignées par le Comoé, vingt-cinq rainures de polissoir.
- L'observation des cassures de soixante-six (27,5 %) fragments d'Herminettes, Haches, Houes confirme une fois de plus l'erreur de dénommer «Hache» ce qui en réalité est une Herminette, voire pour les plus grands fragments une Houe à usage agricole. Seuls deux débris d'outils sur

Tableau 2

Synthèse des documents lithiques observés et analysés

Epoque	Désignation des documents lithiques	N° de pièces	%
Prénéolithique 14 pièces 5,6%	Petits choppers	2	—
	Grands choppers	2	—
	Bifaces	2	—
	Petits grattoirs	2	—
	Grand grattoir	1	—
	Percuteurs	2	—
	Pics	2	—
	«Hache»	1	—
	TOTAL	14	100
Néolithique 236 pièces 94,4%	Herminettes, Haches, Houes (HHH) (44,0 %)		
	Moins de 6 cm de longueur	37	16
	De 6 à 10 cm de longueur	57	24
	Plus de 10 cm de longueur	9	4
	Débris d'Herminettes, Haches, Houes (27,5 %)		
	Sommet	35	15
	Milieu	12	5
	Tranchant	17	7
	Autres	2	0,5
	Ateliers de taille (HHH uniquement) (8,5 %)		
	I	8	3,5
	II	12	5
	Autres outils et équipements (14,5 %)		
	Pilons et molettes	15	—
	Percuteurs	5	—
	Racloirs	2	—
	Pics	2	14,5
	Burin	1	—
	Pierre à cupules	1	—
	Pierre trouée	1	—
	Débris de meules dormantes	7	—
	Parure (1,25 %)		
	Labret	1	1,25
	Débris d'anneaux en pierre	2	—
	XXX (4,25 %)		
	«Cigar»	1	4,25
	Indéterminés	9	—
	TOTAL	236	100,00



Fig. 2. — Herminettes, Haches, Houes observées le long des rives du fleuve Comoé. Outils typiques du Néolithique dit de Kintampo (Ghana).

soixante-six présentent en effet une cassure longitudinale, excluant pour les soixante-quatre autres un usage en qualité de Hache. Aux fins d'analyse ultérieure, les Herminettes, Haches, Houes observées ont été scindées en trois groupes quant à leur longueur. Il en est de même en ce qui concerne la classification des outils cassés, répartis en diverses catégories quant à la localisation de la fracture sur les outils en question.

- Près de 14,5 % des documents observés concernent des activités indépendantes de celles exigeant l'usage d'Herminettes, de Haches ou de Houes. Dans ces 14,5 %, 9,75 se réfèrent à des activités de préparation alimentaire : pilons et molettes, meules, pierres à cupules. La découverte d'un atelier de taille de meules dormantes (dont une taillée à même un rocher), l'observation de débris de meules en de nombreux endroits confirment une longue occupation des sites.
- Les objets de parure ne sont que modestement représentés par la découverte d'un labret en quartz et de deux débris d'anneaux en pierre.
- La découverte (1994) d'un «Cigar» en bon état de conservation fait ici l'objet d'une analyse particulière : seuls deux «cigars» étaient en effet signalés en Côte-d'Ivoire, découverts respectivement en Basse-Côte (Songon Dagbe) et, au nord du pays, à Dabakala, à environ 130 km (à vol d'oiseau)

au sud-ouest de la zone prospectée au Comoé. Dans son ouvrage *West Africa before Europeans. Archaeology and Prehistory*, Oliver Davies ne manque pas d'attirer l'attention sur les «cigars» en terre cuite, caractéristiques du «Néolithique de Kintampo», du nom de cette localité ghanéenne qui a donné son toponyme à une culture néolithique que ses découvreurs ont voulu spécifique, tout en l'intégrant au Néolithique guinéen développé du Sénégal au Cameroun et au Congo, et qualifiée par le même Davies de «culture des houes». Davies donne une description précise des «cigars» : «Les 'cigars' sont fabriqués en terre bien cuite. Ils sont de section ovale mince, soigneusement incisés sur les deux faces, généralement horizontalement et verticalement. Quelques-uns comportent des incisions diagonales, sur d'autres cela est irrégulier. La surface est souvent érodée par frottement, et presque tous sont brisés. Les plus complets sont arrondis à une ou aux deux extrémités, sur beaucoup le bout est équat. Très peu seulement peuvent être mesurés en longueur. Le plus long est d'environ 22 cm ; il fut trouvé au fond d'un des puits de fouille à Ntereso. Kitson en mentionne un de même longueur à Tolundipe. Un très petit nombre de 'cigars' sont confectionnés dans de la fine pierre de sable, légèrement incisée de dessins semblables à ceux des terres cuites. Beaucoup ont été perforés près de la base par percussion après cuisson, spécialement à Ntereso. Généralement, ils ont pu être cassés par un tel traitement. Aucune explication satisfaisante n'a pu être fournie quant à leur usage». Le «cigar» observé au Haut-Comoé (fig. 3) présente les caractéristiques suivantes : poids : 41,5 g ; longueur maximale : 8,1 cm ; largeur à la base : 4,4 cm ; épaisseur maximale à la base : 1,8 cm. Le matériau utilisé est une pierre de sable, de texture fragile. Ce n'est pas une terre cuite. Le document ne porte pas de traces d'usure ; il semble neuf. Il a été découvert à proximité immédiate d'un fourneau du fer.

- Il n'a été observé aucune pointe de flèche en pierre lors des dix missions de prospection réalisées. Il est vraisemblable que les chasseurs du Haut-Comoé armaient des hampes en bois (latéralement et en bout) de petits éclats tranchants en quartz, ce qui expliquerait les très fréquents dépôts de microlithes observés.

3.1.2.1. Aperçu sur la pétrographie des documents observés

Mlle Cornelissen et M. Doutrelepon, du Musée Royal de l'Afrique Centrale, ont bien voulu examiner un échantillon des documents lithiques observés ; voici les conclusions de leur examen :

- «— Sources : d'après la carte géologique générale, les roches relevées dans l'étude des artefacts sont représentées dans les régions des trouvailles. (...) La détermination précise d'une grande partie des roches dans lesquelles les artefacts ont été façonnés est rendue très difficile par la couche d'altération qui les enveloppe. (...)

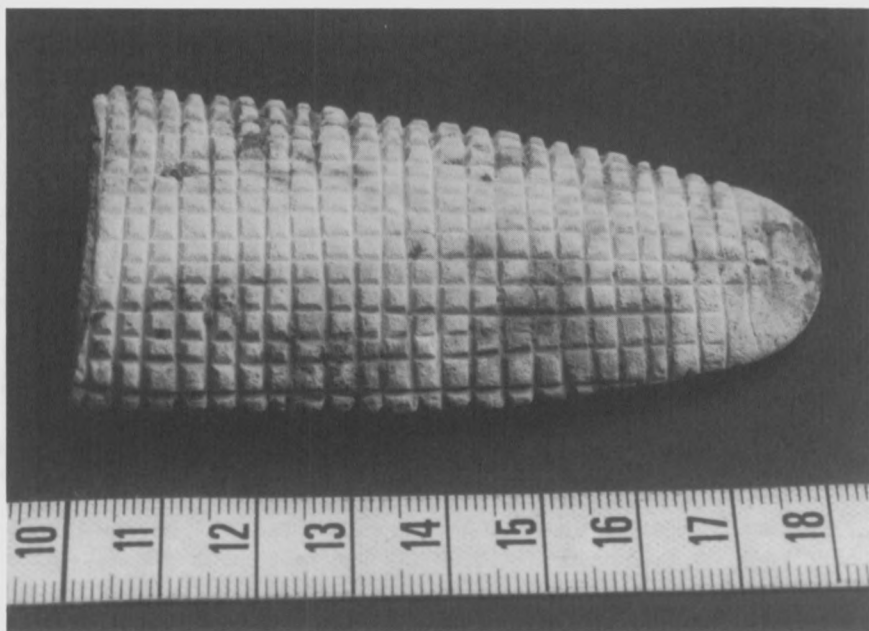


Fig. 3. — «Cigar» observé le long des rives du fleuve Comoé. Le matériau est une pierre de sable, de texture très fragile.

- Structure des roches, altération et érosion : les artefacts ont été taillés pour la plupart dans deux grands types de roches : roches vertes (amphibolite, schiste amphibolitique, dolérite et méta-dolérite) ; roches claires (gneiss, arkose, limonite, lave, quartzite, quartz filonien et schiste). Ces roches métamorphiques sont affectées d'un clivage naturel dû à leur diagenèse qui a pour effet, lors de leur fracture naturelle ou artificielle, de se débiter dans des formes parallélépipédiques. Ce débit particulier a été exploité par l'artisan au cours de la taille. L'altération et l'érosion par ailleurs agissent sur les formes de départ pour leur conférer une forme amygdaloïde caractéristique. Il est dès lors difficile lorsqu'une pièce taillée a subi les diverses actions de l'altération et de l'érosion de la distinguer d'une pierre issue d'un processus purement naturel. Dans le processus d'altération, l'attaque lichénique n'est certainement pas à négliger, elle indique d'autre part le séjour de l'artefact en surface à l'air et à la lumière. On observera pour celles-ci une action différentielle de destruction sur les faces exposées et protégées. Les roches vertes sont les plus marquées par l'altération et cette dernière semble s'être déroulée dans un contexte humide et chaud, trahissant sans doute un couvert végétal plus dense que celui existant actuellement» (...).

3.2. ESSAI D'INTERPRETATION

3.2.1. *Le Prénéolithique*

Aucune concentration de matériel préneolithique n'a été observée sur les 530 km² prospectés au cours des dix missions successives réalisées. Si quatorze documents ont pu être considérés comme préneolithiques, des réserves demeurent pour sept d'entre eux quant à une classification formelle, compte tenu de leur altération. L'un d'entre eux notamment pourrait être une «limande-hoe» (houe plate), suivant la qualification de O. Davies qui rattache cet outil à la Culture de Kintampo. Il ne semble donc pas qu'un préneolithique quelque peu marqué se soit manifesté dans la zone de prospection considérée.

3.2.2. *Le Néolithique*

L'abondance du matériel néolithique, l'existence d'ateliers de taille et de polissoirs laissent supposer une occupation assez longue des rives du Haut-Comoé par les populations du Néolithique de Kintampo. En effet, comme à Kintampo, comme à Dabakala, le matériel, avec ses herminettes nombreuses, ses anneaux en pierre et surtout la découverte d'un «cigar», se rattache bien à la Culture de Kintampo.

En l'absence de toute stratigraphie et de toute possibilité de datation au C¹⁴, la découverte d'un «cigar» au Haut-Comoé est d'une importance essentielle pour la datation des sites en question. C'est grâce aux travaux relativement récents (1985) d'Ann Brower-Stahl, laquelle a procédé à une stratigraphie rigoureuse de l'abri sous roche n° 6 de Kintampo et à de nombreuses analyses au C¹⁴ s'y référant, qu'il a été possible de dater de manière précise les énigmatiques «cigars» du Néolithique de Kintampo : 3 700 à 3 500 B.P. (Radiocarbon UCR 1691, UCR 1692). Ceci nous mène beaucoup plus loin dans le passé que ne le pensaient jusque-là les préhistoriens, dont O. Davies (1962).

C'est donc à cette époque, 3 700/3 500 B.P., que l'on peut raisonnablement rattacher les sites néolithiques du Haut-Comoé. Ceci est important car posant un nouveau jalon dans la connaissance de l'extension de ladite «Culture de Kintampo» et de sa sédentarisation, tout en l'intégrant dans le grand courant du Néolithique guinéen.

La découverte de ce «cigar» (en bon état de conservation et vraisemblablement «importé» — de par sa texture géologique non représentée dans la zone prospectée) donne à penser : notamment sur la mobilité des échanges dans cette région de l'Afrique occidentale au milieu du 4^e millénaire B.P. Kintampo se trouve à 320 km (à vol d'oiseau) des sites du Haut-Comoé. Dabakala et Songo Dagbé, autres lieux de découverte de «cigars» en Côte-d'Ivoire, se trouvent respectivement à 300 et 460 km (à vol d'oiseau) de Kintampo. Il serait intéressant de connaître le lieu de découverte d'autres «cigars» en Afrique occidentale.

Une parenthèse s'autorise ici sur l'utilisation — vainement recherchée depuis des décennies — des énigmatiques «cigars» de la Culture de Kintampo. En parcourant, à l'occasion de travaux de prospection archéologique au sud-Maroc, la littérature spécialisée relative à la préhistoire du Sahara, la revue *Libyca* (1961/1962), sous la plume de J.P. Maître, nous a présenté une pendeloque en pierre ressemblant de très près aux «cigars» d'Afrique occidentale, et dont les dimensions se rapprochent de près à celles desdits «cigars» : longueur : 7,9 cm ; largeur : 3,5 cm ; épaisseur : 1,3 cm.

Il est intéressant de noter que Maître suggère que cette pendeloque puisse appartenir au néolithique saharo-soudanais, lequel détermine précisément les zones où s'observe la Culture de Kintampo. Le fait que de nombreux «cigars» découverts au Ghana aient été percés milite peut-être pour leur utilisation comme pendeloque. Certes, «comparaison n'est pas raison», mais il était opportun de mentionner ici une telle hypothèse.

Ceci dit, il convient de remarquer que les découvertes d'outils lithiques sur les rives du Haut-Comoé s'effectuent sur trois niveaux :

- Sur le niveau originel du sol où se retrouvent les ensembles les plus cohérents : ateliers de taille, groupement d'Herminettes, Haches, Houes, avec dans un cas découverte d'un labret en quartz et d'une fusaïole archaïque en terre cuite. La découverte de cette fusaïole pose problème : son archaïsme (fusaïole plate par opposition aux fusaïoles «boules» contemporaines) (fig. 4), son site de découverte où se retrouvaient des outils



Fig. 4. — Fusaïole plate en terre cuite, découverte sur les rives du Comoé. A côté, une fusaïole «boule» contemporaine.

lithiques, pourraient indiquer son rattachement à l'ère néolithique, chose qui fut toujours contestée jusqu'à présent par les préhistoriens de l'Afrique occidentale qui affirment que le Néolithique guinéen ne connaissait pas le traitement des textiles. L'existence de sites du fer à proximité du lieu de découverte de cette fusaiïole milite pour une très grande prudence pour sa datation. Nous nous garderons bien de trancher.

- Sur les bords des bassins d'érosion où divers outils lithiques ont été observés «en errance» à destination du fond des bassins d'érosion (fig. 5).
- Au fond des bassins d'érosion, où leur éparpillement dû à l'action des eaux de ruissellement ne permet aucune déduction précise.



Fig. 5. — Outil poli «en errance» sur la paroi d'un bassin d'érosion.

En se basant toujours sur les travaux d'Ann Brower-Stahl, il n'est pas *a priori* exagéré d'étendre les conclusions de sa recherche aux sites du Haut-Comoé qui se rangeraient dès lors dans la période d'avènement du néolithique, avec tout ce que cette ère inclut d'occupations agricoles fixes, et ceci par opposition aux rares groupes de chasseurs nomades des ères précédentes. Il faut également considérer que, pour des raisons évidentes, les campements néolithiques de la zone prospectée s'établirent à proximité immédiate du fleuve et de sa galerie forestière : ils y trouvèrent l'eau, le poisson, le gibier, et les roches nécessaires à leurs ateliers de taille, sans omettre les polissoirs qui requièrent toujours roche dure, eau et sable. Aucun élément n'a pu être découvert quant à la durée précise de ce néolithique.

4. Les sites protohistoriques du Haut-Comoé

4.1. DONNEES DE LA PROSPECTION

Alors que la présence du néolithique s'est avérée constante dans toute la zone prospectée, plus sur la rive droite du fleuve Comoé où les bassins d'érosion (qui voient les trouvailles de surface facilitées) sont nettement plus nombreux que sur la rive gauche, un constat similaire se manifeste pour les vestiges protohistoriques du fer.

Pendant une période, assez longue semble-t-il, la fonte du fer se réalisa dans toute la zone prospectée et cela à l'aide de fourneaux dont la durée d'utilisation était assez brève. Près de cinq cent vingt restes de fourneaux ont pu être inventoriés : 86 % sur la rive droite et 14 % sur la rive gauche du fleuve Comoé.

Certains de ces vestiges paraissent relativement récents, avec fragments de parois et débris de tuyères d'aération aisément reconnaissables, tandis que d'autres n'ont laissé que de faibles résidus souvent exprimés par une large tache de débris de cuisson totalement intégrés au sol ambiant. Les fours observés sont toujours installés à proximité de l'eau.

Comme déjà signalé, une étroite association de matériel lithique et de vestiges de fourneaux se vérifie en de nombreux endroits, plus particulièrement dans les bassins d'érosion. Dans certains bassins d'érosion, les débris de fours «suivent» la dynamique d'érosion. Il se pourrait que les bassins d'érosion aient été spécialement recherchés par les métallurgistes pour y installer leurs fours. Peut-être les métallurgistes en agissant ainsi cherchaient-ils à éviter les sautes parfois brusques de l'harmattan afin de préserver une température élevée et constante dans les fours en question. Cette hypothèse est contestée par certains observateurs, dont G. Celis.

Dans trois cas, des herminettes en pierre avaient été intentionnellement placées — avant cuisson — au centre d'un four. Deux outils (?) en fer ont été trouvés à proximité de fours, ainsi que cinq axes en fer fortement corrodés :

il s'agit probablement de flèches pour deux d'entre eux, et d'un débris de bracelet très sommaire pour le troisième, le solde des deux autres demeurant inintelligible. La Tradition orale attribue ces vestiges du fer aux populations Koulango, dont les métallurgistes étaient réputés.

Les fours semblent avoir été construits suivant un modèle assez simple, s'inspirant de celui utilisé au Niger et comparable aux fours utilisés naguère dans d'autres régions de la Côte-d'Ivoire (à Kofiple et à Pononkaha, près de Boundiali, par exemple) (fig. 6).

4.2. ESSAI D'INTERPRETATION

Si l'on se réfère à la «mémoire» de la Tradition orale, à utiliser avec circonspection dans une région qui fut très fortement perturbée à la fin du 19^e siècle par le Dyoula Samori et, plus récemment, par la suppression des rares villages établis dans ce qui est devenu la Réserve forestière de Bouna et Parc national, l'on retiendra que, de l'avis unanime des tenants de la Tradition orale, les fours du fer auraient été l'œuvre des Koulango, aujourd'hui établis au sud de ladite réserve forestière. Toujours selon les mêmes sources, il ne semble pas que le fer ait été produit dans la région considérée avant l'arrivée des Koulango. La question se pose aussitôt de savoir si la tribu Koulango aurait occupé la région prospectée depuis des temps immémoriaux. Tout indique que non, et ceci s'est également vérifié pour ce même groupe dans la région voisine où s'observent les fameuses ruines de pierres du pays Lobi.

Depuis quatre ou cinq siècles, les Koulango qui seraient venus du nord-est, auraient migré du nord au sud et n'auraient pas été, de mémoire d'homme, les premiers occupants du pays. Ces premiers occupants auraient été de souche Komono, groupe pratiquement disparu en Côte-d'Ivoire, mais dont divers villages subsistent au Burkina Faso voisin.

Avec les réserves qu'impose toute interprétation de la Tradition orale, l'on peut considérer que «l'âge du fer» est relativement récent dans la région. Par ailleurs, les datations effectuées, notamment sur une tuyère de four, donnent une ancienneté maximale de 520 ans B.P. Les datations réalisées sur les rares céramiques trouvées dans les parois d'érosion (et donc acceptables pour une datation à la thermoluminescence - tab. 3) n'atteignent même pas cette période.

Tableau 3

Datation de céramiques, à la thermoluminescence

Morceau de tuyère d'un four	- 520 BP
Carène (CI-596), à proximité de fours	- 360 BP
Base de pot (CI-508), à proximité de fours	- 320 BP
Anse (?) (CI-595), à proximité de fours	- 300 BP
Anse (?) (CI-579), à proximité de fours	- 20 BP

Erreur possible : $\pm 25 \%$; Laboratoire BAL, Bruxelles.

Malgré les effets du climat fait, suivant la saison, de pluies violentes et de sécheresses torrides, les vestiges des fourneaux du fer sont généralement en bon état de conservation. Seuls quelques fours ont laissé des traces plus que modestes, peut-être parce qu'ils se trouvaient dans des sites plus propices à l'érosion et donc à leur quasi-disparition.

Le fait d'avoir découvert deux outils en fer, dont l'un se réfère directement à la métallurgie, en bon état de conservation milite également pour une ancienneté assez faible des fours considérés.

5. Conclusions générales

5.1. LES RECHERCHES D'ANN BROWER-STAHL

Les recherches d'Ann Brower-Stahl, reconsidérant en 1982 l'abri sous roche n° 6 de Kintampo, au Ghana, et y établissant une chronologie stricte, basée sur des datations au C^{14} et vérifiées par la stratigraphie du site, permettent de dater de manière précise les sites néolithiques du Haut-Comoé : - 1 750 ans avant notre ère (3 700 BP). Cette datation est en effet celle reprise pour les deux niveaux de cet abri sous roche contenant des «cigars» et des outils polis identiques à ceux découverts le long du Comoé. Ann Brower-Stahl estimait que cette datation marquait l'époque de sédentarisation des populations et leur introduction dans une activité agricole stable. Cette précision est intéressante, car jusqu'ici les dates avancées pour la période néolithique dans cette région de l'Afrique occidentale étaient assez disparates.

Signalons par exemple que Mauny, à l'occasion de prospections faites dans la région de Kong, à moins de 70 km (à vol d'oiseau) des sites du Haut-Comoé, estimait la durée de l'âge de la pierre en cette région «entre 3 000 av. J.C. et 500 ap. J.C.» sur des sites de la pierre qualifiés par lui de «mésonéolithiques». Il n'a pas été possible de retrouver les critères utilisés par Mauny pour fixer à 3 000 av. J.C. l'apparition de l'âge de la pierre en cette région. Shaw, par ailleurs, estime que la Culture de Kintampo aurait débuté en - 1 400 av. J.C. Posnansky, avec réalisme, confirme que l'on se trouve dans une aire pour laquelle on ne dispose pas de dates historiques sûres. Les rares dates connues le sont le plus souvent par le C^{14} . Il se garde par conséquent d'aller plus avant et conclut, assez lapidairement, qu'il vaut mieux — plutôt que de s'attacher à des dates fixes — traiter globalement et essentiellement de ce que l'on appelle habituellement «le néolithique et l'Âge du Fer». Ceci nous amène à traiter de la fin du néolithique et du début de l'âge du fer.

5.2. DELIMITATION DES PERIODES

Si la période initiale des sites du néolithique du Haut-Comoé a pu se voir datée de manière acceptable, celle de la fin de l'âge de la pierre sur les sites



Fig. 6. — Quatre fours du fer dans la région de Boundiali (Côte-d'Ivoire).

en question demeure totalement imprécise. Il en est de même en ce qui concerne la période des débuts de l'âge du fer. Il apparaît cependant peu probable qu'une continuité ait existé entre l'âge de la pierre et celui du fer. Divers éléments militent en ce sens :

- Alors que des sites lithiques bien définis s'observent au niveau originel du sol, aucun n'a pu être décelé dans les bassins d'érosion où les documents lithiques se retrouvent dispersés et sans cohérence. Les vestiges du fer par contre apparaissent avec cohérence sur le niveau actuel de base des bassins d'érosion ou sur des monticules de peu de hauteur émergeant du fond desdits bassins d'érosion.
- Le fait pour les métallurgistes d'avoir intentionnellement déposé à trois reprises en des lieux très distincts les uns des autres des herminettes au centre de fourneaux donne à penser. Il s'agit là en effet d'une coutume — que l'on retrouve également au Mali — qui était en usage dans ces régions jusqu'à une époque récente. Les tenants de cette coutume considéraient ces «pierres à foudre» ou «pierres d'Allah» comme des porte-bonheurs et ceci tant chez les animistes que chez les pratiquants de l'Islam. Une telle démarche des métallurgistes pourrait confirmer l'absence de liens de continuité avec d'éventuels ancêtres ayant produit et utilisé ces pierres.
- Rappelons, en ce qui concerne le Haut-Comoé, que tout indique le caractère relativement récent des 520 fourneaux observés.

En finale de nos observations, l'on peut donc estimer que les sites «mixtes» de cette région de l'Afrique occidentale devraient être reconsidérés en fonction de deux occupations humaines nettement distinctes et sans qu'au départ du cas précis ici analysé il y ait eu en fait continuité d'occupation des sites *in tempore*.

BIBLIOGRAPHIE

- ANDAH, B. W. 1987. L'Afrique de l'Ouest avant le VII^e siècle. — *In* : Histoire Générale de l'Afrique, T. II, Unesco, Paris, pp. 427-446.
- ANQUANDAH, J. 1976. Boyasi Hill. A Kintampo culture site. — *Sankofa*, 2 : 92.
- BEQUAERT, M. 1948. Le néolithique dans la région de Gaoua. — *Bull. Sté R. Belge d'Anthropologie et de Préhistoire*, Bruxelles, 9 : 118-138.
- BROWER-STAHN, A. 1985. Reinvestigation of Kintampo 6 rock shelter, Ghana : implications for the nature of culture change. — *The African Archaeological Review*, Cambridge, 3 : 117-150.
- BROWER-STAHN, A. 1985. The Kintampo culture : subsistence and settlement in Ghana during the mid-second millennium B.C. (Ph. D. Thesis), Dpt. of Anthropology, University of California, Berkeley.
- CELIS, G. 1991. Eisenhütten in Afrika. — *Museum für Völkerkunde*, Frankfurt, 225 pp.
- CHENORKIAN, R. 1979. Prospections préhistoriques en Côte-d'Ivoire, les sites d'Ekania-Krinjabo et Kong. — *Trav. du labo d'Anthropologie et de Préhistoire des pays de la Méditerranée occidentale*, Aix-en-Provence, 4 pp.

- CHENORKIAN, R. 1983. Ivory Coast Prehistory : recent developments. — *The African Archaeological Review*, Cambridge, **1** : 127-142.
- Collectif (SHINNIE) 1971. The African Iron Age. — Clarendon Press, Oxford.
- Collectif (ECHARD) 1983. Métallurgies africaines. — Mémoire de la Société des Africanistes, Paris, **9** : 339 pp.
- Collectif (AUMASSIP) 1996. La préhistoire de l'Afrique de l'Ouest. Nouvelles données sur la période récente. — Sépia, St. Maur, 126 pp.
- CORNELISSEN, E. & DOUTRELEPONT, H. 1991. Description d'une collection d'artefacts lithiques de la Côte-d'Ivoire (Prospections Paul Raymaekers, 1987-1990). — *Cahiers Ngonge*, Bruxelles, **25** : 10 pp.
- DAVIES, O. 1960. Galets perforés du Ghana et des pays voisins. — Notes Africaines, n° 86, IFAN-Dakar.
- DAVIES, O. 1962. Neolithic cultures of Ghana. — Actes du IV^e Congrès Panafricain de Préhistoire et de l'Etude du Quaternaire (Mortelmans & Nenquin), MRAC, Tervuren, pp. 291-302.
- DAVIES, O. 1962. West Africa before the Europeans. Archaeology and Prehistory. — Methuen & C° Ltd., London.
- DIOP, C. A. 1968. Métallurgie traditionnelle et Age du Fer en Afrique. — *Bull. IFAN/B*, Dakar, **30** (1) : 10-38.
- DOMBROWSKI, J. 1978. Mumute and Bonoase - two sites of Kintampo industry. — *Sankofa*, **2** : 64-71.
- DOMBROWSKI, J. 1980. Earliest settlements in Ghana : the Kintampo industry. — Proceedings, VIIIth Panafrican Congress of Prehistory and Quaternary studies (Leakey & Ogot), Nairobi, pp. 261-262.
- FLIGHT, C. 1967. Prehistoric sequence in the Kintampo area of Ghana. — Actes du VI^e Congrès Panafricain de Préhistoire et de l'Etude du Quaternaire (Hugot), Chambéry, pp. 68-69.
- FLIGHT, C. 1968. Kintampo 1967. — *West African Archaeological Newsletter*, **8** : 15-20.
- FLIGHT, C. 1970. Excavations at Kintampo. — *West African Archaeological Newsletter*, **12** : 71-72.
- FOFANA, L. 1989. Problématique de la métallurgie ancienne du fer en Côte-d'Ivoire précoloniale. — In : Hommage à T. Shaw, Ibadan, 24 pp.
- LECLERC, P. & REYNARD, P. 1975. Amas de coquillages de Basse Côte-d'Ivoire. — *Ann. Université Abidjan*, Sér. I (Histoire), **3** : 161-175.
- MAUNY, R. 1952. Essai sur l'Histoire des métaux en Afrique occidentale. — *Bull. IFAN/B*, **14** (2) : 545-595.
- MAUNY, R. 1970. Les siècles obscurs de l'Afrique noire. — Fayard, Paris.
- MAUNY, R. 1972. Contribution à la connaissance de l'archéologie préhistorique et protohistorique ivoirienne. — *Ann. Université Abidjan*, Sér. I (Histoire), **1** : 22 pp.
- NEWTON, L. 1980. More Kintampo culture finds in the forest zone of Ghana. — *Nyame Akuma*, **16** : 7-8.
- NEWTON, L. & WOODDELL, S. 1970. A newly discovered site for the Kintampo. — *Sankofa*, **2** : 19-22.
- OLIVER, R. & FAGAN, M. 1975. Africa in the Iron Age. — Cambridge University Press.

- PHILLIPSON, D. 1993. *African Archaeology*. — 2nd Edition, Cambridge University Press (1985).
- POSNANSKY, M. 1987. Les sociétés de l'Afrique sub-Saharienne au premier Age du fer. — *In* : Histoire Générale de l'Afrique, T. II, Unesco, Paris, pp. 503-512.
- POSNANSKY, M. 1987. Introduction à la fin de la Préhistoire en Afrique sub-Saharienne. — *In* : Histoire Générale de l'Afrique, T. II, Unesco, Paris, pp. 386-399.
- RAYMAEKERS, P. 1996. Les énigmatiques «cigars» de l'Afrique occidentale : «Cigars» connus en Côte-d'Ivoire. — *Ngonge, Carnets de Sciences humaines*, Bruxelles, 46 : 7 pp.
- RAYMAEKERS, P. 1996. Ruines de pierres en pays Lobi Ivoirien. — *Bull. Séanc. Acad. R. Sci. Outre-Mer*, Bruxelles, 42 (2) : 133-149.
- RAYMAEKERS, P. 1996. Ruines de pierres du pays Lobi Ivoirien. — *Bur. Et. Dév. Harmonisé (BEDH)*, Bruxelles et Inst. Hist. Art et Archéol. Afr. (IHAAA), Abidjan, 33 pp.
- RAYMAEKERS, P. 1986-1998. Prospections archéologiques en Côte-d'Ivoire. 10 Rapports de Mission, B.E.D.H., Bruxelles.
- RAYMAEKERS, P. & PETRE, O. 1990. Préhistoire en Côte-d'Ivoire. — *Archéologia*, Dijon, 262 : 60-66.
- RAYMAEKERS, P. & PIRSON, S. 1997. Ruines de pierres du pays Lobi Ivoirien. — *Archéologia*, Dijon, 334 : 28-33.
- SHAW, T. 1986. Préhistoire de l'Afrique occidentale. — *In* : Histoire Générale de l'Afrique, T. I, Unesco, Paris, pp. 342-353.
- SUTTON, J. 1980-1981. *Archaeology in Ghana*, 2, Legon.
- SZUMOWSKI, G. 1956. Notes sur les haches néolithiques soudanaises. — *Notes Africaines*, IFAN, Dakar, 72 : 98-102.
- TREINEN-CLAUSTRE, F. 1982. Sahara et Sahel à l'âge du fer. — *Mémoires de la Société des Africanistes*, Paris, 214 pp.
- VERNET, R. 1996. Le sud-ouest du Niger. De la préhistoire au début de l'histoire. — *Etudes Nigériennes*, Sépia, Paris, n° 56, 394 pp.
- YIODE GUEDE, F. 1995. Contribution à l'étude du Paléolithique de la Côte-d'Ivoire : Etat des connaissances. — *Journal des Africanistes*, 65 (2) : 79-91.

NOTE SUR LA CERAMIQUE

L'étude de la céramique est toujours en cours et n'a pas été abordée dans la présente communication.

Les premières observations indiquent l'absence totale de tessons se référant au néolithique et plus particulièrement au néolithique de Kintampo (où de très significatifs tessons ont été trouvés en fouille). La quasi-totalité des tessons observés au Haut-Comoé semble se référer à l'âge du fer. Les datations à la thermoluminescence ne dépassent pas 360 ans B.P.

Ces premiers constats militent également pour deux occupations nettement distinctes de sites que l'on a qualifiés trop hâtivement de «mixtes» dans le sens d'une continuité d'occupation et d'une coexistence à certain moment de leur occupation de la pierre et du fer.

NOTE SUR UNE DECOUVERTE RECENTE

Lors de l'exposé de la présente communication, M. P. de Maret, membre titulaire de l'Académie, a signalé la très récente découverte d'un quatrième «cigar» en Côte-d'Ivoire.

Il a été découvert à Abokouamikro, à 25 km à l'est de Yamoussoukro ; soit à près de 400 km (à vol d'oiseau) de Kintampo.

**KLASSE VOOR NATUUR- EN
GENEESKUNDIGE WETENSCHAPPEN**

**CLASSE DES SCIENCES
NATURELLES ET MEDICALES**

Zitting van 27 januari 1998

(Uittreksel van de notulen)

De zitting wordt om 14 u. 30 geopend door M. F. Malaisse, Directeur, bijgestaan door Mevr. Y. Verhasselt, Vast Secretaris.

Zijn bovendien aanwezig : de HH. J. Alexandre, E. Bernard, E. De Langhe, J. Delhal, J. D'Hoore, L. Eyckmans, A. Fain, C. Fieremans, P. Gigase, P. Goyens, J.-M. Jadin, J. Meyer, J.-C. Micha, E. Robbrecht, G. Stoops, C. Susanne, J.-J. Symoens, C. Sys, P. Van der Veken, E. Van Ranst, werkende leden ; de HH. J. Belot, A. de Scoville, S. Pattyn, Mevr. D. Swinne, geassocieerde leden ; M. M. Frère, corresponderend lid.

Betuygden hun spijt niet aan de zitting te kunnen deelnemen : de HH. I. Beghin, M. De Dapper, M. Deliens, S. Geerts, J. Jadin, P.G. Janssens, A. Lawalrée, M. Lechat, H. Maraite, J. Mortelmans, H. Nicolaï, Mevr. F. Portaels, de HH. J. Rammeloo, R. Swennen, L. Tack, E. Tollens, J. Vercruysse, Mevr. M. Vincx en M. H. Vis.

De Directeur verwelkomt M. J. Belot, geassocieerd lid, die voor het eerst een van onze zittingen bijwoont.

„Relations materno-foetales dans les parasitoses”

M. Y. Carlier, Laboratorium voor parasitologie, „Université Libre de Bruxelles”, stelt een mededeling voor getiteld als hierboven.

De HH. P. Gigase, L. Eyckmans, J.-M. Jadin, A. Fain, C. Susanne, P. Goyens en Mevr. Y. Verhasselt nemen aan de bespreking deel.

De HH. Gigase en Jadin worden als verslaggevers aangeduid.

„Dynamique récente et cartographie de la végétation aquatique (1960-1996) du lac Naivasha (Rift Valley, Kenya)”

M. J.-J. Symoens stelt een mededeling voor getiteld als hierboven en opgesteld in samenwerking met Mevr. A.C. Gouder de Beauregard en de HH. D. Harper en F. Malaisse.

De HH. E. De Langhe, F. Malaisse, J.-C. Micha, E. Robbrecht, A. Fain en P. Van der Veken nemen aan de bespreking deel.

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

Denkgroep „Congo”

M. A. Fain had graag ook de grote medische problemen, momenteel ondergewaardeerd in Congo, aan bod zien komen

De zitting wordt om 17 u. 05 geheven.

Séance du 27 janvier 1998

(Extrait du procès-verbal)

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

Sont en outre présents : MM. J. Alexandre, E. Bernard, E. De Langhe, J. Delhal, J. D'Hoore, L. Eyckmans, A. Fain, C. Fieremans, P. Gigase, P. Goyens, J.-M. Jadin, J. Meyer, J.-C. Micha, E. Robbrecht, G. Stoops, C. Susanne, J.-J. Symoens, C. Sys, P. Van der Veken, E. Van Ranst, membres titulaires ; MM. J. Belot, A. de Scoville, S. Pattyn, Mme D. Swinne, membres associés ; M. M. Frère, membre correspondant.

Ont fait part de leur regret de ne pouvoir assister à la séance : MM. I. Beghin, M. De Dapper, M. Deliens, S. Geerts, J. Jadin, P.G. Janssens, A. Lawalrée, M. Lechat, H. Maraite, J. Mortelmans, H. Nicolaï, Mme F. Portaels, MM. J. Rammeloo, R. Swennen, L. Tack, E. Tollens, J. Vercruysse, Mme M. Vincx et M. H. Vis.

Le Directeur accueille M. J. Belot, membre associé, qui assiste pour la première fois à une de nos séances.

Relations materno-fœtales dans les parasitoses

M. Y. Carlier, Laboratoire de parasitologie, Université Libre de Bruxelles, présente une communication intitulée comme ci-dessus.

MM. P. Gigase, L. Eyckmans, J.-M. Jadin, A. Fain, C. Susanne, P. Goyens et Mme Y. Verhasselt interviennent dans la discussion.

MM. Gigase et Jadin sont désignés en qualité de rapporteurs.

Dynamique récente et cartographie de la végétation aquatique (1960-1996) du lac Naivasha (Rift Valley, Kenya)

M. J.-J. Symoens présente une communication intitulée comme ci-dessus et réalisée en collaboration avec Mme A.C. Gouder de Beauregard et MM. D. Harper et F. Malaisse.

MM. E. De Langhe, F. Malaisse, J.-C. Micha, E. Robbrecht, A. Fain et P. Van der Veken interviennent dans la discussion.

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

Groupe de réflexion «Congo»

M. A. Fain souligne qu'il faudrait prendre en considération les grands problèmes médicaux qui sont actuellement occultés au Congo.

La séance est levée à 17 h 05.

Charles Nicolle.
Réflexions induites par «Le Pommier et l'Olivier»,
la biographie fondamentale par Maurice Huet *

par

Pieter G. JANSSENS **

MOTS-CLES. — Nicolle ; Institut Pasteur Tunis ; Leishmaniose ; Typhus historique ; Prix Nobel.

RESUME. — Charles Nicolle a été pour une génération de microbiologistes, orientés vers l'épidémiologie, un maître à penser grâce au «Destin des Maladies Infectieuses», un classique de la médecine. Hans Zinsser lui avait dédié en témoignage d'amitié affectueuse son célèbre «Rats, Lice and History». C. Nicolle était un pastorien, né à Rouen en 1866 et promu docteur en médecine à Paris en 1893. Formation complétée par l'enseignement de Roux et de Metchnikoff à l'Institut Pasteur avant de commencer sa pratique en sa ville natale. Sa surdité progressive rend sa pratique difficile et en 1902, âgé de 36 ans, il accepte la direction de l'Institut Pasteur à Tunis. Il y traquera au hasard d'incidents épidémiques dans les foyers, que lui signalent des informateurs divers (médecins, vétérinaires, particuliers), les maladies régnant en Tunisie : leishmaniose, lèpre, peste, bilharziose, fièvre typhoïde, typhus historique, fièvre de Malte, toxoplasmose. Ses recherches seront ponctuées par l'isolement en culture ou sur animal de laboratoire des pathogènes et de leurs éventuels vecteurs. Habile microbiologiste et expérimentateur, ses observations nourriront le cheminement continu de sa pensée. Cette biographie est la présentation fidèle de l'imposant dossier rassemblé par Pierre et Marcelle Nicolle, ses enfants, remanié en une rédaction rigoureuse et élégante par Maurice Huet, pastorien de carrière avec une connaissance personnelle de Tunis. Elle couvre une œuvre imposante de publications scientifiques médicales, de livres de philosophie biologique et médicale, de livres littéraires et de correspondances. Mon espoir est de vous faire partager le plaisir que j'ai eu à lire cette remarquable évocation d'un grand homme.

TREFWOORDEN. — Nicolle ; Pasteur Instituut Tunis ; Leishmaniasis ; Vlektyfus ; Nobelprijs.

SAMENVATTING. — *Charles Nicolle, beschouwingen bij „Le Pommier et l'Olivier”, de fundamentele biografie door Maurice Huet.* — Charles Nicolle was voor een generatie microbiologen met een interesse voor de epidemiologie een meester voor

* Communication présentée à la séance de la Classe des Sciences naturelles et médicales tenue le 16 décembre 1997. Texte reçu le 16 décembre 1997.

** Membre de l'Académie ; directeur honoraire de l'Institut de Médecine Tropicale Prince Léopold, Nationalestraat 155, B-2000 Antwerpen (Belgique).

hun medisch denken dankzij zijn „Naissance, Vie et Mort des Maladies Infectieuses”, een geneeskundig klassiek werk. Hans Zinsser droeg zijn vermaard „Rats, Lice and History” in *affectionate friendship to Charles Nicolle, scientist, novelist and philosopher* op. C. Nicolle was een „pasteuriaan”, geboren te Rouen (Normandië) in 1866 en gepromoveerd tot doctor in de geneeskunde aan de Universiteit van Parijs in 1893. Vooraleer een praktijk op te nemen in zijn geboortestad volgt hij de cursus „Microbie Technique” van Roux en Metchnikoff aan het „Institut Pasteur”. Zijn progressieve doofheid bemoeilijkt zijn klinisch werk aanzienlijk en in 1902 aanvaardt hij, 36 jaar oud, de directie van het „Institut Pasteur” te Tunis. Naargelang aanvallen van infectieuze ziekten onder zijn aandacht worden gebracht door talrijke informatieverzamelaars (artsen, dierenartsen, burgers) zal hij deze grondig onderzoeken zowel ter plaatse als in het laboratorium (leishmaniosen, lepra, pest, trachoma, bilharziose, buiktyfus, *typhus exanthematicus*, Maltakoorts, recurrerende koortsen, enz.). Daartoe worden de verwekkers zo mogelijk geïsoleerd op cultuurbodems of op proefdieren als ziektemodellen. Hierbij wordt tevens bijzondere aandacht besteed aan een mogelijke overdracht door vectoren. Zijn nooit onderbroken denkwerk betreffende de infectieziekten wordt gevoed door zijn handig microbiologisch werk en proefondervindelijke opstellingen. Deze biografie steunt op een goeddoordachte en elegante verwerking door Maurice Huet, pasteuriaan en Tunesiëkenner, van een te omvangrijk dossier piëteitsvol verzameld door Pierre en Marcelle Nicolle. Het boek dekt, benevens het indrukwekkend medisch-wetenschappelijk oeuvre, tevens de biomedische filosofische en literaire boeken en een deel van de uitgebreide briefwisseling van Charles Nicolle. Mijn wens is U te doen delen in mijn bekoring door deze merkwaardige evocatie van een groot Mens.

KEYWORDS. — Nicolle ; Tunis Pasteur Institute ; Leishmaniasis ; Historical Typhus ; Nobel Prize.

SUMMARY. — *Charles Nicolle. Reflections Brought by “Le Pommier et l'Olivier”, the Fundamental Biography by Maurice Huet.* — Charles Nicolle was a “Pasteurian”, born in Rouen (Normandy) in 1866 and who took a M.D. degree at the Paris University in 1893. Before taking up a practice in his own town, he followed the course of “Microbie Technique” by Roux and Metchnikoff at the Pasteur Institute. A progressive deafness hindered his practice and he accepted, at the age of 36, the directorship of the Institut Pasteur in Tunis. According to the flaring-up of fevers or other disorders reported by various informers (physicians, veterinary surgeons, individuals) Nicolle will pay attention to a number of infectious diseases, often simultaneously present (leishmaniasis, trachoma, leprosy, plague, bilharziasis, typhoid, historical typhus, Malta fever, relapsing fevers, etc.). The pathogen will be isolated whenever possible in culture or at least in a laboratory animal, model of disease, and if indicated by the search of a vector. His unceasing cogitations were fostered by his expert microbiological abilities and experimental research. This biography is a faithful and stylish presentation of the impressive dossier assembled respectfully by Pierre and Marcelle, his children. It was undertaken by Maurice Huet, who was a staff member of the Institut Pasteur in Tunis until he became the director of the Institut Pasteur in Tanger and an authority about Tunisia. It covers adequately the scientific research and harvest, the books on biological and medical philosophy and the novels. My purpose is to try to make you share with me the charm of this remarkable evocation of a great Man.

La genèse de ce bel ouvrage

Une documentation exceptionnellement riche avait été recueillie avec piété filiale par Pierre Nicolle, qui n'a pas voulu se charger de l'analyse de cette somme, se réservant avec sa sœur Marcelle, médecin comme lui, l'histoire de la famille. Il confia ce travail à un nombre de spécialistes qui constituèrent un dossier de presque 600 pages, trop disparates et de qualité inégale pour trouver un éditeur. Ce dossier ne pouvait pas rester inexploité. L'association des anciens élèves de l'Institut Pasteur et la Société de Pathologie Exotique ont confié à Maurice Huet la charge de remanier cet ensemble. Ce choix tenait compte de la connaissance parfaite de la Tunisie par l'auteur, né à Tunis, et pendant des années chef de service à l'Institut Pasteur de Tunis avant d'être chargé de la direction de l'Institut Pasteur de Tanger.

Le titre peut surprendre, mais il a été créé par Charles Nicolle pour souligner sa double appartenance : le Pommier pour sa Normandie natale et l'Olivier pour sa seconde patrie, la Tunisie. Sur la pierre tombale qui couvre sa tombe dans le vestibule de son Institut, où il a été inhumé revêtu de sa blouse blanche comme il l'avait souhaité, cette double appartenance est soulignée par la couronne où s'entrecroisent les rameaux du pommier et de l'olivier gravée dans le marbre par les soins de son grand ami le père Delattre.

Rouen - Paris - Rouen

Normand de souche, au moins de quatrième génération, il est né le 21 septembre 1866 à Rouen où son père était médecin des hôpitaux. Ce dernier a eu comme maître Félix-Archimède Pouchet, le célèbre et tenace contradicteur de Pasteur dans la querelle des «générations spontanées». Il a commencé ses études de médecine à l'Ecole de Médecine de Rouen en 1884, l'année du décès de son père. Il les poursuivra à Paris en 1887 et y préparera l'examen de l'internat avec Léon Daudet, fils d'Alphonse. Nicolle est reçu en 1889, Daudet échoue à cause de l'opposition de Charcot, échec dont il se vengera dans «Les Morticoles». Nicolle suit le cours de microbie technique de Roux et de Metchnikoff à l'Institut Pasteur en 1890 et y prolonge son séjour. En 1893 il présente sa thèse de doctorat : «Sur le chancre mou et son germe, le Strepto-bacille de Ducrey».

Il est nommé à Rouen professeur suppléant de pathologie et de clinique médicale et, en 1894, médecin-adjoint des hôpitaux de Rouen. Il souhaite mettre la microbiologie au service des malades. Ceci se concrétisera par la réaction de Widal et par la préparation sur place de sérum antidiphthérique que lui confie Roux. Il prévoit l'établissement d'un «Centre d'études médicales et de recherches de laboratoire». Le laboratoire de bactériologie devait être relocalisé.

C. Nicolle avait à Rouen des camarades de classe avec lesquels il entretiendra de solides liens amicaux. Albert Martin, futur chirurgien avec qui il fera son service militaire chez les chasseurs alpins ; Albert Halipré, qui deviendra directeur de l'Ecole de Médecine de Rouen ; Albert Gascard, pharmacien. Ses amitiés s'étendent à d'autres disciplines : architecture, musique. Il y adjoindra au début de sa carrière des techniciens et des jeunes médecins avec lesquels il participera à la fondation de *La Revue Médicale Normande*. Ses projets d'enseignement, ses réalisations, sa nomination en 1900 comme chef de service à l'Hôpital général de Rouen (maladies vénériennes et cutanées) entraîneront des conflits du genre de ceux que des jeunes praticiens entreprenants rencontrent souvent avec des confrères plus chevronnés. Ces conflits vont s'envenimer avec le Docteur Raoul Brunon, directeur de l'Ecole de Médecine. Ses démêlés avec ce dernier sont exposés dans sa première œuvre littéraire «Chronique de Maître Guillaume Heurtebise» (1903), un pastiche, exercice de style que Nicolle utilise volontiers. Il reprendra le sujet dans sa nouvelle «Bourrois et Heuvet» (1929). Sa surdité, fort incommode pour un médecin, s'aggrave. Les problèmes vont s'amplifier, devenir intolérables : c'est l'échec. Encouragé par Maurice, son frère aîné, il accepte la place de directeur de l'Institut Pasteur de Tunis qui lui est proposée en 1902. Il s'était marié le 8 octobre 1895 avec Alice Avice, ils auront deux enfants : Marcelle (1896) et Pierre (1898).

Tunis, installation et nouvel institut

Le 23 décembre 1902, Nicolle débarque à Tunis. Il a 36 ans. L'Etat tunisien était, depuis le Traité de Kassas-Saïd, dit de Bardo (12 mars 1881), et la Convention de La Marsa (1882), un protectorat français (en contrepartie du contrôle de Chypre par les Anglais). Il ne supprimait pas l'autorité nationale beylicale mais réservait à la France les activités militaires et les affaires étrangères. Quoique les fonctionnaires français fussent soumis à l'autorité du Bey, celui-ci ne conservait qu'un rôle symbolique, le pouvoir réel étant exercé par le Résident général qui recevait ses instructions de Paris. La population constituait une mosaïque de races, comportant les Tunisiens musulmans et juifs, une colonie dominante de Français, moins importante d'Italiens (Siciliens), en outre de Grecs et de Maltais, tous avec leur mode de vie propre et les clivages qui en résultaient.

Les médecins sont français, Tunisiens juifs et arabes sont en petit nombre. Il existe une Société des Sciences Médicales, fondée en 1898, et dont l'ophtalmologue A. Cuénod était l'animateur. Les établissements hospitaliers sont plutôt nombreux : hôpital civil français (plus tard hôpital C. Nicolle), hôpital Sadiki tunisien (Nicolle l'appelle musulman), hôpital italien Santa Margherita, hôpital colonial italien laïque (actuellement hôpital Habib Tha-

meur), le lazaret de la Rabta (colline) pour contagieux, depuis hôpital des contagieux, l'hôpital Ernest Conseil, qui était le point d'appui pour l'Institut Pasteur et Nicolle. Il y avait en plus l'hôpital militaire Sidi Abdallah près de Bizerte, un petit hôpital à Sousse et à Sfax, et le Bureau municipal d'Hygiène de Tunis. Toutes ces formations médicales constitueront en proportions variées le champ d'activité et de ressources pour les travaux de recherche en microbiologie et en infectiologie de l'Institut Pasteur.

L'Institut Pasteur de Tunis a été fondé le 14 février 1900 (14 chaout 1317) par décret beylical qui lui accordait la personnalité civile et fixait son personnel, soit le Dr Adrien Loir, directeur ; A. Planet, préparateur ; Joseph Chaltiel, aide-technicien du service antirabique ; Habib, chaouch (le Prince Jaffar de Duhamel). Son origine est liée à la demande du Résident général Charles Rouvier adressée en 1893 à L. Pasteur d'envoyer un de ses élèves aider les viticulteurs français en difficulté pour une vinification correcte pendant les périodes très chaudes. Emile Duclaux propose à Pasteur d'envoyer son neveu Adrien Loir, formé par lui et revenu d'un séjour en Australie. A. Loir est chargé d'une mission d'étude en juin 1893. Il installe un laboratoire pour étudier la fermentation du jus de raisin. Toutefois, guidé par son expérience et l'existence de la rage, il propose la création d'un institut antirabique. En réponse, Pasteur lui adresse, en tant que directeur, tous ses vœux en mars 1894 «pour se mettre à l'œuvre avec confiance, et que l'Institut de Tunis soit comme le prolongement de celui où vous avez été témoin de tout ce qui s'est fait dans nos salles d'étude et de recherches, pour l'honneur de la France et le bien de l'humanité». Loir réalisera ce service, qu'il complétera par un centre vaccino-gène pour engager la lutte contre la variole fréquente sous la Régence. Son projet de rendre cette vaccination obligatoire en Tunisie se heurta au veto du Gouvernement français parce que la loi sur cette vaccination n'avait pas encore été votée en France. Le 6 septembre 1902, Loir est envoyé en mission en Rhodésie pour y organiser la vaccination antirabique, après quoi il rentre à Paris.

Nicolle trouve à Tunis un laboratoire vétuste où l'on produit, outre les levures sélectionnées pour aider les viticulteurs, le vaccin antirabique de Pasteur, le vaccin antivariolique de Jenner et le sérum antidiphthérique de Roux. Après le départ de Loir, l'intérim a été assuré par le vétérinaire Ducloux, directeur de l'élevage. Nicolle s'efforça aussitôt à obtenir un bâtiment adéquat et un emplacement digne de Pasteur pour ce troisième Institut Pasteur (après Paris et Saïgon). Il l'obtint près du parc du Belvédère, sur un lotissement pris sur le Jardin d'essai. Pour ce faire, il ne ménagera pas son prédécesseur, il ne devait pas ignorer que celui-ci était en discrédit auprès de Mme Pasteur, sa tante.

Il supervise les plans du bâtiment, qu'il souhaite en style tunisien, et décide de l'aménagement rationnel des locaux. Les travaux seront menés rondement et il peut s'y installer en février 1904. L'inauguration officielle se fait le 13 mai.

Il obtient un adjoint, Gaston Catouvillard, de très petite taille, mais d'un grand dévouement et d'une fidélité exemplaire. Il établit des contacts avec le corps médical, dont certains seront plus chaleureux. Ce sera le cas avec Charles Comte, un camarade d'internat assigné à l'hôpital Sadiki, chirurgien doué d'une grande ingéniosité et bricoleur habile qui remettra en état les vieux autoclaves de l'Institut. Cette amitié se maintiendra jusqu'au moment de leur différend au sujet du rôle du pou dans le typhus historique. En 1906, le Dr Ernest Conseil prend service comme chirurgien, s'infecte accidentellement au doigt, infection qui se complique d'une ostéomyélite qui entraînera une infirmité permanente du bras. Nicolle prend pitié de lui et profite d'une petite épidémie de peste pour faire établir le Bureau municipal d'Hygiène de la ville de Tunis, dont Conseil sera mis en charge. Ce Bureau s'avérera très utile pour les travaux de Nicolle.

Nicolle parcourt le pays pour s'informer de la pathologie régnant à l'intérieur. En observateur attentif il est forcément impressionné par la diversité des problèmes présents à Tunis et à l'intérieur. Tous attendent des solutions que les techniques microbiologiques doivent être susceptibles d'apporter. La multiplicité des problèmes médicaux qui retiendront simultanément son attention se reflète dans des notes sur des sujets assez disparates rencontrés au cours de prises de contact : la rage (1904), les scorpions, la lèpre, la brucellose (1905), les diarrhées (1906). Ainsi, à l'occasion de ses déplacements en draine le long de la voie ferrée de Tunis à Bône, il établit que les fièvres du personnel, attribuées aux lauriers roses qui poussent dans le fond des oueds, sont du paludisme.

Les années fécondes : 1907-1914

LA LEISHMANIOSE INFANTILE

Dès 1907, son intérêt va se concentrer sur une maladie infantile caractérisée par des accès fébriles, une splénomégalie très importante, une anémie profonde et une mortalité élevée. Il ponctionne, autopsie et voit sous le microscope des corpuscules qui lui rappellent les leishmanies ; il les met en culture. Dans la goutte de liquide il peut s'assurer qu'il s'agit des parasites découverts dans le Kala Azar indien. Toutefois, la symptomatologie est particulière puisqu'il s'agit d'une pathologie essentiellement infantile. Dans l'espoir de découvrir l'origine de cette maladie, il l'observe attentivement, il interroge la famille des petits malades. Ces enquêtes suggèrent de nombreuses pistes, mais ne livrent qu'un indice qui l'intéresse, à savoir un chien amaigri et galeux vivant dans la communauté d'un petit malade. Pour évaluer cette coïncidence il tente d'infecter un chien en lui inoculant dans le foie et la cavité péritonéale du liquide contenant les parasites. Au sixième mois de prélèvements hebdoma-

dares il trouve des éléments suspects ; il sacrifie le chien et trouve que le foie, la rate et la moelle osseuse sont farcis de leishmanies. Le chien est donc infectable, mais est-il un réservoir ? Pour éclaircir cette possibilité il autopsie systématiquement les chiens errants mis en fourrière, le 33^e est positif. Il poursuit la série et trouve au total 4 chiens infectés sur 221 (1,8 %). L'infection du chien établit une autre différence importante : à l'opposé de l'affection indienne à transmission interhumaine, il existe un réservoir animal. Il dénomme le parasite *Leishmania infantum*. M. Huet souligne qu'en opposition des opinions courantes, Nicolle n'a pas induit ses réflexions à partir de la distribution de la leishmaniose infantile parmi les communautés de Tunis, mais a établi *a posteriori* sa distribution inégale selon la densité des chiens en ordre décroissant des Siciliens aux Français et leur absence chez les Arabes et les Juifs. Ce sera la première découverte importante de Nicolle. Trente cas furent enregistrés (1907-1912) et 123 jusqu'en 1934. Il avait évoqué les puces comme vecteur, mais a manqué le vrai vecteur : les phlébotomes (Sergent et Parrot, pour la forme cutanée, 1921, et Napier, forme viscérale, 1933).

LA LEISHMANIOSE CUTANÉE

Corrélativement il s'efforce à établir l'étiologie des lésions cutanées identifiées localement comme «Clou de Gafsa». Lorsqu'on lui signale une telle lésion chez un chamelier à Touzeur il n'hésite pas, encore que pour l'atteindre il faille 150 km en chemin de fer (Tunis-Sousse), 164 km en auto (Sousse-Sfax), 240 km par le train de phosphates (Sfax-Gafsa jusqu'à Metloui) et 54 km en auto de Metloui à Touzeur. Il trouve le chamelier, prélève des échantillons qu'il inocule dans des milieux de culture NNN (McNeal-Novy-Nicolle). Pendant le trajet de retour, il doit arroser de temps en temps les tubes de culture pour éviter aux cultures une température trop élevée. A Tunis il constate le succès de sa tentative. Le bilan brillant de ces longues et patientes recherches sera condensé en trois notes courtes et précises soumises à l'Académie des Sciences à Paris (1908). Il a de nouveau laissé échapper l'occasion de démasquer le vecteur, mais les phlébotomes seront identifiés en 1921.

LE TOXOPLASMA GONDII

Son intérêt ne se limitait pas aux maladies. On lui avait signalé l'existence de rongeurs sauvages dans le Matmato, région semi-désertique, qu'il devait traverser en revenant de son petit laboratoire installé dans le petit port d'Ajim, dans l'île de Jerba, où il tentait d'isoler le *Mycobacterium leprae*, bien connu mais incultivable, sur animal de laboratoire. Tentatives d'inoculation tablant sur son idée d'une possible relation entre la lèpre et les poissons et d'autres animaux de mer, qu'il qualifiera lui-même comme le «plus bel échec du monde». Il rencontre effectivement à chaque tournant dans le canyon de Toujane des gros rats, qui se dressent comme des marmottes, avant de

disparaître dans leurs gîtes. Il y voyait une source possible d'un animal complémentaire pour les recherches. Les essais de capture échouent, un seul exemplaire assommé par un coup de bâton est ramené. Les enfants de la région connaissent une méthode de capture et on leur laisse des nasses à poissons, comme cages de fortune. Les gondis seront fournis régulièrement à Tunis. Ceux qui meurent sont autopsiés. Ils ont tout d'abord servi à des essais de transmission de la lèpre : on leur injectait par voie sous-cutanée ou intrapéritonéale des broyats de lépromes. Il ne trouve ni *M. leprae*, ni leishmania mais un parasite non flagellé inconnu, incurvé comme un arc, plus petit qu'un globule rouge. A la coloration il voit un noyau rouge dans un protoplasme bleu. Cette découverte n'est pas faite chez le gondi qu'il avait pu ramener. Les arrivages de gondis sont indemnes à leur arrivée, mais les parasites peuvent apparaître plus tard, vers la troisième semaine. E. Chatton et G. Blanc ne trouvent pas le parasite chez 400 gondis examinés sur place en 1917. Grâce à la connaissance actuelle de la présence de la phase infectieuse chez le chat (Work et Hutchinson), Huet émet l'hypothèse que les gondis ont été infectés dans l'animalier où les chats, que Nicolle affectionnait, circulaient librement. Il croyait à une transmission par ectoparasites, en particulier du chien, mais n'a pas pu en apporter la preuve.

Nicolle a décrit le parasite auquel il a donné, vu sa forme arquée et l'animal chez lequel il a été découvert, le nom de *Toxoplasma gondii* et le communique à l'Académie des Sciences en 1908. L'année suivante, il reçoit un parasite similaire trouvé chez un lapin que A. Splendore avait envoyé du Brésil à F. Mesnil. Il sera retrouvé chez nombre d'autres animaux et d'oiseaux. Castellani le trouve chez un homme à Ceylan en 1913 et estime que *T. gondii* peut infecter l'homme. Le fait sera confirmé, un an après le décès de Nicolle, par A. Wolf et D. Cowan. Sa gravité sera établie par Paige.

LA FIEVRE DE MALTE

Dès 1904, il avait décelé la présence à Tunis de la fièvre de Malte (île voisine). Il met au point le sérodiagnostic et désigne les chèvres laitières comme agent de transmission de la brucellose. Le laitier maltais parcourait les quartiers populaires avec son troupeau de chèvres et trayait à la demande le lait de chèvre moins cher que le lait de vache. Les chèvres, sérologiquement positives, ne paraissaient pas malades. Nicolle ne parle pas encore d'infection inapparente, mais cette observation sera la source ouvrant la voie à cette notion qui s'implantera vingt ans plus tard. Les mesures de précaution qu'il préconise en 1910 restent valables.

LE TYPHUS HISTORIQUE

Peu après son arrivée, il apprend l'existence d'une épidémie parmi la population indigène. Il s'agit du typhus historique, une maladie exanthématique

identifiée cliniquement depuis sa description comme *morbus pulicaris* par G. Cardano (1536) et G. Fracastoro (1546). Le terme «typhus» a été introduit par Sauvages de la Croix (1750) et généralisé par W.W. Gerhard, médecin américain élève de Louis Pasteur, lors de l'épidémie de Philadelphie (1837). Ce mal a été associé depuis des siècles aux guerres, aux famines, à la misère, à l'encombrement (ZINSSER 1935). Par contre, son étiologie et mode de contagion étaient toujours inconnus.

Selon la tradition pastorienne qui cherche à trouver un vaccin même avant la découverte de l'agent responsable, Nicolle veut tenter d'apporter quelque lumière sur le typhus. Il demande à son confrère Motheau, en charge du pénitencier de Djouggar, à 80 km de Tunis, où sévit une grave épidémie, de pouvoir l'accompagner lors de sa visite hebdomadaire. Un incident hémoptysique le fait renoncer à cette expédition. Son confrère et son domestique y vont, y couchent, y contractent le typhus et meurent tous deux. Dans son discours, lors de la réception du Prix Nobel, Nicolle fera remarquer : «Sans cet incident, mon premier contact eût sans doute été le dernier». Le typhus historique ne pouvait disparaître de cet esprit curieux et vigilant. Il n'y fait pas allusion dans ses écrits, mais il est inconcevable qu'il ait pu s'abstenir d'enregistrer tous les éléments susceptibles d'aider à débrouiller les mystères du typhus historique, quitte à les laisser mûrir dans sa mémoire. Sa fréquentation quasi journalière à l'hôpital Sadiki, où il rencontrait Charles Comte, qu'il avait engagé dès 1904 dans son Institut, fournissait l'occasion d'épiloguer sur leurs constatations. Nicolle avait été frappé par le caractère saisonnier des épidémies, débutant en hiver et rétrocedant en juin. Il avait relevé en outre les groupes et les quartiers régulièrement atteints, ainsi que la marche progressive de la vague épidémique.

Lors de ses visites à l'hôpital de Sadiki, il est frappé de voir des typhiques couchés parmi des malades d'affections les plus diverses, promiscuité qui n'entraîne pas de contaminations. La contagion se produit dans les douars, les quartiers de la ville, parmi les employés de l'hôpital préposés à l'admission des entrants. Les médecins, les infirmiers se contaminent dans le bled, dans Tunis, mais point dans les salles de médecine. La maladie s'arrêtait à la porte de l'hôpital. Nicolle était bien au courant de la littérature, savait que la recherche systématique d'insectes vecteurs était à la mode. Ces notions devaient occuper aussi ses collaborateurs Comte et Conseil [1]*. Ils n'ignoraient pas que G. Cardano avait suggéré le nom de *morbus pulicaris* et associé typhus et individus couverts de vermine. Quoi qu'il en soit, la découverte du pou (*Pediculus humanis*) comme vecteur du typhus historique est une belle histoire. L'essentiel est extrait du texte de Nicolle dans «La Biologie de l'Invention» : «Un jour, un jour comme les autres, un matin, pénétré sans doute de l'énigme

* Le chiffre entre crochets [] renvoie à la note p. 168.

du mode de contagion du typhus, n'y pensant pas consciemment toutefois (de cela, je suis bien sûr), j'allais franchir la porte de l'hôpital lorsqu'un corps humain, couché au ras des marches, m'arrêta ... Comme d'ordinaire, j'enjambai le corps étendu. C'est à ce moment précis que je fus touché par la lumière ... C'était donc quelque chose d'étranger à lui, qu'il portait sur lui-même, dans son linge, sur sa peau, qui causait la contagion. **Ce ne pouvait être que le pou. C'était le pou.**».

Cette illumination soudaine en enjambant la frontière de la contagion l'a conduit à la théorie de l'intuition. La date de cette vision subite n'a jamais été renseignée et ce fait n'a pas été admis par tous. Ceci est bien compréhensible. Dans sa communication à l'Académie des Sciences (1909), il est précisé que l'étude récente des épidémies de typhus exanthématique les ont amenés à considérer un insecte comme l'agent probable de la transmission de la maladie. L'époque ordinaire d'apparition des épidémies de typhus (printemps) rendait insoutenable le rôle de moustiques, de tiques ou de stomoxes. Ils éliminent ensuite les puces et les punaises, parce que toujours présentes dans les services hospitaliers, pour limiter leurs hypothèses au pou. Dans une lettre, datée du 24 août 1906 et citée par P. Nicolle pour justifier une priorité contestée par Sergent, Roux écrit : «Je reçois votre lettre où vous me mettez au courant de vos travaux sur le typhus ... Avez-vous des expériences en train pour savoir combien de temps le virus reste vivant chez les poux ?». La rupture définitive avec Charles Comte, un ami et collaborateur très estimé, cosignataire de la communication à l'Académie des Sciences, trouve peut-être son origine dans ce grave différend, qu'ils n'ont commenté ni l'un ni l'autre. En outre, des personnes ayant des préoccupations communes, tels Nicolle et ses collaborateurs, se concentrent sur le sujet, échangent des points de vue si librement qu'on ne sait finalement plus qui a été l'initiateur de certaines idées. Nicolle souligne ce phénomène dans les paroles qu'il prononça aux obsèques d'Ernest Conseil : «Nos efforts étaient unis depuis vingt ans ; nos idées se sont si intimement mêlées que je ne sais plus, moi-même, de l'œuvre commune, ce qu'un y apporta et ce qui revient à l'autre».

L'intuition est une hypothèse qui plaît, mais qui n'est pas nécessairement fondée. Elle n'apparaît d'ailleurs que dix-neuf ans plus tard, lors de son discours de réception du Prix Nobel 1928, sera amplifiée dans sa «Biologie de l'Invention» (1932) et dans ses Leçons au Collège de France. Elle est probablement à l'origine du grave différend avec Charles Comte, privé de sa part au mérite.

Cette analyse n'enlève rien au mérite de Nicolle. La primauté de la démonstration expérimentale du rôle du pou dans la transmission du typhus n'a jamais été contestée.

Nicolle n'était pas parvenu entre-temps à reproduire le typhus chez des animaux de laboratoire : souris, rats, cobayes (plus tard l'animal de choix), lapin, chien (porteur de *Leishmania infantum*). Il s'oriente vers le singe,

mammifère plus proche de l'homme, mais les «bonnets chinois» (*Macacus sinicus*) injectés avec du sang de typhiques en pleine période aiguë ne produisent que quelques accès de fièvre inconstante et fugace. Ils deviendront convaincants après un premier passage sur chimpanzé. En effet, lorsqu'en mai 1909 le premier chimpanzé est à Tunis, il reçoit 1 c³ de sang prélevé sur un des derniers malades de l'épidémie en cours hospitalisé au lazaret de la Rabta. Au 25^e jour il développe un typhus patent (fièvres, éruption). Il est soumis à la piqûre de 29 poux recueillis sur l'homme. Deux bonnets chinois sont infectés à leur tour avec le sang du chimpanzé. Les passages de macaque à macaque réussissent, l'entretien de la souche est assuré. Il peut passer à l'expérience cruciale : la transmission du virus du typhus par le pou. Malgré le manque d'attrait du pou humain pour le sang de singe, l'emploi de poux affamés fait franchir la barrière. Les poux qui se sont gorgés sur un singe malade infecteront un autre macaque : il tombe malade. Ce succès conduira à deux communications à l'Académie des Sciences.

Ce succès sera le début d'une grande œuvre. En 1911, il démontre que le cobaye peut être infecté, qu'il conserve le virus et peut servir à l'entretien des souches de rickettsies. Ces recherches le conduiront à la notion féconde d'infections inapparentes. En 1914, il établit que la contamination ne se fait pas par la piqûre du pou mais par les crottes virulentes que l'homme s'inocule en se grattant. De plus, l'épouillage systématique des soldats de la guerre 1914-1918, préconisé par Nicolle, les protégera du typhus historique.

LES FIEVRES RECURRENTES

En 1911, Nicolle a son premier contact avec les *fièvres récurrentes*. Ernest Conseil lui avait signalé un petit foyer de typhus dans une maison de Tunis et dont les malades avaient été hospitalisés au lazaret de la Rabta. Il se rend sur place avec singe et cobaye en vue d'isoler les rickettsies. Le singe inoculé de sang fait un fort accès de fièvre le 3^e jour (40 °C), ce qui ne correspondait pas à la durée d'incubation plus longue du typhus. Il examine une goutte de sang et y découvre un organisme mobile, déplaçant les globules rouges et sous forme de ressort à boudin : c'était le spirochète (*Borrelia obermeieri* (1868), l'agent de la fièvre récurrente dont la présence était connue en Afrique du Nord. Les épidémies de fièvre récurrente suivent celles du typhus ; les deux connaissent les mêmes conditions de milieu. Il croit que l'infection est venue de Tripolitaine. Ce qui était une fausse piste. Il suit les travaux de E. Sergent et H. Foley qui ont étudié en 1907-1908 quarante-deux cas de faible contagiosité à Beni Ounif-de-Figuyf, une oasis dans le sud oranais à 830 m d'altitude et à climat présaharien. Dans leurs recherches d'un hôte intermédiaire, la saison hivernale de la maladie permet d'écarter les vecteurs habituels pour ne retenir que les poux et les tiques *Argas* qui piquent les poules et rarement l'homme. Un broyat d'*Argas* inoculé à un singe ne l'infecte pas. Les poux

sont suspectés. Un broyat de poux prélevés sur un malade en fin d'un premier accès envoyé à Paris et dont le liquide est négatif à l'examen microscopique inoculé au *Macacus cynomolgus* le 3/2/08 est positif le 11 et meurt trois jours plus tard. De 1908 à 1911, quatorze des trente-deux singes ainsi inoculés s'infecteront.

Le rôle du pou était tentant pour Nicolle, mais l'injection d'un broyat ne reproduisait pas la transmission dans la nature. Il fait des essais sur des volontaires qu'il fait piquer par un nombre conséquent, parfois impressionnant de poux qui ont pu s'infecter d'une heure à vingt-cinq jours : le 1^{er} reçoit 129 poux, le 2^e 377, le 3^e 484, le 4^e 4 707 et le dernier, son fidèle Habib, 6 515. Aucun ne s'infecte. Nicolle n'abandonne pas pour autant l'hypothèse. L'arrivée en 1910 de Ludovic Blaizot, médecin (Caen) avec une solide formation parasitologique, chez R. Blanchard et E. Brumpt (Paris) et muni d'un fond noir, permettra de suivre les spirochètes au jour le jour. Ils disparaissent rapidement du tube digestif en quelques heures, restent invisibles (granules) et réapparaissent huit jours plus tard, mais ni dans l'intestin, ni dans l'appareil piqueur, ni dans les glandes salivaires, mais dans le liquide de la cavité générale. Il était dès lors évident que les spirochètes sont dans un cul-de-sac et que leur sortie réclamait une modalité adaptée. Les pattes du pou sont délicates et les vêtements grossiers, ce qui entraîne facilement une rupture des pattes ou des antennes offrant une porte de sortie. La mise en évidence de ce mode de transmission illogique suivant un traumatisme répandant la lympe était une découverte révolutionnaire. La preuve indiscutable sur coupes sera fournie en 1919 par Lebailly.

La guerre 1914-1918

La guerre 1914-1918 a entraîné un intermède dans les activités scientifiques de l'Institut Pasteur. Les effectifs en ressentiront les effets. Alfred Conor, sous-directeur, tombé gravement malade en juillet 1913 d'une affection de nature non précisée, mais attribuée sans la moindre preuve à une contamination de laboratoire, est mort le 4 avril 1914, après avoir souffert le martyr sans s'avouer vaincu. Georges Blanc viendra le remplacer, mais sera mobilisé avec L. Blaizot, le chimiste Banze et le technicien A. Jannot qui mourra prisonnier de guerre. Louis Riant, le grand ami de Nicolle, se porte volontaire et trouve la mort sur la Somme le 25 septembre 1915. Mme Nicolle, qui ne s'est pas adaptée à Tunis, quitte son mari et s'installe à Paris avec les enfants. Ce n'est que vers la fin de la guerre que Marcelle viendra rejoindre son père.

Nicolle se bat contre l'administration. Il obtient finalement le détachement à son institut de C. Lebailly, E. Chatton et L. Caillon. Chaltiel quitte l'institut pour le privé. Henri Roussel est recruté. Les communications avec la France se dégradent, l'approvisionnement des laboratoires est difficile et irrégulier.

La remise en marche sera difficile. En 1919, il récupère G. Blanc et L. Blaizot, mais perd Lebailly, qui maintient à Caen sur cobaye la souche Rabta, que Nicolle pourra recouvrer en 1928, ainsi que E. Chatton, qui fera carrière à la faculté des sciences de Strasbourg.

La poursuite de l'œuvre (1918-1926)

Les publications de l'Institut portent sur le typhus, le trachome, les conjonctivites, la bilharziose, les leishmanioses, la fièvre récurrente. Nicolle et ses collaborateurs recherchent une filiation éventuelle entre la forme mondiale à poux et la récurrente à tiques. Ils avaient remarqué qu'une récurrente avait une localisation géographique, ce qui la rapprochait de la fièvre à tiques observée en Espagne, soit de *Spirochaeta hispanica* et *Ornithodoros erraticus*. Ils supposent cette fièvre être une adaptation de celle à poux à des acariens. Les trois cas observés par Nicolle, Charles Anderson et Jacques Colas-Belcour leur font mettre l'accent sur la survie prolongée des tiques et la vie courte des poux. De 1929 à 1936, on relève vingt-huit publications avec C. Anderson qui s'attachent au problème de l'unicité ou de la diversité des souches. Il s'agit d'un système clos dans un milieu naturel, «rongeurs - tiques - rongeurs», dans lequel l'homme n'est qu'un intrus accidentel. La variabilité des organismes est liée aux contacts et aux circonstances, ils ne sont pas séparables en espèces : Nicolle opine pour leur unicité.

LA FIEVRE BOUTONNEUSE

L'absence de toute allusion à la découverte de la *fièvre boutonneuse de Tunisie* par A. Conor et A. Bruch (1910) et Conor et Hayat (1910), que Huet ne relève pas, est surprenante. Les sept cas découverts à Tunis ont fait l'objet à l'Institut d'une inoculation au chimpanzé, qui meurt et dont 2 cc de sang du cœur sont injectés par voie sous-cutanée à un *Macacus rhesus*, qui fait une légère ascension thermique, et 1 cc d'une émulsion de la rate par voie intrapéritonéale à un bonnet chinois. De tels résultats négatifs n'étaient pas une raison suffisante pour arrêter les recherches, Nicolle l'avait prouvé. Néanmoins, cette fièvre éruptive, qui s'avérera par la suite être une rickettsiose importante et à distribution géographique très large, est tombée dans l'oubli. D. Olmer va l'en sortir en 1925 avec la *fièvre de Marseille*. En 1927, E. Burnet et D. Olmer analysent la symptomatologie et la confrontent avec les données des nombreuses «fièvres indéterminées» et se posent la question : la maladie de Marseille est-elle un typhus exanthématique bénin ? Ils éliminent la maladie de Brill (1897) et insistent sur la spécificité des symptômes : l'absence de stupeur, la nature boutonneuse de l'éruption, la présence d'une escarre et d'une adénite, orientant vers une inoculation par la peau, l'absence de contagion,

le caractère saisonnier, l'absence de poux, Weil-Felix et inoculation au cobaye négatives. Leur conclusion, une étude non mûre à reprendre. Burnet et Durand (1929) s'en chargeront. Ils évoquent le typhus d'été des E.U. à W-F +, mais le rapprochent du typhus mexicain, de la fièvre du Kumaun Hills (Megaw) et du pseudotyphus de Deli, Sumatra (Schüffner). Ils signalent sa présence en Provence, Italie, Maroc, Algérie, Espagne, Roumanie, ainsi que les inoculations par Olmer au singe (six malades sur dix avec passage sur singe, mais échec sur cinquante cobayes à partir de vingt malades). L'identité de la fièvre de Marseille et de la fièvre boutonneuse de Tunis sera établie par E. Conseil (1929). La transmission par *Rhipicephalus sanguineus* sera prouvée par Durand et Conseil. Le fait que Netter (1927), qui avait pensé à la fièvre boutonneuse dans une communication à l'Académie de Médecine, fut détourné de ce rapprochement par Nicolle qui, à ce moment, n'était «ni pour la fièvre boutonneuse, ni pour le typhus», est sans doute la raison du désintérêt de Nicolle et de l'intérêt de Burnet.

LE TYPHUS MURIN

Un autre fait étrange est l'absence d'intérêt pour les cas de typhus bénins observés par Nicolle. Lorsqu'un rapprochement a été fait avec le *tabardillo* mexicain et contact pris avec Mooser, Nicolle se rend en 1931 avec H. Sparrow au Mexique. Des informations recueillies grâce à Mooser, avec lequel il correspondait, lui apprennent le rôle du rat et des puces dans le typhus mexicain ou *tabardillo*. Ce typhus murin et le typhus de l'ancien monde y coexistaient et présentaient une immunité croisée. Ceci constituait pour Nicolle un espoir pour la production d'un vaccin et deviendra l'objectif majeur de ses recherches. H. Sparrow, qui était familiarisée avec la méthodologie de l'élevage de poux humains et leur inoculation par voie rectale chez Weigl à Lwow, sera recrutée en 1934 à Tunis. Elle initiera Abd el Majid Rahal à l'empalement rectal des poux sur micropipette suivi du lavement infectant. Nicolle n'a jamais vu la mise au point d'un vaccin qu'il souhaitait vivant et atténué. Entre-temps Cox avait produit un vaccin à partir de la culture de rickettsies en sac vitellin. En 1939, Durand et Sparrow préparent une source de rickettsies en les introduisant par voie nasale sur des souris anesthésiées : elles développent une pneumonie rickettsienne. En 1940, Durand et Giroud appliqueront la technique au lapin. Un vaccin devenait praticable au moment où le DDT le rendait superflu. Le fait que Nicolle détestait les termes rickettsioses et rickettsies «comme des mots barbares qui répugnent à la langue française» n'a pas été bénéfique à une transmission optimale de ses idées.

LES MALADIES INAPPARENTES

Les réflexions de Nicolle sur la *fièvre de Malte*, entretenue par des chèvres laitières non malades, qui sèment la maladie dans Tunis, combinées à sa grande

préoccupation de trouver un animal capable d'entretenir le virus typhique au laboratoire, vont le préparer à une percée nouvelle révolutionnaire. Ses essais sur cobayes avaient échoué. Mais l'introduction d'une méthode adéquate pour une prise de température rectale chez cet animal lui apportera la preuve que la courbe fébrile du cobaye infecté reproduit en miniature la maladie humaine. Même les cobayes non fébriles, ou échecs apparents, peuvent être contagieux (1919), car la transmission reste possible par la matière cérébrale. Le cobaye était sensible et la transmission de l'infection en série était possible. Mais il y a plus, Nicolle a remarqué que **la maladie inapparente** était un phénomène naturel et général. Des infections infracliniques, qui reproduisent en miniature le dessin de la maladie humaine, se rencontrent dans bien d'autres affections : la poliomyélite, dont les différentes modalités de la paralysie infantile resteraient sinon incompréhensibles ; de nombreuses zoonoses en constituent d'autres exemples, telle la fièvre boutonneuse qui est asymptomatique chez le chien. Elle permet d'expliquer l'absence apparente de la rougeole et de la rubéole suivie de leur apparition explosive. Nicolle estime que cette inapparence est la règle et que leur augmentation amorce le déclin des grandes endémies. Cette notion conduira à son livre fameux «Naissance, vie et mort des maladies infectieuses» (1930), qui sera repris et explicité dans «Destin des maladies infectieuses» (1933). Ce concept, à lui seul, aurait suffi à faire passer le nom de C. Nicolle à la postérité.

LES GERMES DE SORTIE

Dans ses leçons au Collège de France en 1934 sur «l'expérimentation dans l'étude des maladies infectieuses», Nicolle traite des associations microbiennes, de porteurs de germes et de microbes de sortie. Ce sont là autant de menaces qui guettent les microbiologistes. Cette discussion est la preuve de la préoccupation constante de Nicolle de pouvoir garantir la valeur des résultats enregistrés. Dans ce texte il développe les «germes de sortie», un hommage à son brillant frère Maurice. Etudiant en Turquie la peste bovine (infection à inframicrobes, c.-à-d. virale), celui-ci observe l'apparition dans les globules rouges d'un protozoaire (*Piroplasma bigeminum*), qui est présent aussi chez les bovins non pesteux. Tout se passe comme si l'agent principal ouvrait la porte à un autre germe, créant ainsi une substitution apparente. Ce coup de fouet à une infection préexistante, silencieuse ou non, est bien connue, notamment chez les porteurs de plasmodiums.

Le temps des récompenses

Si on fait abstraction du prix Montyon de l'Académie des Sciences en 1909, ce temps commence en 1925 avec l'invitation officielle du Gouvernement argentin pour une visite en Argentine, qu'il effectuera avec C. Anderson. En

1927 lui sera décerné le Prix Osiris, d'un montant de 100 000 F. En 1928, lors d'une cérémonie officielle à Tunis pour célébrer le 25^e anniversaire de son directorat, il recevra le 28 avril la médaille d'or frappée à cette occasion. Présenté officiellement pour le Prix Nobel de Médecine 1928, la décision lui sera communiquée le 25 octobre. Il s'en est réjoui sans plus. Des crises répétées de tachycardie le rendent dépressif. Il n'ira pas à Stockholm, son fils Pierre réceptionnera la médaille et l'Ambassadeur de France lira son discours qu'il a rédigé avec beaucoup de soin et qui est consacré à ses travaux sur le typhus exanthématique, à l'intérêt du sérum de convalescent et aux difficultés dans la mise au point d'un vaccin. Sa conclusion est percutante : «L'homme porte sur sa peau un parasite, le pou. La civilisation l'en débarrasse. Que l'homme se dégrade, qu'il se fasse semblable à la brute primitive, le pou se multiplie de nouveau et il traite, comme elle le mérite, la brute humaine». En 1920, il est nommé membre correspondant non résident de l'Académie des Sciences. Après un échec lors d'une vacance en 1925, il est élu le 3 décembre 1929 membre de l'Institut. En 1932, il est nommé titulaire de la Chaire de Médecine du Collège de France, illustré par Claude Bernard et Brown-Séquard. Les leçons préparées avec grand soin nous fournissent dans le «Destin des maladies infectieuses» la quintessence de ses travaux et de ses réflexions.

Nicolle a beaucoup voyagé dans les pays méditerranéens, mais aussi en Amérique du Sud. En 1925, en Argentine et au Brésil en compagnie de C. Anderson ; en 1930, en Argentine, au Chili et en Uruguay avec sa fille Marcelle ; en 1931, au Mexique et au Guatemala, avec Hélène Sparrow.

LES COLLABORATEURS

Pendant les trente-trois ans de son directorat, Nicolle a eu un nombre conséquent de collaborateurs et de stagiaires français et étrangers, attirés par la réputation du maître ; parmi ces derniers certains sont devenus permanents. Il a gardé deux membres de l'équipe de Loir, le technicien Chaltiel et le chaouch (huissier-appariteur) Habib, qui est devenu célèbre comme gardien, aide de laboratoire, valet de chambre, homme à tout faire, ivrogne et ami. Certaines recrues ont marqué la période de leur collaboration par de brillantes recherches. Charles Comte, chirurgien de l'hôpital Sadiki, est engagé à l'Institut en 1902, participera à la découverte du rôle du pou dans la transmission du typhus historique, découverte qui conduira à une rupture. Il deviendra inspecteur d'hygiène. Ernest Conseil, chirurgien, s'infectera accidentellement lors d'une intervention et restera handicapé. Nicolle fera construire pour lui en 1907 le Bureau municipal d'Hygiène, il prendra le lazaret de la Rabta en charge et deviendra ainsi fournisseur de malades et d'informations. Albert Husson, médecin et fils de colon, étudiera le paludisme de 1906 à 1909, date à laquelle ce sujet est abandonné. Alfred Conor, médecin militaire qui fournissait des singes (bonnets chinois) à partir de Marseille, devient sous-directeur en 1909 et s'occupera activement de la fièvre de Malte, du typhus

et de la bilharziose. Georges Blanc, bactériologiste et parasitologue arrivé en 1913, mobilisé, revient en 1919, mais est désigné en 1921 pour l'Institut Pasteur hellénique et en 1932 pour celui de Casablanca, où il restera jusqu'en 1966. Nicolle le considérait comme son disciple préféré et souhaitait qu'il reprenne la direction de Tunis, ce qu'il déclina. Ludovic Blaizot, médecin et parasitologue, introduira le fond noir qui facilitera l'étude des spirochètes, il quittera l'Institut en 1920. Paul Durand, clinicien et bactériologiste possédant une grande habileté manuelle, est engagé en 1923, fera un bref séjour à Athènes (1935-36), infectera la souris avec des rickettsies par voie respiratoire, ce qui augmentait le rendement en antigènes. Il sera directeur de l'Institut en 1949-1954. Charles William Anderson, parasitologue et médecin de la marine, fera un stage comme boursier en 1922. Il reste impressionné par Nicolle avec lequel il vit en bonne entente et étudie les fièvres récurrentes. Sous-directeur en 1929, il prend sa retraite en 1954 comme directeur honoraire. Etienne Burnet, agrégé de philosophie (E.N.S.) et docteur en médecine, travaille à l'Institut de Paris (1903-1914). Mobilisé et chargé du laboratoire de Corfou, il rentre tuberculeux, vient en convalescence à Tunis, rencontre et est conquis par Nicolle, qui lui offre la place de sous-directeur. Les rapports se tendent rapidement, sont orageux par intermittence. En 1928, il accepte la charge de la responsabilité des maladies contagieuses à la Section d'Hygiène de la Société des Nations (Genève). Il reviendra à Tunis en 1936 comme directeur et sera mis à la retraite en 1943. Il est enterré dans le jardin de l'Institut. Il est malaisé de porter un jugement objectif sur les rapports de Nicolle avec ses collaborateurs.

Epilogue

Nicolle est une personnalité hors du commun, attachante, complexe, exerçant un charme naturel allié à une inclination à des frustrations, dont il ne se dégagera jamais complètement. Il se voyait appelé à s'adonner aux lettres et à l'histoire, mais il embrassera une carrière médicale pour répondre au souhait de son père, médecin. Son échec dans ses projets rouennais est un revers qui grèvera ses souvenirs, malgré qu'il fût l'ouverture vers une brillante carrière et un renom international.

Ses «oreilles défectueuses» ont été l'handicap qui s'aggrava inexorablement en une surdité complète. Elle produira un grand désarroi, qu'il décrira dans sa «Lettre aux sourds» (1925) et où il explicite que le défi constitué par cette infirmité sera relevé par son départ à Tunis. Elle n'en influencera pas moins sa vie et son caractère. Les sourds sont inquiets et méfiants. Le charme de la conversation disparaît et dévie dans le monologue. Pour compenser cet isolement auditif, il aura recours à la réflexion sur les faits observés et leur interprétation et à une suppléance par l'écrit. Dès avant le lever du jour, il s'installe à sa table de travail. Sa correspondance est volumineuse, ses articles

nombreux ; prosateur doué, il coulera dans un moule brillant, pour son plaisir et celui de quelques initiés, ses idées, ses rêveries dans une série de contes ou divertissements irréels, telle la fée Marmouse. Le soir, il faisait en réfléchissant les cent pas sur la longue terrasse de l'Institut, qu'il avait dénommée le «charlodrome». Son œuvre philosophique y trouvera sa source.

La surdité conduit à la solitude ; elle sera amplifiée par des événements et des crises. Après s'être brouillé avec ses frères, il se distancie de sa femme qui garde les enfants. L'absence d'une vie familiale, en plus d'une vie sociale limitée, sera fortement ressentie. Il a gardé quelques solides amitiés à Rouen, ses compagnons Albert Martin, André Halipré et en particulier Edouard Delabarre. Les échanges de vues avec ce dernier constituent la base de la «Destinée Humaine». En Tunisie, qu'il parcourt pour étudier sur place la pathologie autochtone, il a conquis d'autres amitiés, les familles des colons Husson et Riant. Albert Husson, médecin, sera en charge du paludisme jusqu'à la suppression du programme ; Louis Riant et le père Delattre, archéologue de Carthage, étaient des amis très chers. A Paris, F. Mesnil restera l'ami fidèle, malgré un état tendu avec la direction, en particulier avec A. Calmette. Georges Duhamel, médecin, deviendra à partir de 1923 son ami le plus intime. Ils partageront beaucoup de souvenirs, échangeront plus de 450 lettres et Nicolle sera évoqué dans «Le Prince Jaffar».

Nicolle a attiré une cohorte de jeunes scientifiques français et étrangers à l'Institut de Tunis qui y feront des stages de durée variable ; certains y reviendront comme permanents. Néanmoins, ses relations humaines n'étaient pas toujours amicales. Les mésententes, les brouilles, les rivalités, les disputes, les ruptures avec ses collaborateurs n'ont pas été rares, en particulier avec Charles Comte et Etienne Burnet. La querelle avec les frères Sergent sur la priorité de la découverte du pou comme vecteur est célèbre. La communication de E. Sergent, Directeur de l'Institut Pasteur d'Algérie, tournant en dérision la découverte de C. Nicolle lors du Cinquantenaire, était déplacée. Dans son discours lors du 25^e anniversaire de l'Institut de Tunis, Nicolle estime à son tour devoir signaler la présence de son prédécesseur A. Loir en termes inadmissibles. Ce parallélisme est très suggestif des sautes d'humeur des grands scientifiques, de leur sensibilité presque malade, qu'ils partagent avec les vedettes, de leur méchanceté parfois.

Nicolle a connu une accumulation de soucis et de chagrins. En 1928, son cœur s'est affolé. Les crises de tachycardie provoquent une dépression sérieuse. Après quinze ans de séparation, il fait appel à son épouse afin qu'elle reprenne sa place près de lui à Tunis. Elle viendra en mai 1929, mais rentre à Paris après les vacances. En 1934, une infection accidentelle de laboratoire par typhus murin causera une sérieuse alerte. Son épouse demande de le rejoindre, apparemment sans suite. Somme toute, sa vie privée lui appartient.

Son état de santé se détériorera, ce qui n'a pas empêché Nicolle de présenter ses leçons au Collège de France, où il succédait à d'Arsonval, et surtout de

publier ses leçons en reprenant et complétant «Naissance, vie et mort des maladies infectieuses» (1930) dans son «Destin des maladies infectieuses» (1933). Il rédige en plus : «Biologie de l'Invention», «Expérimentation en Médecine» et «Responsabilité de la Médecine», autant de textes qui méritent d'être relus.

Il est malaisé de cerner une personnalité aussi protéiforme : brillant expérimentateur, inspiré et inspirant, auteur de contes ésotériques appréciés par quelques proches à côté de livres coulant en un langage brillant et clair la marche de ses idées, les fruits de son expérience et de ses réflexions souvent originales dans le domaine de la biologie et des maladies infectieuses, auxquelles il attribue une existence individuelle, collective et historique, soulignant leur dynamisme évolutif.

Une conclusion est certaine : Charles Nicolle a découvert la transmission du typhus historique, la leishmaniose infantile avec le chien comme réservoir, le *Toxoplasma gondii*, l'existence de maladies inapparentes. Il a clarifié nombre de maladies infectieuses tunisiennes, a surtout marqué d'une empreinte indélébile une génération de microbiologistes et réorienté la pensée médicale dans le domaine des maladies infectieuses.

BIBLIOGRAPHIE

- HUET, M. 1995. Le Pommier et l'Olivier. Charles Nicolle, une biographie (1866-1936). — Sauramps Médical, Montpellier.
- LOT, G. 1961. Nicolle et la biologie conquérante. — *Savants du monde entier*, Pierre Seghers, Paris.
- MOULIN, A. M. 1994. Charles Nicolle, savant tunisien. — *Arch. Inst. Pasteur Tunis*, **71** : 355-376.
- NICOLLE, C. & MANCEAUX, L. 1908. Sur une infection à corps de *Leishmania* (ou organismes voisins) du gondi. — *C. R. Acad. Sci.*, **147** : 763-766.
- NICOLLE, C. 1909. Reproduction expérimentale du typhus exanthématique chez le singe. — *C. R. Acad. Sci.*, **149** : 157.
- NICOLLE, C., COMTE, C. & CONSEIL, E. 1909. Transmission expérimentale du typhus exanthématique par le pou du corps. — *C. R. Acad. Sci.*, **149** : 486-489.
- NICOLLE, C. & LEBAILLY, C. 1919. Les infections expérimentales inapparentes. Exemples tirés de l'étude du typhus experimental. — *C. R. Acad. Sci.*, **164** : 800-802.
- NICOLLE, C. 1930. Naissance, Vie et Mort des Maladies Infectieuses. — Félix Alcan, Paris.
- NICOLLE, C. 1930. Hommage à E. Conseil (1879-1930). — *Arch. I. P. Tunis*, **19** : 387.
- NICOLLE, C. 1932. Biologie de l'Invention. — Félix Alcan, Paris.
- NICOLLE, C. 1934. L'Expérimentation en Médecine. — Félix Alcan, Paris.
- NICOLLE, C. 1937. La Destinée Humaine. — Félix Alcan, Paris.
- NICOLLE, C. 1961. Destin des Maladies Infectieuses. Les Classiques de la Médecine I. — Alliance Culturelle du Livre, Genève.

- SERGENT, E. 1964. Les travaux scientifiques de l'Institut Pasteur en Algérie de 1900 à 1962. — Presses Universitaires de France, Paris.
- ZINSSER, H. 1935. Rats, Lice and History. — G. Routledge & Sons, London.

NOTE

- [1] *Texas fever*, tiques (T. Smith 1893), Fièvre jaune, aedes (C. Finlay 1881), *Filaria hominis*, culex (P. Manson 1878), malaria, anophèles (R. Ross 1897), trypanosomes, glossines (D. Bruce 1895 et Taute & Kleine 1909).

Zitting van 24 februari 1998

Séance du 24 février 1998

Zitting van 24 februari 1998

(Uittreksel van de notulen)

De zitting wordt om 14 u. 30 geopend door M. F. Malaisse, Directeur, bijgestaan door Mevr. Y. Verhasselt, Vast Secretaris.

Zijn bovendien aanwezig : de HH. J. Alexandre, I. Beghin, J. Bouharmont, M. De Dapper, E. De Langhe, M. Deliens, L. Eyckmans, A. Fain, P. Gigase, J.-M. Jadin, P.G. Janssens, J.-C. Micha, J. Mortelmans, H. Nicolai, G. Stoops, J.-J. Symoens, C. Sys, M. Wéry, werkende leden ; de HH. J. Belot, A. de Scoville, S. Geerts, geassocieerde leden.

Betwisten hun spijt niet aan de zitting te kunnen deelnemen : de HH. J. Bolyn, J. D'Hooze, P. Goyens, J. Jadin, A. Lawalrée, M. Lechat, J.-P. Malingreau, H. Maraite, S. Pattyn, Mevr. F. Portaels, de HH. J. Rammeloo, E. Robbrecht, R. Swennen, Mevr. D. Swinne, de HH. L. Tack, E. Tollens, P. Van der Veken, E. Van Ranst, J. Vercruysse, Mevr. M. Vincx en M. H. Vis.

Slaapziekte in Congo — anno 1998

M. P. Gigase stelt een mededeling voor getiteld als hierboven.

De HH. J.-M. Jadin, J.-C. Micha, P.G. Janssens, M. Wéry, A. Fain, E. De Langhe en J. Mortelmans nemen aan de bespreking deel.

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

Diagnose van menselijke Afrikaanse trypanosomiase (slaapziekte)

M. N. Van Meirvenne, Prins Leopold Instituut voor Tropische Geneeskunde, stelt een mededeling voor getiteld als hierboven.

De HH. E. De Langhe en P. Gigase nemen aan de bespreking deel.

Roeipootkreeftjes (Anostraca, Crustacea) : nieuwe mogelijkheden voor herbruik van afvalwater en aquacultuur in aride gebieden

Tijdens de zitting van 24 juni 1997 heeft M. J. Mertens, Universiteit Gent, een mededeling voorgesteld getiteld als hierboven.

Na de verslagen van Mevr. M. Vincx en M. J.-J. Symoens gehoord te hebben, beslist de Klasse deze studie in de *Mededelingen der Zittingen* te publiceren.

Séance du 24 février 1998

(Extrait du procès-verbal)

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

Sont en outre présents : MM. J. Alexandre, I. Beghin, J. Bouharmont, M. De Dapper, E. De Langhe, M. Deliens, L. Eyckmans, A. Fain, P. Gigase, J.-M. Jadin, P.G. Janssens, J.-C. Micha, J. Mortelmans, H. Nicolaï, G. Stoops, J.-J. Symoens, C. Sys, M. Wéry, membres titulaires ; MM. J. Belot, A. de Scoville, S. Geerts, membres associés.

Ont fait part de leur regret de ne pouvoir assister à la séance : MM. J. Bolyn, J. D'Hoore, P. Goyens, J. Jadin, A. Lawalrée, M. Lechat, J.-P. Malingreau, H. Maraite, S. Pattyn, Mme F. Portaels, MM. J. Rammeloo, E. Robbrecht, R. Swennen, Mme D. Swinne, MM. L. Tack, E. Tollens, P. Van der Veken, E. Van Ranst, J. Vercruysse, Mme M. Vincx et M. H. Vis.

«Slaapziekte in Congo — anno 1998»

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

MM. J.-M. Jadin, J.-C. Micha, P.G. Janssens, M. Wéry, A. Fain, E. De Langhe et J. Mortelmans interviennent dans la discussion.

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

«Diagnose van menselijke Afrikaanse trypanosomiase (slaapziekte)»

M. N. Van Meirvenne, Institut de Médecine Tropicale Prince Léopold, présente une communication intitulée comme ci-dessus.

MM. E. De Langhe et P. Gigase interviennent dans la discussion.

«Roeipootkreeftjes (Anostraca, Crustacea) : nieuwe mogelijkheden voor herbruik van afvalwater en aquacultuur in aride gebieden»

Lors de la séance du 24 juin 1997, M. J. Mertens, Universiteit Gent, a présenté une communication intitulée comme ci-dessus.

Après avoir entendu les rapports de Mme M. Vincx et M. J.-J. Symoens, la Classe décide de publier cette étude dans le *Bulletin des Séances*.

Wedstrijd 2000

De Klasse beslist de derde vraag van de wedstrijd 2000 te wijden aan de toepassing van teledetectie op de beschrijving van de vegetatie en haar evolutie in tropische streken.

Zij duidt de HH. J.-J. Symoens en F. Malaisse aan om deze vraag op te stellen.

De Klasse beslist de vierde vraag van de wedstrijd 2000 te wijden aan het meten van en het toezien op de voedselzekerheid.

Zij duidt de HH. I. Beghin en E. De Langhe aan om deze vraag op te stellen.

Erelidmaatschap

Bij koninklijk besluit van 23 januari 1998 werden de HH. I. Beghin en F. De Meuter tot het erelidmaatschap bevorderd.

De zitting wordt om 17 u. 40 geheven.

Concours 2000

La Classe décide de consacrer la troisième question du concours annuel 2000 aux applications de la télédétection à la description du couvert végétal et à son évolution en région tropicale.

MM. J.-J. Symoens et F. Malaisse sont désignés pour la rédaction de cette question.

La Classe décide de consacrer la quatrième question du concours annuel 2000 à la mesure et la surveillance de la sécurité alimentaire.

MM. I. Beghin et E. De Langhe sont désignés pour la rédaction de cette question.

Honorariat

Par arrêté royal du 23 janvier 1998, MM. I. Beghin et F. De Meuter ont été promus à l'honorariat.

La séance est levée à 17 h 40.

Zitting van 24 maart 1998

(Uittreksel van de notulen)

De zitting wordt om 14 u. 30 geopend door M. F. Malaisse, Directeur, bijgestaan door Mevr. Y. Verhasselt, Vast Secretaris.

Zijn bovendien aanwezig : de HH. J. Alexandre, E. Bernard, J. Bouharmont, M. De Dapper, E. De Langhe, J. Delhal, J. D'Hoore, L. Eyckmans, A. Fain, P. Gigase, J.-M. Jadin, P.G. Janssens, J. Mortelmans, H. Nicolaï, Mevr. F. Portaels, de HH. G. Stoops, C. Susanne, J.-J. Symoens, C. Sys, P. Van der Veken, E. Van Ranst, M. Wéry, werkende leden ; de HH. J. Bolyn, A. de Scoville, S. Pattyn, E. Roche, Mevr. D. Swinne, M. L. Tack, geassocieerde leden ; M. J.-P. Malingreau, corresponderend lid.

Betuigden hun spijt niet aan de zitting te kunnen deelnemen : de HH. I. Beghin, J. Belot, B. Delvaux, R. Dudal, S. Geerts, J. Jadin, M. Lechat, J.-C. Micha, J. Rammeloo, E. Robbrecht, R. Swennen, E. Tollens.

Waterschaarste in derdewereldlanden : mythe of werkelijkheid ?

M. H. Verplancke, Faculteit Landbouwkundige en Toegepaste Biologische Wetenschappen, Universiteit Gent, stelt een mededeling voor getiteld als hierboven.

De HH. C. Sys, E. Van Ranst, M. De Dapper, P. Gigase en E. De Langhe nemen aan de bespreking deel.

De HH. De Langhe en D'Hoore worden als verslaggevers aangeduid.

„La tuberculose multirésistante : un problème préoccupant dans certains pays”

Mevr. F. Portaels stelt een mededeling voor getiteld als hierboven.

De HH. A. Fain, L. Eyckmans, Mevr. D. Swinne, de HH. J.-M. Jadin, E. De Langhe en A. de Scoville nemen aan de bespreking deel.

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

Wedstrijd 2000

De Klasse legt de teksten van de derde en de vierde vraag voor de wedstrijd 2000 als volgt vast :

Derde vraag : Er wordt een oorspronkelijk werk gevraagd dat een toepassing is van de teledetectietechnieken met satellieten op de studie van de tropische vegetatie.

Vierde vraag : Er wordt een methodologische studie gevraagd over het meten van de voedselzekerheid (*food security*) op het niveau van bevolkingsgroepen met het oog op het toezicht op deze zekerheid en/of het opvolgen van ingrepen om ze te verzekeren.

Séance du 24 mars 1998

(Extrait du procès-verbal)

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

Sont en outre présents : MM. J. Alexandre, E. Bernard, J. Bouharmont, M. De Dapper, E. De Langhe, J. Delhal, J. D'Hoore, L. Eyckmans, A. Fain, P. Gigase, J.-M. Jadin, P.G. Janssens, J. Mortelmans, H. Nicolaï, Mme F. Portaels, MM. G. Stoops, C. Susanne, J.-J. Symoens, C. Sys, P. Van der Veken, E. Van Ranst, M. Wéry, membres titulaires ; MM. J. Bolyn, A. de Scoville, S. Pattyn, E. Roche, Mme D. Swinne, M. L. Tack, membres associés ; M. J.-P. Malingreau, membre correspondant.

Ont fait part de leur regret de ne pouvoir assister à la séance : MM. I. Beghin, J. Belot, B. Delvaux, R. Dudal, S. Geerts, J. Jadin, M. Lechat, J.-C. Micha, J. Rammeloo, E. Robbrecht, R. Swennen, E. Tollens.

«Waterschaarste in derdewereldlanden : mythe of werkelijkheid ?»

M. H. Verplancke, Faculté des Sciences agronomiques et biologiques appliquées, «Universiteit Gent», présente une communication intitulée comme ci-dessus.

MM. C. Sys, E. Van Ranst, M. De Dapper, P. Gigase et E. De Langhe interviennent dans la discussion.

MM. De Langhe et D'Hoore sont désignés en qualité de rapporteurs.

La tuberculose multirésistante : un problème préoccupant dans certains pays

Mme F. Portaels présente une communication intitulée comme ci-dessus.

MM. A. Fain, L. Eyckmans, Mme D. Swinne, MM. J.-M. Jadin, E. De Langhe et A. de Scoville interviennent dans la discussion.

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

Concours 2000

La Classe établit comme suit le texte des troisième et quatrième questions du concours 2000 :

Troisième question : On demande un travail original constituant une application des techniques de télédétection par satellite à l'étude de la végétation tropicale.

Quatrième question : On demande une étude méthodologique sur la mesure de la sécurité alimentaire (*food security*) au niveau de groupes de populations, destinée à sa surveillance et/ou au suivi d'interventions visant à la garantir.

Denkgroep „Congo”

De subgroep „Documentatie : inventariseren en archiveren” van de denkgroep „Congo” vergaderde op woensdag 18 februari jl. De groep vraagt de leden van de drie Klassen een overzicht te geven van de domeinen waarvoor er archieven beschikbaar en toegankelijk zijn. De bedoeling is een gids van de inventarissen en archieven over Congo op te stellen.

Samenwerking Academie - Kabinet van Minister Moreels

De Vast Secretaris heeft de mogelijkheden van samenwerking met het kabinet van Minister Moreels onderzocht. Thema's worden aan de leden gevraagd (*cf.* nota van M. Sokal).

„Réseau des Académies des pays méditerranéens”

Op de volgende vergadering van dit netwerk, die op 24 en 25 april 1998 in Parijs zal plaatsvinden, moeten thema's voorgesteld worden.

De leden worden uitgenodigd hun voorstellen aan het secretariaat mee te delen.

Broeikaseffect

M. E. De Langhe heeft voorgesteld een activiteit over het broeikaseffect te organiseren.

Een werkgroep waarbij de belangstellenden zich kunnen aansluiten, werd samengesteld.

De zitting wordt om 17 u. 20 geheven.

Groupe de réflexion «Congo»

Le sous-groupe «Documentation : inventaire et archivage» du groupe de réflexion «Congo» s'est réuni le 18 février 1998. Il demande aux membres des trois Classes de lui fournir une liste des domaines pour lesquels des archives sont disponibles et accessibles. L'objectif est de réaliser un guide des inventaires et archives sur le Congo.

Collaboration Académie - Cabinet du Ministre Moreels

La Secrétaire perpétuelle a exploré les possibilités de collaboration avec le cabinet du Ministre Moreels. Des thèmes sont demandés aux membres (*cf.* note M. Sokal).

Réseau des Académies des pays méditerranéens

Dans le cadre de la prochaine réunion de ce réseau, qui se tiendra à Paris les 24 et 25 avril 1998, des thèmes devront être proposés par les participants.

Les membres sont invités à transmettre leurs propositions au secrétariat.

Effet de serre

M. E. De Langhe a proposé d'organiser une activité sur l'effet de serre.

Un groupe de travail, auquel les membres intéressés peuvent se joindre, a été constitué.

La séance est levée à 17 h 20.

**KLASSE VOOR TECHNISCHE
WETENSCHAPPEN**

CLASSE DES SCIENCES TECHNIQUES

Zitting van 30 januari 1998

(Uittreksel van de notulen)

De zitting wordt om 14 u. 30 geopend door M. J. J. Peters, Directeur, bijgestaan door Mevr. Y. Verhasselt, Vast Secretaris.

Zijn bovendien aanwezig : de HH. Jean Charlier, E. Cuypers, J. De Cuyper, A. Deruyttere, P. Fierens, Mgr. L. Gillon, de HH. P. Goossens, G. Heylbroeck, R. Leenaerts, W. Loy, R. Paepe, F. Suykens, R. Thonnard, R. Tillé, R. Wambacq, werkende leden ; de HH. E. Aernoudt, L. Dejonghe, D. Demaiffe, C. De Meyer, A. François, U. Van Twembeke, geassocieerde leden ; en M. J.-J. Symoens, Erevast Secretaris.

Betuigden hun spijt niet aan de zitting te kunnen deelnemen : de HH. Jacques Charlier, J. Debevere, P. De Meester, L. Martens, A. Monjoie, H. Paelinck, J. Poesen, R. Sokal, F. Thirion, T. Van Frachen.

„Métallogénie quantitative et prévisionnelle de l'or dans le monde ; comparaison avec son potentiel en Afrique occidentale”

M. P. Goossens stelt een mededeling voor getiteld als hierboven.

De HH. A. François, J. De Cuyper, W. Loy, L. Dejonghe, E. Cuypers, D. Demaiffe, R. Paepe en J.-J. Symoens nemen aan de bespreking deel.

De Klasse beslist deze studie in de *Mededelingen der Zittingen* te publiceren (pp. 185-209).

De dynamische aardmantel en de gevolgen voor de aardkorst

Tijdens de zitting van 28 maart 1997 heeft M. W. De Vos, Geologische Dienst van België, een mededeling voorgesteld getiteld als hierboven.

Na de verslagen van de HH. L. Dejonghe en U. Van Twembeke gehoord te hebben, beslist de Klasse deze studie in de *Mededelingen der Zittingen* te publiceren (pp. 211-235).

Eretekens

Bij koninklijk besluit van 18 september 1997 werden de HH. P. De Meester, W. Loy en R. Paepe tot Grootofficier in de Kroonorde benoemd.

Academische onderscheiding

De „Japan Prize in the field of Biotechnology in Agricultural Sciences” werd door de „Science and Technology Foundation of Japan” aan M. M. Van Montagu toegekend.

Séance du 30 janvier 1998

(Extrait du procès-verbal)

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

Sont en outre présents : MM. Jean Charlier, E. Cuypers, J. De Cuyper, A. Deruyttere, P. Fierens, Mgr L. Gillon, MM. P. Goossens, G. Heylbroeck, R. Leenaerts, W. Loy, R. Paepe, F. Suykens, R. Thonnard, R. Tillé, R. Wambacq, membres titulaires ; MM. E. Aernoudt, L. Dejonghe, D. Demaiffe, C. De Meyer, A. François, U. Van Twembeke, membres associés ; et M. J.-J. Symoens, Secrétaire perpétuel honoraire.

Ont fait part de leur regret de ne pouvoir assister à la séance : MM. Jacques Charlier, J. Debevere, P. De Meester, L. Martens, A. Monjoie, H. Paelinck, J. Poesen, R. Sokal, F. Thirion, T. Van Frachen.

Métallogénie quantitative et prévisionnelle de l'or dans le monde ; comparaison avec son potentiel en Afrique occidentale

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

MM. A. François, J. De Cuyper, W. Loy, L. Dejonghe, E. Cuypers, D. Demaiffe, R. Paepe et J.-J. Symoens interviennent dans la discussion.

La Classe décide de publier cette étude dans le *Bulletin des Séances* (pp. 185-209).

«De dynamische aardmantel en de gevolgen voor de aardkorst»

Lors de la séance du 28 mars 1997, M. W. De Vos, Service Géologique de Belgique, a présenté une communication intitulée comme ci-dessus.

Après avoir entendu les rapports de MM. L. Dejonghe et U. Van Twembeke, la Classe décide de publier cette étude dans le *Bulletin des Séances* (pp. 211-235).

Distinctions honorifiques

Par arrêté royal du 18 septembre 1997, MM. P. De Meester, W. Loy et R. Paepe ont été nommés Grand Officier de l'Ordre de la Couronne.

Distinction académique

Le «Japan Prize in the field of Biotechnology in Agricultural Sciences» a été attribué par la «Science and Technology Foundation of Japan» à M. M. Van Montagu.

Denkgroep „Congo”

M. A. Deruyttere wenst de samenstelling van de drie subgroepen te kennen en vindt het noodzakelijk deze samenstelling aan alle leden mee te delen zodat er in eventuele leemtes kan voorzien worden.

De Vast Secretaris keurt dit voorstel goed en zal de lijst met de volgende uitnodigingen rondsturen.

Besloten Vergadering

De werkende en erewerkende leden, in Besloten Vergadering bijeen, verkiezen tot :

Geassocieerd lid : de HH. J.-M. Charlet en G. Demarée.

De zitting wordt om 16 u. 35 geheven.

Groupe de réflexion «Congo»

M. A. Deruyttere souhaite connaître la composition des trois sous-groupes et estime nécessaire de la transmettre à tous les membres afin que d'éventuelles lacunes puissent être comblées.

La Secrétaire perpétuelle approuve cette proposition et enverra les listes avec les prochaines invitations.

Comité secret

Les membres titulaires et titulaires honoraires, réunis en Comité secret, élisent en qualité de :

Membre associé : MM. J.-M. Charlet et G. Demarée.

La séance est levée à 16 h 35.

Métallogénie quantitative et prévisionnelle de l'or dans le monde ; comparaison avec son potentiel en Afrique occidentale *

par

Pierre GOOSSENS **

*La métallogénie — qu'on le veuille ou non — reste une science
appliquée qui travaille d'abord sur les données de l'industrie minière ...*

Hubert PELISSONNIER (1926-1997)

MOTS-CLES. — Métallogénie ; Or ; Production ; Potentiel.

RESUME. — L'estimation de la production mondiale d'or (primaire et alluvionnaire), depuis l'Antiquité jusqu'à 1996, donne un total se rapprochant de 140 000 t. Depuis 1886, le bassin du Witwatersrand a produit 46 000 t et les ceintures vertes archéennes un total de 15 000 t, tandis que la période s'étendant du Mésozoïque au Récent a produit 49 000 t depuis 1800. Ce sont les deux périodes géologiques les plus importantes quant à la production d'or. Le Protérozoïque n'aurait produit que 5 650 t (en Afrique de l'Ouest, le Birimien : 3 000 t) et le Paléozoïque 5 000 t. La différence entre 140 000 t (production totale) et 120 650 t, soit 19 350 t, provient des exploitations alluvionnaires antérieures à 1800 dont l'origine est indéfinissable. Pour ce qui est du potentiel identifié (réserves + ressources), le total est de plus de 60 000 t (uniquement primaire) et la distribution reste la même : l'Archéen 24 000 t (dont 8 500 t pour le bassin du Witwatersrand et 15 500 t pour les ceintures vertes), et le Mésozoïque-Récent 35 000 t. Le Birimien de l'Afrique occidentale possède 3 500 t de réserves et de ressources reconnues.

TREFWOORDEN. — Metallogenie ; Goud ; Productie ; Potentieel.

SAMENVATTING. — *Kwantitatieve goudmetallogenie in de wereld en vooruitzichten naar de toekomst ; vergelijking met het potentieel van West-Afrika.* — De wereldwijde goudproductie sinds de Oudheid tot 1996 wordt geschat op 140 000 t, afkomstig van primair en alluviaal erts. Het Witwatersrandbekken van Archeaan ouderdom heeft 46 000 t goud geproduceerd sinds 1886, tegenover 15 000 t uit de *greenstone belts* van identieke ouderdom. Afzettingen van het Secundair en het Quartair hebben zo'n 49 000 t goud bijgedragen, en dat sinds 1800. Wat goud betreft, zijn dit de twee belangrijkste geologische periodes. Goudproductie uit het Proterozoïkum en het Primair worden respectievelijk geschat op 5 650 t (waarvan 3 000 t uit het Birimiaan

* Communication présentée à la séance de la Classe des Sciences techniques tenue le 30 janvier 1998. Texte reçu le 5 mars 1998.

** Membre de l'Académie ; P.-D.-G. BUGECO, espace «Del Goutte», rue du Bois-Seigneur-Isaac 40, B-1421 Braine-l'Alleud (Belgique).

van West-Afrika) en 5 000 t. De overblijvende 19 350 t goud zijn afkomstig van alluviale ontginningen van vóór 1800 waarover weinig of niets is geweten. De huidige goudreserves (enkel primair erts) worden geschat op 60 000 t, gelijkaardig verdeeld over de verschillende geologische periodes : 24 000 t in het Archeaan (waarvan 8 500 t in het Witwatersrandbekken en 15 500 t in de *greenstone belts*) en 35 000 t in het Secundair en Quartair. Het Birimiaan van West-Afrika heeft 3 500 t aan goudreserves.

KEYWORDS. — Metallogeny ; Gold ; Production ; Potential.

SUMMARY. — *Global Quantitative Gold Metallogeny and Projections to the Future ; Comparison with the Potential of West Africa.* — Global gold production from Antiquity until 1996 was estimated at some 140,000 t, derived both from primary and alluvial ore. Since 1886, the Witwatersrand basin, of Archaean age, has contributed 46,000 t of gold, compared to 15,000 t from greenstone belts of the same era. Deposits of Mesozoic to Holocene age have produced 49,000 t since 1800. These are the two major geological periods where gold production is concerned. Production from Proterozoic and Palaeozoic formations are tentatively estimated at respectively 5,650 t (3,000 t from the Birimian in West Africa) and 5,000 t. The remainder of the global production, i.e. 19,350 t of gold, derives from alluvial exploitation of unknown origin prior to 1800. Present gold potential (reserves + resource) is set at 60,000 t of strictly primary ore, distributed roughly in the same way as above : 24,000 t in the Archaean (8,500 t in the Witwatersrand basin and 15,500 t in the greenstone belts) and 35,000 t in the Mesozoic-Holocene period. The Birimian of West Africa contains 3,500 t of presently known reserves and resources.

1. Introduction

De nombreux auteurs se sont penchés sur l'estimation du tonnage d'or extrait dans le monde depuis la plus haute Antiquité (DE LAUNAY 1913, FORBIN 1941, KAVANAGH 1982, LOCK 1882, MACKENZIE 1991, SUTHERLAND 1959, THIEBAUT 1934, THOMAS & BOYLE 1986, WOODALL 1988, MULLEN & PARRISH 1998). Parmi les auteurs les plus récents, WOODALL (1988) estime à 125 000 t la production d'or depuis la plus haute Antiquité jusqu'en 1985 et MACKENZIE (1991) estime le total à 114 000 t jusqu'en 1988. D'autre part, MACKIE & REGAN (1996) estiment à 126 000 t la production d'or depuis 1800. Nos estimations basées sur les travaux de DE LAUNAY (1913), BATEMAN (1959), LINDGREN (1933) et FORBIN (1941) arrivent à un montant de 17 000 t pour l'or extrait avant 1492 alors que KAVANAGH (1982) et SUTHERLAND (1959) l'estiment à 31 100 t et MULLEN & PARRISH (1998) à 28 500 t. FORBIN (1941) estime à 40 000 t l'or produit entre 1492 et 1937. Enfin *Gold Fields Mineral Services Ltd* estime à 43 215 t le total mondial de l'or extrait entre 1971 et 1996 (inclus). Pour les pays communistes (essentiellement l'ex-URSS), nous n'avons pas de statistiques pour la période allant de 1938 à 1981. Nous pouvons néanmoins l'estimer de la façon suivante : en 1937, l'URSS a produit 209,0 t d'or et en 1982, 266 t (en quarante-cinq ans la production est passée de 209

à 266 t). On peut estimer l'augmentation de production à 1,3 t/an, ce qui donne pour la période de 1938 à 1981 un total de 5 500 t d'or. Pour la Chine, sa production était insignifiante avant 1985 (60 t) mais elle a augmenté depuis lors pour atteindre 145 t en 1996 (ces productions sont incluses dans l'estimation de GFMS 1997).

Le total (voir annexe) atteint 138 604 t d'or, si on y inclut, pour la période d'avant 1492, 17 000 t et pour la période de 1493 à 1850, 4 912 t, soit un total de 21 912 t d'or. Alors que MULLEN & PARRISH (1998) estiment la quantité totale d'or produite dans le monde depuis 4000 B.C. à 145 980 t. La différence n'est pas grande et provient de l'estimation de production avant 1492 : 17 000 t dans notre estimation et 28 500 t dans celle de Mullen et Parrish ; alors que nous estimons la production de 1492 à 1850 à 4 912 t, Mullen et Parrish l'estiment à 4 727 t. Il suffit de dire que le monde a produit autant d'or ces dix dernières années que depuis la plus haute Antiquité.

Bien sûr, les statistiques d'avant 1850 sont incertaines et se basent sur des estimations peu étayées. Il n'empêche que les évaluations partielles des auteurs précités nous indiquent que les totaux estimés varient de 131 768 à 163 209 t d'or. On admet que les statistiques officielles depuis 1850 n'incluent pas le tonnage d'or extrait frauduleusement ; 140 000 t paraissent donc un total d'or extrait reflétant la réalité à $\pm 5\%$.

Jusqu'en 1980, GOVETT & HARROWELL (1982) ont estimé à 41 000 t l'or extrait des placers ; on peut y ajouter pour la période allant de 1980 à 1996, 2 000 t, ce qui ferait un total de 43 000 t. Le reste, soit 97 000 t, proviendrait des gisements primaires. On a tenté de réconcilier ce montant avec ceux publiés. FORBIN (1941) estime à 3 500 t la production de placers dans le monde de 1492 à 1800. De 1842 à 1936, la Californie a produit 1 700 t des placers ; la Russie de 1834 à 1874, 600 t ; le Canada 500 t. Notre évaluation indique que 39 000 t d'or auraient été extraites des gisements du type placer. Il ne faut pas oublier que l'ex-URSS jusqu'à présent a produit plus d'or des placers que des gisements primaires et qu'avant la fin du siècle dernier, pratiquement toute la production d'or provenait d'opérations alluvionnaires (tableau 1).

Tableau 1

Proportion d'or provenant des placers, des filons
et des conglomérats du Witwatersrand (DE LAUNAY 1913)

	1848-75	1876	1890	1905	1910
Placers	88 %	65 %	44 %	15 %	12 %
Filons	12 %	35 %	48 %	57 %	56 %
Witwatersrand			8 %	28 %	32 %

La provenance géographique de l'or et sa distribution entre sa production à partir de gisements primaires et alluvionnaires sont résumées au tableau 2.

Tableau 2

Estimation de la production d'or par région, depuis l'Antiquité (en t)

Afrique du Sud (depuis 1866)	46 755	33,7 %
Russie + URSS + C.E.I. (depuis 1851)	17 783	12,8 %
Etats-Unis (depuis 1841)	13 082	9,4 %
Canada (depuis 1850)	8 525	6,1 %
Australie (depuis 1851)	8 504	6,1 %
Amérique latine (depuis 1871)	7 084	5,1 %
Asie (depuis 1881)	6 573	4,7 %
Afrique (hors l'Afrique du Sud, depuis 1898)	4 529	3,2 %
Autres pays	3 902	2,8 %
Anciennes productions (avant 1850)	21 912	15,8 %
Total (140 000 t si on ajoute la production non officielle)	138 649	
Production provenant de gisements primaires	100 000	72 %
Production provenant de gisements alluvionnaires	39 000	28 %

2. La production d'or des gisements primaires

2.1. CEINTURES VOLCANIQUES ARCHEENNES

La production d'or primaire de ces ceintures est estimée à 15 000 t (jusqu'en 1996) :

— Canada :	5 500 t
— Australie :	3 000 t
— Zimbabwe :	2 500 t
— Brésil :	2 300 t
— Inde :	1 000 t
— Zaïre :	500 t
— Afrique du Sud :	200 t
	15 000 t

Les ceintures archéennes (ou *Greenstone Belts*) sont bien identifiées et décrites au Canada (ECKSTRAND *et al.* 1995), en Australie (GROVES & FOSTER 1991), et au Zimbabwe (CAMPBELL & PITFIELD 1994). Ces mêmes formations se retrouvent d'une manière identique au Brésil, Inde, Zaïre (région de Kilo et Moto, de Adumbi et Kitenge, etc.) et en Afrique du Sud (ceinture de Barbeton décrite par VILJOEN & VILJOEN 1970).

Ces formations archéennes sont souvent allongées et traversées de failles cisailantes. Leur lithologie est dominée par des roches volcaniques (d'ultramafiques à felsiques) et par des sédiments clastiques et roches à magnétite. Les veines de quartz y sont nombreuses, soit associées aux failles de cisaillement, soit sous forme de chert plissé et faillé. Généralement, les formations porteuses d'or sont riches en fer et, à un moindre degré, en shales riches en matières organiques.

La minéralisation en or (hypo à mésothermale) est accompagnée de sulfures de métaux non ferreux (l'or y est parfois un sous-produit d'exploitation du cuivre, zinc et plomb). L'or y est libre en proportion variée mais le plus souvent piégé dans des sulfures de fer et/ou de l'arsénopyrite.

La séricitisation et la carbonatation sont les altérations les plus communes.

Les principaux types de gisement d'or dans ces ceintures archéennes sont les suivants :

Type	Exemples
— Veines de quartz à carbonates :	Au Canada : les districts de Red Lake, Pickle Lake, Beardmore-Geraldton, Timmins, Kirkland Lake - Larder Lake, Noranda, Val d'Or, etc. dans les provinces Supérieures et Slave (6 000 t d'or de ressources) ; Aux USA : Mother Lode en Californie ; En Australie : Mt Charlotte, Norseman ; Au Brésil : Passagem, São Bento, Crixas.
— Métasédiments à magnétite :	Au Canada : Geraldton, Central Patricia, Agnico-Eagle ; En Australie : Hill 50, Nevoria, Watertank Hill ; Au Zimbabwe : Lennox ; Au Brésil : Morro Velho ; En Inde : Kolar.
— Dissémination d'or :	Au Canada : Hemlo, Beattie, Madsen.
— Dans métavolcanites :	En Australie : Golden Mile, Sons of Gwalia, Big Bell ; Au Canada : Hollinger, Kerr Addison, Sigma, Giant ; Au Zimbabwe : Cam and Motor, Dalny.
— Dans ultramafiques :	En Australie : Mararoa - Crown ; Au Zimbabwe : Phoenix.

La présence importante de roches volcaniques allant de la péridotite à des roches felsiques et l'allongement général de ces ceintures semblent indiquer qu'elles représentent la trace métamorphisée d'anciens arcs insulaires souvent accrétés aux boucliers précambriens. L'or y serait introduit le long des contacts et des failles (souvent évoluant en failles de cisaillement) ; ces dernières ont joué un rôle important dans la remobilisation de l'or.

La plupart des ceintures vertes minéralisées en or ont un âge de 2,7 Ga (GROVES & FOSTER 1991).

2.2. LE BASSIN DE WITWATERSRAND

Ce bassin archéen (entre 3 074 et 2 714 ± 8 Ma - ARMSTRONG *et al.* 1991) n'est pas l'unique exemple précambrien. Le bassin de Jacobina (archéen) au Brésil et celui de Tarkwa (protérozoïque) au Ghana sont également producteurs d'or, mais les quantités extraites sont minimes à côté de celles extraites des

formations conglomératiques du Witwatersrand. Ces dernières sont estimées (1996) à 46 000 t depuis le début des exploitations en 1886. En 1970, 1 000 t d'or furent extraites représentant 79 % de la production occidentale. En 1996, la production annuelle atteint 494,6 t (soit 21 % de la production mondiale).

L'or y est associé à de l'uranium et à la pyrite ; entre 1952 et 1987 on y a produit 125 600 t U (ROSCOE 1995).

Les dimensions de ce bassin sont approximativement de 350 km sur 200 km ; les exploitations ont atteint 3 600 m de profondeur et les sondages d'exploration ont atteint une profondeur de 4 600 m.

Les roches sont des shales, quartzites, quartzite à gravier et conglomérat. Ces derniers sont surtout composés de galets de quartz bien arrondis et, dans les bancs minéralisés, ils contiennent une grande proportion de pyrite dans la matrice.

Plusieurs modèles ont été proposés pour l'origine de ces gisements d'or :

- Paléoplacers où l'or est amené en même temps que les sédiments ;
- L'or est syngénétique et précipité à partir des eaux de surface ;
- L'or est épigénétique et introduit par des solutions hydrothermales percolant à travers les sédiments.

Pour CAIRNCROSS & DIXON (1996), l'or fut introduit ensemble avec les sédiments et remanié hydrothermalement par la suite. Mais PHILLIPS & LAW (1997) démontrent que la quantité d'or piégée dans le bassin ne peut y avoir été introduite qu'hydrothermalement. L'équivalent protérozoïque du bassin du Witwatersrand est le bassin de Tarkwa au Ghana ; le bassin de Jacobina au Brésil est archéen. Les deux sont producteurs d'or.

2.3. LE PROTÉROZOÏQUE AURIFÈRE

Le Protérozoïque est plutôt pauvre en or. Les principales provinces aurifères de cette époque sont les roches birimiennes d'Afrique occidentale avec leurs extensions en Amérique du Sud (Guyane française, Surinam et Guyana), les provinces de Churchill et de Grenville au Canada et le district de Homestake au Dakota (USA).

L'Afrique occidentale (Ghana, Mali, Guinée, Burkina Faso, Sénégal, Mauritanie, Niger) a produit un total d'or estimé à 3 000 t (primaire et alluvionnaire confondus). Les exploitations sont néanmoins très anciennes puisque déjà les Carthaginois échangeaient de l'or contre d'autres produits :

The Carthaginian further say that beyond the Pillars of Hercules there is a region of Lybia, and men who inhabit it ; when they arrive among these people and have unloaded their merchandise, they set it in order on the shore, go on board their ships and make a great smoke ; that the inhabitants, seeing the smoke, come down to the sea, and then deposit gold in exchange for the merchandise, and withdraw to some distance from the merchandise ; that the Carthaginian, going

ashore, examine the gold, and if the quantity seems sufficient for the merchandise, take it up and sail away ; but if it is not sufficient, they go on board their ships again and wait, the natives then approach and deposit more gold, until they have satisfied them ; neither party ever wrongs the other ; for they do not touch the gold before it is made adequate to the value of the merchandise, nor do the natives touch the merchandise before the other party has taken the gold (Herodote, Histories, iv, 196).

Les premières exploitations industrielles commencèrent en 1910 à Obuasi par *Ashanti Goldfields Corp.* La mine est encore aujourd'hui en exploitation ; elle a produit aux environs de 1 500 t, quelque 200 t d'or ont été produites à Tarkwa. Poura, au Burkina Faso, fut exploité pendant quelques décennies. Depuis 1985, on a vu l'ouverture des mines d'or de Syama et de Sadiola, au Mali, de Ity et d'Anyuri en Côte-d'Ivoire, de Lero et Siguiri en Guinée, d'Akajout en Mauritanie. Mais ce sont certainement les exploitations artisanales qui produisirent jusque récemment le plus d'or en Afrique occidentale. Les types de gisement d'or dans cette région d'Afrique ont été décrits par GOOSSENS (1995).

Les gisements des provinces de Churchill et de Grenville au Canada ont produit 150 t d'or (ROBERT 1996).

La mine de Homestake aux Etats-Unis a produit 2 500 t d'or (BATEMAN 1959, GFMS 1996).

Il se peut qu'en Sibérie une grande partie des gisements d'or reconnus mais seulement partiellement exploités soient protérozoïques ou archéens ; avant d'obtenir datation plus précise de la minéralisation aurifère, on ne prend aucune position sur l'âge véritable de ces gisements qui semblent néanmoins importants.

2.4. LE PALEOZOIQUE AURIFERE

Cette période géologique n'est pas très riche en or. On note cependant quelques gisements en Nouvelle-Galles-du-Sud et dans la ceinture de Victoria, Australie (production totale jusqu'en 1965 : 1 900 t), en Nouvelle-Zélande, en Malaisie, en Thaïlande, en Chine, en Russie, en Grande-Bretagne, en France, au Canada (Cariboo, B.C., production 100 t).

Les gisements sont typiquement mésothermaux dans des sédiments en bordure de continents, parfois liés à des plutons et contrôlés par des failles ; ils sont petits de quelques milliers à moins de 10 millions de t contenant de 5 à 25 g/t (NESBITT 1991).

Aucune estimation de production n'existe pour cette période géologique, sauf celle de WOODALL (1988) qui l'estime à 5 000 t (y compris la production de placers).

2.5. DU MESOZOIQUE AU RECENT

Cette période géologique est la plus importante productrice d'or. WOODALL (1988) estime sa production (y compris les placers) à 46 000 t d'or (jusqu'en 1985) ; de 1986 à 1996, il faut ajouter 3 000 t d'or provenant des pays suivants :

— Etats-Unis :	725 t
— Papouasie-Nouvelle-Guinée :	466 t
— Indonésie :	385 t
— Chili :	348 t
— Philippines :	292 t
— Pérou :	153 t
— Mexique :	120 t
— Equateur :	85 t
— Japon :	105 t
— Nouvelle-Zélande :	57 t
— Bolivie :	60 t
— Fidji :	3 t
	<hr/> 2 930 t

Les principaux types de gisements de cette époque sont mésothermaux à épithermaux (volcanogéniques et du type «Carlin»), périplutoniques (skarns) et sulfures massifs.

2.5.1. Les gisements épithermaux

Les gisements épithermaux sont les produits du système hydrothermal circulant dans la couche supérieure de la croûte terrestre mis en mouvement par une source de chaleur magmatique (HENLEY 1991). D'abord utilisés par LINDGREN (1933) pour caractériser des gisements (non pas seulement d'or) hydrothermaux mis en place dans la partie supérieure de la croûte terrestre et liés à un système souvent volcanique, ces gisements se reconnaissent aussi à des époques plus anciennes quand l'érosion les a épargnés.

Parmi les gisements épithermaux les mieux connus, on cite : Hishikari au Japon ; Kelian (Kalimatan) en Indonésie ; Ladolam sur l'île de Lihir en Papouasie-Nouvelle-Guinée. Ces gisements sont situés dans les arcs insulaires produits par la subduction d'une plaque océanique en dessous d'une plaque continentale ; le volcanisme est donc généralement andésitique à felsique. Ils se sont souvent développés dans des calderas tout comme à San Juan (Colorado). De nombreux gisements épithermaux sont spatialement liés à des grandes failles régionales. L'altération typique est adulaire-séricite et alunite-kaolinite. On y retrouve une certaine quantité de Sb, As, Ag, Hg, en plus de l'or, et souvent une silification prononcée (chalcédoine). Les brèches volcaniques sont fréquentes.

2.5.2. *Les gisements du type Carlin* (BERGER & BAGBY 1991)

Ces gisements d'or disséminé sont encaissés dans des formations carbonatées d'âge allant du Silurien au Miocène. Ils sont caractérisés par un rapport Au/Ag élevé et une association géochimique comprenant Au, As, Sb, Hg, Ba et Te. La roche encaissante est décarbonatée dans les horizons minéralisés et silicifiée et/ou kaolinisée avec une intensité variable. Des dépôts de jaspe remplissant des failles sont souvent présents. L'or est présent sous forme sub-microscopique (de l'ordre du micron ou même plus petit). Les corps minéralisés sont irréguliers avec des teneurs très variables. Suivant les études tectoniques, la mise en place de telles minéralisations aurifères profite d'un amincissement de la croûte terrestre aux abords d'une bordure continentale, faillée et intrudée de nombreux épisodes intrusifs.

Découvert par hasard au Nevada au début des années soixante, ce type de gisement se retrouve maintenant au Montana, au Dakota du Sud, en Idaho et en Utah. Très américain, ce type de gisement se retrouve cependant également en Chine. Aux Etats-Unis, ce type de gisement a déjà produit 984 t d'or jusqu'en 1996 (TEAL & JACKSON 1997).

2.5.3. *Les gisements périplutoniques* (SILLITOE 1991)

Ce type de gisement comprend plusieurs sous-types : porphyrique, skarn, stockwerk, cheminée de brèche, veines dans les intrusions ainsi que dans les roches encaissantes. Ils sont tous de nature «épithermale» même s'ils se sont mis en place à des profondeurs de l'ordre de 1 à 5 km.

Les gisements d'or dans des roches porphyritiques sont souvent (si pas toujours) associés à du Cu (\pm Mo). Les exemples typiques sont les gisements d'Ok Tedi en Papouasie-Nouvelle-Guinée, Lepanto aux Philippines, El Indio au Chili.

Le sous-type «stockwerk» est moins fréquent ; la roche encaissante n'est pas porphyritique mais le gisement est un ensemble de petites veines s'évasant vers le haut par où les solutions hydrothermales se sont introduites. L'exemple classique est le gisement d'or de Koti Kollo en Bolivie.

Les skarns riches en or sont exemplifiées par les gisements de Fortitude et de McCoy, au Nevada. Des dykes de brèches volcaniques sont souvent minéralisées en or comme, par exemple, les gisements de Montana Tunnel et Golden Sunlight au Montana, Ortiz au Nouveau-Mexique. L'or y est souvent associé au Pb-Zn-Cu-As-Te-Ag. De nombreuses veines de quartz contenant de l'or se retrouvent dans des intrusions épizonales et/ou dans les roches encaissantes. Ce sous-type n'est pas économiquement important.

2.5.4. *Sulfures massifs*

Conséquence d'un volcanisme sous-marin, de nombreux gisements de sulfures massifs se sont formés sur les pentes de l'appareil volcanique ou à une certaine distance. Certains contiennent de l'or qui se concentre souvent

dans le chapeau de fer où il peut être économiquement récupéré (exemple : Oman et la région de Huelva en Espagne).

Tableau 3

Total d'or produit dans le monde par périodes géologiques (en t)

<i>Archéen</i>	
Ceintures volcaniques	15 000
Witwatersrand	46 000
<i>Protérozoïque</i>	
Birimien	3 000 (dont 1 300 alluvionnaire)
Autre	2 650
<i>Paléozoïque</i>	5 000
<i>Mésozoïque-Quaternaire</i> (surtout épithermal)	49 000
	120 650 (dont 17 088 alluvionnaire)
Production ancienne pré-1850 (uniquement alluvionnaire)	21 912
	142 562 (un excédent de 2 562 t)
Total de la production de gisements primaires :	103 500
Total de la production des gisements alluvionnaires :	39 000

2.6. LA PRODUCTION ALLUVIONNAIRE

Le tableau 1 montre l'importance de la production d'or provenant des gisements alluvionnaires. En fait, ce n'est que depuis le milieu du siècle passé que la production d'or primaire a commencé à devenir importante. Nous savons que plus de 22 000 t approximativement ont été produites avant 1850, pratiquement entièrement de placers. Encore jusqu'à la moitié du 20^e siècle, la grande majorité de la production aurifère de l'ex-URSS provenait des grands gisements alluvionnaires sibériens. En Afrique occidentale, des 3 000 t d'or produites, à peu près 1 500 t proviennent des mines souterraines d'Ashanti et 200 t de Tarkwa ; 1 300 t seraient alors de provenance alluvionnaire. De 1850 à 1996, quelque 17 000 t d'or alluvionnaire auraient été produites et cela principalement de la Sibérie russe.

3. Le potentiel en or des gisements primaires

Ce chapitre ne prend en compte que les réserves et les ressources publiées dans la littérature et reportées dans l'ouvrage de GOOSSENS (1997). Pour le potentiel, on additionne les réserves et les ressources pondérées par des teneurs. Dans l'annexe au livre GOOSSENS (1997), réserves et ressources sont séparées en tenant compte que les réserves sont les ressources auxquelles on a appliqué des contraintes économiques et techniques («cut-off grade», dilution, perte à l'exploitation, teneur de récupération). Ici, on a simplement additionné les

réserves et les ressources en classant cet ensemble dans la catégorie «potentiel». Ce faisant, on s'est écarté de la véritable définition de «potentiel» mais comme celle-ci n'est pas chiffrable, on a préféré garder une certaine réalité dans notre approche. Le potentiel véritable est classé sous les «Possibles» (ou ressources non identifiées). Ici, on est dans le royaume de l'imaginaire et on considère comme ressources non identifiées *importantes* celles qui dépasseraient les 10 000 t d'or, comme *moyennes*, celles qui seraient comprises entre 1 000 et 10 000 t d'or et comme *faibles*, celles en dessous de 1 000 t d'or.

3.1. POTENTIEL D'OR DANS LES ROCHES ARCHEENNES

Les réserves et ressources identifiées dans les différents districts archéens de par le monde sont résumées dans le tableau 4 (ces chiffres sont certainement éloignés de la réalité car ils proviennent de la littérature et on sait que les véritables tonnages ne sont toujours pas publiés avec la précision que l'on aurait voulu).

Tableau 4
Potentiel en or des districts archéens (en t d'or)

	Réserves	Ressources	Total	Possibles
Witwatersrand	928	7 454	8 382	importantes
Greenstones archéens				
— Zimbabwe	160	1 000 ⁽¹⁾	1 160	moyennes
— Tanzanie	—	250	250	faibles
— Zaïre	143	1 000 ⁽¹⁾	1 143	moyennes
— Canada	1 000	6 000	7 000	moyennes
— Inde	33	500 ⁽²⁾	533	faibles
— Brésil	602	1 000 ⁽³⁾	1 602	moyennes
— Australie	2 400	1 150	3 500	moyennes
— Afrique du Sud	—	270	270	faibles
Total	5 266	18 624	23 930	

(1) dans GOOSSENS (1997), le total des ressources est bien inférieur ; notre connaissance du pays permet de monter ce chiffre à au moins 1 000 t en ressources.

(2) Pour l'Inde, si nous n'avons pas trouvé d'estimation fiable des ressources, notre connaissance de ce pays nous permet d'assurer 500 t d'or de ressources.

(3) Ce n'est qu'une approximation.

Les réserves et ressources en or identifiées dans le monde pour l'Archéen totalisent 24 000 t ; à celles-ci, on peut raisonnablement ajouter 6 000 t non publiées dans la littérature citée. Le potentiel non identifié («possible») est important et doit approcher 40 000 t.

3.2. POTENTIEL D'OR DANS LES ROCHES PLUS RECENTES (MESOZOIQUE A RECENT)

Les gisements en or appartenant à cette période sont du type méso à épithermal et se retrouvent le long d'arcs insulaires et de régions à l'arrière de ces arcs. Le tableau 5 résume les réserves et ressources identifiées par pays ainsi que l'estimation du potentiel. Le total des gisements du type «Carlin» aux Etats-Unis contient un total de 1 663 t (réserves prouvées + probables) et 700 t en ressources (TEAL & JACKSON 1997).

Tableau 5
Potentiel en or des gisements épithermaux, en 1995 (en t d'or)

	Réserves	Ressources	Total	Possible
Etats-Unis	3 000	> 10 000	> 13 000	moyen
Canada	500	> 1 600	> 2 100	faible
Australie	400	> 85	> 485	faible
Nouvelle-Zélande	50	1 362	1 412	faible
Fidji	15	140	155	faible
Papouasie-Nouvelle-Guinée	1 300	> 2 326	> 3 626	moyen
Indonésie	1 870	> 3 734	> 5 604	moyen
Philippines	160	> 1 543	> 1 703	moyen
Malaisie	—	175	175	faible
Japon	30	144	174	faible
Pérou	150	500	650	moyen
Chili	600	> 1 000	> 1 600	moyen
Mexique	250	> 1 000	> 1 250	moyen
Bolivie	100	1 152	1 252	faible
Argentine		450	450	faible
Equateur		50	50	faible
Costa Rica	100	130	230	faible
Panama	13	120	133	faible
El Salvador		20	20	faible
Honduras		40	40	faible
Nicaragua		250	250	faible
Porto Rico		90	90	faible
Venezuela		240	240	moyen
Total	> 8 500	> 26 000	> 34 500	

Les réserves et ressources identifiées, pour la période s'étendant du Mésozoïque au Récent, totalisent plus de 34 500 t d'or et le potentiel («possible») est estimé à plus de 54 000 t.

3.3. POTENTIEL EN OR DES ROCHES BIRIMIENNES (AFRIQUE OCCIDENTALE)

On tient à rappeler que les principaux gisements d'or de l'Afrique occidentale (GOOSSENS 1995) sont contenus dans les formations volcano-sédimentaires

du Birimien, formant des arcs plongés dans des massifs gneissiques plus anciens (archéens) qui, eux aussi, sont riches en or (GOOSSENS 1983). Les réserves et ressources identifiées dans les roches birimiennes sont résumées au tableau 6 ; elles totalisent un minimum de 3 500 t, avec une possibilité de définir dans le futur 5 000 t.

Tableau 6
Potentiel en or des gisements d'Afrique occidentale (en t)

	Réserves	Ressources	Total	Possibles
Ghana	325	1 858	2 183	moyennes
Mali	370	440	810	faibles
Burkina Faso	5,0	56	61	faibles
Sénégal	—	13	13	faibles
Côte-d'Ivoire	18	63	81	faibles
Guinée	11	128	139	faibles
Niger	—	126	126	faibles
Total	729	2 684	3 413	

Ces réserves (+ ressources) sont limitées et ne sont pas comparables ni à celles déjà identifiables à l'Archéen, ni à celles identifiées pour la période s'étendant du Mésozoïque au Récent. Il n'empêche que ces dernières années (GOOSSENS 1995) de nombreuses compagnies minières se sont intéressées au Birimien de l'Afrique occidentale. Elles n'ont pu jusqu'à présent que mettre en exploitation ce qui y était déjà connu et elles ont du mal à découvrir dans un tel environnement latéritique de nouveaux gisements. Ce manque de succès (comparé à ceux de l'Indonésie et la Papouasie-Nouvelle-Guinée et de la Cordillère des Andes) est certainement dû à la pauvreté relative d'or dans ces formations (à l'exception, bien entendu, de l'exemple d'Obuassi au Ghana, exploité par Ashanti Goldfields).

4. Conclusions

Deux périodes géologiques semblent particulièrement riches en or : la fin de l'Archéen et la fin du Phanérozoïque (fig. 1). Les gisements (mis à part ceux du Witwatersrand, en Afrique du Sud) de ces deux périodes géologiquement si éloignées en âge, sont peut-être métallogéniquement très similaires. Les deux se retrouvent dans ce que l'on peut interpréter comme des environnements d'arcs insulaires ou, comme c'est le cas des gisements du type Carlin, en bordure de la plate-forme continentale. Qu'elle se soit mise en place au-dessus de la zone de subduction ou en bordure continentale, la majeure partie de la minéralisation aurifère aurait été remobilisée par des failles de cisaillement.

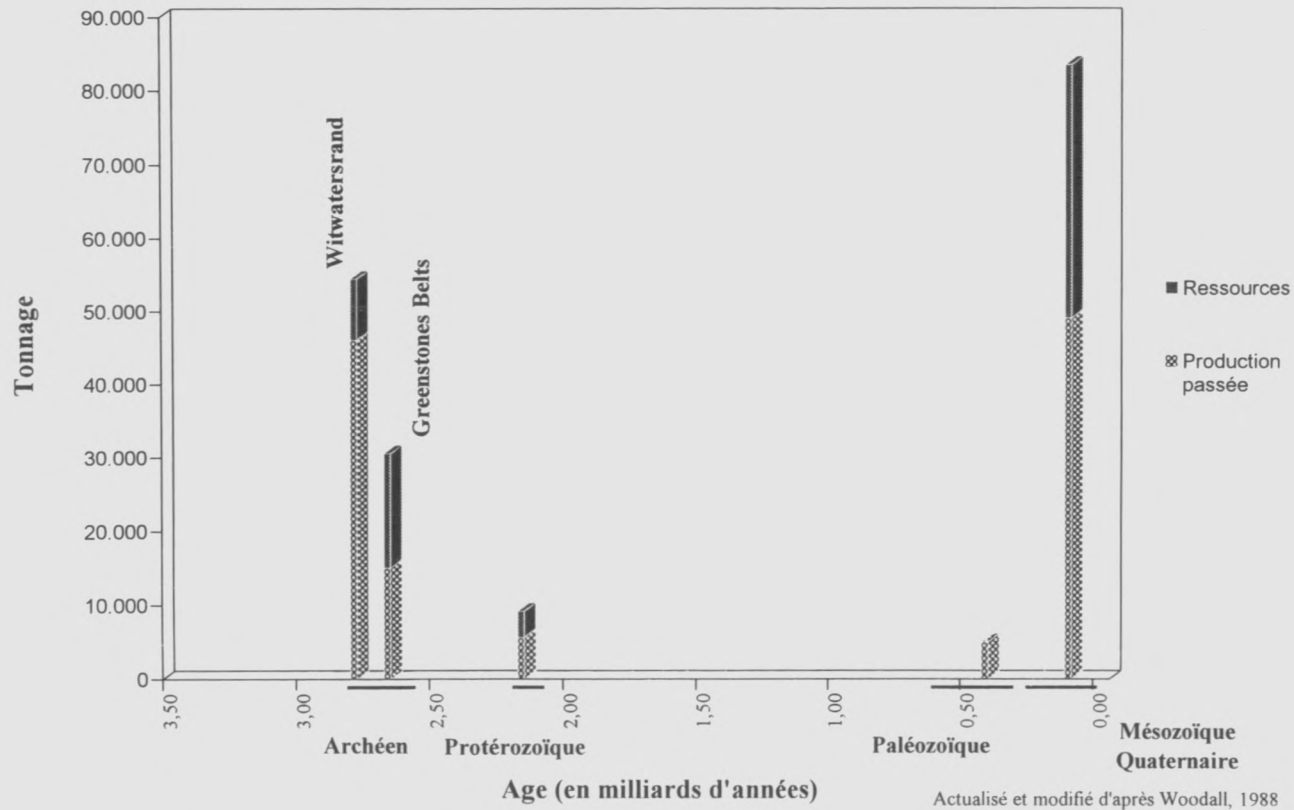


Fig. 1. — Production passée d'or et nouvelles ressources identifiées : distribution suivant l'âge des gisements. Actualisé et modifié d'après WOODALL 1988.

Le tableau 7 résume les potentiels aurifères par périodes géologiques revues dans le présent article.

Tableau 7

Potentiel en or dans le monde
par périodes géologiques (en t)

<i>Archéen</i>	
Ceintures volcaniques	15 550
Witwatersrand	8 400
<i>Protérozoïque</i>	
Birimien (Afrique occidentale)	3 500
<i>Paléozoïque</i>	?
<i>Mésozoïque-Quaternaire</i>	34 500
Total	61 950

Il n'est certainement pas dans notre intention de conclure sur l'origine de l'or rattaché à ces périodes préférentielles mais on peut, semble-t-il, admettre que l'or s'est exprimé d'une façon manifeste à la fin de l'Archéen ainsi qu'à la fin du Phanérozoïque. Et qu'entre ces deux périodes, soit 2 milliards d'années, la production a été relativement pauvre. Cette distribution semble métallogéniquement importante car les programmes d'exploration, aujourd'hui mondiaux, confirment également cette distribution inégale (tableaux 8 à 10). Que l'on compare la production, le potentiel ou la distribution en kg par km², les résultats coïncident et confirment une anisotropie dans la mise en place de minéralisation exploitable d'or.

En excluant toujours le cas exceptionnel du bassin du Witwatersrand, en Afrique du Sud, qui a produit 33 % de tout l'or dans le monde et qui possède encore aujourd'hui 13,5 % des réserves et ressources identifiées (tableau 7), les autres 53 500 t d'or (en réserve) ont été identifiées dans un environnement d'arc insulaire et en bordure continentale. Les réserves des gisements d'or connues dans le monde appartenant à un autre environnement (p. ex. cratonique) sont relativement minimes.

Du tonnage d'or total exploité des gisements primaires jusqu'à 1996, soit 103 500 t, 48 500 t proviennent d'un environnement d'arc insulaire (47 500 t) et de bordure continentale (1 000 t). Si on exclut la quantité d'or produite dans les bassins intracratoniques (Witwatersrand, Tarkwa, et autres), soit 46 200 t, 85 % de l'or produit provient d'anciens ou de plus récents arcs insulaires. Le Birimien protérozoïque ne semble pas échapper à cette règle puisque notre collègue André Tahon, qui travaille sur ce sujet depuis plus de trois ans, nous confirme que les ceintures volcaniques birimiennes d'Afrique occidentale ressemblent bien à des arcs insulaires coincés et faillés dans des ensembles aujourd'hui cratoniques mais que la tectonique panafricaine a, dans certaines régions, retravaillé la tectonique plus ancienne et remobilisé l'or en

Tableau 8

Comparaison de productions d'or ramenées en kg par km²
suivant les périodes géologiques et certaines provinces mieux connues

	Surface (million de km ²)	Surface des ceintures volcaniques (million de km ²)	Production d'or (en t) jusqu'à 1996	Production d'or en kg par km ²
<i>1. Précambrien</i>				
Brésil		0,13	2 300	18
Australie	0,39		3 000	8
		0,10	3 000	30
Canada	0,20		5 500	27,5
(Abitibi)		0,06	4 800	80
Zimbabwe	0,19		2 500	13
		0,05	2 500	50
Witwatersrand	0,07		46 000	657
Afrique occidentale	0,75		3 000	4
ceintures volcaniques		0,29	3 000	10
(Ghana)		0,068	1 300	19
<i>2. Mésozoïque-Récent</i>				
«Carlin Trend»	0,00075		984	1 312

Tableau 9

Comparaison des réserves plus ressources identifiées en kg par km²
suivant les périodes géologiques et certaines provinces connues

	Surface (million de km ²)	Surface des ceintures volcaniques (million de km ²)	Réserves + ressources d'or (en t)	Production d'or en kg par km ²
<i>1. Précambrien</i>				
Brésil		0,13	1 602	12
Australie	0,39		3 500	9
		0,10	3 500	35
Canada	0,20		7 000	35
(Abitibi)		0,06	6 000	100
Zimbabwe	0,19		1 160	6
		0,05	1 160	23
Witwatersrand	0,07		8 382	120
Afrique occidentale	0,75		3 413	4,5
ceintures volcaniques		0,29	3 413	12
(Ghana)		0,068	2 183	32
<i>2. Mésozoïque-Récent</i>				
«Carlin Trend»	0,00075		984	1 312
El Indio et Maricunga (Chili)	0,11		1 580	144

Tableau 10

Comparaison des productions et des réserves plus ressources identifiées en kg par km² suivant les périodes géologiques et certaines provinces mieux connues

	Surface (million de km ²)	Surface des ceintures volcaniques (million de km ²)	Réserves + ressources d'or (en t)	Production d'or en kg par km ²
<i>1. Précambrien</i>				
Brésil		0,13	3 900	30
Australie	0,39		6 500	17
		0,10	6 500	65
Canada	0,20		12 500	62,5
(Abitibi)		0,06	10 800	1 800
Zimbabwe	0,19		3 660	19
		0,05	3 660	73
Witwatersrand	0,07		54 382	778
Afrique occidentale	0,75		6 413	8,5
ceintures volcaniques		0,29	6 413	22
(Ghana)		0,068	3 483	51
<i>2. Mésozoïque-Récent</i>				
«Carlin Trend»	0,00075		2 647	3 529

partie (comme dans les Mauritanides de Mauritanie ou dans l'Adrar des Iforas du Mali). Cette remobilisation tectonique et minéralogique ne ressemble-t-elle pas à celle qui, à l'Eburnéen, a affecté le socle archéen de l'Afrique occidentale (GOOSSENS 1983) ?

Une autre évidence tirée des tableaux 8 à 11 est l'énorme concentration par km² de l'or dans le «Carlin Trend». Celle-ci n'a aucun autre exemple reconnu dans le monde aujourd'hui. L'or n'y est pas visible et sa découverte est récente (1960). Sa découverte fut fortuite. On connaît d'autres exemples rares, notamment en Chine. A Sadiola (au Mali), la minéralisation aurifère dans des marbres birimiens en bordure continentale et avec l'accompagnement géochimique et minéralogique typique pourrait indiquer un équivalent du type Carlin au Protérozoïque. Ces gisements dans un climat tempéré, comme au Nevada, ne sont pas producteurs de placers aurifères à cause des dimensions microniques de l'or et, donc, leurs existences ne peuvent être détectées que par la seule déduction géologique. N'y a-t-il pas lieu de revoir nos séries carbonatées en bordure continentale, souvent faillées et charriées, avec des indications d'hydrothermalisme et de multiples épisodes intrusifs même modestes et d'analyser les roches altérées pour d'éventuelles présences d'or ?

Bien que la métallogénie soit une science, elle reste néanmoins liée à l'origine des mines, c'est-à-dire aux gisements exploitables. Ceux-ci ne le sont que si le prix payé pour le métal produit parvient à couvrir les coûts d'extraction,

de traitement de minerai, d'affinage et de commercialisation. En 1997, l'or a perdu plus de 25 % de sa valeur. Cette dramatique perte de vitesse est due à la vente, par les banques centrales européennes et autres, d'une partie de leurs réserves en or, à la crise économique en Asie et à la hausse du dollar américain.

En 1996, les mines produisirent 2 345,5 t d'or. Cet or, plus celui qui est vendu par les privés (163 t), par les banques centrales (319 t) et la refonte d'anciens bijoux (644 t), est transformé en bijoux (2 807 t), en lingots et monnaies (245 t) et dans la fabrication d'autres objets (420 t). Donc 3 472 t sont transférées en réserve et celle-ci, à la fin de 1996, totalisait 132 300 t (GFMS 1997). Ce total est partagé en 59 800 t pour la bijouterie, 32 800 t en lingots d'or préservés dans les banques centrales, 14 300 t en autres objets industriels et 1 300 t qui ne sont pas comptabilisables.

Si les banques centrales se mettent à vendre tout leur or, ce nouvel apport pourrait remplacer la production minière actuelle (2 345 t) pour les prochaines quatorze années. En plus, les réserves et ressources identifiées suffiraient à combler les prochaines vingt-six années (si le coût opératoire reste inférieur à US\$ 280/oz, ce qui n'est pas possible pour la majorité des mines). Il est cependant certain que l'or existant et celui qui pourrait être produit avec profit est suffisant pour de nombreuses années. Il est donc normal de supposer que l'avenir de l'or est terni.

Il est cependant bon de se rappeler que l'ingéniosité humaine est toujours parvenue à s'adapter aux conditions changeantes de l'économie minière : d'abord en récupérant l'or par la gravité (sluice), en récoltant la poussière d'or par amalgamation, en récupérant l'or par chlorination, en maîtrisant la récupération par cyanuration (au moment de la découverte de Witwatersrand) et sa précipitation sur de la poussière de zinc (Merrill Crowe), en développant la concentration par flottation dans les gisements où l'or est associé aux métaux non ferreux, en le récupérant par lixiviation et en le précipitant sur le charbon actif, suivi par une élution sur de la paille d'acier. Chaque nouvelle découverte technologique fait baisser le coût opératoire et la teneur moyenne du gisement. Des gisements qui jusqu'alors n'avaient aucune chance d'être exploités économiquement (par exemple, le type Carlin) devinrent profitables.

Il faut espérer que les recherches métallogéniques couplées aux avancements technologiques permettront d'exploiter de nouveaux gisements moins chers que par le passé et que ces nouvelles découvertes donneront un regain de brillant à ce métal aujourd'hui terni.

REFERENCES

- ARMSTRONG, R. A., COMPSTON, W., RETIEF, E. A., WILLIAMS, I. S. & WELKE, H. J. 1991. Zircon ion microprobe studies bearing on the age and evolution of the Witwatersrand triad. — *Precambrian Research*, v. 53, pp. 243-266.

- BATEMAN, A. M. 1959. Economic Mineral Deposits. — John Wiley & Sons, New York.
- BERGER, B. R. & BAGBY, W. C. 1991. The Geology and Origin of Carlin-type Gold Deposits. — *In* : Gold Metallogeny and Exploration, Blackie, London.
- CAIRNCROSS, B. & DIXON, R. 1996. Minerals of South Africa. — Geological Society of South Africa.
- CAMPBELL, S. D. G. & PITFIELD, P. E. J. 1994. Structural Controls of Gold Mineralization in the Zimbabwe Craton-Exploration Guidelines. — *Bulletin Zimbabwe Geological Survey*, No. 101.
- DE LAUNAY, L. 1913. Gîtes minéraux et métallifères. — Librairie Polytechnique C. Béranger, Paris et Liège.
- ECKSTRAND, O. R., SINCLAIR, W. D. & THORPE, R. I. 1995. Geology of the Canadian Mineral Deposit Types. — Geological Survey of Canada, *Geology of Canada*, No. 8.
- FORBIN, V. 1941. L'or dans le monde. — Payot, Paris.
- Gold Fields Mineral Services, Ltd. (GFMS) 1996 & 1997. Gold.
- GOOSSENS, P. J. 1983. Precambrian Mineral Deposits and their Metallogeny. — Musée Royal de l'Afrique Centrale, Tervuren, Belgique, Annales-série in-8°, Sciences géologiques, 97 pp.
- GOOSSENS, P. J. 1995. New Mineral Developments in Western Africa. — *Bull. Séanc. Acad. R. Sci. Outre-Mer*, **41** : 429-447.
- GOOSSENS, P. J. 1997. L'or, de l'Antiquité à nos jours. — *Mines et Carrières, Les Techniques III-IV, revue de la Société de l'industrie minière*, France, 141 pp.
- GOVETT, M. H. & HARROWELL, M. R. 1982. Gold Supply and Demand. — Australian Minerals Economics Pty. Ltd.
- GROVES, D. I. & FOSTER, R. P. 1991. Archaean Lode Gold Deposits. — *In* : Gold Metallogeny and Exploration, Blackie, London.
- HENLEY, R. W. 1991. Epithermal Gold Deposits in Volcanic Terranes. — *In* : Gold Metallogeny and Exploration, Blackie, London.
- KAVANAGH, P. M. 1982. Precambrian Gold Deposits. — *In* : The Development Potential of Precambrian Mineral Deposits, Pergamon Press.
- LINDGREN, W. 1933. Mineral Deposits. — Mc Graw-Hill Book Co.
- LOCK, A. F. 1882. Gold : occurrence and extraction. — Spon. London.
- MACKENZIE, B. W. 1991. Economics of gold deposits. — *In* : Gold Metallogeny and Exploration, Blackie, London.
- MACKIE, A. & REGAN, J. 1996. Gold to 2010. — Research Report, The Economist Intelligence Unit, London.
- MULLEN, Jr. T. V. & PARRISH, I. S. 1998. Short history of man and gold. — *Mining Engineering*, January 1998, pp. 50-56.
- NESBITT, B. E. 1991. Phanerozoic Gold Deposits in Tectonically Active Continental Margins. — *In* : Gold Metallogeny and Exploration, Blackie, London.
- PHILLIPS, G. N. & LAW, J. D. M. 1997. Hydrothermal Origin, Witwatersrand Gold. — SEG Newsletter, No. 31.
- ROBERT, F. 1996. Quartz-carbonate veingold. — *In* : ECKSTRAND, O. R., SINCLAIR, W. D. & THORPE, R. I. (Eds.), *Geology of Canadian Mineral Deposit Types*, Geological Survey of Canada, *Geology of Canada*, **8** : 350-366.

- ROSCOE, S.M. 1995. Paleoplacer uranium, gold. — *In* : ECKSTRAND, O. R., SINCLAIR, W. D. & THORPE, R. I. (Eds.), *Geology of Canadian Mineral Deposit Types*, Geological Survey of Canada, *Geology of Canada*, **8** : 10-23
- SILLITOE, R. H. 1991. Intrusion-Related Gold Deposits. — *In* : *Gold Metallogeny and Exploration*, Blackie, London.
- SUTHERLAND, C. H. V. 1959. *Gold, its Beauty, Power and Allure*. — London, Thames and Hudson, London.
- TEAL, L. & JACKSON, M. 1997. Carlin Trend Gold Deposits. — SEG Newsletter, No. 31.
- THIEBAUT, L. 1934. Recherche et étude économique des gîtes métallifères. — Librairie Polytechnique C. Béranger, Paris.
- THOMAS, P. R. & BOYLE, E. H. 1986. Gold Availability-World. A Minerals Available Appraisal. — U.S. Department of the Interior, Information Circular 9070.
- VILJOEN, R. P. & VILJOEN, M. J. 1970. The Geology and Geochemistry of the Layered Ultramafic Bodies of the Kaapmuiden Area, Barbeton Mountain Land. — *Geol. Soc. of South Africa* (Special Publication), **1** : 661-688.
- WOODALL, R. 1988. Gold in 1988. — *In* : GOODE, A. D. T., SMYTH, E. L., BIRCH, W. D. & BOSNA, L. I. (Eds.), *Bicentennial Gold 1988*, *Geol. Soc. Aust. Abstr.*, **23** : 1-12.

ANNEXE

Production d'or dans le monde (en t)

Année	Etats-Unis	Australie	URSS	Afrique du Sud	Asie	Canada	Amérique latine	Autres pays d'Afrique	Autres	Total
Avant 1492										17000,0
1493-1600										780,0
1601-1700										943,0
1701-1800										1964,0
1801-1840										659,0
1841-1850	38,2									566,0
1851	82,7	9,7	25,0							117,4
1852	90,1	86,3	25,0							201,4
1853	97,7	93,3	25,0						18,0	234,0
1854	90,1	70,5	26,0						5,2	191,8
1855	82,7	87,2	27,0						6,4	203,3
1856	82,7	94,4	26,0						18,9	222,0
1857	82,7	87,7	26,0						4,2	200,6
1858	75,1	84,0	25,0						3,5	187,6
1859	75,1	77,9	25,0			1,2			9,9	189,1
1860	69,1	75,9	24,4			4,7			19,5	169,2
1861	64,6	72,8	25,0			4,7			8,8	175,9
1862	58,9	68,7	25,0			4,7			9,6	166,9
1863	60,1	62,8	25,0			4,7			13,1	165,7
1864	69,3	57,6	25,0			4,7			18,1	174,7
1865	79,9	56,8	25,8			4,7			18,4	185,6
1866	80,4	54,0	26,0			4,8			21,8	187,0
1867	77,7	53,0	27,0			4,8				157,7
1868	72,1	60,9	29,0			4,8			3,1	169,9
1869	74,4	56,1	32,0			4,8				167,3
1870	75,1	48,6	35,4			2,9			1,7	163,7
1871	65,4	53,9	39,1			2,9	2,0		0,6	163,9

1872	54,1	56,0	37,9			2,9	1,5		0,3	152,7
1873	54,1	49,8	33,2			2,9	2,1		5,3	147,4
1874	50,3	49,7	33,2			2,9	1,6		1,3	139,0
1875	50,2	52,9	32,7			2,9	1,7		9,2	149,6
1876	60,0	43,6	33,6			2,9	1,5		27,3	168,9
1877	70,5	36,9	41,0			2,9	1,2		21,9	174,4
1878	76,9	34,5	42,1			2,9	1,4		24,3	182,2
1879	58,5	34,4	42,6			3,0	1,5		26,7	166,7
1880	54,1	36,5	41,4	3,0		2,0	1,6		26,6	165,5
1881	52,2	38,0	38,5	3,0	0,3	2,0	1,5		24,5	160,0
1882	48,8	36,9	32,7	3,0	0,3	2,0	1,5		28,7	153,9
1883	45,1	33,5	35,8	3,0	0,3	2,0	1,7		25,3	146,7
1884	46,3	35,3	32,9	3,0	0,3	2,0	1,5		27,1	148,4
1885	47,8	33,8	38,1	3,0	0,3	2,0	1,7		33,5	160,2
1886	52,4	32,4	30,9	3,0	0,5	2,0	1,8		29,3	152,3
1887	49,8	33,9	30,2	0,8	0,5	2,0	2,1		39,8	159,1
1888	49,9	34,6	32,1	4,7	0,6	2,0	2,5		39,4	165,8
1889	49,5	42,8	34,9	8,0	3,3	2,0	2,1		39,6	182,2
1890	49,4	38,5	38,3	13,1	4,1	2,0	2,5		33,3	181,2
1891	49,9	38,6	36,3	24,6	12,3	1,4	2,7		22,7	188,5
1892	49,6	43,0	35,4	33,2	18,1	1,4	3,3		20,8	204,8
1893	54,0	45,2	41,8	43,6	7,1	1,7	7,6		34,7	235,7
1894	59,4	54,9	36,3	60,6	20,0	1,4	21,0		18,2	271,8
1895	70,0	55,9	43,5	66,0	15,3	2,9	18,9		32,9	305,4
1896	79,8	57,2	46,7	65,8	21,3	4,2	18,6		9,1	302,7
1897	86,2	72,3	32,4	86,7	23,4	9,2	17,9		29,3	357,4
1898	96,8	85,4	37,2	119,2	24,4	20,8	20,6	0,6	26,7	431,7
1899	106,8	106,3	36,1	107,4	14,4	32,1	22,1	1,7	34,6	461,5
1900	119,0	99,3	33,4	9,2	16,0	41,9	23,5	3,5	37,2	383,0
1901	118,2	102,5	36,0	8,0	25,3	36,3	26,3	5,4	34,7	392,7
1902	120,2	108,3	36,8	52,5	16,3	32,1	26,7	5,6	47,0	445,5
1903	110,6	119,2	37,6	92,5	20,2	28,3	25,4	8,0	48,0	489,8

1904	121,5	116,5	37,7	117,3	22,0	24,7	27,9	10,1	45,0	522,7
1905	132,5	113,9	33,4	152,7	22,9	21,9	33,3	16,2	41,4	568,2
1906	146,1	107,0	33,8	179,9	23,0	18,1	37,4	21,4	35,7	602,4
1907	131,3	98,8	39,9	200,6	19,8	12,6	38,6	25,3	54,4	621,4
1908	137,8	95,5	46,6	219,4	21,1	14,8	43,2	28,2	60,0	666,6
1909	149,0	92,2	48,0	226,9	21,0	14,1	45,4	26,9	59,7	683,2
1910	142,4	84,5	55,0	234,1	39,4	15,3	47,4	27,0	39,9	685,0
1911	145,5	77,2	34,6	256,6	36,5	14,7	50,4	29,3	50,2	695,0
1912	138,7	72,2	43,6	283,3	39,5	19,0	48,3	33,4	23,4	701,4
1913	133,9	68,6	39,8	273,7	38,4	24,9	46,8	35,0	30,9	692,0
1914	137,2	63,8	43,0	261,1	39,3	34,0	38,7	40,9	12,7	660,7
1915	147,7	60,5	39,6	282,9	41,7	28,5	27,5	43,7	33,1	705,2
1916	137,2	51,7	33,8	289,2	40,1	28,9	31,7	44,3	26,5	683,4
1917	121,1	45,2	27,0	280,5	38,1	23,0	31,6	40,4	24,2	631,1
1918	99,8	39,5	25,8	261,8	36,2	21,8	42,4	30,1	15,8	573,2
1919	85,5	33,2	12,0	259,1	32,8	23,9	41,7	31,1	31,1	550,4
1920	74,0	29,3	1,8	253,7	32,3	23,8	41,1	26,8	24,3	507,1
1921	72,8	23,5	1,4	252,3	29,6	28,7	40,5	26,7	20,9	496,4
1922	71,2	23,4	4,6	218,3	33,6	38,3	43,4	29,2	18,0	480,0
1923	74,7	22,1	6,8	284,1	31,7	38,0	44,9	29,1	21,6	553,0
1924	75,9	21,0	17,8	297,8	33,4	47,4	39,1	29,6	24,0	586,0
1925	71,7	17,4	22,8	298,5	37,1	54,0	37,9	27,5	25,1	592,0
1926	69,4	16,2	24,9	309,6	38,6	54,6	37,0	28,8	20,9	600,0
1927	65,4	15,8	22,5	314,8	36,9	57,6	36,1	27,6	27,3	604,0
1928	66,7	14,2	34,2	332,1	34,3	58,8	37,6	27,1	17,0	578,0
1929	64,0	13,3	34,2	323,9	38,6	60,1	35,6	28,8	10,8	609,3
1930	66,5	14,5	48,3	333,3	41,5	65,5	37,5	30,6	14,6	652,3
1931	69,2	18,5	53,2	338,3	45,7	84,0	36,8	31,8	20,7	698,2
1932	70,6	22,2	62,3	359,5	48,4	95,2	38,4	35,3	27,4	759,3
1933	71,3	25,8	86,8	342,6	50,8	92,2	45,8	39,3	39,2	793,8
1934	86,4	27,6	124,0	326,0	54,7	92,6	52,3	43,4	41,0	848,0
1935	100,7	28,3	153,8	335,1	65,7	102,4	52,0	47,2	43,6	928,8

1936	117,7	36,7	168,5	352,6	79,1	116,9	58,4	52,8	46,8	1029,5
1937	128,0	43,1	209,0	365,0	90,7	127,9	67,6	58,2	51,5	1141,0
1938	132,7	49,5	210,3	378,3	92,9	147,5	74,2	62,3	68,6	1383,0
1939	145,3	51,2	211,6	398,8	111,0	159,0	77,2	69,0	59,4	1282,5
1940	151,5	51,1	213,0	436,9	110,1	165,7	85,2	75,2	28,8	1317,5
1941	147,8	46,5	214,3	448,1	106,4	166,8	81,5	74,2	50,7	1336,5
1942	108,5	35,9	215,6	439,4	67,4	151,0	77,9	67,1	39,8	1201,6
1943	42,4	23,4	216,9	398,3	37,8	114,0	67,0	54,4	36,7	990,9
1944	31,0	20,4	218,2	381,9	22,0	91,4	62,4	47,7	30,2	905,2
1945	29,7	20,4	219,6	380,2	10,8	84,2	58,8	46,8	26,1	876,6
1946	49,0	25,6	220,9	371,0	12,1	88,5	54,2	46,9	22,7	890,9
1947	65,6	29,2	222,2	348,4	23,6	95,2	49,4	44,6	31,4	910,2
1948	62,6	27,5	223,5	360,3	16,8	110,1	45,7	48,0	30,0	924,5
1949	62,0	27,5	224,8	364,1	20,1	128,3	49,5	50,0	29,4	955,8
1950	74,5	27,0	226,2	362,8	24,0	138,2	50,5	50,0	24,0	977,2
1951	61,6	27,9	227,5	358,2	38,4	136,6	48,4	49,8	14,1	962,5
1952	59,0	30,5	228,8	367,6	31,2	139,1	50,1	50,6	28,9	985,8
1953	60,9	33,4	230,1	371,4	31,1	126,5	51,2	52,1	28,4	985,1
1954	57,1	34,8	231,4	411,7	32,2	135,8	46,5	54,9	24,1	1028,4
1955	56,0	32,6	232,8	454,2	31,0	141,3	46,7	51,5	26,7	1072,8
1956	56,8	32,0	234,1	494,4	30,9	136,4	46,9	50,3	23,3	1105,1
1957	55,8	33,7	235,4	529,7	29,5	137,5	43,3	54,9	20,6	1140,4
1958	54,1	34,3	236,7	549,2	31,1	142,2	41,4	57,0	24,7	1170,7
1959	49,9	33,7	238,0	624,1	30,4	139,5	42,5	59,9	22,0	1240,0
1960	51,8	33,8	239,4	665,1	31,0	143,9	43,2	58,5	19,7	1286,4
1961	48,1	33,5	240,7	713,6	33,2	139,1	39,8	57,2	15,5	1320,7
1962	48,0	33,2	242,0	792,9	35,5	130,0	32,2	54,9	21,3	1397,0
1963	45,2	31,8	243,3	853,7	33,4	123,5	36,6	56,6	24,2	1448,3
1964	45,3	30,0	244,6	905,5	35,2	118,2	36,8	54,9	29,1	1499,6
1965	55,0	27,3	246,0	950,3	37,0	112,2	36,7	47,2	18,3	1528,0
1966	56,1	28,5	247,3	960,5	37,1	101,8	35,0	46,2	18,8	1531,3
1967	49,3	35,0	248,6	943,4	41,8	92,1	30,7	46,0	14,7	1491,6

1968	46,0	24,3	249,9	966,9	41,2	83,6	30,4	44,5	20,1	1506,9
1969	53,9	21,8	251,2	969,8	43,9	79,2	29,8	43,3	18,3	1511,2
1970	54,2	19,5	252,6	1000,4	32,9	74,9	35,4	44,4	11,7	1526,0
1971	46,4	20,9	253,9	976,3	33,7	68,7	34,1	44,6	11,1	1489,7
1972	45,1	23,5	253,9	909,6	32,7	64,7	34,8	42,3	29,1	1435,7
1973	36,2	17,2	255,2	855,2	30,3	60,0	35,2	44,8	37,4	1371,5
1974	35,1	16,2	256,5	758,6	27,7	52,2	36,9	43,6	34,3	1261,1
1975	32,4	16,3	257,8	713,4	26,5	51,4	41,8	40,0	31,1	1210,7
1976	32,2	15,4	259,2	713,4	27,1	52,4	55,0	39,2	43,2	1228,1
1977	32,0	19,2	260,5	699,9	30,1	54,0	55,9	41,4	34,2	1230,3
1978	30,2	20,1	261,8	706,4	30,7	54,0	62,7	34,2	37,0	1137,3
1979	30,2	18,3	263,1	705,4	29,0	51,1	66,6	28,3	30,0	1222,7
1980	27,6	17,0	264,4	675,1	31,0	50,6	85,9	35,2	23,9	1210,7
1981	40,6	16,2	265,8	657,6	34,5	49,5	96,1	40,4	26,8	1227,4
1982	45,3	27,0	266,0	664,3	104,6	66,5	109,8	45,6	36,9	1366,0
1983	62,6	30,6	267,0	679,7	108,9	73,0	144,5	46,9	39,0	1452,2
1984	66,0	39,1	269,0	668,3	116,7	86,0	154,1	51,1	41,5	1506,5
1985	79,5	58,5	271,0	671,7	143,8	90,0	178,5	52,0	19,6	1565,5
1986	118,3	75,1	275,0	640,0	167,1	105,7	181,0	53,1	20,8	1636,1
1987	154,9	110,7	277,0	607,0	174,3	116,5	205,6	63,9	22,5	1732,4
1988	201,0	157,0	280,0	621,0	184,5	134,8	234,6	67,6	28,3	1908,8
1989	265,7	203,6	285,0	607,5	202,7	159,5	236,9	67,7	38,9	2067,5
1990	294,2	244,2	270,0	605,1	221,7	169,4	220,3	69,5	45,7	2140,1
1991	296,0	236,2	252,0	601,1	265,3	175,7	210,1	88,7	42,6	2167,7
1992	329,1	243,5	229,7	614,1	299,6	160,4	214,9	101,3	36,6	2232,2
1993	332,1	247,2	248,7	619,5	307,3	153,1	229,1	111,4	40,2	2288,6
1994	326,0	254,9	242,8	583,2	312,6	146,4	252,0	118,8	40,2	2277,6
1995	319,0	253,5	226,8	522,4	339,6	150,3	282,1	131,8	43,7	2269,6
1996	329,3	288,8	223,0	494,6	368,9	163,9	304,5	126,4	46,1	2345,5
Total	13081,6	8504,4	17783,4	46755,0	6573,0	8524,7	7084,0	4528,6	3901,8	138603,7

Sources : FORBIN 1941, WOODAL 1988, GFMS 1995.

De dynamische aardmantel en de gevolgen voor de aardkorst *

door

Walter DE VOS **

TREFWOORDEN. — Aardmantel ; Asthenosfeer ; Ertsvorming ; Geoïde ; Lithosfeer ; Mid-oceanische rug ; Seismische tomografie ; Subductie ; Transformbreuk ; Wilson-cyclus.

SAMENVATTING. — De aardmantel is door zijn thermische eigenschappen verantwoordelijk voor het interne dynamisme van de aarde. De aardkorst wordt als bovenste deel van de rigide lithosfeer op passieve wijze meegedragen op de asthenosfeer. Langzame convectiestromen woelen de mantel om, en openen en sluiten oceanen in achtereenvolgende Wilson-cycli die ongeveer 300 miljoen jaar duren. Seismische tomografie brengt de heterogeniteit van de mantel in beeld. Verschillen in seismische snelheid verraden verschillen in massadichtheid en in temperatuur. De vorm van de geoïde wordt in grote lijnen bepaald door de ongelijke massaverdeling in de mantel. De belangrijkste motor van de mantelconvectie is de neerwaartse trekkracht van de afgekoelde oceanische lithosfeer in subductiezones. De bovenste asthenosfeer wordt zijdelings meegesleurd, waardoor de lithosfeer openscheurt tot riftzones en mid-oceanische ruggen, een proces dat start langs rheologisch zwakke suturezones. Transform-breuken zijn een geometrisch gevolg van de uitbreiding van de oceanische korst op een boloppervlak. De geologische geschiedenis en ook de ertsvorming, spelen zich voornamelijk af aan de actieve plaatranden, door divergentie, convergentie of horizontaalverschuiving van platen onderling. De ontstaanswijze van de meeste metallische ertsen wordt in een breder geologisch perspectief geplaatst. Analyse van diamant laat toe enkele geheimen van de mantel te ontsluiten.

MOTS-CLES. — Asthénosphère ; Cycle de Wilson ; Dorsale médio-océanique ; Faille transformante ; Genèse des minerais ; Géoïde ; Lithosphère ; Manteau terrestre ; Subduction ; Tomographie.

RESUME. — *Dynamisme du manteau et conséquences pour l'écorce terrestre.* — Le manteau terrestre est à l'origine du dynamisme interne de la terre. L'écorce est la partie supérieure de la lithosphère rigide, qui flotte de manière passive sur l'asthénosphère. Des courants de convection remuent le manteau, ouvrant et fermant des océans en cycles de Wilson successifs qui durent environ 300 millions d'années. La tomographie sismique permet de visualiser les hétérogénéités du manteau. Des différences de vitesse sismique trahissent des différences de densité et de température.

* Lezing gehouden tijdens de zitting van de Klasse voor Technische Wetenschappen van 28 maart 1997. Beslissing tot publicatie genomen op 30 januari 1998. Tekst ontvangen op 20 maart 1998.

** Belgische Geologische Dienst, Jennerstraat 13, B-1000 Brussel (België).

La forme du géoïde est déterminée par la distribution de masse dans le manteau. Le moteur principal de la convection du manteau est la traction descendante de la lithosphère océanique refroidie dans les zones de subduction. La partie supérieure de l'asthénosphère est entraînée latéralement, ce qui cause la rupture de la lithosphère pour donner naissance à des rifts et dorsales médio-océaniques. Ce processus démarre le long de zones de suture rhéologiquement affaiblies. Les failles transformantes sont une conséquence géométrique de la croissance de croûte océanique à la surface d'une sphère. L'histoire géologique de l'écorce terrestre, comme la genèse des minerais, se déroule surtout à la limite des plaques, dans des zones divergentes, des zones convergentes et des grandes failles cisaillantes. La genèse de certains minerais métalliques est placée dans un cadre géologique élargi. L'analyse de diamants permet de dévoiler quelques secrets du manteau.

KEYWORDS. — Asthenosphere ; Earth Mantle ; Geoid ; Lithosphere ; Mid-oceanic Ridge ; Ore Genesis ; Seismic Tomography ; Subduction ; Transform Fault ; Wilson Cycle.

SUMMARY. — *Earth Mantle Dynamism and Consequences for the Crust.* — The earth mantle is responsible for most of the heat production and for the internal dynamism of the earth. The thin crust is the upper part of the cool rigid lithosphere, which is passively carried on top of the asthenosphere. Slow convection currents stir the whole mantle, and cause oceans to open and close in successive Wilson cycles with a duration of about 300 million years. Seismic tomography allows to map heterogeneities in the mantle down to the core at a depth of 2,900 km. Differences in seismic velocity point to differences in mass density and temperature. The shape of the geoid is determined by the mass distribution in the mantle. The main motor of the mantle convection is the downward pull of cooled oceanic lithosphere in subduction zones. The upper part of the asthenosphere is horizontally dragged towards the subduction zones, causing the lithosphere to break open into rifts and mid-oceanic ridges. This process starts in suture zones where the rheological properties of the lithosphere favour rifting. Transform faults are a geometrical consequence of sea-floor spreading on a spherical earth. Most of the geological history of the earth's crust, including the genesis of ores, occurs at plate boundaries, in three different tectonic settings : rifts, orogenesis at convergent boundaries, and large shear zones. The genesis of various metallic ores is put into a larger geological perspective. Analysis of diamonds reveals some secrets of the earth's mantle.

1. Huidige structuur van de aarde

1.1. OPPERVLAKKIGE STRUCTUUR VAN DE AARDE, PLAATTEKTONIEK

In de loop van de laatste dertig jaar is duidelijk geworden dat de lithosfeer, dit is de stijve buitenste schil van de aarde waarvan de aardkorst deel uitmaakt, bestaat uit een aantal grote platen die ten opzichte van elkaar langzaam bewegen. Die beweging kan divergerend, convergerend of horizontaal verschuivend zijn (fig. 1).

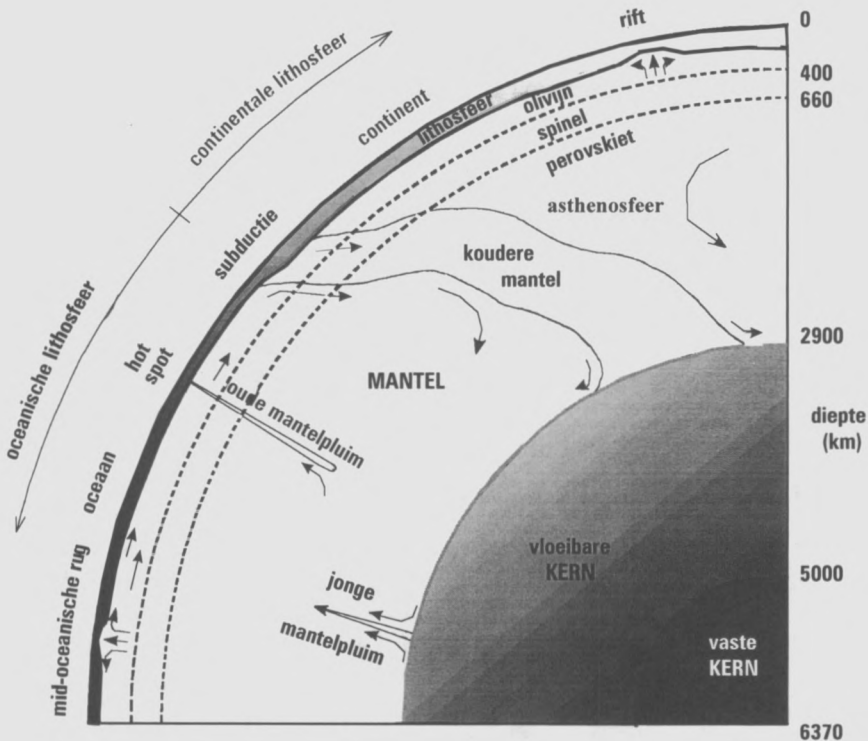


Fig. 1. — Plaattektoniek. De aardoppervlakte vertoont een opdeling in grote platen die ten opzichte van elkaar bewegen. Convergerende beweging leidt tot subductie of intercontinentale botsing. Divergentie veroorzaakt riftzones en mid-oceanische ruggen. Horizontaalverschuiving treedt op in transform-breuken en „shear zones”.

In de drie oceanen bestaan lange ruggen, waar de oceaan openscheurt en waar uit de diepte magma naar omhoog komt en stolt, waarbij de oceanbodem zich uitbreidt naar beide richtingen ; dit zijn divergerende plaatranden. Een gekend voorbeeld is de mid-Atlantische rug die ongeveer 200 miljoen jaar geleden ontstond tussen Amerika en Afrika-Europa, en de afstand tussen de continenten geleidelijk doet toenemen. De Atlantische en Indische Oceanen groeien aan door „sea floor spreading”.

Rondom de Stille Oceaan duikt de oceanische lithosfeer naar beneden langs diepteetroggen. Dit zijn convergerende plaatranden ; de lithosfeer wordt daar ingekort. Men spreekt van subductie van oceanische korst. In de subductiezones langs de westkust van Noord- en Zuid-Amerika duikt de Stille Oceaan oostwaarts onder de Amerikaanse continenten. Ook naar Australië en Azië toe grijpt subductie plaats. De vulkanische gordel van de circumpacifische ring is een uitdrukking van deze keten van subductiezones. De Stille Oceaan krimpt, ondanks de aangroei langs de Oost-Pacifische rug. Continenten die

meedrijven op de lithosferische platen zijn te licht om in de diepte meegesleurd te worden, en geven in een convergerende constellatie aanleiding tot intercontinentale botsingen, waarbij hooggebergte ontstaat ; het Himalaya-gebergte is hiervan het mooiste voorbeeld.

Langs sommige lijnen schuiven twee platen langs elkaar zonder dat er korst verdwijnt of gevormd wordt ; dit zijn transform-breuken. De San Andreas-breuk in Californië is hiervan een voorbeeld. Een dergelijke horizontaalverschuiving wordt ook „strike-slip” genoemd.

Op grote schaal smelt het gesteente langs de plaatranden. De mineralogische en geochemische samenstelling van het magma in mid-oceanische ruggen wordt tholeïetisch genoemd, in subductiezones kalkalkalisch. Dit laatste bevat meer Ca, K en Na ; ook de gehalten aan spoorelementen zijn voor beide typen magma verschillend, wat samenhangt met hun oorsprong uit oceanische korst (tholeïetisch) respectievelijk continentale of gemengde korst (kalkalkalisch).

1.2. INTERNE OPBOUW VAN DE AARDE, AFGELEID UIT SEISMISCHE GOLVEN

Uit de grootte van de zwaartekracht kan de gemiddelde massadichtheid van de aarde worden afgeleid, namelijk $5,5 \text{ g/cm}^3$. Dit is aanzienlijk meer dan de dichtheid van de silikaatgesteenten ($2,7$ tot $3,5 \text{ g/cm}^3$) die we kennen van de aarde, de maan en de meteorieten van ons zonnestelsel. Anderzijds bestaat er een groep meteorieten die uit ijzer bestaan met 5 à 10% nikkel en een dichtheid van ongeveer 8 g/cm^3 bij atmosferische druk. Het zijn getuigen van opgebroken asteroïden die, door opsmelten van primitief zonnestelselmateriaal, gedifferentieerd waren in een ijzerkern en een silikaatmantel. Naar analogie hiermee wordt verondersteld dat de aarde een zware kern van nikkelhoudend ijzer heeft, met daarrond een lichtere silikaatmantel.

De aardmantel bevat 90% van het volume en 67% van de massa van de aarde, en is door de productie van radiogene warmte verantwoordelijk voor haar interne dynamisme. De dunne buitenste aardkorst bevat minder dan 1% van de massa van de aarde.

Seismische golven die dwars door de aarde gaan brengen de inwendige structuur van de aarde aan het licht. Er gaan twee soorten golven door de aarde : verdichtingsgolven, P (*pressure wave*) genoemd, en transversale golven, S (*shear wave*) genoemd. De voortplantingssnelheid van beide soorten golven neemt toe met de massadichtheid, dus ook met de diepte in de aarde, omdat door de grote druk de dichtheid toeneemt met de diepte. De toename van de seismische snelheid is geleidelijk, maar er zijn belangrijke discontinuïteiten op bepaalde diepten, waaruit volgt dat de aarde is opgebouwd uit concentrische schillen (fig. 2). Een grondige analyse van de seismische golven laat toe deze gelaagde opbouw te begrijpen.

Een eerste opvallende sprong in seismische snelheid treedt op bij een diepte van 25 tot 50 km onder de continenten, en slechts 5 tot 10 km onder de

oceanen. Deze discontinuïteit wordt genoemd naar de ontdekker Mohorovicic, afgekort Moho (fig. 3). De snelheid van de seismische P-golven neemt er plots toe van 6 à 7 naar 8 km/s ; de snelheid van de S-golven van ongeveer 3,5 tot 4,5 km/s. De Moho is het grensvlak tussen de aardkorst, met een gemiddelde dichtheid van $2,9 \text{ g/cm}^3$, en de aardmantel met een dichtheid van $3,3 \text{ g/cm}^3$ juist onder de Moho. De gesteenten in de aardkorst zijn lichter en hebben een andere samenstelling dan die van de mantel ; in de aardkorst is vooral meer Al en K aanwezig in de silikaten, in de mantel meer Fe en Mg. De Moho, waargenomen als een contrast in seismische snelheid en massadichtheid, stelt dus een geochemische en mineralogische grens voor.

Kleine sprongen in seismische snelheid treden op bij 400 km en 660 km, en worden geïnterpreteerd als mineralogische fase-transformaties zonder verandering in samenstelling. Aan weerszijden van de discontinuïteit gaat het om mantelgesteente. Bij toename van de druk wordt olivijn bij 400 km omgezet in spinel, bij 660 km wordt spinel omgezet in perovskiet (fig. 2 en 3). Olivijn, spinel of perovskiet is het magnesiumsilikaat dat in de overeenkomstige dieptezone meer dan de helft van het mantelgesteente uitmaakt. Daar de omzetting vooral functie is van de druk, en niet van de temperatuur, is de diepte van de seismische sprongen nauwkeurig tot op minder dan 10 km.

Een tweede grote sprong vindt plaats op een diepte van 2 900 km (fig. 2) en stelt de grens tussen mantel en aardkern voor, met een dichtheid, bij de heersende druk, van $5,7$ respectievelijk 10 g/cm^3 . De P-golven gaan zowel door vaste als door vloeibare stoffen, terwijl S-golven niet door vloeistoffen gaan. Op 2 900 km diepte worden de S-golven weerkaatst, waardoor we weten dat de buitenste kern van de aarde vloeibaar is. Op circa 5 000 km diepte is opnieuw een sprong die overeenkomt met een toename van 11 tot 13 g/cm^3 . Daarbinnen bevindt zich de vaste ijzerkern, die in het centrum van de aarde, op 6 370 km diep, een druk van 4 miljoen atmosfeer ondergaat, bij een temperatuur die geschat wordt op $5\,000^\circ\text{C}$. De ijzerkern, zowel vast als vloeibaar, is verantwoordelijk voor het magnetisch veld van de aarde. Dit veld is niet stabiel in de tijd, noch qua intensiteit noch qua oriëntatie, wat vermoedelijk samenhangt met convectiestromingen in de vloeibare kern. De polariteit van het magnetisch veld verandert gemiddeld één keer per miljoen jaar, maar zonder enige regelmaat.

In het bovenste deel van de aardmantel, op een zekere diepte onder de Moho, bevindt zich een zone waar de snelheid der seismische S-golven vertraagt ; het is de „low-velocity zone” die gedeeltelijk gesmolten is, onder invloed van de hoge temperatuur en de in verhouding nog lage druk (fig. 3).

In de aardkorst en het bovenste deel van de mantel neemt de temperatuur immers geleidelijk toe met de diepte ; er bestaat een geothermische gradiënt, die tussen 10°C en 50°C per km bedraagt, verschillend volgens de ligging op aarde. Warmte verplaatst zich naar boven door conductie in een rigide, taai vloeibare massa, die de lithosfeer genoemd wordt (fig. 3).

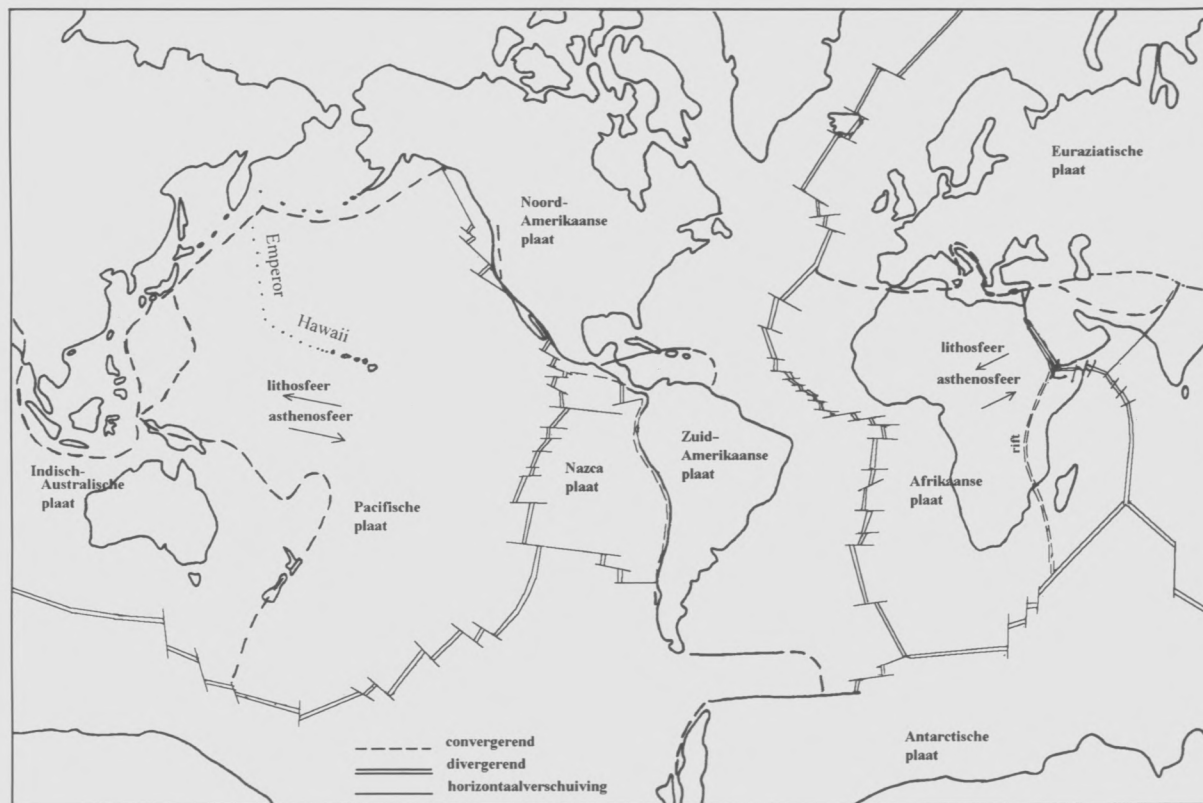


Fig. 2. — Doorsnede door de aarde. De aarde is opgebouwd uit concentrische schillen. In de mantel vinden langzame convectiebewegingen plaats, waardoor koudere massa tot aan de aardkern wegzinkt in subductiezones, en warmere massa op een diffuse wijze weer opstijgt, soms geconcentreerd in mantelpluimen.

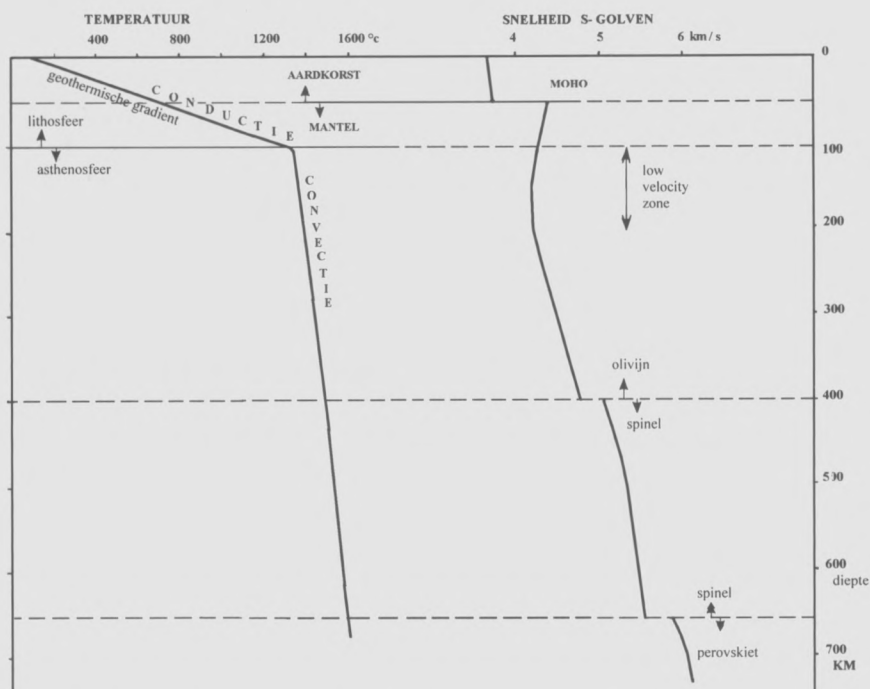


Fig. 3. — Doorsnede door het buitenste deel van de aarde, met aanduiding van aardkorst en mantel, lithosfeer en asthenosfeer. Het verloop van de temperatuur en van de snelheid der seismische S-golven werd aangeduid in functie van de diepte (naar FRANCIS 1993).

Vanaf een temperatuur van ongeveer 1350 °C, overeenkomend met een diepte van 50 tot 200 km, beginnen de gesteenten te smelten, en neemt de rigiditeit af; dit speelt zich af in de „low-velocity zone”. Ook dieper, waar de grotere druk het smelten belemmert, kan door toegenomen plasticiteit het gesteente zich gemakkelijker verplaatsen. Er treedt convectie op in plaats van conductie als voornaamste factor van warmtetransport. Hierbij verdwijnt de regelmatige geothermische gradiënt, en neemt de temperatuur veel minder snel toe met de diepte; de massa (en ook de temperatuur) wordt door convectie gehomogeniseerd op geologische tijdschaal. Deze zone van de mantel wordt de asthenosfeer genoemd (fig. 3).

Het grootste deel van de mantel behoort tot de asthenosfeer en is onderhevig aan langzame convectiestroming onder invloed van verschillen in temperatuur, en dus in dichtheid. Enkel het bovenste deel van de mantel, dat kouder is dan 1350 °C, behoort tot de lithosfeer, samen met de aardkorst. De lithosfeer is eerder visco-elastisch dan plastisch. De mantellithosfeer heeft ruwweg dezelfde samenstelling als de rest van de mantel. De grens tussen lithosfeer

en asthenosfeer is hoofdzakelijk een thermische grens met rheologische gevolgen, terwijl de grens tussen mantellithosfeer en aardkorst (de Moho) een geochemische grens is met gevolgen voor de massadichtheid.

De aardkorst heeft gemiddeld een granietische samenstelling onder de continenten, en een basaltische samenstelling onder de oceanen. Graniet bevat meer Si, Al en alkalimetalen dan basalt, dit laatste bevat vooral meer Fe en Mg. Continentale aardkorst is lichter dan oceanische, maar allebei zijn ze lichter dan mantelgesteente. Continentale massa's zijn dikker en steken ver boven de zeespiegel uit ; door het streven naar een natuurlijk drijvend evenwicht zakt continentale aardkorst dieper weg in de mantel dan oceanische aardkorst. Dit verschijnsel wordt isostasie genoemd, en verklaart waarom de Moho onder de continenten dieper ligt (PANNEKOEK & VAN STRAATEN 1992).

1.3. SEISMISCHE TOMOGRAFIE

Door de verbetering van de seismische verwerkingsmethode is het sinds enkele jaren mogelijk de thermische heterogeniteit van de aardmantel in drie dimensies te bestuderen. In een oost-west profiel door de Stille Oceaan en Noord-Amerika blijkt dat een zone met relatief hogere seismische snelheid, dus lagere dichtheid en temperatuur, schuin onder Noord-Amerika loopt, dwars door de mantel, van de aardkorst aan de Pacifische kust, tot 2 900 km diepte (aan de aardkern) ter hoogte van de oostkust. De zone met lagere temperatuur wordt geïnterpreteerd als de oceanische lithosfeer die door subductie sinds 150 miljoen jaar uit de Stille Oceaan verdwijnt onder het Noord-Amerikaanse continent (VIDALE 1994). De gesubduceerde „slab”, die koud was in vergelijking met de mantel, is nog niet thermisch gehomogeniseerd met het omringende gesteente, en het temperatuurverschil is nog te detecteren door het verschil in seismische snelheid van de S-golven. In figuur 2 wordt een dergelijke toestand schematisch weergegeven. Een gelijkaardig profiel door Zuid-Amerika toont een zone met hogere snelheid (lagere temperatuur) die slechts tot halfweg de mantel doordringt, en zou wijzen op een kortere subductievoorgeschiedenis van 50 miljoen jaar.

Niet alleen verticaal maar ook horizontaal kunnen gebieden van verschillende seismische snelheid afgelijnd worden. CAZENAVE & FEIGL (1994) tonen een reeks kaartjes met de verbreiding van snellere koude gebieden, en tragere warme gebieden op verschillende diepte in de mantel. Op een diepte van 200 km komt het patroon van de warmere gebieden overeen met de mid-oceanische ruggen ; het bovenste deel van de mantel weerspiegelt de ligging van de spreidingsassen.

Op grotere diepte verdwijnt deze correlatie, en ontstaat een heel ander patroon. Tussen 1 300 en 2 300 km diepte is de mantel relatief koeler in twee grote gebieden : onder het oosten van Amerika (vooral Noord-Amerika), en onder het oosten van Azië en ten westen van Australië. Dit zijn plaatsen

waar de subductiezones van de circumpacifische ring reeds meer dan 100 tot 200 miljoen jaar actief zijn ; daar is dus koudere lithosfeer in de diepe mantel gezonken. Twee andere gebieden bevatten relatief warmer gesteente in de diepe mantel, enerzijds een strook langs westelijk Afrika en Europa, en anderzijds een gebied in de westelijke Stille Oceaan, ten noordoosten van Australië.

1.4. DE GEOIDE

De geoïde is het equipotentiaalvlak van de zwaartekracht ter hoogte van de zeespiegel. Het stelt de reële vorm van de aarde voor op zeeniveau ; deze valt niet samen met de omwentelingsellipsoïde, dit is de regelmatige geometrische figuur die de vorm van de aarde het dichtst benadert, rekening houdend met de afplatting aan de polen. Het reële zeeniveau wijkt op sommige plaatsen tot 100 m af ten opzichte van de ellipsoïde. De onregelmatige vorm houdt verband met de verdeling van de massa in het inwendige van de aarde. Afwijkingen met kleine golflengte hebben een ondiepe oorzaak, afwijkingen met grote golflengte een diepe oorzaak, met name in de mantel.

Voor de berekening van de geoïde wordt gebruik gemaakt van terrestrische zwaartekrachtmetingen, metingen van kleine afwijkingen in de omloopbanen van satellieten, en altimetrische metingen uit satellieten. De vorm van de geoïde wordt dan ook pas nauwkeurig bestudeerd sinds de komst van de ruimtevaart ; tevoren waren enkel de ruwe trekken gekend. De nauwkeurigheid van de geoïde houdt sinds enkele jaren gelijke tred met die van altimetrische metingen met GPS (*Global Positioning Satellites*) op zee, terwijl op land ook de nauwkeurigheid van gravimetrische metingen een rol spelen. De grootte-orde van de nauwkeurigheid is 10 cm op zee, en tussen 10 cm en 10 m op land naargelang de vorderingsgraad van de plaatselijke gravimetrische opnamen. Hier zullen wij niet nader ingaan op de berekening van de geoïde, maar ons beperken tot het zoeken van een geologische verklaring voor de afwijkingen met grote golflengte, die inzicht verschaffen in de opbouw van de aardmantel.

Figuur 4 toont een vereenvoudigde versie van de geoïde, waar enkel de grote anomalieën zichtbaar zijn ; de equidistantie tussen de getoonde hoogtelijnen bedraagt 30 m. We zien hetzelfde beeld als voor de thermische heterogeniteiten in de mantel. Drie maxima steken als zeespiegelheuvels boven het gemiddelde niveau uit : enerzijds in de westelijke Stille Oceaan rond Nieuw-Guinea en anderzijds in een strook gaande van IJsland en Ierland over West-Europa, tot het gebied tussen Zuid-Afrika en Antarctica, met een noordelijk en een zuidelijk maximum. Negatieve afwijkingen van dezelfde grootte-orde worden aangetroffen in een strook over China, India en de Indische Oceaan ten westen van Australië, tot de Pacifische kust van Antarctica, en een tweede strook over oostelijk Noord-Amerika, de Antillen en Brazilië.

De negatieve anomalieën van de geoïde verklaarden we reeds als de koelere mantel die ontstond door langdurige (meer dan 150 miljoen jaar) neerwaartse

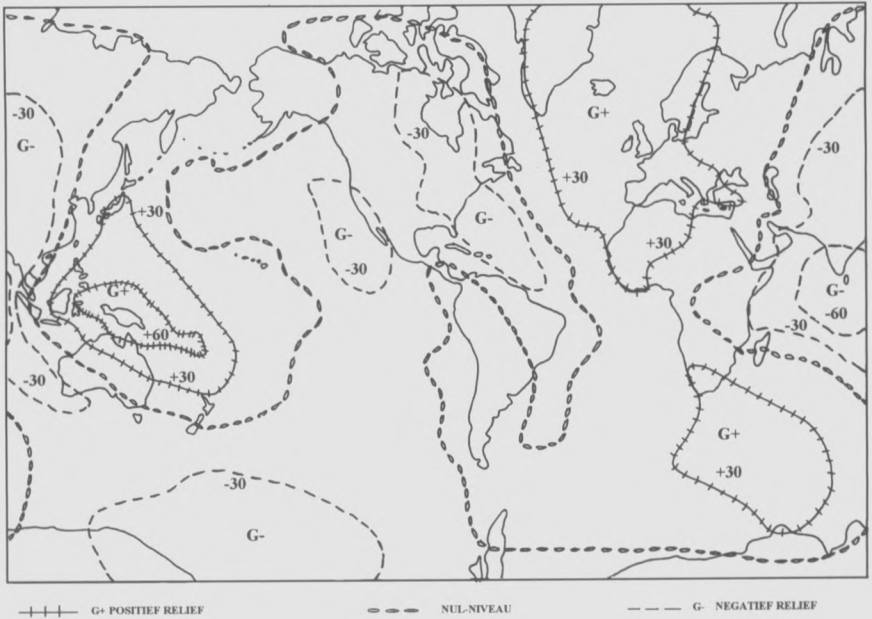


Fig. 4. — Wereldkaart met afwijking van de geoïde ten opzichte van de referentie-ellipsoïde, in meter (naar CAZENAVE & FEIGL 1994). In de positieve gebieden G⁺ ligt de zeespiegel hoger dan de referentie-ellipsoïde, in de negatieve gebieden G⁻ ligt de zeespiegel lager. Vergelijk figuur 1.

convectie van oceanische lithosfeer langs de subductietroggen. De massadichtheid van de mantel is daar lokaal groter; door de extra aantrekkingskracht wordt het equipotentiaaloppervlak, namelijk de zeespiegel, naar beneden omgebogen.

Voor een verklaring van de positieve anomalie over West-Europa en West-Afrika moeten we 250 miljoen jaar geleden, in het Perm-tijdperk, het reusachtige continent Pangea beschouwen. Alle continenten waren inderdaad aan elkaar gegroeid door een oudere convectiecyclus. Continentale lithosfeer is dikker dan oceanische, en is een zeer slechte warmtegeleider, zodat zich veel warmte opstapelde onder het centrale deel van Pangea. Het centrum was gelegen onder westelijk Afrika, en door de traagheid van de warmtedissipatie liggen ook nu nog warmteconcentraties in dezelfde omgeving in de diepe mantel. Door uitzetting is de massadichtheid hier lager, en ligt de zeespiegel hier verder van het centrum van de aarde; een gelijke massa heeft immers een groter volume nodig. De vorm van de geoïde is dus gedeeltelijk een erfenis uit het Perm-tijdperk (WINDLEY 1995). Door de ontkoppeling asthenosfeer-lithosfeer (zie verder) en de opening van de Atlantische Oceaan is het centrum van de positieve anomalie in de geoïde wel enigszins verschoven ten opzichte

van West-Afrika sinds het Perm. Voor de positieve anomalie rond Nieuw-Guinea bestaat nog geen duidelijke plaattektonische verklaring die steunt op de geologische voorgeschiedenis.

1.5. DYNAMISME VAN DE MANTEL

De geofysici zijn het er reeds langer over eens dat in de mantel convectiecellen optreden. Er bestond tot voor kort echter discussie over de diepte van de convectiecellen, en ook over de aandrijvende kracht : gaat het om een „ridge push” of om een „slab pull” ?

De „ridge push” hypothese gaat ervan uit dat het opwellende magma onder de mid-oceanische ruggen de stuwende kracht is achter heel het convecterende gebeuren. Dit zou echter inhouden dat de hele mantel, ook in de diepte, onder de mid-oceanische ruggen warmer zou zijn zodat hij een opwellende kracht veroorzaakt. Dit is in tegenspraak met de waarnemingen.

De „slab pull” hypothese verklaart de aandrijving door de neerwaartse trekkracht van de koudere subducerende oceaanbodem. De oceaanbodem (oceanische korst) ontstaat uit de stolling van magma aan de oceaanruggen. Na verloop van tientallen miljoenen jaren is dit gesteente zijdelings ver verwijderd geraakt van de oceaanrug, en zodanig afgekoeld dat het zwaarder wordt dan de onderliggende warmere asthenosfeer. Na 60 Ma is de afkoeling zo goed als voltooid. Het gesteente wacht op de juiste geometrische constellatie om naar beneden te zinken. Zodra het zinken van de oceaanbodem gestart is, houdt dit proces zichzelf in stand, door de inertie van de convectie en doordat over de hele verticale dikte van de mantel koelere zwaardere massa aanwezig is die neiging heeft om nog dieper weg te zinken. De resultaten van de seismische tomografie en de verklaring voor de vorm van de geoïde wijzen erop dat „slab pull” op wereldschaal de sterkste kracht is.

Uit de seismische tomografie weten we ook dat de convectiecellen tot aan de aardkern reiken, dus de volledige mantel omwoelen op geologische tijdschaal. Het terug opstijgen van warmere massa uit de diepe mantel schijnt op een meer diffuse manier te gebeuren. Soms stijgt echter lokaal een warme mantelpluim op, onafhankelijk van de ligging van de mid-oceanische ruggen (zie verder).

Uit dit alles volgt dat de mid-oceanische spreidingsassen meer oppervlakkige verschijnselen zijn. De lithosfeer scheurt passief open door laterale uitrekking, met verdunning van de lithosfeer tot gevolg. Zodra een barst ontstaan is, welt de asthenosfeer op, en door drukverlaging begint het gesteente te smelten. Dit gebeurt niet waar de diepe mantel het warmste is, maar wel daar waar de lithosfeer ooit zwakke plekken vertoonde, bij voorbeeld langs sutuurzones in het supercontinent Pangea. Suturaalzones zijn plaatsen waar vroeger bergvorming is opgetreden door botsingen tussen continenten of plaatranden (VAUCHEZ *et al.* 1997). De plaats van de initiële scheuring in de lithosfeer,

rifting genoemd, houdt dus vooral verband met de rheologische eigenschappen (viscositeit) van de lithosfeer zelf en niet met de thermische toestand van de mantel (WINDLEY 1995, FRANCIS 1993). De aankomst van een warme mantelpluim (zie verder : „hot spots”) kan wel een gunstige omstandigheid zijn.

De mid-oceanische ruggen worden wel vergeleken met het openscheuren van een uitrafelend stuk stof (FRANCIS 1993). Dit verklaart het onregelmatige patroon van de oceaanruggen, en de lange transform-breuken waar de scheuren verschoven worden ten opzichte van elkaar, zonder enige thermische implicatie voor de onderliggende diepe mantel. Transform-breuken zijn het gevolg van de bolvormige geometrie van de aarde bij het openscheuren ; de afmetingen van de scheuring (opening) zijn niet overal dezelfde langs de lange oceaanruggen.

In tegenstelling tot de bijna willekeurige ligging van de oceaanruggen ten opzichte van de warmtehaarden in de diepe mantel, treedt subductie wel op waar de mantel het koudst is. Of nog : de diepe mantel is kouder daar waar subductie optreedt. De ligging van de subductietroggen is veel permanenter op geologische tijdschaal en houdt zichzelf in stand. De thermische aandrijving van het manteldynamisme is dus de neerwaartse beweging aan de subductiezones.

1.6. „HOT SPOTS” EN DE ONTKOPPELING LITHOSFEER-ASTHENOSFEER

De thermische heterogeniteit van de mantel komt niet alleen tot uiting in de grote convectiecellen, maar ook in de zogenaamde „hot spots”. Dit zijn lokale warmere pluimen die hun oorsprong waarschijnlijk vinden op de grens van de aardkern en de mantel, en een levensduur hebben tot 100 miljoen jaar. Wanneer ze na het opstijgen (wat 25 miljoen jaar duurt) aangekomen zijn bij de lithosfeer, dragen ze soms bij tot het opbreken van continentale massa's en het starten van een oceanische spreiding. „Hot spots” veroorzaken basalt-uitvloeiingen, die door hun grote omvang eilanden doen ontstaan in de oceanen. Voorbeelden zijn de Kaapverdische eilanden en Hawaï. Deze basalt met typische samenstelling wordt OIB genoemd, „Ocean Island Basalt”.

Het spoor van basaltische vulkanen dat aan de aardoppervlakte nagelaten wordt door de hot spots, verplaatst zich in de geologische tijd. De algemene verplaatsing van een twintigtal hot spots wijst erop dat de lithosfeer in zijn geheel naar het westen drijft op de asthenosfeer (fig. 1) ; daardoor verplaatst het spoor van de hot spots zich oostwaarts aan de oppervlakte (WINDLEY 1995). Dit wijst op een globale ont koppeling van de asthenosfeer en de lithosfeer. Dit langzaam wegdrijven van de hele lithosfeer komt bovenop de relatieve bewegingen van de platen onderling. Dit verklaart ook waarom de warmere en koudere delen van de diepe mantel, afgeleid uit de geoiden en uit de seismische tomografie, niet perfect samenvallen met de oorzaken afgeleid uit de hedendaagse configuratie van de plaattektoniek.

De ligging van de eilandketens Hawaii-Emperor in de noordelijke Stille Oceaan (fig. 1) is een mooi voorbeeld om de relatieve verplaatsing van de Pacifische plaat ten opzichte van de hot spot van Hawaii te bestuderen (CLAGUE & DALRYMPLE 1987). De actieve vulkanen van Hawaii, namelijk de Kilauea en de Mauna Loa, liggen op het meest oostelijke eiland. Datering van het vulkanisme op de verschillende eilanden van de Hawaii-archipel en de onderzeese vulkanen (*seamounts*) van de Emperor keten toont dat de vorming van de gesteenten steeds langer geleden is naarmate men meer naar het noordwesten gaat. Hieruit wordt een snelheid van 8,2 cm per jaar afgeleid. Bovendien is op 3 000 km ten westen van het huidige Hawaii een soort elleboog zichtbaar, waar de gesteenten 40 miljoen jaar geleden gestold zijn, en waar de keten ombuigt naar het noorden (fig. 1). Dit wijst erop dat zich 40 miljoen jaar geleden een verandering heeft voorgedaan in de verplaatsingsrichting van de Pacifische plaat boven de onderliggende asthenosfeer (FRANCIS 1993). Deze verandering moet verband houden met een algehele herschikking van het patroon der relatieve bewegingen van alle platen, waarvan de oorzaak misschien moet gezocht worden in het begin van de botsing van Indië met noordelijk Azië. Deze botsing gaat nog steeds verder en is verantwoordelijk voor de voortdurende opheffing van het Himalaya-gebergte.

2. Ertsafzettingen in relatie tot plaattektoniek

Ertsafzettingen zijn concentraties van metalen in de aardkorst die aanzienlijk hoger zijn dan de achtergrondgehalten aan dezelfde metalen. Ze zijn steeds het gevolg van een chemisch, fysisch of biologisch concentratiemechanisme dat lang genoeg gewerkt heeft om grote volumes bij elkaar te brengen. Dergelijke mechanismen bestaan aan de oppervlakte van de aarde (zogenaamde supergene ertsen), bij voorbeeld goud-placers waar goudkorrels worden afgezet door vertragend water aan de binnenkant van een riviermeander of op de rivierbodem; of neerslag van metaalsulfiden in zeesedimenten door sulfaat-reducerende bacteriën. In de hier volgende korte metallogenetische schets zullen we ons echter beperken tot ertsafzettingen met een diepe oorzaak die verband houden met plaattektoniek. Deze categorie groepeert wel de meerderheid van de ertsafzettingen.

Het interne dynamisme van de aarde uit zich vooral aan de plaatranden. Daar ontstaat magma, en bij het smelten en stollen treden chemische differentiatiemechanismen in werking die metalen concentreren. Elk van de drie typen plaatrand: divergerend, convergerend en „strike-slip”, vormt zijn eigen typische ertsafzettingen.

2.1. MAGMATISME EN METALLOGENIE AAN DIVERGERENDE PLAATRANDE

Langs de oceanische ruggen komt basaltisch magma naar boven. Het gesteente dat hieruit stolt bevat hoofdzakelijk silikaatmineralen. In het kristalrooster van deze mineralen worden sommige metalen als sporelement opgenomen in verhouding tot hun aanwezigheid in het oorspronkelijke magma. Andere metalen echter hebben een te grote of te kleine ionenstraal om in het rooster te passen, of vormen ionen met een te grote valentie. Deze worden in het restmagma geconcentreerd, wanneer de meeste silikaten reeds uitgekristalliseerd zijn. Zwavel is slecht oplosbaar in het silikaatsmelt en verbindt zich met de zogenaamde chalcophile of zwavelminnende metalen tot sulfiden. Het restmagma is rijk aan water en sulfiden, en bereikt op hoge temperatuur de zeebodem. In de omgeving van de oceaanruggen worden daardoor submariene vulkanisch-exhalatieve afzettingen van metalen gevormd; het gaat vooral om ijzer, zink, koper, kobalt, lood, zilver en cadmium, maar ook arsenicum, antimoon, goud, molybdeen en platina zijn aangerijkt. Hydrothermale (warm water) systemen kunnen op geologische schaal zeer lang blijven bestaan, in de grootte-orde van 10 miljoen jaar.

Sinds de ontdekking van de „black smokers” in 1979 begrijpt men beter de omstandigheden waaronder metaalsulfiden uit de mantel in de oceaan terechtkomen (PARSON *et al.* 1995). De Oost-Pacifische rug (*East Pacific Rise*) ten zuiden van Mexico is het meest bestudeerde gebied. De meeste metaalsulfiden slaan neer in de onmiddellijke omgeving van de „black smokers” en vormen een zwarte wolk in het water waaruit de korrels bezinken en in de sedimenten massieve sulfidische afzettingen vormen. Ook de gestolde magma's in die omgeving bevatten veel metaalsulfiden. Bovendien bereikt een grote hoeveelheid mangaan het zeewater. Dit slaat langzamer neer in de vorm van oxide, en vormt de gekende mangaanknollen op grotere afstand van de oceaanruggen; deze bevatten ook Fe, Ni, Co en Cu.

In de oceanen zijn tot op heden geen ontginningen op commerciële schaal gestart. Daarbij komt dat het lot van de oceaanbodem meestal bepaald wordt door subductie, zodat in verhouding slechts weinig ertsen van dit type bewaard blijven aan de aardoppervlakte. Soms worden ze echter door latere bergvorming boven de zeespiegel gebracht en bewaard op eilanden of in continenten. Een voorbeeld van een dergelijke afzetting van massieve sulfiden is het koperdistrict van Cyprus (de naam van dit eiland betekent koper in het Grieks); het erts bevindt zich in zogenaamde ofiolieten, dit zijn basaltische metamorfe gesteenten afkomstig van het magma uit de vroegere zeebodem. Andere voorbeelden zijn de grote lood-zink-zilver afzettingen van Broken Hill in Australië en van Sullivan in Canada, in Precambrische metamorfe mariene sedimenten (SAWKINS 1990).

Langs de lange oceaanruggen worden het oceaanwater en de bovenste aardkorst gevoed met verse bestanddelen uit de mantel. Dezelfde verschijnselen

spelen zich op kleinere schaal af in riftzones die slechts traag opengaan, zoals de Rode Zee.

2.2. MAGMATISME EN METALLOGENIE AAN CONVERGERENDE PLAATRANDE

Er ontstaat op grote schaal magma in de subductiezones, onder actieve gebergteketens en in vulkanische eilandbogen. Heden ten dage gebeurt dit hoofdzakelijk rond de Stille Oceaan. Door de bijdrage van continentaal materiaal is de chemische samenstelling anders dan in de oceaandruggen; er is meer silicium, kalium, aluminium en een reeks andere „lithofiele” elementen, dit wil zeggen met een affiniteit voor zuurstof en silicium. Dit lichtere korstmateriaal, verzadigd met zeewater, warmt op door wrijving, en smelt gemakkelijk wanneer het blootgesteld wordt aan hoge temperaturen in de diepte. Door het laag soortelijk gewicht heeft het neiging om in gesmolten vorm terug op te stijgen. Zowel smelten als opnieuw stollen gaan gepaard met chemische en mineralogische differentiatie. Een restmagma met veel vluchtige bestanddelen scheidt zich af van de kristalliserende silikaatgesteenten. Uiteindelijk blijft een hete hydrothermale waterige oplossing over, al of niet met veel opgeloste metalen, waaruit stoom aan de oppervlakte kan ontsnappen in permeabele zones. Geisers en stromende warmwaterbronnen worden in Japan, Nieuw-Zeeland, het Amerikaanse Rotsgebergte en de Andes in overvloed aangetroffen; uit deze geothermale energie wordt op vele plaatsen elektriciteit geproduceerd. Vaak ontstaat gele zwavelneerslag door reactie tussen H_2S en SO_2 . In Japan en het Amerikaanse Yellowstone-park bestaat een hele toeristische industrie rond deze natuurlijke bezienswaardigheden. Op toenemende afstand van de magmahaard kunnen ertsafzettingen gevormd worden van verschillende typen: „porphyry copper” tussen $600\text{ }^{\circ}C$ en $400\text{ }^{\circ}C$, skarn, greisen en pneumatolietische aders tussen $500\text{ }^{\circ}C$ en $300\text{ }^{\circ}C$ en ten slotte hydrothermale aders met sulfiden tussen $400\text{ }^{\circ}C$ en $250\text{ }^{\circ}C$ (SAWKINS 1990).

De belangrijkste categorie koperafzettingen in de wereld zijn „porphyry copper” ertsen waarin koper en molybdeen samen in een porfierisch (magmatisch) gesteente werden gekristalliseerd; het kopergehalte bedraagt 1 à 2 %, molybdeen en goud worden als bijproducten gewonnen. De meeste bevinden zich rondom de Stille Oceaan, vooral in Chili, Peru, Arizona, de Filippijnen en Nieuw-Guinea. Het volume per ertsafzetting is zo groot dat het erts in dagbouw gewonnen wordt, zoals in Toquepala, Cuajone (Peru) en Chuquicamata (Chili); de „open pit” is verschillende km breed. In de Andes van Peru zijn echter ook kleinere mijntjes rendabel, bij voorbeeld El Aguila in de Cordillera Blanca, dat merkwaardig is door de manier waarop het met flotatie geconcentreerde kopererts wordt getransporteerd, namelijk in suspensie in water in een „cobreducto” of „kopertransporteur”, een buis van een honderdtal kilometer lengte over de waterscheidingskam van de Andes naar de kust toe.

Skarn ontstaat waar carbonaatgesteenten worden opgelost onder invloed van een magma, waarbij koolzuuranhydride ontsnapt en de vrijgekomen ruimte wordt ingenomen door sulfidische of oxidische ertsen van zink, lood, ijzer, koper, enz. Oxidische skarn bevat vaak wolfram en bismut, zoals in het groot mijngebied rond Shizhuyuan in het zuiden van China (GUANGZHI TU 1995), de belangrijkste W-producent. De vluchtige stoffen in dergelijke systemen bestaan vooral uit water, fluor, chloor en koolzuuranhydride. Vaak worden bij hoge druk en temperatuur spleten in het nevengesteente opgevuld met aders bestaande uit grote kwarts kristallen, en typische mineralen van W, Sn, Nb, Ta, B, F; dit wordt de pneumatolytische paragenese genoemd. Soms wordt het magmatische gesteente zelf doordrenkt met vluchtige stoffen en dezelfde metalen, waarbij greisen gevormd wordt, dat gekend is voor economische tinafzettingen; een typisch voorbeeld is Maleisië, waar zich de grootste tinafzettingen ter wereld bevinden.

Terwijl zuiver water boven het kritisch punt van 374 °C en 217 atmosfeer druk slechts uit één enkele fase bestaat (een hoge-druk fluïdum), valt het bij afkoeling uiteen in een vloeistof en stoom. In werkelijkheid bevat water uit magma zoveel CO₂ en zoveel zouten, vooral NaCl, dat het kritisch punt bij veel hogere druk en temperatuur ligt. Vanaf 800 °C ontstaan reeds twee fasen, en bij verdere afkoeling scheidt zich steeds meer stoom af. De stoom bevat veel CO₂, SO₂, H₂S en HCl, en zoekt zich een uitweg naar boven, om fumarolen (zwaveldampen) te vormen, terwijl de vloeistof een sterk geconcentreerde oplossing (pekkel) is van allerlei metaalionen en zouten (HEDENQUIST & LOWENSTERN 1994). Dit is hydrothermaal water.

Hydrothermale systemen worden niet alleen door juveniel water (uit magma) gevoed, maar ook door meteorisch water (afkomstig van neerslag uit de atmosfeer) dat in de bovenste kilometers van de aardkorst langs de zijkanalen in een convectiekring wordt opgenomen. De warmtebron veroorzaakt immers een opstijgende kolom warm water die in stand gehouden wordt wanneer het water van het magma in feite reeds uitgeput is, dankzij de aanvoer van meteorisch water en het temperatuurverschil tussen het gesteente boven het magma en dat ernaast. Zo worden extra hoeveelheden metalen opgelost en naar boven vervoerd (HEDENQUIST & LOWENSTERN 1994). Metaalsulfiden slaan neer in spleten van het gesteente boven de magmahaard door reactie van metaalionen met het vluchtige waterstofsulfide, maar de oplossingen migreren ook zijdelings tot op grote afstand, waar de vluchtige stoffen minder actief zijn, en waar minder zwavel overblijft. De adersystemen staan in verband met de tektonische spanningsrichtingen ten tijde van de afzetting; deze bepalen het spletenpatroon.

Typische hydrothermale polymetallische afzettingen bevatten pyriet, sphaleriet, galeniet, chalcopyriet en diverse sulfozouten, chemisch gezien is dit een mengsel van ijzer-, zink-, lood- en kopersulfide, met dubbelzouten die naast het sulfide-anion ook arsenide of antimonide bevatten, en als kationen ook

zilver, bismut, enz. Andere metalen, zoals goud, nikkel en kobalt, kunnen ook aanwezig zijn. Hydrothermale ertsafzettingen zijn wijdverspreid, met een grote verscheidenheid aan metaalcombinaties en aan relatieve rijkdom. Een voorbeeld van een polymetallische mijn is Cerro de Pasco in centraal-Peru. Ook de grote zilverafzettingen van Mexico behoren tot dit type.

2.3. METALLOGENIE IN „SHEAR ZONES”

De derde soort actieve plaatrand bestaat uit transform-breuken, waar geen aardkorst gevormd wordt (zoals in een divergerende constellatie), en ook geen aardkorst vernietigd (zoals in een convergerende constellatie). Deze beweging kan plaatsvinden in oceanen of continenten, en kan best worden beschreven als een horizontaalverschuiving. Het betrokken gebied wordt „shear zone” genoemd. Sinds de jaren tachtig is vastgesteld dat „shear zones” vaak gemineeraliseerd zijn in goud. Vooral in Canada werden goudhoudende „shear zones” bestudeerd, in het Precambrisch schild (COLVINE *et al.* 1988). De meeste goudafzettingen van Ontario en Quebec behoren tot dit ertstype. In Gabon werkte ik mee aan het onderzoek van een „shear zone” in een Precambrisch schild (GREENISH *et al.* 1990); de Ikoye-breuk nabij Lambaréné is er te volgen over meer dan 200 km, en verschillende satellietbreuken ten westen van de hoofdbreuk bevatten over een lengte van een twintigtal kilometer aders met fijnkorrelig goud.

In diepe „shear zones” die langdurig werkzaam zijn (miljoenen jaren) migreren vluchtige stoffen uit de onderste lithosfeer naar boven. Het gaat vooral om water en koolzuuranhydride, wat kan vastgesteld worden door de samenstelling van vloeibare insluitsels te onderzoeken in metamorfe gesteenten. Goudionen worden door de CO₂ meegevoerd en slaan neer zodra de fugaciteit van CO₂ daalt door vorming van carbonaten. Dit gebeurt op diepten van 5 à 10 km diep, in de overgangszone van „ductile” naar „brittle” vervorming, dit wil zeggen de zone waar de gesteenten eerder gebogen resp. gebroken worden onder invloed van inwerkende krachten. Immers, aan de oppervlakte breekt gesteente, maar onder hogere druk en temperatuur wordt het meer plastisch vervormd, dus geplooid. De overgang van ductiel onderaan naar brittle bovenaan komt overeen met de mineralogische overgang van amfiboliet-faciës naar greenschist-faciës in de metamorfe transformatieschaal.

Door latere erosie komen „shear zones” aan de oppervlakte. Het goud komt voor in kwartsaders en is meestal zo fijnkorrelig dat het niet met het blote oog kan gezien worden; een chemische analyse is nodig. Toch is het gehalte economisch ontginbaar, vooral sinds de sterke stijging van de goudprijs in 1980. In de klimatologische omstandigheden van het evenaarswoud wordt goud langzaam opgelost en opnieuw neergeslagen in de rivieren als secundaire korrels die met het blote oog wél zichtbaar zijn, en met de pan geconcentreerd kunnen worden. Op deze manier getuigen ze van de primaire goudvoerende kwartsaders die stroomopwaarts gelegen zijn.

2.4. ERTSAFZETTINGEN VEROORZAAKT DOOR „HOT SPOTS”

Alhoewel „hot spots” onafhankelijk staan van de plaattektoniek, vinden ze ook hun oorsprong in de bewegingen van de mantel. Zo brengen ze een typisch chemisme naar de oppervlakte, bestaande uit sterk basisch gesteente („Ocean Island Basalt”), dit wil zeggen met zeer weinig silicium en aluminium, en veel magnesium, ijzer en chalcofiele (zwavel-minnende) elementen. De kristallisatie van dergelijke magma's kan vlug verlopen indien het magma aan de oppervlakte uitstroomt in de vorm van plateaubasalten, zoals de Dekkan in India, of traag in uitgestrekte ondergrondse magmakamers. In dit laatste geval hebben de individuele kristallen de tijd om te bezinken, zodat gelaagde complexen ontstaan, lopolieten genaamd. De aard van de lagen verandert met de samenstelling van het magma naarmate de kristallisatie vordert. Chromiet wordt afgezet wanneer het magma verzadigd is aan chroom, magnetiet (ijzeroxide) wat later, platina nog later, enz.

Het mooiste voorbeeld is het Bushveldcomplex in Zuid-Afrika, waarin de grootste Cr en Pt concentraties van de wereld gevonden worden. Te Stillwater in Montana wordt een gelijkaardige afzetting van Pt ontgonnen. Te Sudbury in Ontario was meer zwavel en nikkel aanwezig in het magma, zodat hier de grootste nikkelconcentratie ter wereld aanwezig is. In het geval van Sudbury wordt soms vooropgesteld dat een meteorietinslag in het Precambrium verantwoordelijk was voor een extra aanvoer van Ni ; het magmatisch gesteente is echter duidelijk afkomstig van de mantel (SAWKINS 1990).

3. Het kader van de geologische tijd

Sommige fysische en chemische processen op aarde treden onveranderlijk op sinds haar ontstaan, andere schijnen cyclisch te verlopen, nog andere, bij voorbeeld gebonden aan de afkoeling of aan het chemisme veroorzaakt door het leven, veranderen niet-cyclisch in de tijd. Over het algemeen blijkt uit de studie van de geologische geschiedenis dat de fysische, biologische en chemische evolutie van de aarde uniek is.

3.1. OORSPRONG VAN DE AARDWARMTE

Het interne dynamisme van de aarde wordt uiteindelijk veroorzaakt door de warmtevoorraad die zich in het binnenste van de aarde bevindt en die nog steeds wordt aangevuld door de natuurlijke radioactiviteit. De Maan, die veel kleiner is en daardoor een veel grotere specifieke oppervlakte heeft, heeft haar warmtevoorraad allang verloren aan de ruimte, en is al 3,2 miljard jaar „dood” ; er is geen plaattektoniek of vulkanisme meer, er zijn geen aardbevingen, enz. De seismische instrumenten die de laatste decennia door de

mens op de Maan werden geplaatst, tekenen enkel storingen op die door de impact van meteorieten worden veroorzaakt.

De belangrijkste huidige bron van aangroei van de aardwarmte is het radioactief verval van de isotopen ^{232}Th , ^{238}U , ^{40}K en ^{235}U , in die volgorde (FRANCIS 1993). Het grootste reservoir van die isotopen is de aardmantel. Uit absolute tijdmetingen op meteorieten weten we dat het zonnestelsel 4,566 miljard jaar oud is (± 1 miljoen jaar). Toen begonnen de atoomklokken te lopen voor alle isotopen die zich nu in de zon, de planeten, meteorieten en stofdeeltjes van ons zonnestelsel bevinden. Uit de meeste modellen voor accretie van de planeten wordt besloten dat de aarde gevormd was binnen de eerste vijftig miljoen jaar nadat de materie van het zonnestelsel zich had geïndividualiseerd.

Van het element uranium zijn er nog twee primordiale isotopen over, die zich in de natuur vandaag als volgt verhouden : 99,3 % ^{238}U en 0,7 % ^{235}U . De halveringstijd van ^{235}U bedraagt 713 miljoen jaar zodat de hoeveelheid ^{235}U sinds het ontstaan van de aarde zesmaal gehalveerd is. De halveringstijd van ^{238}U is 4,5 miljard jaar ; deze isotoop is nog half zoveel aanwezig als in het begin. Voor ^{40}K geldt een halveringstijd van 1,3 miljard jaar en voor ^{232}Th is het 14 miljard jaar.

Toen de aarde pas gevormd was, was er veel meer radioactief verval dan vandaag, met een warmteproductie die minstens vier maal groter was dan nu (FRANCIS 1993). Nu levert ^{232}Th de belangrijkste bijdrage tot de opwarming, in het begin was dat ^{40}K . Buiten de vier vermelde langlevende isotopen waren bovendien nog een hele reeks korter levende isotopen aanwezig, die voor extra primordiale warmte zorgden.

In het begin werd de aarde niet alleen door radioactief verval opgewarmd. Andere bronnen van primordiale warmte zijn de vorming van de aardkern en de accretie door bombardementen.

Het smelten van de primitieve aarde had als gevolg dat de zwaarste fase, bestaande uit nikkelhoudend ijzer, naar de kern zonk ; omgekeerd steeg lichter silikaatmateriaal op naar de mantel. Hierbij werd potentiële gravitatie-energie omgezet in warmte. Voor de totale massa van de aarde steeg de temperatuur hierdoor alleen al 2 300 °C (SOLOMON 1981, FRANCIS 1993).

Bij de impact van een meteoriet of een grotere asteroïde wordt veel kinetische energie omgezet in warmte. Lokaal kan het gesteente smelten. De eerste honderden miljoenen jaren van het zonnestelsel was het bombardement door grote en kleine asteroïden zeer intens. De accretie van proto-planeten zelf was een aaneenschakeling van botsingen waarbij telkens warmte vrij kwam. Overblijfselen van het reusachtige bombardement worden in de vorm van kraters op de Maan, op Mars en Mercurius talrijk teruggevonden. De planeten zelf zijn in hun laatste fase ontstaan door reusachtige botsingen tussen proto-planeten waarbij de meeste materie gesmolten is. Het hoogtepunt voor de aarde was ongetwijfeld de „giant impact” waarbij een lichaam ter grootte van

Mars tegen de aarde botste en een deel van de aardmantel naar buiten slingerde. Hieruit ontstond de Maan uit een mengsel van aards mantelmateriaal en vreemd materiaal (MELOSH 1990, FRANCIS 1993). De temperatuur van een groot deel van de aarde moet hierbij tot ongeveer 6 000 °C gestegen zijn. Deze gebeurtenis wordt gesitueerd omstreeks 60 miljoen jaar na het ontstaan van het zonnestelsel.

3.2. CYCLISCHE PLAATTEKTONIEK : DE WILSON-CYCLUS

In ons tijdperk groeit de Atlantische Oceaan en krimpt de Stille Oceaan. Het is niet ondenkbaar dat Amerika ooit in botsing komt met Australië. Er worden meer en meer aanwijzingen gevonden voor het bestaan van een cycliciteit op lange geologische tijdschaal voor het aan elkaar groeien en terug opbreken van grote supercontinenten. Of omgekeerd uitgedrukt, de oceanen openen zich en sluiten zich daarna weer. De reconstructie van Pangea in het Perm-tijdperk, 250 miljoen jaar geleden, is zeer goed gedocumenteerd. Omstreeks 600 miljoen jaar geleden bestond er een andere groepering van praktisch alle continenten, Rodinia genoemd, waarvoor stilaan een consensus bestaat (MURPHY & NANCE 1991, VAN DER VOO *et al.* 1997). Het ontstaan van een supercontinent heeft als gevolg dat het patroon van diepe subductie in de mantel gewijzigd wordt. Nadat de mantel onder het supercontinent extra opgewarmd is, door het isolerend effect van de continentale lithosfeer, en na het relatief vlugger afkoelen van de oceanische korst aan de tegenoverliggende kant van de aarde, ontstaat een nieuw convectiepatroon in de mantel, dat uiteindelijk leidt tot een binnenste buiten gekeerd supercontinent, omdat continenten gemigreerd zijn naar de andere zijde van de aardbol. Ook nog verder in het verleden zijn hiervan sporen terug te vinden (HOFFMAN 1991).

Oceanen openen zich en worden weer gesloten, in een cyclisch patroon dat zich al miljarden jaren schijnt te herhalen. Dit werd voor het eerst ingezien door WILSON (1966). De Wilson-cyclus die naar hem genoemd wordt, heeft een duur van ongeveer 300 miljoen jaar. Op de huidige oceaانبodem zijn de oudste gesteenten minder dan 250 miljoen jaar oud, terwijl in de continenten rotsen met een ouderdom van 4 miljard jaar oud werden aangetroffen. De drijvende continenten slagen erin boven te blijven terwijl de zwaardere oceanische korst onherroepelijk gerecycleerd wordt in de mantel.

3.3. NIET-CYCLISCHE EVOLUTIE VAN DE AARDE

De aarde koelt langzaam af, omdat de warmte langzaam ontsnapt van de aarde naar de ruimte door straling in het infrarood. De gemiddelde warmteflux aan de oppervlakte bedraagt 82 milliwatt per m² naar de ruimte toe. De externe opwarming door de zon (en de afkoeling 's nachts) is een oppervlakkig verschijnsel, dat nooit heeft bijgedragen tot de warmereserve van de mantel,

wél tot de oppervlakkige temperatuur van de buitenste aardkorst, hydrosfeer en atmosfeer, als buffer tegen de koude ruimte. Globale klimaatveranderingen zijn niet gecorreleerd met de thermische evolutie van de mantel.

De primordiale warmte uit de beginfase van de geschiedenis van de aarde wordt niet meer aangevuld, en de warmte uit radioactief verval kan het warmteverlies naar de ruimte niet compenseren. De afkoeling van de aarde op lange termijn, seculiere afkoeling genoemd, bedraagt ongeveer 100 °C per miljard jaar (FRANCIS 1993).

In het verleden was de convectiestroming van de mantel meer intens, omdat de temperatuur hoger was. Het hele mechanisme van de mantelconvectie, de plaattektoniek en de Wilson-cyclus, is dus aan het vertragen (WINDLEY 1995). Het interne dynamisme van de aarde neemt af op geologische tijdschaal. Toch zal het met zekerheid nog enkele miljarden jaren bestaan.

Een reeks andere natuurlijke verschijnselen ondergaan langzame veranderingen op lange termijn. Sinds de „giant impact” bestaat het stelsel aarde-maan; de afstand tussen de aarde en de maan was in het begin kleiner, waardoor de getijdenwerking veel heviger was. Tidale energie wordt omgezet in warmte door wrijving, waardoor de aardrotatie wordt afgeremd. Vroeger draaide de aarde dus sneller rond haar as, zodat de getijden elkaar sneller opvolgden; de erosie door de zee was intenser. Aan klifkusten konden grote placers ontstaan waarin zware mineralen als goud en uraniniet (UO_2) bezonken tussen strandkeien in de woelige zee; zo ontstonden 2,7 miljard jaar geleden de conglomeraten van Witwatersrand in Zuid-Afrika, de grootste bekende goudreserve op aarde.

De meeste niet-cyclische gebeurtenissen in de geschiedenis van de aarde hebben echter te maken met het leven en de biologisch gestuurde evolutie van het chemisme van de aarde. Terecht kan men spreken van een biogeochemische controle op de aarde, vooral wat de oxidatie-reductie eigenschappen betreft. Dit heeft belang voor de genese van sommige typen van sedimentaire erten.

De huidige samenstelling van de atmosfeer, met 20 % zuurstof, is een gevolg van de fotosynthese: vrije zuurstof bestond oorspronkelijk niet, de samenstelling van de atmosfeer werd gedomineerd door CO_2 . Ook vrije koolstof was zeldzaam. Zelfs in de oudste bewaarde gesteenten (3,9 miljard jaar) worden bewijzen van leven aangetroffen, namelijk in de verhouding van de koolstofisotopen (SCHLESINGER 1991, NISBET 1995). Hieruit weten we dat de CO_2 van de oorspronkelijke atmosfeer werd gefixeerd in bacteriën met een „plantaardig” metabolisme gebaseerd op fotosynthese, en dat zuurstof vrijkwam. Tot omstreeks 2 miljard jaar geleden werd alle vrijgekomen zuurstof opgebruikt aan de oxidatie van metalen, terwijl veel organogene koolstof in de mantel werd begraven door de convectiecyclus. Terwijl de buitenkant van de aarde, met de atmosfeer, geleidelijk meer geoxideerd werd, werd de mantel geleidelijk meer gereduceerd.

Afzetting van sedimentair uraninit (UO_2 met vierwaardig U-ion) was tot omstreeks 2 miljard jaar geleden mogelijk door de reducerende atmosfeer, nu niet meer; vandaar de talrijke uraninitertsafzettingen in het oude Precambrium. Meer recente uraniumafzettingen bevatten het zeswaardig ion in mineralen die vlugger worden afgebroken. Omstreeks 2,5 tot 1,9 miljard jaar geleden werd massaal ijzer geoxideerd, van in zee opgeloste tweewaardige ionen tot neergeslagen driewaardige oxiden (het mineraal hematiet). Op grote schaal werd ijzererts afgezet in gebande formaties (*Banded Iron Formations*, BIF) in Precambrische schilden (voorbeelden in Australië, Canada, Brazilië). Op dezelfde wijze ontstonden toen mangaanafzettingen door oxidatie van Mn^{2+} tot Mn^{4+} (voorbeelden in Zuid-Afrika en Gabon).

Pas na de massale oxidatie van metalen kwam er geleidelijk een overschot aan vrije zuurstof in de atmosfeer. Dit was de eerste voorwaarde voor „dierlijk” metabolisme gebaseerd op ademhaling: een oxiderende in plaats van reducerende atmosfeer. Omstreeks 1,5 miljard jaar geleden ontstonden de eerste eukaryoten, eencelligen met een echte celkern en een grotere behoefte aan zuurstof (KNOLL 1992). Bij verdere toename van de zuurstof-fugaciteit was omstreeks 550 miljoen jaar geleden het chemisme van zeewater en atmosfeer plots gunstig voor het fixeren van overtollig CO_2 als calcietskelet (CaCO_3) van organismen. Dit staat gekend als de Cambrische explosie, waarbij plots door dieren duidelijke fossiele sporen worden nagelaten. Nog meer zuurstof in de atmosfeer, minimum 15 %, was vereist voor de werking van spierweefsels van grote gewervelden zoals vissen (later ook reptielen en zoogdieren); dit werd pas bereikt in het Ordovicium-tijdperk omstreeks 470 miljoen jaar geleden (LONG 1995).

4. Diamant en het dynamisme van de aardmantel

Het loont de moeite te besluiten met een woordje over de geologische geschiedenis van diamant. Diamant bestaat uit zuivere koolstof met een zeer compacte structuur. Het ontstaat bij hoge druk in de aardmantel, op een diepte van minstens 150 km. Hierbij speelt de in de mantel gerecycleerde organogene koolstof waarschijnlijk een rol. Diamant komt op explosieve wijze aan de oppervlakte in intrusieve gangen van breksie-achtige kimberliet- of lamproïetgesteenten. De rijkste diamantgebieden zijn te vinden in Zuid-Afrika, Jakoetië en West-Australië.

Diamant bevat over het algemeen insluitsels van mineralen, waaruit druk, temperatuur, ouderdom en/of geochemische omgeving ten tijde van de vorming kunnen worden afgeleid (KESSON & RINGWOOD 1989, MICHEL 1992, WINDLEY 1995). De meeste diamanten zouden gevormd worden onder continenten, in het grensgebied tussen gesubduceerde oceanische platen (met eclogietische samenstelling) en de bovenliggende lithosferische mantel. De

diepe lithosferische wortels van de continenten bestaan uit gesteente met peridotietische samenstelling, waarin de mineralen olivijn, orthopyroxen, clinopyroxen en magnesium- chroomhoudend granaat de hoofdbestanddelen zijn. Chemisch bevatten ze weinig Si, Al en Fe en zijn aangerijkt in Mg, Cr en Ni. Onder de oudste kratonische continentale schilden (meer dan 2 miljard jaar oud) is nog steeds oude peridotiet aanwezig, gestold ten tijde van het ontstaan van het continent ; dit blijkt uit analyse van de diamantinsluitsels. Diamant met dit type insluitsels is zelf meestal ook zo oud. Anderzijds bevatten veel diamanten insluitsels met eclogietische samenstelling, deze komt overeen met de basaltische oceaانبodem, vermengd met diepzeesedimenten en met zeewater. In vergelijking met peridotiet is meer Si, Al, Ti, Fe, Na, P en een reeks spoorelementen aanwezig, wat in het geochemisch jargon „fertiël” genoemd wordt. Oceanische platen schuren tijdens de subductie langs de diepe lithosferische wortels van de continenten, waar ze gedeeltelijk smelten, opstijgen, en de bovenliggende peridotiet uit de mantellithosfeer fertiliseren, dus chemisch aanrijken in deze reeks elementen. De verscheidenheid aan insluitsels in de diamanten staven deze redenering (KESSON & RINGWOOD 1989). Er bestaan echter ook insluitsels met mineralen die in de onderste mantel ontstonden, op een diepte van meer dan 660 km. Dit blijkt uit de stabiliteitsgebieden van de betreffende mineralen, of hun onderlinge evenwichten, in functie van druk en temperatuur. Diamant kan dus gevormd worden op uiteenlopende diepte in de mantel.

Bij te langzame opstijging wordt diamant door drukdaling omgezet naar weinig compact grafiet vanaf een diepte van 150 km. Noch langs mid-oceanische ruggen, noch boven hot spots is diamant te vinden. Het kan maar in de vorm van diamant de oppervlakte bereiken door gewelddadige uitbarstingen waarbij mantelgesteente (kimberliet of lamproïet) in breksie-pijpen wordt geïntrudeerd in continentale aardkorst. De diamanten zijn doorgaans veel ouder dan het gesteente waarin ze werden meegesleurd naar boven. Door welk mechanisme komt kimberliet naar de oppervlakte ?

Volgens recente inzichten van HAGGARTY (1996) bestaat er een verband tussen mantelpluimen en kimberlietvorming, en rijzen zwermen van mantelpluimen op uit de diepe mantel in bepaalde tijdperken die wijzen op instabiliteit aan de overgang kern-mantel. Kimberlietintrusies met diamant vinden immers periodisch plaats over heel de aarde, met een ruimtelijke spreiding maar geconcentreerd in de geologische tijd. De intrusie van kimberliet vindt plaats tegen het einde van superchrons, waarna lange steriele periodes volgen. Een superchron is een periode van tientallen miljoenen jaren waarin het magnetisch veld van de aarde geen ompoling kent. De laatste dateert uit het Krijt-tijdperk en duurde van 115 tot 85 miljoen jaar geleden.

In hoeverre er een verband bestaat tussen superchrons en de Wilson-cyclus is op dit stadium niet duidelijk. De studie van de aardkern en haar relatie met de mantel is volop aan de gang. Kern en mantel zijn op lange geologische

termijn ontkoppeld, juist zoals asthenosfeer en lithosfeer. Het is niet uitgesloten dat de overgangszone tussen kern en mantel een ingewikkelde overschuivings-tektoniek kent, een soort spiegelbeeld van wat zich boven aan de lithosfeer afspeelt. Wrijvingswarmte aan deze overgangszone zou de oorzaak kunnen zijn van mantelpluimen.

BIBLIOGRAFIE

- CAZENAVE, A. & FEIGL, K. 1994. Formes et mouvements de la terre. Satellites et géodésie. — CNRS éditions, Paris, 159 pp.
- CLAGUE, D. & DALRYMPLE, G. 1987. The Hawaiian-Emperor volcanic chain. — *In* : Volcanism in Hawaii, US Geol. Surv. Prof. Pap., Washington, No. 1350, pp. 5-54.
- COLVINE, A., FYON, J., HEATHER, K., MARMONT, S., SMITH, P. & TROOP, D. 1988. Archean lode gold deposits in Ontario. — Ontario Geological Survey Miscell. Paper, Toronto, 139, 136 pp.
- FRANCIS, P. 1993. Volcanoes, a planetary perspective. — Clarendon Press, Oxford, 443 pp.
- GREENISH, A., DE VOS, W., BERNARDINI, A., CLEMENT, J. P. & ELLA ONDO, P. N. 1990. Rapport sur l'avancement des travaux de prospection dans le secteur aurifère du Kolissen, Gabon. — Progr. Nat. Un. Dév., Projet GAB/87/001, Renforcement de la Direction de la Géologie et de la Recherche Minière, Libreville, 26 pp., 36 figs, 9 tab., 5 annexes.
- GUANGZHI TU 1995. Some problems pertaining to superlarge ore deposits in China. — *Episodes*, **18** (1-2) : 83-86, International Union of Geological Sciences, U.K.
- HAGGARTY, S. 1996. The superplume model for kimberlites, mantle metasomatism and diamonds. — Internat. Geol. Congress Beijing, Abstracts, vol. 1 D-4-19, p. 133.
- HEDENQUIST & LOWENSTERN 1994. The role of magmas in the formation of hydrothermal ore deposits. — *Nature*, **370** : 519-527.
- HOFFMAN, P. 1991. Did the break-out of Laurentia turn Gondwanaland inside out ? — *Science*, **252** : 1409-1412.
- KESSON, S. E. & RINGWOOD, A. E. 1989. Slab-mantle interactions, 2. The formation of diamonds. — *Chemical Geology*, **78** : 97-118.
- KNOLL, A. 1992. The early evolution of eukaryotes : a geological perspective. — *Science*, **256** : 622-627.
- LONG, J. 1995. The rise of fishes. — Johns Hopkins University Press, London, 223 pp.
- MELOSH, H. 1990. Giant impacts and the thermal state of the early earth. — *In* : NEWSOM, H. & JONES, J. (Eds.), Origin of the earth, Lunar and Planetary Institute, Oxford University Press.
- MICHEL, J.C. 1992. La g n se des diamants, un état des connaissances actuelles. — *Chronique de la Rech. Min.*, **508** : 52-54.
- MURPHY, J. & NANCE, R. 1991. Supercontinent model for the contrasting character of Late Proterozoic orogenic belts. — *Geology*, **19** : 469-472.
- NISBET, E. 1995. Archean ecology : a review of evidence for the early development of bacterial biomes, and speculations on the development of a global-scale

- biosphere. — *In* : Early Precambrian processes, *Geological Society Special Publ.*, London, **95** : 27-51.
- PANNEKOEK, A. & VAN STRAATEN, L. (eds.) 1992. *Algemene Geologie*. — Wolters-Noordhoff, vijfde druk, Groningen, 599 pp.
- PARSON, L., WALKER, C. & DIXON, D. (eds.) 1995. Hydrothermal vents and processes. — *Geological Society Special Publication*, London, **87** : 411 pp.
- SAWKINS, F. 1990. Metal deposits in relation to plate tectonics. — Springer-Verlag, Berlin, 461 pp.
- SCHLESINGER, W. 1991. Biogeochemistry, an analysis of global change. — Academic Press, San Diego, California, 443 pp.
- SOLOMON, S. 1981. Thermal histories of the terrestrial planets. — *In* : Basaltic volcanism on the terrestrial planets, Pergamon Press, New York, 1286 pp.
- VAN DER VOO, R., WEIL, A., McNIOCAILL, C. & MEERT, J. 1997. A paleomagnetic test of the Rodinia supercontinent configuration. — *Terra Nova*, abstract 09/4A10, Strasbourg, p. 165.
- VAUCHEZ, A., BARRUOL, G. & TOMMASI, A. 1997. Why do continents break up parallel to ancient orogenic belts ? — *Terra Nova*, **9** (2) : 62-66.
- VIDALE, J. 1994. A snapshot of whole mantle flow. — *Nature*, **370** : 16-17.
- WILSON, J. 1966. Did the Atlantic close and then re-open ? — *Nature*, **211** : 676-681.
- WINDLEY, B. 1995. The evolving continents, 3rd edition. — John Wiley & Sons, Chichester, U.K., 526 pp.

Zitting van 27 februari 1998

(Uittreksel van de notulen)

De zitting wordt om 14 u. 30 geopend door M. H. Paelinck, Vice-Directeur, bijgestaan door Mevr. Y. Verhasselt, Vast Secretaris.

Zijn bovendien aanwezig : de HH. Jacques Charlier, Jean Charlier, E. Cuypers, H. Deelstra, A. Deruyttere, J.-J. Droesbeke, P. Fierens, Mgr. L. Gillon, de HH. G. Heylbroeck, W. Loy, R. Paepe, R. Sokal, R. Tillé, werkende leden ; de HH. M. De Boodt, E. Lambin, L. Martens, T. Van Frachen, M. Van Montagu, geassocieerde leden ; M. I. Beghin, lid van de Klasse voor Natuur- en Geneeskundige Wetenschappen, en M. J.-J. Symoens, Erevast Secretaris.

Betuigden hun spijt niet aan de zitting te kunnen deelnemen : de HH. P. Beckers, J. Debevere, J. De Cuyper, P. De Meester, C. De Meyer, A. François, P. Goossens, A. Jaumotte, A. Lejeune, J. Marchal, J. Michot, J. J. Peters, J. Poesen, J. Roos, A. Sterling, F. Thirion, W. Van Impe.

De Vice-Directeur verwelkomt de HH. E. Lambin et M. Van Montagu, geassocieerde leden, die voor het eerst een van onze zittingen bijwonen.

„Novel plants for tropical agriculture : who will do it ?”

M. M. Van Montagu stelt een mededeling voor getiteld als hierboven.

De HH. L. Martens, A. Deruyttere, P. Fierens, M. De Boodt, E. Cuypers, R. Sokal, W. Loy en H. Paelinck nemen aan de bespreking deel.

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

„La méthode éducative de ‘l'enfant pour l'enfant’ : une recherche-action multidisciplinaire de terrain au Katanga”

M. P. Fierens stelt een mededeling voor getiteld als hierboven.

De HH. Jean Charlier, E. Cuypers, Jacques Charlier en I. Beghin nemen aan de bespreking deel.

De Klasse beslist deze studie in de *Mededelingen der Zittingen* te publiceren (pp. 241-256).

Is het de natuur of de mens die een bedreiging vormt voor kusten en polders ?

Tijdens de zitting van 28 februari 1997 heeft Mevr. C. Baeteman, Geologische Dienst van België, een mededeling voorgesteld getiteld als hierboven.

Na de verslagen van de HH. R. Paepe en A. Sterling gehoord te hebben, beslist de Klasse deze studie in de *Mededelingen der Zittingen* te publiceren (pp. 257-273).

Séance du 27 février 1998

(Extrait du procès-verbal)

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

Sont en outre présents : MM. Jacques Charlier, Jean Charlier, E. Cuypers, H. Deelstra, A. Deruyttere, J.-J. Droesbeke, P. Fierens, Mgr L. Gillon, MM. G. Heylbroeck, W. Loy, R. Paepe, R. Sokal, R. Tillé, membres titulaires ; MM. M. De Boodt, E. Lambin, L. Martens, T. Van Frachen, M. Van Montagu, membres associés ; M. I. Beghin, membre de la Classe des Sciences naturelles et médicales, et M. J.-J. Symoens, Secrétaire perpétuel honoraire.

Ont fait part de leur regret de ne pouvoir assister à la séance : MM. P. Beckers, J. Debevere, J. De Cuyper, P. De Meester, C. De Meyer, A. François, P. Goossens, A. Jaumotte, A. Lejeune, J. Marchal, J. Michot, J. J. Peters, J. Poesen, J. Roos, A. Sterling, F. Thirion, W. Van Impe.

Le Vice-Directeur accueille MM. E. Lambin et M. Van Montagu, membres associés, qui assistent pour la première fois à une de nos séances.

«Novel plants for tropical agriculture : who will do it ?»

M. M. Van Montagu présente une communication intitulée comme ci-dessus.

MM. L. Martens, A. Deruyttere, P. Fierens, M. De Boodt, E. Cuypers, R. Sokal, W. Loy et H. Paelinck interviennent dans la discussion.

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

La méthode éducative de «l'enfant pour l'enfant» : une recherche-action multidisciplinaire de terrain au Katanga

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

MM. Jean Charlier, E. Cuypers, Jacques Charlier et I. Beghin interviennent dans la discussion.

La Classe décide de publier cette étude dans le *Bulletin des Séances* (pp. 241-256).

«Is het de natuur of de mens die een bedreiging vormt voor kusten en polders ?»

Lors de la séance du 28 février 1997, Mme C. Baeteman, Service Géologique de Belgique, a présenté une communication intitulée comme ci-dessus.

Après avoir entendu les rapports de MM. R. Paepe et A. Sterling, la Classe décide de publier cette étude dans le *Bulletin des Séances* (pp. 257-273).

Wedstrijd 2000

De Klasse beslist de vijfde vraag van de wedstrijd 1997 voor het jaar 2000 te hernemen : Men vraagt een vergelijkende technisch-economische evaluatie van de havenindustrialisering in de ontwikkelde landen, de landen in overgangsfase en de ontwikkelingslanden.

De Klasse beslist de zesde vraag van de wedstrijd 2000 te wijden aan de privatisering in de derdewereldlanden.

Zij duidt de HH. E. Cuypers en H. Paelinck aan om de vraag op te stellen.

Erelidmaatschap

Bij ministerieel besluit van 7 januari 1998 werd M. R. Winand tot het erelidmaatschap bevorderd.

De zitting wordt om 17 u. 30 geheven.

Concours 2000

La Classe décide de reprendre pour la cinquième question du concours 2000, celle posée en 1997, à savoir : On demande une évaluation technico-économique comparée de l'industrialisation portuaire dans les pays développés, en transition et en développement.

La Classe décide de consacrer la sixième question du concours 2000 à la promotion de la privatisation dans les pays du Tiers-Monde.

La Classe désigne MM. E. Cuypers et H. Paelinck pour la rédaction de cette question.

Honorariat

Par arrêté ministériel du 7 janvier 1998, M. R. Winand a été promu à l'honorariat.

La séance est levée à 17 h 30.

La méthode éducative de «l'enfant pour l'enfant» : une recherche-action multidisciplinaire de terrain au Katanga *

par

Paul FIERENS **

MOTS-CLES. — Education ; «L'enfant pour l'enfant».

RESUME. — Dans le cadre d'une recherche-action multidisciplinaire globale, entamée en 1982, concernant le développement rural intégré du territoire de la zone de santé rurale de Kapolowe, située dans la partie sud de la République Démocratique du Congo, la méthode éducative dite de «l'enfant pour l'enfant» est appliquée avec succès depuis 1987. Cette méthode consiste à mettre à profit la remarquable aptitude à comprendre, à assimiler et à mémoriser des enfants en âge d'école primaire, pour autant que les notions concernées soient à leur portée. Elle est basée sur une pédagogie dynamique axée sur des enquêtes, des jeux, des récits, des chansons, des pièces de théâtre impliquant la participation active des enfants. Elle permet l'acquisition rapide et durable de savoirs et de savoir-faire utilisables d'emblée dans la vie quotidienne, ce qui entraîne la valorisation de la personne de l'enfant. De plus, elle inculque à celui-ci le sens de la responsabilité et de la solidarité tout en l'incitant à communiquer en permanence avec son entourage enfantin et adulte et à coopérer efficacement au développement de la localité où il vit. Dans le cas particulier de notre recherche-action, deux facteurs importants favorables contribuent à la réussite de l'opération : d'une part, en milieu traditionnel africain, les grands enfants sont appelés à s'occuper régulièrement des plus petits et, d'autre part, l'application de la méthode éducative de «l'enfant pour l'enfant» s'intègre dans un plan d'ensemble et se déroule dans un climat psychologique général stimulant de développement rural mené par des adultes attentifs à l'amélioration de la qualité de la vie villageoise. Dans un premier temps, nos efforts ont porté sur les enfants scolarisés de Kapolowe. Ils ont été étendus plus tard aux écoles primaires d'autres localités de la zone. Les premières actions ont été réalisées dans le domaine de la santé publique, très accessible à la compréhension des enfants. Par la suite, d'autres aspects ont été couverts donnant ainsi une connotation largement multidisciplinaire très souhaitable à notre démarche.

TREFWOORDEN. — Opvoeding ; „Kind tot kind”.

SAMENVATTING. — *De opvoedingsmethode „kind tot kind” : een multidisciplinair(e) onderzoek-actie te velde in Katanga.* — In het kader van een globale multidisciplinair(e) onderzoek-actie, aangevat in 1982, over de geïntegreerde plattelandsontwikkeling van

* Communication présentée à la séance de la Classe des Sciences techniques tenue le 27 février 1998. Texte reçu le 27 mars 1998.

** Membre de l'Académie ; Professeur émérite de l'Université de Mons-Hainaut (Belgique).

de rurale gezondheidszone van Kapolowe, in het zuiden van de Democratische Republiek Congo, wordt de opvoedingsmethode „kind tot kind” sinds 1987 met succes toegepast. Deze methode maakt gebruik van de opmerkelijke aanleg van de kinderen van het lager onderwijs om te begrijpen, op te nemen en te memoriseren voor zover de betrokken begrippen binnen hun bereik liggen. Ze is gebaseerd op een dynamische pedagogie steunend op enquêtes, spelletjes, verhalen, liedjes, toneelstukken die de actieve deelname van de kinderen impliceren. Ze maakt het snelle en duurzame verwerven van kennis en vaardigheid, en die onmiddellijk in het dagelijkse leven kunnen gebruikt worden, mogelijk, met als gevolg de valorisatie van het kind als mens. Bovendien brengt ze het kind verantwoordelijkheidsgevoel en solidariteitszin bij en zet ze het aan tot permanente communicatie met andere kinderen en volwassenen en tot efficiënt meewerken aan de ontwikkeling van de gemeente waar het woont. In dit specifiek geval dragen twee belangrijke gunstige factoren bij tot het succes van de onderneming: enerzijds moeten de grote kinderen in het traditionele Afrikaanse milieu voor de kleineren zorgen; anderzijds maakt de toepassing van deze „kind tot kind” opvoedingsmethode deel uit van een algemeen plan en verloopt ze in een stimulerende psychologische sfeer van plattelandontwikkeling geleid door volwassenen, die naar de verbetering van de levensomstandigheden van de dorpelingen streven. In het begin gingen onze inspanningen naar de geschoolde kinderen van Kapolowe. Ze werden later uitgebreid tot de lagere scholen van andere dorpen in de zone. De eerste acties spitsten zich toe op de voor de kinderen zeer bevattelijke volksgezondheid. Daarna kwamen andere aspecten aan bod waardoor onze actie de gewenste multidisciplinaire connotaties kreeg.

KEYWORDS. — Education; “child to child”.

SUMMARY. — *The Educational Method “child to child”: a Multidisciplinary Field Research-action in Katanga.* — Since 1987, as part of a global multidisciplinary research-action started in 1982 about integrated rural development in the country health area of Kapolowe lying south of the Democratic Republic of Congo, the so-called educational method “child to child” has been successfully applied. The aim of such a method is making the most of the outstanding ability of primary school children to understand, assimilate, memorize, provided that the related knowledge is at their level. The method is based on a dynamic pedagogy centred on inquiries, games, tales, songs, plays implying the active participation of children. It allows them to gain quickly and durably a knowledge and know-how immediately usable in daily life, which makes the child more conscious of his own value. It also gives him a sense of responsibility and solidarity while favouring permanent communication with children and adults around him and effective cooperation to the development of the area where he lives. In this particular case two important favourable factors have contributed to the success of the undertaking: on the one hand, older children, in a traditional African environment, are required to look after younger regularly; on the other hand, the application of the educational method “child to child” is part of an overall plan and takes place in a widely stimulating psychological climate of rural development led by adults who care about the improvement of the quality of life in villages. In the beginning, our efforts focused on children at school in Kapolowe. Later they were extended to primary schools from other villages of the area. The first action was carried out in the field of public health which is very easily understood by children.

Afterwards, other questions have been tackled, providing thus a largely multidisciplinary and quite beneficial meaning to our method.

1. Préambule

Voici Kapolowe, au Katanga, le matin, baigné par la lumière et la douceur de mai. Voici Kapolowe sous un ciel bleu cobalt, vierge de tout nuage. Voici Kapolowe aux frondaisons d'eucalyptus ondulant sous la tendre poussée d'un vent de saison sèche encore timide. Voici Kapolowe et l'ocre franc de sa route principale qui traverse le village de part en part. Voici Kapolowe où commence une journée ordinaire où chacun s'apprête à accomplir les mêmes gestes et à vivre les mêmes scènes mille fois répétées au cours des mois et des années passés.

Mais voici que ce matin le rite routinier est rompu, le quotidien immuable est bouleversé : au bout de la route apparaît un groupe insolite, un groupe qui n'était pas là hier, ni les jours précédents, qui n'avait jamais été là, un groupe d'enfants, filles et garçons, cent cinquante, deux cents peut-être, dont les petits pieds martèlent le sol soulevant de minuscules remous de poussière ocre.

Ils viennent vers nous, en rang, encadrés d'une quinzaine d'enseignants. Ils portent houes et balais sur l'épaule et sont précédés d'une pancarte où l'on peut lire : «L'enfant pour l'enfant — AMADE-Kapolowe — Opération village propre». Que se passe-t-il donc aujourd'hui à Kapolowe ? Qu'y a-t-il de nouveau, d'inédit ? Qu'est ce qui brise le train-train (fig. 1.) ?

Effectivement, contrairement aux habitudes, ces enfants des écoles primaires locales et leurs institutrices et instituteurs sont sortis des bâtiments scolaires. Pendant plusieurs heures, ils nettoient, enlèvent les détritrus, brûlent les immondices mises en tas, coupent des herbes folles qui bordent le chemin. Mieux, des adultes, sensibles à l'exemple que leur donnent les enfants, se joignent spontanément à eux et, tous ensemble, ils assainissent les endroits les plus sales de la localité.

Ce travail accompli, les enfants se regroupent et, l'outil sur l'épaule, repartent en rang, en sens inverse, sur la route ocre, précédés de leur pancarte. En retraversant tout le village, où maintenant se presse la population qui les regarde passer, les enfants chantent, en swahili, un air qu'ils ont composé eux-mêmes, en classe, les jours précédents, dont les paroles sont à peu près celles-ci : «Les élèves vous exhortent à rendre sain votre milieu ; vous les adultes n'êtes-vous pas honteux de laisser vos enfants assurer seuls la propreté du village ?». La leçon a porté.

Il est donc vrai qu'il y a quelque chose de changé à Kapolowe et il est piquant de souligner que cette mutation salutaire du comportement des adultes est due à l'action réfléchie et programmée des enfants conduits par leurs

enseignants. Ce récit n'est qu'un exemple, porteur de symbole, que nous avons mis en exergue pour situer le décor africain de notre sujet et effleurer d'emblée un aspect de sa philosophie et de la stratégie éducative mise en place.

Cette opération village propre, menée par les enfants, est évidemment un aboutissement, une des retombées heureuses et stimulantes de la méthode éducative dite de «l'enfant pour l'enfant» dont il va être question ci-après, du moins dans les grandes lignes.

2. La méthode éducative de «l'enfant pour l'enfant»

Cette méthode a fait l'objet de nombreuses publications, notamment par les soins de l'Académie Royale des Sciences d'Outre-Mer. Nous nous limitons donc à citer quelques références [1*, 2, 3, 4] utiles.

Néanmoins, pour la bonne compréhension de la présente communication, nous croyons opportun de commenter brièvement quelques idées maîtresses concernant cette méthode éducative, d'autant plus que cette manière de procéder permet au lecteur non initié d'entrer aisément dans le vif du sujet.

La conception de la méthode est due à D. Morley qui, dès 1979, a mis à profit le fait — bien connu de tous les éducateurs — que les enfants en âge d'école primaire font preuve d'une remarquable aptitude à comprendre, à assimiler et à mémoriser des notions simples mais fondamentales liées au quotidien et aux aspects pratiques de l'existence au sein d'une famille et de la communauté dans lesquelles ils vivent. Sur cette base, il a élaboré et structuré une pédagogie dynamique, une pédagogie du projet, bien balisée et maîtrisée par des enseignants qualifiés, axée sur des enquêtes, des jeux, des récits, des chansons, des pièces de théâtre auxquels les enfants, manifestant un intérêt enthousiaste, participent activement avec un plaisir évident, garant de leur motivation spontanée et soutenue. Il faut avoir assisté à de telles séances pédagogiques, à la fois joyeuses et sérieuses, pour réaliser à quel point les enfants, qui en sont les acteurs convaincus, ont soif de savoirs et de savoir-faire et recherchent les occasions de les mettre à exécution.

Mais avant d'en arriver là, il y a lieu de parcourir avec succès un long chemin d'apprentissage hérissé d'obstacles et de pièges tant pour les enfants que pour les éducateurs.

Il est évidemment exclu de tolérer chez l'enfant une attitude passive et de céder à la tentation de facilité qui consiste à lui imposer, sans discussion possible, un certain nombre de connaissances et de comportements calqués sur ceux des adultes.

Au contraire, tout doit être mis en œuvre pour, d'une part, favoriser l'essor de sa curiosité naturelle, d'autre part, l'amener à poser des questions et à

* Les chiffres entre crochets [] renvoient aux notes et références pp. 255-256.

dialoguer avec les autres enfants et les adultes et, enfin, éveiller son esprit critique. Cela suppose, pour l'enfant, un entraînement mental progressif et intelligemment guidé par les enseignants. Le but est d'apprendre à observer, à s'informer de sa propre initiative de manière à en savoir plus et à mieux comprendre. Plus tard viendront successivement l'aptitude à analyser les résultats des enquêtes effectuées par l'enfant ou le groupe auquel il appartient, à en formuler clairement les conclusions et éventuellement les lacunes, à élaborer un projet d'action en laissant libre cours à sa créativité, à agir en conséquence, seul ou avec son groupe, avec détermination et persévérance, à évaluer les effets positifs ou négatifs de l'opération et, si possible, à améliorer les impacts de cette dernière.

Depuis son apparition dans le paysage de l'éducation, la méthode de «l'enfant pour l'enfant» a conduit à de remarquables réussites, principalement dans le domaine de la santé. Arrêtons-nous quelques instants à son application à cet important secteur tout en nous attachant, accessoirement, à justifier cette appellation «l'enfant pour l'enfant».

La santé, ainsi que les diverses démarches de prévention et de soins curatifs des maladies, constitue un sujet qui éveille puissamment l'intérêt des enfants. Aussi sont-ils particulièrement réceptifs aux messages sanitaires simples qu'ils s'efforcent de formuler eux-mêmes, aidés et surveillés par des éducateurs travaillant en étroite collaboration avec le corps médical (médecins et infirmiers). De plus, ils les diffusent spontanément (toujours sous contrôle) dans leur milieu familial et social et ils n'hésitent pas, en cas de besoin, à les mettre en pratique.

Dans les pays en voie de développement, les élèves du niveau primaire s'occupent normalement des plus jeunes pendant que les parents s'affairent à leurs occupations agricoles par exemple. Dans ces conditions, les enfants en charge de leurs cadets veillent notamment sur leur santé et tout naturellement utilisent à leur endroit les acquis durables qu'ils ont engrangés grâce à la méthode éducative sanitaire esquissée plus haut qui mérite donc bien l'appellation «l'enfant pour l'enfant».

Les résultats obtenus sont étonnants. Par exemple [3], dans la région de Kapolowe, l'application de cette méthode au thème «l'eau c'est la vie» a conduit les enfants scolarisés à préparer de leur propre initiative, sans intervention d'un adulte, une solution aqueuse salée sucrée adéquate et à l'administrer correctement aux enfants en bas âge atteints de diarrhée, maladie souvent mortelle du fait de la grave déshydratation de l'organisme. En conséquence de ces judicieuses interventions, la mortalité infantile due à cette cause a été fortement réduite dans la région.

Par ailleurs, les familles et les adultes en général reçoivent eux aussi les messages sanitaires colportés par les enfants ; ils en apprécient la qualité et en font bon usage. De ce fait, l'enfant qui diffuse de tels messages et les applique à bon escient et avec pertinence est nettement valorisé aux yeux

de tous et aux siens propres. Il y gagne une stimulante confiance en soi et s'intègre plus facilement à la communauté adulte qui lui accorde davantage de considération. L'enfant acquiert le sens de la responsabilité et éprouve un sentiment de solidarité avec son milieu. Il se prépare, dans les meilleures conditions, à son rôle d'adulte de demain, à son statut de citoyen des temps futurs ouvert à autrui, manifestant un comportement participatif, solidaire et stimulant, recherchant, en outre, le progrès, l'innovation et le développement de sa communauté.

Ce qui est vrai pour le domaine de la santé, qui jusqu'ici a été le plus exploré, l'est également pour les autres secteurs de la vie en société. Nous nous apprêtons à rendre compte ci-après de notre propre expérience multidisciplinaire au Katanga.

3. Une recherche-action multidisciplinaire de terrain au Katanga

3.1. BREF HISTORIQUE

En 1982, nous avons initié un projet de développement rural intégré [5] qui s'est rapidement étendu au territoire de la zone de santé rurale de Kapolowe situé dans la partie sud de la République Démocratique du Congo (ex-Zaïre). Au cours des quelques années qui ont suivi le début de cette recherche-action multidisciplinaire de terrain, ont été successivement mises en place — au fur et à mesure de l'obtention des crédits nécessaires — les différentes composantes de cette entreprise globale : la santé, la nutrition, l'agriculture (génie rural), l'éducation des enfants, la production d'énergie, les matériaux de construction et l'habitat, les aspects socio-culturels et la stimulation des populations.

Dans le cadre de cette opération globale de longue haleine et plus spécialement dans le secteur de l'éducation des enfants, nous avons appliqué avec succès, dès 1987, la méthode éducative dite de «l'enfant pour l'enfant» en nous attachant, d'une part, à préserver le mieux possible le caractère multidisciplinaire de notre démarche et, d'autre part, à étendre au maximum le champ d'investigation de ce type de pédagogie active. Bien entendu, nous avons privilégié le domaine de la santé qui se prête particulièrement bien à une telle étude ; celle-ci a d'ailleurs conduit à des résultats spectaculaires très appréciés par la population. Néanmoins, notre souci constant a été de déceler et d'exploiter des ouvertures et des perspectives concernant d'autres thèmes tels que la nutrition, la production alimentaire, l'environnement et des aspects socio-culturels.

Les commentaires de nos premiers travaux ont été publiés [3] ; nous n'y reviendrons pas dans le détail mais nous croyons utile de les inclure brièvement dans la relation, donnée plus loin, de nos activités plus récentes. Observons dès à présent que le fait d'avoir intégré l'application de la méthode éducative

de «l'enfant pour l'enfant» dans le plan d'ensemble de notre projet global de développement rural intégré a largement contribué au succès de cette initiative pédagogique. En effet, celle-ci s'articule dans un climat psychologique général favorable entretenu par des adultes attentifs à tous les apports susceptibles d'améliorer le niveau de vie de la population.

En juillet 1990, la coopération belgo-zaïroise a été interrompue. En conséquence, la Belgique a normalement cessé d'allouer les crédits accordés à notre projet. A cette époque nous avons ressenti la crainte de le voir disparaître. Heureusement cette issue redoutée ne s'est pas réalisée. Nous nous sommes acharnés à trouver des subventions auprès de particuliers généreux et de diverses ONG (dont l'AMADE, Association Mondiale des Amis de l'Enfance, citée dans le préambule). Cet apport financier ainsi que le courage, la détermination, la persévérance et la compétence de nos partenaires œuvrant sur le terrain (Sœurs Bénédictines de Kapolowe et très nombreux Congolais : médecins, infirmiers, instituteurs et villageois) ont permis de maintenir dans l'ensemble le projet à un niveau remarquable de qualité et d'efficacité compte tenu du contexte local incroyablement difficile. Si plusieurs aspects du projet ont connu une régression due principalement à quelques manquements et abandons, voire à la cupidité de certains, par contre, d'autres composantes telles que la santé, la nutrition, l'éducation des enfants ont non seulement conservé leur vitesse de croisière mais ont nettement progressé, dépassant même le rythme des réalisations prévu initialement. L'application de la méthode éducative de «l'enfant pour l'enfant» fait partie de ce peloton de tête.

3.2. FORMATION DES EDUCATEURS

Avant de songer à engager les enfants dans ce qu'il est convenu d'appeler une pédagogie du projet, il est évidemment nécessaire de familiariser les éducateurs avec la philosophie de la méthode, ses objectifs, ses limites, la stratégie à suivre, les moyens éducatifs à utiliser, les pièges à éviter, etc.

Dans un premier temps, cette formation a été assurée en ayant recours aux documents édités par l'Institut Santé et Développement de Paris [4] qui s'est donné pour tâche de promouvoir la méthode dans les pays francophones. Par la suite, tout en conservant cette référence de choix, diverses initiatives locales, basées sur l'expérience acquise, ont enrichi l'éventail d'apprentissage réservé aux éducateurs.

Dès mars 1988, un premier séminaire de formation d'instituteurs d'une semaine a été organisé à Kapolowe. Avec l'appui de l'Université de Lubumbashi et des autorités sanitaires provinciales, ces enseignants ont bénéficié d'un encadrement compétent constitué d'assistants de la Faculté de Médecine, de médecins, d'infirmiers et d'instituteurs déjà formés. Cette rencontre a permis d'inculquer aux participants les principes de la méthode d'éducation pour la

santé et d'assurer une collaboration indispensable entre le corps médical et les écoles primaires de villages de la région.

En décembre 1989, un deuxième séminaire a complété cette action positive en réunissant d'autres instituteurs appartenant à d'autres écoles rurales.

Depuis lors, plusieurs meetings supplémentaires de ce type ont contribué, d'une part, à étendre cette formation à de nouveaux enseignants et à multiplier le nombre d'écoles rurales touchées et, d'autre part, à approfondir les compétences d'instituteurs déjà au fait de cette approche pédagogique originale.

A l'heure actuelle, la région dispose d'un impressionnant réseau d'éducateurs maîtrisant la méthode de «l'enfant pour l'enfant», susceptibles de prendre d'intéressantes initiatives, optant pour des voies multidisciplinaires et ne se limitant plus nécessairement au domaine de la santé comme au début de l'opération. Grâce à eux, des milliers d'enfants de la brousse katangaise élaborent efficacement, en s'amusant, un comportement futur de qualité d'adultes et de parents de demain.

L'extension des activités scolaires ou extra-scolaires liées à la méthode éducative de «l'enfant pour l'enfant» a nécessité la création à Kapolowe d'un comité d'organisation et de gestion composé d'enseignants particulièrement motivés. Cette initiative a été extrêmement bénéfique, ce comité mettant sur pied les séminaires, éditant et diffusant des brochures pédagogiques concernant la méthode, suscitant des initiatives, catalysant des actions diverses notamment extra-scolaires, s'occupant de la comptabilité et rédigeant les rapports.

Plus récemment sont apparus des sous-comités siégeant dans d'autres villages en coordination étroite avec le comité central de Kapolowe, l'ensemble constituant une structure organisatrice efficace.

3.3. THEMES PROPOSES AUX ENFANTS

Les thèmes que nous avons utilisés dans notre approche pédagogique de «l'enfant pour l'enfant» concernent principalement, nous l'avons dit, la santé. Néanmoins, ils sont traités de manière à créer des ouvertures sur d'autres domaines et, de ce fait, l'enfant reçoit un apprentissage multidisciplinaire bien plus large et plus diversifié que ne le laisse entendre, à première vue, l'énoncé du thème proposé.

A titre d'exemple, examinons le thème du choléra. Celui-ci implique notamment une pièce de théâtre, jouée, soit dit en passant avec un talent surprenant, par un groupe d'enfants comportant filles et garçons. Certes, le sujet de la représentation concerne directement le choléra, les précautions à prendre pour éviter d'être contaminé, les symptômes, les soins curatifs adéquats, la guérison grâce au médecin et à l'infirmier. Mais le scénario comporte également une virulente attaque contre la croyance selon laquelle les esprits malfaisants jettent un sort sur la victime et contre les devins qui propagent cette interprétation fallacieuse de la maladie et qui abusent de la crédulité

et de l'ignorance de la population. De plus, les emplois dévolus aux acteurs ne sont pas innocents. Bien sûr les filles jouent le rôle de mères de famille et les garçons celui de pères, mais c'est une fille qui tire les conclusions du spectacle pour l'édification des très nombreux spectateurs et remercie l'AMADE qui en a assuré le financement ; c'est dire que le personnage important n'est pas nécessairement un garçon. Les filles ont autant que les garçons voix au chapitre : seules la personnalité et les qualités de l'individu comptent.

Il convient d'habituer filles et garçons à cette justice élémentaire de manière à ce que dans l'avenir ces jeunes parvenus à l'âge adulte marquent leur opposition à cette tradition inacceptable de la domination systématique de la femme par l'homme. Il serait malhabile de prendre aujourd'hui pour thème déclaré la promotion de la femme car cette initiative heurterait de front les adultes et la démarche serait condamnée à l'échec. De plus, on risquerait de déstabiliser les enfants confrontés à l'opposition de leurs parents, sans compter que cette attitude pourrait atténuer le respect qu'ils leur doivent. Dans l'état actuel des choses, il vaut donc mieux traiter ce sujet délicat d'une manière indirecte. Il n'empêche qu'à propos d'une question de santé, la multidisciplinarité apparaît en filigrane et permet d'aborder en douceur des problèmes comportementaux liés aux aspects négatifs et paralysants de la tradition séculaire et au conditionnement des adultes par des pratiques coutumières.

Parmi les autres thèmes proposés aux enfants, citons le programme de vaccinations, la méningite, la malaria, la malnutrition, le sida, la protection de l'environnement, «l'eau c'est la vie». Ce dernier va nous permettre de préciser ici les étapes de la démarche pédagogique mise en œuvre :

- Concrétiser sur le terrain le thème «l'eau c'est la vie» en observant la nature au cours de classes-promenade, en comparant la végétation en saison des pluies et en saison sèche et en effectuant des expériences appropriées à l'école ;
- Etendre les conclusions de ces excursions pédagogiques dans le monde végétal à l'être humain ; comprendre et reconnaître les symptômes de déshydratation de l'organisme notamment chez l'enfant (pli cutané, soif, fatigue anormale, etc.) ;
- Mener des enquêtes au centre de santé du village et au domicile de particuliers afin de constater les graves conséquences que la diarrhée entraîne par suite de la déshydratation du corps ;
- Observer la réaction et le comportement des gens confrontés au cas d'un enfant atteint de diarrhée et évaluer la pertinence ou la nuisance de leur attitude ;
- Apprendre à préparer correctement la solution aqueuse salée sucrée et à l'administrer à un enfant malade ;
- Déceler les cas rebelles (environ 20 %) à ce traitement simple et conduire impérativement sans délai le patient au centre de santé.

Moyennant adaptation spécifique, ce plan d'action est applicable aux autres thèmes et, par la suite, le fil conducteur de cette réflexion scientifique pourra être généralisé à tout problème que rencontrera l'enfant au cours de ses études et plus tard dans sa vie d'adulte.

Comme dit plus haut, l'enfant prend conscience du contenu des différents thèmes proposés en s'amusant, notamment, en participant en classe à la composition de chansons et à l'élaboration de saynètes dans lesquelles il assumera lui-même un rôle. Cette pédagogie active et joyeuse a une retombée très importante : l'effet multiplicateur en dehors de l'école. En effet, l'enfant chante sa chanson partout où il va. Sa famille, les autres enfants, les villageois l'écoutent et apprennent à leur tour cette chanson qui contient un message sanitaire, nutritionnel ou autre. Cette communication peut aller fort loin ; au cours d'une mission en brousse, nous avons personnellement entendu un enfant chanter une telle chanson à quelque 400 km de Kapolowe où elle avait été composée. Remarquons enfin que cette transmission par la chanson est impeccable : on n'en modifie pas les paroles et par conséquent le message qu'elle véhicule demeure intact. Ce n'est pas le cas d'un récit.

3.4. CONCOURS INTERSCOLAIRE «L'ENFANT POUR L'ENFANT»

Pour marquer la fin de l'année scolaire, le comité de «l'enfant pour l'enfant» de Kapolowe organise un concours entre les cinq écoles primaires de la localité.

Les équipes d'élèves sélectionnés pour défendre les chances de leur établissement jouent tour à tour une pièce de théâtre librement choisie parmi les thèmes cités plus haut. Cette joute amicale se déroule devant de nombreux spectateurs. Pour fixer les idées, chiffrons l'assistance à la fin de l'année scolaire 1994-1995 : 90 invités, 68 enseignants, 125 élèves acteurs et 2 153 élèves spectateurs.

Les équipes les plus méritantes et les plus talentueuses sont récompensées et leurs écoles reçoivent un prix.

De telles manifestations festives stimulent les enfants et les écoles et ont un impact important sur la population (figs 2, 3).

3.5. ACTIVITES D'EVEIL

Les activités dites d'éveil sont relatives à des applications spécifiques variées des notions apprises en classe dans le cadre de la méthode de «l'enfant pour l'enfant». Pour les réaliser, les élèves sortent de l'école, encadrés par leurs instituteurs. A ces occasions, ils discutent avec des adultes, argumentant, donnant leur avis, essayant de convaincre. Cette démarche enfantine ne va pas dans le sens de la tradition qui donne la primauté absolue aux adultes. Ici également, on assiste à une tentative de corriger un aspect négatif et pernicieux de certaines habitudes coutumières, en se gardant bien de heurter de front qui que ce soit.

3.5.1. *Opération village propre*

Cette activité a fait l'objet du préambule. Nous n'y revenons pas.

3.5.2. *Elèves instructeurs*

Les enseignants et leurs élèves vont à la rencontre des habitants du village, à leur domicile. Les élèves munis d'ardoises et d'affiches composées en classe par eux-mêmes expliquent aux villageois une série d'informations et de recommandations concernant des aspects spécifiques de la santé et de la nutrition : prévention du choléra et de la malnutrition, «l'eau c'est la vie», etc. (fig. 4.)

Cette instruction par les enfants est bien accueillie et les conseils sont suivis, d'autant plus que les enfants n'hésitent pas à revenir à la charge.

3.5.3. *Culture du soja*

Grâce à la méthode de «l'enfant pour l'enfant», les élèves ont été convaincus des propriétés nutritives remarquables du soja et de leur importance dans le traitement de la malnutrition.

Aussi, ils se livrent volontiers à la culture du soja qui implique, en décembre, le labour d'un terrain d'un demi-hectare et l'ensemencement. Au mois de mai suivant, ils procèdent à la récolte, à l'épuration et au stockage.

Ce soja est consommé ensuite par les élèves participant aux activités de santé de la colonie de vacances pendant les mois de juillet et août (voir 3.6).

Cette démonstration par les enfants fait partie de la campagne de promotion de la culture et de la consommation du soja destinée à éveiller l'intérêt des adultes, cette légumineuse ne faisant pas partie de leurs aliments traditionnels. Les élèves aident donc les médecins et les nutritionnistes à introduire le soja dans la nourriture courante de la population, surtout celle des enfants.

3.6. COLONIE DE VACANCES

Lors des grandes vacances, les élèves, qui ne fréquentent plus l'école durant deux mois, ont tendance à perdre, au moins partiellement, les acquis accumulés pendant l'année scolaire. De plus, dans un village comme Kapolowe les distractions pour les jeunes sont rares et de faible qualité.

Dans ces conditions, le comité des éducateurs, conquis par la méthode de «l'enfant pour l'enfant», a imaginé de créer une colonie de vacances à l'usage de leurs élèves désœuvrés.

Les buts poursuivis sont, d'une part, d'occuper intelligemment les élèves pendant les vacances scolaires, d'autre part, d'approfondir la compréhension des thèmes de «l'enfant pour l'enfant» et, enfin, d'assurer leur diffusion parmi les habitants.

Les élèves sont encadrés par leurs instituteurs et institutrices responsables de la guidance de diverses tâches : enquêtes, activités d'éveil, travaux manuels,

restauration. Bien entendu, la récréation (football et danses) occupe une bonne partie de la journée.

4. Commentaires

Depuis 1982, des obstacles de tous ordres et des coups durs n'ont pas manqué de jalonner notre chemin, le transformant à diverses reprises en «parcours du combattant». Parmi les plus contraignants et les plus dangereux pour notre projet de développement rural intégré, dont fait partie l'approche pédagogique de «l'enfant pour l'enfant», citons en premier lieu la suspension, en juillet 1990, de la coopération belgo-zaïroise que nous avons heureusement surmontée comme il a été dit plus haut. Mentionnons encore une vague de racisme déclenchée, en 1992-1993, par le pouvoir politique en place à l'époque, qui a entraîné une «épuration ethnique» réalisée dans des conditions inhumaines et qui a causé le départ précipité, vers leur région d'origine, de très bons collaborateurs baluba du Kasaï et de nombreux élèves. Enfin, jusque tout récemment, notre projet, comme tant d'autres, a subi insidieusement, en toile de fond, les contrecoups néfastes d'une longue période de laisser-aller, d'inconséquence et de corruption, au cours de laquelle l'éducation et le développement des populations ont été largement négligés et même entravés par les autorités de l'Etat, attitude coupable qui a conduit à la ruine morale et matérielle du pays.

En dépit de ce contexte particulièrement difficile, nous sommes en mesure de présenter un bilan positif. Après quelque onze ans de pratique sur le terrain de la méthode éducative de «l'enfant pour l'enfant», nous croyons pouvoir dire que cette entreprise a été couronnée de succès et que ses perspectives d'avenir demeurent intactes et riches de promesses.

Parmi les retombées heureuses de l'application de cette méthode, quels que soient les thèmes utilisés, il convient, avant tout, de souligner l'influence bénéfique de cette pédagogie active sur le mental.

En effet, les enfants, engagés dans cette voie, manifestent une plus grande ouverture, un intérêt plus aiguisé, une responsabilité plus affirmée et apprennent mieux que ceux qui suivent une filière plus classique.

En analysant cette constatation de manière plus approfondie, on en arrive à estimer que la pédagogie active de «l'enfant pour l'enfant» favorise davantage que d'autres méthodes éducatives l'essor des qualités de l'individu.

En premier lieu, elle contribue à développer l'intelligence de l'enfant en poussant ce dernier, d'une manière permanente, à accroître ses connaissances et son savoir-faire, son pouvoir d'analyse et de synthèse, à nourrir son imagination, son esprit créatif, son sens critique, sa mémoire et à opter pour une plus grande rigueur.

En deuxième lieu, elle forge le caractère en habituant l'enfant à faire preuve de volonté, de courage, de persévérance, d'esprit d'initiative et de décision.

En troisième lieu, elle aide l'enfant à construire et à consolider son sens social, d'une part, en lui inculquant un comportement responsable, solidaire, coopératif, d'autre part, en lui donnant le goût de communiquer, de travailler en groupe, d'informer et de former les autres, de privilégier les relations humaines et, enfin, en le dotant d'une bonne capacité à s'adapter aux circonstances fluctuantes et en évolution.

En quatrième lieu, elle incite l'enfant à acquérir des qualités éthiques et civiques en insistant sur les valeurs, la tolérance, l'objectivité et le souci du bien commun.

Un des grands mérites de la méthode éducative de «l'enfant pour l'enfant» est de resserrer les liens entre l'école et le milieu. Elle permet en effet d'établir une connexion raisonnable entre ce qui est enseigné à l'école et ce que l'enfant vit dans sa famille et dans sa communauté. Il en résulte, d'une part, un équilibre mental stimulant chez l'enfant et, d'autre part, comme nous l'avons vu, une influence positive de celui-ci sur d'autres enfants et des adultes de son entourage quotidien. Ce fait est capital car il entraîne l'émergence d'une bonne image de marque de l'enfant qui conduit l'adulte à le mieux respecter et à accepter la nécessité et la légitimité de la défense des Droits de l'Enfant, même dans des sociétés où cette notion était encore inconnue naguère.

De plus, parallèlement à la prise en considération de la personne de l'enfant par les villageois adultes, ceux-ci réalisent mieux l'impact bénéfique de l'école sur la vie en société. Il en résulte que l'image de marque des enseignants se modifie elle aussi dans un sens positif. Pendant de trop nombreuses années, ceux-ci, incroyablement mal rétribués (quand il l'étaient), travaillant dans des écoles en ruine, sans équipement pédagogique adéquat, ont eu l'immense mérite de poursuivre leur œuvre éducative en dépit de la misère matérielle où était confinée leur famille et du dédain que leur manifestaient leurs voisins en raison de leur dénuement permanent. Ce dévouement exceptionnel mérite tous les éloges et l'hommage que nous leur rendons ici. Grâce à l'application de la méthode de «l'enfant pour l'enfant», financée par l'AMADE, cet effort quasi surhumain a porté ses fruits. Il est certain que les instituteurs et institutrices ont trouvé dans cette méthode un adjuvant de taille, un stimulant puissant les incitant à persévérer car cette pédagogie active permet de valoriser leurs efforts avec un rendement largement accru. L'apprentissage qu'elle garantit aux enfants est proche de la vie de tous les jours et des multiples facettes de l'activité et des préoccupations pluridisciplinaires des humains.

Cette méthode est une ouverture au développement considéré à la fois comme la promotion personnelle qui dépend de l'état d'esprit et de la richesse mentale de l'individu et comme l'essor d'une communauté d'êtres vivant ensemble et décidés à progresser en tant que groupe.

L'application de la méthode éducative de «l'enfant pour l'enfant» passe nécessairement, nous l'avons vu, par un raisonnement intellectuel de type scientifique : observer, analyser et comprendre le problème, trouver une

solution, agir, évaluer le résultat. Dès son jeune âge, l'enfant réfléchit et expérimente donc selon les principes de la méthode scientifique, sous une forme rudimentaire d'abord, plus élaborée par la suite. Il s'imprègne de ce processus de pensée rationnelle et structurée et lorsqu'il sera devenu adulte, il continuera à pratiquer tout naturellement ce mode de réflexion. Dès lors, il aura inclus la science, au sens large du mot, dans sa culture même si ses activités quotidiennes l'éloignent des milieux scientifiques proprement dits. Si, par ailleurs, la méthode éducative de «l'enfant pour l'enfant» l'a conduit au concept de développement actif et participatif, évoqué plus haut, cet adulte de demain fera inévitablement le rapprochement souhaitable entre science et développement et contribuera, dans les limites de ses moyens, à multiplier les apports de la première au second. Cette évolution bénéfique sera d'autant plus aisée qu'en dehors des enseignements scolaires, une politique de vulgarisation des sciences et de leurs applications, intelligente et efficace, facilite, pour le grand public, l'épanouissement d'une solide culture scientifique. A notre avis, l'adulte ayant, dans son enfance, pratiqué la méthode éducative de «l'enfant pour l'enfant» sera, toutes choses égales, mieux armé que d'autres pour coopérer à ce nouvel élan qui prend forme à l'aube du troisième millénaire. Ces conditions concernant l'éducation du public et son accès à une culture scientifique, ainsi que sa sensibilisation aux rapports entre science et développement, vont dans le sens des préoccupations de notre Académie qui, en relation avec l'UNESCO, s'apprête à organiser, à la fin de cette année, un symposium international sur le thème «Science et Développement : perspectives pour le 21^e siècle». Ajoutons que cette manifestation se situe en avant-garde de la Conférence mondiale de l'UNESCO sur «La Science au 21^e siècle : un nouvel engagement» qui aura lieu en juin 1999.

Nous croyons opportun de souligner que, toutes proportions gardées, l'application de la méthode éducative de «l'enfant pour l'enfant» constitue, dans le domaine de la formation, un des nombreux rouages importants, susceptibles de conduire l'humanité vers un avenir conforme aux objectifs qui sous-tendent les congrès signalés plus haut. Cette remarque vaut pour tout l'éventail des domaines scientifiques et pas seulement pour celui de la santé dont le thème est le plus exploité.

Si, dès à présent, la méthode éducative de «l'enfant pour l'enfant» ouvre indubitablement la voie vers une culture plus équilibrée comportant un large panneau scientifique, son apport à d'autres aspects de la culture humaine nous semble nettement plus réduit. Nous pensons essentiellement aux qualités humaines et spirituelles, aux valeurs morales et traditionnelles, au respect d'autrui, à la justice, ainsi qu'à l'affectivité, la sensibilité artistique, la richesse intérieure et, encore, à bien d'autres concepts. Pour le moment, il nous paraît difficile de les prendre nommément comme thème spécifique ; par contre, il serait plus aisé de les inclure dans un thème pluridisciplinaire traitant à la fois de plusieurs domaines sous des éclairages variés.

5. Conclusion

Nous concluons par le biais d'une image symbolique empruntée à notre préambule, image virtuelle cette fois.

Nous retrouvons le groupe d'enfants, filles et garçons, l'outil sur l'épaule, encadrés par leurs institutrices et instituteurs, marchant sur la route ocre qui traverse Kapolowe. Sont-ils embarqués dans une nouvelle opération village propre pour raviver l'énergie et la volonté défaillantes des adultes ?

Non, ils passent devant nous mais ne s'arrêtent pas. Ils sortent du village, joyeux et déterminés. Ils s'en vont à la conquête du monde, de leur monde, celui qu'ils ont commencé à construire et que nous, les adultes d'aujourd'hui, ne connaissons pas. Ils le bâtissent pour eux-mêmes, pour leur groupe, pour les enfants qu'ils auront un jour. La route qu'ils suivent ne sera pas toujours ocre, elle prendra d'autres couleurs, son tracé présentera d'autres profils, le ciel changera souvent d'aspect, les paysages seront différents. Mais eux, s'adaptant aux circonstances, joyeux et déterminés, observeront, analyseront, comprendront, résoudreont, agiront, évalueront. Ils s'en vont à la rencontre d'autres groupes d'enfants, venant de partout, qui, comme eux, joyeux et déterminés, poursuivent le même but et convergent vers le même idéal. Tous se construisent eux-mêmes tout en construisant leur monde. Tout en marchant, tous deviendront progressivement des adultes mieux armés et mieux formés que nous et, espérons-le de tout cœur, plus heureux que nous ne le fûmes jamais.

REMERCIEMENTS

Notre reconnaissance va à l'Association Mondiale des Amis de l'Enfance (AMADE) dont le généreux financement et l'aide morale ont permis à cette recherche-action de se poursuivre au-delà de 1990.

Nous remercions également la Fondation Sainte-Marguerite et des particuliers anonymes qui nous ont apporté un précieux soutien moral et matériel.

NOTES ET REFERENCES

- [1] FIERENS, P. 1988-1989. L'éducation sanitaire par l'enfant. — *In* : Actes des journées scientifiques «Développement rural intégré et multilocation de la culture» (Abidjan 1988). Presses Universitaires de Namur, Prélude 12-13 (numéro spécial), pp. 87-100.
- [2] HAWES, H. 1990. L'enfant pour l'enfant : une autre voie pour l'éducation. — Institut de l'UNESCO pour l'Education, Hambourg, 135 pp.
- [3] FIERENS, P. 1992. Université et développement rural intégré, § 8.1. Application de la méthode de «l'enfant pour l'enfant». — *In* : Actes du Symposium «Le développement rural intégré : bilan» (Bruxelles mars 1991), Académie Royale des Sciences d'Outre-Mer, pp. 47-50.

- [4] DUMURGIER, E. 1996. «L'enfant pour l'Enfant», une approche pédagogique originale de l'éducation pour la santé à l'école. — *In* : Actes du Symposium «L'enfance dans le Tiers-Monde» (Bruxelles octobre 1994), Académie Royale des Sciences d'Outre-Mer, pp. 251-258.
- [5] FIERENS, P. 1992. *Cf.* référence [3] pp. 13-76.



Fig. 1. — Les élèves, filles et garçons, «viennent vers nous, en rang, encadrés d'une quinzaine d'enseignants. Ils portent houes et balais sur l'épaule». L'opération village propre a commencé à Kapolowe.



Fig. 2. — Concours interscolaire : saynète illustrant le thème «l'eau c'est la vie» (école primaire Mwangaza).



Fig. 3. — Concours interscolaire : chanson mimée par les enfants de première année sur la prévention du choléra (école primaire Kabukwikwi).



Fig. 4. — Les élèves, instructeurs à leur tour, sensibilisent la population en expliquant différents sujets liés à la santé.

Is het de natuur of de mens die een bedreiging vormt voor kusten en polders ? *

door

Cécile BAETEMAN **

TREFWOORDEN. — Kustdynamiek ; Kustlijn ; Polders ; Kusterosie ; Subsidentie ; Kustbeheer ; Economische en toeristische ontwikkeling.

SAMENVATTING. — Ongeveer 50 % van de wereldbevolking woont in kustgebieden, één van de meest fragiele, maar dynamische gebieden op aarde. Kustgebieden zijn onderhevig aan invloeden veroorzaakt door een grote verscheidenheid van natuurlijke risico's, maar sommige van deze risico's zijn echter nauw verbonden met de menselijke aanwezigheid en haar acties. De nadruk zal gelegd worden op de risico's veroorzaakt door de mens zelf, risico's die een socio-economisch systeem kunnen destabiliseren en waarvan de gevolgen tragisch en kostelijk kunnen zijn. De uitgebreide lage kustgebieden langsheen de grote rivieren die behoren tot de dichtstbevolkte gebieden van de wereld vanwege hun gunstige geografische ligging, worden voortdurend bedreigd door kusterosie, stormen, indringen van zoutwater, verstoring van de natuurlijke drainage, en bovenal, door overstromingen. Deze overstromingen, in feite eigen aan de natuurlijke ontwikkeling van dergelijke vlaktes, zouden niet zo gevaarlijk zijn indien er niet zoveel mensenlevens mee gemoeid zouden zijn. De gevolgen van menselijke tussenkomsten in dergelijke kustvlaktes zullen geïllustreerd worden, evenals het conflict tussen de versnelde toeristische en economische ontwikkeling langs de stranden en de gevaren inherent aan het wonen met zicht op zee, een situatie die eigenlijk niets anders is dan een beleidsdilemma. De kwetsbare situatie van de zinkende steden enerzijds, en van kusterosie anderzijds, zal beschouwd worden in het licht van de natuurlijke processen actief in het zeer dynamische kustgebied. De noodzaak van een degelijk beleid zal eveneens besproken worden.

MOTS-CLES. — Dynamique côtière ; Littoral ; Polders ; Erosion côtière ; Subsidence ; Gestion de la zone côtière ; Développement économique et touristique.

RESUME. — *Est-ce la nature ou l'homme qui constitue une menace pour les côtes et les polders ?* — Près de 50 % de la population mondiale vit le long de la frange côtière, l'un des environnements les plus fragiles et les plus dynamiques de la planète. Les zones côtières sont soumises à une grande variété de catastrophes naturelles, mais cependant certaines sont étroitement associées à l'occupation humaine et ses effets inadéquats. L'accent sera mis sur les risques engendrés par l'homme capables de

* Lezing gehouden tijdens de zitting van de Klasse voor Technische Wetenschappen van 28 februari 1997. Tekst ontvangen op 28 april 1998.

** Quartairgeoloog ; Geologische Dienst van België, Jennerstraat 13, B-1000 Brussel (België).

déstabiliser les systèmes socio-économiques dont les conséquences peuvent être tragiques et coûteuses. Les vastes plaines adjacentes aux grands fleuves, souvent parmi les plus densément peuplées du monde en raison de leur localisation favorable, sont continuellement soumises aux risques d'érosion côtière, tempêtes, intrusion d'eau salée, dérégulation du drainage naturel et, surtout, inondations. Ces inondations, en fait inhérentes au développement de la plaine côtière, ne seraient pas catastrophiques si tant de vies humaines n'étaient pas impliquées. Les conséquences de l'intervention humaine dans les plaines côtières seront illustrées, ainsi que le conflit entre le développement en front de mer et la précarité liée à la présence de la mer même. La situation vulnérable des zones urbanisées soumises à la subsidence et à l'érosion côtière sera considérée en mettant l'accent sur les processus naturels de l'environnement côtier très dynamique et la nécessité d'un système propre de gestion de la zone côtière.

KEYWORDS. — Coastal Dynamics ; Shoreline ; Polders ; Coastal Erosion ; Land Subsidence ; Coastal Management ; Economic and Tourism Development.

SUMMARY. — *Is it Nature or Man which is Threatening Coasts and Polders ?* — About 50 % of the world population lives along the coastal fringe, one of the most fragile, but dynamic environments on earth. Coastal areas are subject to impacts resulting from a great variety of natural hazards. However, some hazards are closely associated with human settlements and the inappropriate actions of men. The emphasis will be put on coastal hazards involved by human activities which can destabilize socio-economic systems, the consequences of which can be tragic and painful. The vast flat plains along major rivers, which belong to the most densely populated areas in the world because of their favourable geographical location, are continuously threatened with coastal erosion, storms, salt-water intrusion, disturbance of the natural drainage, and above all, flooding. These floods, in fact inherent to the development of coastal lowlands, would not be hazardous if so many lives were not involved. The consequences of human intervention in such coastal plains will be illustrated, as well as the conflict between accelerating seafront development and the hazards inherent to water's edge building which is nothing but a policy dilemma. The vulnerable situation of sinking cities and shoreline erosion will be considered focusing on the natural processes in dynamic coastal environments and the need for a proper coastal zone management system.

1. Inleiding

Kustvlaktes behoren tot de meest kwetsbare gebieden in de wereld. De reliëfloze vlaktes die zich tot 100 km kunnen uitstrekken daar waar grote rivieren in zee uitmonden, liggen zelden hoger dan gemiddeld zeeniveau en zijn bijgevolg zeer gevoelig voor de kleinste veranderingen die zich in het kustgebied voordoen. Kustvlaktes worden zoals zoveel andere gebieden geteisterd door natuurlijke risico's, zoals o.a. aardbevingen en vulkaanuitbarstingen. Er zijn echter een hele reeks risico's die specifiek zijn voor deze gebieden. Zo zijn er de occasionele, maar zeker niet minder catastrofale risico's

zoals vloedgolven of tropische stormen. Maar die gebieden worden ook gekenmerkt door een voortdurende bedreiging zoals opslibben van estuaria, indringen van zout water, verzuren van landbouwgrond, bodemdaling, overstromingen — en dit zowel vanuit zee als vanuit land — en kusterosie.

Deze fenomenen vormen eigenlijk geen bedreiging voor het gebied als zodanig, maar het is de mens die er woont en werkt, samen met de industriële en economische infrastructuur die erdoor bedreigd worden. Deze uitgestrekte kustvlaktes zijn immers gekenmerkt door een zeer hoge bevolkingsdichtheid. Er wordt geschat dat minstens 50 % van de wereldbevolking in dergelijke gebieden woont waarbij daarenboven de grootste concentratie zich in Zuid-Oost-Azië (SURYADI 1996) bevindt. Het is trouwens heel waarschijnlijk dat deze tendens zal verhogen tot 75 % in de volgende eeuw (FINKL 1994). De meeste van 's werelds grootste steden zijn in kustvlaktes gelokaliseerd. Deze steden zijn in de loop der tijd uitgroeid tot megasteden met 's werelds belangrijkste havens en industrie centra. De uitgestrekte vlaktes vormen eveneens de landbouwgebieden die de voedselproductie voor een groot deel van de wereldbevolking moet garanderen.

Al van oudsher behoren de kustvlaktes tot de meest uitverkoren gebieden voor menselijke nederzetting vanwege de gunstige geografische situatie zoals vruchtbare landbouwgrond, beschikbaarheid van zoetwater van de rivieren, gemakkelijke toegankelijkheid vanwege het zeer vlakke reliëf en de aanwezigheid van zee en rivier als eersterangshandelsroutes. Deze gunstige geografische situatie betekende een waardevolle economische rijkdom. Thans is de geografische situatie niet meer zo gunstig. De druk vanwege de hoge bevolkingsdichtheid heeft de kustvlaktes omgevormd tot risicogebieden.

De natuurlijke risico's die dergelijke gebieden thans voortdurend bedreigen, zijn in feite niets anders dan de natuurlijke geologische processen die werkzaam zijn om het gebied van nature uit in stand te houden. De natuurlijke processen worden echter als risico ervaren van zodra de mens interfereert.

Tijdens de laatste decennia zijn de exotische stranden van de derdewereld-landen uitverkoren gebieden voor toerisme geworden. Het toerisme vormt er dan ook een belangrijke bron van inkomsten. De kustgebieden zijn daarom een zeer interessant oord voor recreatie-ondernemers en project-ontwikkelaars, in die mate zelfs dat vele kusten thans gekenmerkt zijn door overontwikkeling van toeristische infrastructuur.

Het is de bedoeling in dit artikel aan te tonen in welke mate de bedreiging door natuurlijke risico's mee bepaald wordt door menselijke activiteiten en op die manier het belang van de kennis van de geologische gesteldheid in de maatschappij te illustreren.

2. De grootschalige kustdynamiek

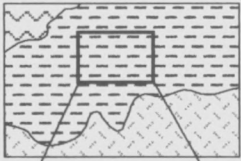
Kustlijn en vlakke vormen samen met het continentaal plat één enkele geologische entiteit en de geologische processen die de vorming en evolutie ervan bepalen, worden samengebracht in wat „grootschalige kustdynamiek” wordt genoemd. Om de werking van de geologische processen te kunnen inschatten in wat als natuurlijke risico's wordt ervaren, zal de grootschalige kustdynamiek tijdens het Holocene (laatste 10 000 jaar) in het kort worden geschetst. Ieder kustgebied heeft weliswaar zijn eigen typische ontstaansgeschiedenis en evolutie, maar het algemeen sturend mechanisme is zeer gelijklopend en wordt in hoofdzaak bepaald door een dynamisch evenwicht tussen de relatieve zeespiegelstijging, sedimentaanvoer, tektoniek en sedimentcompactie.

2.1. ZEESPIEGELSTIJGING ALS STUREND MECHANISME IN DE OPVULLINGSGESCHIEDENIS

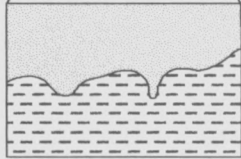
Eén van de belangrijkste sturende mechanismen in de opvullingsgeschiedenis van de kustvlaktes is de verandering in snelheid van de relatieve zeespiegelstijging (RZS). Uit de compilatie van zeespiegelcurves uit verschillende delen van de wereld (o.a. BELKNAP & KRAFT 1977) blijkt een zeer snelle stijging van het zeeniveau in de periode vóór 7 000 BP (meer dan gemiddeld 75 cm/100 jaar) en een eerste belangrijke vertraging rond 6 000 à 7 000 BP (tot gemiddeld 30 à 40 cm/100 jaar). In sommige gebieden blijft het niveau nagenoeg stabiel vanaf ongeveer 6 000 BP, terwijl in andere gebieden een tweede vertraging optreedt vanaf ongeveer 5 000 BP (tot gemiddeld 10 à 15 cm/100 jaar).

Door de RZS werden de Laat Pleistocene fluviatiele vlaktes omgevormd tot estuaria of getijdebekkens (fig. 1). Die vlaktes met zwak reliëf die zich uitstrekten over het huidige continentaal plat, waren tijdens de periode van lage zeespiegelstand gekenmerkt door fluviatiele afzetting van grofkorrelig sediment in de geulen en fijnkorrelig sediment in de komgrond. Het zijn de afzettingen van de geulen opgevuld tijdens perioden van lage zeespiegelstand die in de huidige kustvlaktes de belangrijkste zoetwatervoerende lagen vormen in de Kwartaire afzettingen. De enkele meters dikke alluviale klei vertoont eveneens een belangrijk economisch aspect. Door het feit dat ze in terrestrische omstandigheden werd afgezet, en dus niet verzadigd is met water, vormt ze een compacte, nagenoeg ondoorlaatbare laag. Het is de enige laag die, wat betreft het geotechnisch aspect, een betekenisvolle draagkracht heeft in de hele Boven Pleistocene en Holocene sequentie (BAETEMAN 1994).

ca 18 000 jaar geleden SL -100 m



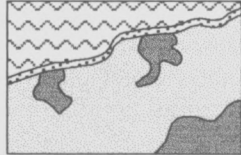
ca 9 000 jaar geleden SL -20 m



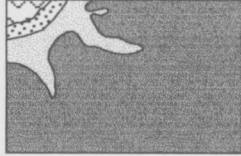
ca 8 000 jaar geleden SL -14 m



ca 7 000 jaar geleden SL -8 m



ca 5 000 jaar geleden SL -2 m



ca 3 000 jaar geleden

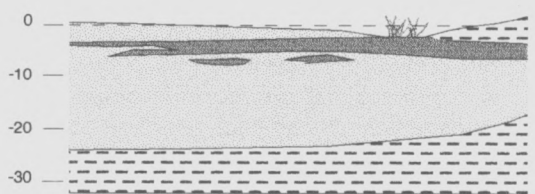
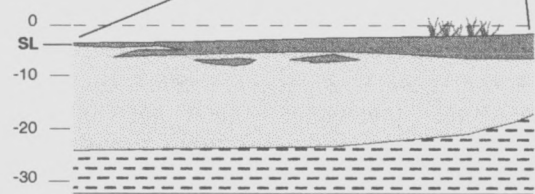
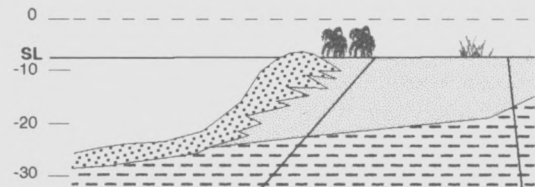
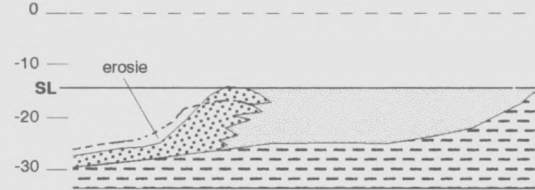
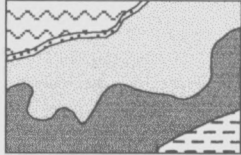


Fig. 1. — Schematische weergave van de opvulling van kustvlaktes tijdens het Holocene.

2.2. DE LANDWAARTSE VERSCHUIVING VAN GETIJDEBEKKEN EN KUSTLIJN

Met de stijging van de zeespiegel werd aanvankelijk fluviaal materiaal afgezet aan de monding van de rivier (ZAITLIN *et al.* 1994), maar vanwege de snelle zeespiegelstijging kende de zee een laterale uitbreiding en drong binnen via de laagst gelegen delen van de riviervlaktes die veranderden in estuaria of getijdebekken die, naarmate de zeespiegel steeg, landwaarts migreerden. De fluviaal sedimenten werden bijgevolg afgezet in het estuarium zelf zodat nagenoeg geen materiaal meer werd aangevoerd naar zee om de aangrenzende kustlijnen te voeden (ALLEN & POSAMENTIER 1994). Daarenboven vereist een laterale uitbreiding van een getijdebekken sedimentaanvoer ter compensatie, maar vanwege de grote snelheid van zeespiegelstijging was de aanvoer vanuit zee onvoldoende om de stijging, en de op die manier nieuw gecreëerde verticale ruimte, te compenseren (BEETS *et al.* 1994). Daardoor werd de onderwateroever geërodeerd door golf- en getijde-actie om het nodige zand aan te voeren. Dit resulteerde in erosie van de kustbarrière waardoor ook de kustlijn landwaarts migreerde. Kustbarrières, opgebouwd uit verschillende soorten zandafzettingen (zoals vloed- en ebdelta's, zeegaten, onderwateroever, strand en duinen), zijn tijdelijke vormen die zichzelf handhaven in dynamisch evenwicht met de stijgende zeespiegel door het landwaarts verplaatsen van zand (SCOR Working Group 89, 1991 ; ROY *et al.* 1995 ; ROY & BOYD 1996). Het mechanisme dat voor de opvulling van de vlakte zorgt, veroorzaakt tegelijkertijd erosie in het zeewaarts gebied.

Deze landwaartse verschuiving van getijdebekken en kustlijn duurde voort tot de snelheid van de RZS aanzienlijk verminderde rond ongeveer 7 000 BP. Daardoor kon de sedimentaanvoer de RZS bijhouden met als gevolg dat de getijdebekken geheel opvulden (BEETS *et al.* 1994). Door die opvulling verminderde de komberging van de getijdegeulen waardoor die, samen met de zeegaten, opslibden. Vanaf deze periode migreerde de kustbarrière niet meer landwaarts, maar bleef haar positie stabiel. Het is ook vanaf deze periode dat de eerste veenlagen zich ontwikkelden, voornamelijk rietveen in de vochtige gematigde klimaatgebieden en mangroveveen in de tropische gebieden (ELLISON & STODDART 1991). Die veenaccumulaties waren aanvankelijk van korte duur — enkele honderden jaren — en kenden een lokaal verspreidingspatroon omwille van het feit dat de zeespiegel nog steeds bleef stijgen, zij het dan met een verminderde snelheid. Daardoor bleef er zich verder sediment accumuleren in de getijdegeulen en in hun onmiddellijke omgeving. De laterale migratie van de getijdegeulen via het mechanisme van meanderdoorbraken of als doorbraakgeul doorheen de oeverwal leidde tot het overnemen van de drainage van de ene geul door een andere waardoor de eerste geul, of een deel ervan, verlaten werd door de eb- en vloedstroom en bijgevolg ging toeslibben (OOST & DE BOER 1994). Als dergelijk gebied lang genoeg buiten de dagelijkse invloed van de getijden bleef zodat er zich een zoetwaterzak

handhaafde, kon er zich veen accumuleren. De veelvuldige laterale verplaatsingen van de geulen in de opvullingsgeschiedenis resulteerden op die manier in laterale verschuivingen van de verschillende sedimentaire afzettingmilieus van het wad over mekaar en verklaren eveneens de lokale verspreiding van de vroegste verlandingsvenen. Het accumuleren van veen in een bepaald subgebied gebeurde dus gelijktijdig met de accumulatie van zand en klei in een ander subgebied; de lokatie van de getijdegeulen was daarbij de belangrijkste bepalende factor. Zolang er voldoende sediment voorradig was en de RZS, zij het vertraagd, nog voldoende bergingsruimte voor sediment op het wad creëerde, bleef dit mechanisme van laterale verschuiving van de verschillende afzettingmilieus en moerassen over mekaar heen, zich herhalen. Vanwege dit typische opvullingsproces is de sedimentaire sequentie afgezet in de periode tussen ongeveer 7 000 en 5 000 BP gekenmerkt door een zeer sterke variatie in lithologie en dit zowel lateraal als verticaal.

De estuaria of getijdebekkens die gekenmerkt waren door onvoldoende sedimentaanvoer om de RZS te compenseren, veranderden in lagunes die zich ontwikkelden achter de kustbarrière.

2.3. HET ZEEWAARTS UITBOUWEN VAN DE KUST

Door het relatief stabiele zeeniveau vanaf ongeveer 5 000 BP, kreeg de sedimentaanvoer de overhand op de RZS. Gezien het grootste gedeelte van de getijdebekkens opgevuld was tot op hoogwaterniveau, was er op de vlakte geen bergingsruimte voor sediment meer, althans niet voor sedimentaccumulatie door kust en mariene processen. Deze laatste zetten immers geen sedimenten af op een niveau hoger dan hoogwaterniveau bij springtij, behalve bij extreme toestanden zoals hevige stormen. De zeegaten en getijdegeulen slibden toe, de kustbarrières progradeerden en de kust kon zeewaarts uitbouwen. De monding van de rivieren die tot nu toe estuaria waren waarin zowel marien als fluviatiel sediment bezonk, vormden vanaf deze periode een bron van sediment waardoor delta's en deltavlaktes werden opgebouwd (NIEDORODA *et al.* 1985). Rivieren die echter onvoldoende fluviatiel sediment aanvoerden, bereikten dit stadium niet.

Tijdens deze periode van stabiele en zelfs uitbouwende kust in het Laat Holocene waren grote delen van de uitgestrekte vlaktes waar geen sedimentatie meer plaatsvond, gekenmerkt door intense groei van veenvormende planten. De van het grondwater afhankelijke veenaccumulaties konden gelijke tred houden met de zwakke RZS waardoor ze in sommige gebieden onafgebroken accumuleerden gedurende 2 000 à 3 000 jaar. Dit resulteerde in metersdikke veenpakketten in de landwaartse gebieden. In de meer zeewaarts gelegen gebieden werd de veengroei nog geregeld onderbroken door sedimentatie, zodanig dat de sequentie aldaar bestaat uit meerdere en dunnere veenlagen.

Vanwege de vermindering van de RZS en de opgeslibde toestand van de vlakte kon in het landwaarde gedeelte ervan fluviale sedimentatie plaatsvinden op voorwaarde dat er voldoende fluviale sedimentaanvoer was (DALRYMPLE *et al.* 1994). Op die manier kwam een nieuwe alluviale vlakte tot stand, en dit boven gemiddeld zeeniveau (fig. 1). Die alluviale vlakte kon geleidelijk zeewaarts uitbreiden, bovenop de kustafzettingen, zolang de nodige sedimenten aangebracht werden.

2.4. EROSIE VAN DE KUSTBARRIERE EN KUSTINBRAKEN

Door de algemene opslibbing van de vlakte die het sluiten van de zeegaten in het zeewaartse gebied veroorzaakte, kwam een verandering in mechanisme van sedimentaanvoer vanaf het continentaal plat tot stand zodanig dat de onderwateroever geleidelijk aan steiler werd en onderhevig was aan erosie door golven (BEETS *et al.* 1992). Daarenboven waren de sedimentbronnen, gebruikt voor de uitbouw van de kust, uitgeput geraakt zodanig dat om de steeds blijvende RZS te compenseren, nieuwe bronnen moesten gecreëerd worden. Dit gebeurde door erosie van de kustbarrière wat een terugschrijden van de kust tot gevolg had (BEETS *et al.* 1994). De erosie van de kustbarrière leidde tot kustinbraken waardoor getijdegeulen zich gingen ontwikkelen en het getijdebekken weer landwaarts migreerde waardoor de veengroei aldaar geleidelijk aan tot een einde kwam. In deze laatste gebieden had ook geen sedimentaccumulatie meer plaatsgevonden voor een lange periode. Dergelijke gebieden zijn daarenboven ook onderhevig aan bodemdaling door compactie onder hun eigen gewicht en door tektonische subsidentie (o.a. KAYE & BARGHOORN 1964, RIEKE & CHILINGARIAN 1974, EINSELE 1992). De meeste van de grote rivieren zijn immers gelokaliseerd in tektonische subsidatiebekkens (AUDLEY-CHARLES *et al.* 1977). Vanwege deze — zij het geringe — bodemdaling waren grote delen van de vlakte niet meer in evenwicht met het zeeniveau waardoor een nieuwe bergingsruimte voor de getijdegeulen tot stand kwam. Om zich aan deze nieuwe toestand aan te passen, schuurden deze laatste diepe erosiegeulen uit in de oudere afzettingen (fig. 2) (ALLEN & POSAMENTIER 1994, OOST & DE BOER 1994, BAETEMAN *et al.* 1992). De verticale erosie veroorzaakte echter ook een ontwatering van de waterverzadigde kustafzettingen en venen met compactie en bodemdaling tot gevolg, wat aanleiding gaf tot het versnellen van het mechanisme van uitbreiding van bergingsruimte. Dit mechanisme, dat resulteerde in de jongste afzettingen van de vlakte, was werkzaam tot de vlakte een niveau bereikte dat weer in evenwicht was met het zeeniveau.

2.5. DE BEDREIGING VAN HET DYNAMISCH EVENWICHT

Dit algemeen overzicht van de ontstaansgeschiedenis van de lage kustgebieden toont aan dat hun vorming en bijgevolg ook hun voortbestaan bepaald

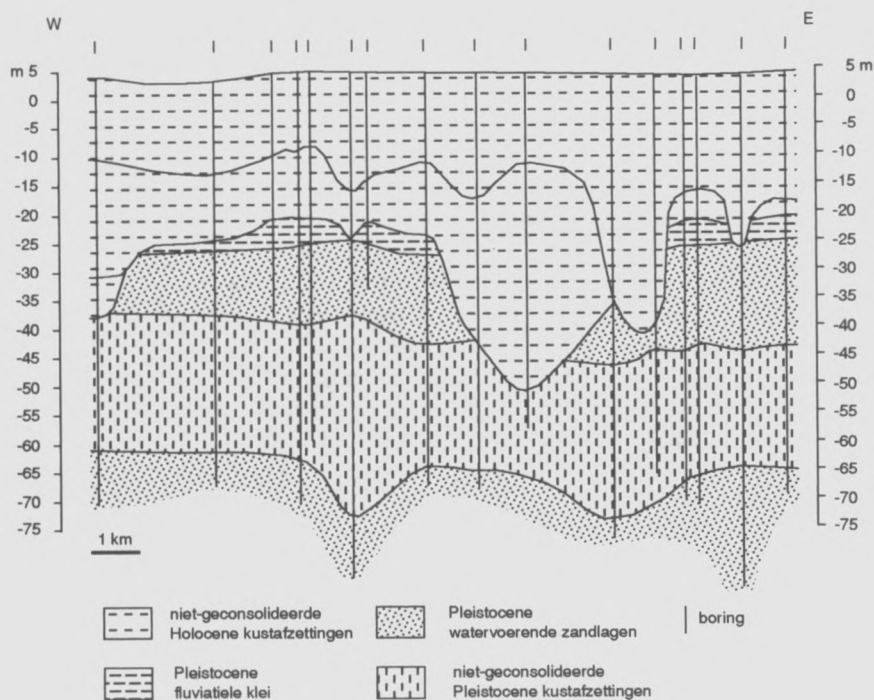


Fig. 2. — Dwarsdoorsnede door de Boven Pleistocene en Holocene afzettingen van Shanghai (China) waar op verschillende plaatsen de Pleistocene afzettingen tot een aanzienlijke diepte geërodeerd zijn door de verticale insnijding van de Holocene getijdegeulen. Het is vooral het ontbreken van de ondoordringbare compacte Pleistocene fluviale kleilaag, waardoor de watervoerende lagen niet meer afgedekt zijn van de niet-geconsolideerde afzettingen, die bij het pompen van grondwater een bodemdaling van bijna 3 m veroorzaakt heeft (naar BAETEMAN *et al.* 1992).

worden door een dynamisch evenwicht tussen hoofdzakelijk relatief zeeniveau, sedimentaanvoer, tektoniek en compactie. Deze elementen worden op hun beurt beïnvloed door een hele reeks factoren, zoals o.a. klimaat en vegetatie. Dit dynamisch evenwicht bepaalt echter de kwetsbaarheid van dergelijke gebieden. Thans vormt de tussenkomst van de mens ook een zeer bepalende factor in dit dynamisch evenwicht wat de kwetsbaarheid van het gebied nog vergroot. De natuurlijke processen reageren op de door de mens aangebrachte veranderingen door aanpassing, en het zijn die aanpassingen die als bedreigingen of natuurlijke risico's worden ervaren.

De natuurlijke risico's zijn niet alleen het gevolg van de interferentie van de mens in het dynamisch evenwicht, maar ze zijn ook het direct gevolg van de opvullingsgeschiedenis waardoor de afzettingen zeer specifieke kenmerken

hebben, wat aanleiding geeft tot problemen van zodra de mens dergelijke gebieden gaat ontginnen. Enkele aspecten van de meest voorkomende problemen in kustgebieden zullen hieronder toegelicht worden.

3. Problemen ten gevolge van de specifieke kenmerken van de afzettingen : bodemdaling, overstroming en zure gronden

Door het feit dat de opvulling van de kustvlakte gebeurde als gevolg van de stijgende zeespiegel, zijn de Holocene sedimenten er nooit op natuurlijke wijze ontwaterd geweest. Het grondwaterniveau heeft steeds gelijke tred gehouden met het stijgende zeeniveau, zodanig dat de sedimenten sterk verzadigd zijn met water. Dit is er de oorzaak van dat de sedimenten niet geconsolideerd zijn, een zeer geringe draagkracht hebben en bovenal zeer samendrukbaar zijn (EINSELE 1992). Ontwatering heeft onherroepelijk en nagenoeg onmiddellijk compactie van het sediment en bodemdaling tot gevolg.

3.1. BODEMDALING EN OVERSTROMINGEN

Bodemdaling is een zeer frequent en onvermijdelijk verschijnsel bij inpoldering van getijdegebieden. Omdat de drainage niet meer op natuurlijke wijze kan gebeuren, worden grachten en kanalen gegraven waardoor de bovenste sedimenten gaan ontwateren. Zelfs een ondiepe drainage van één tot twee decimeter veroorzaakt reeds een bodemdaling van bijna een centimeter per jaar (STEPHENS *et al.* 1984). Dergelijke bodemdaling, die aanvankelijk niet zichtbaar blijkt, maakt het gebied vooral kwetsbaar voor overstromingen vanuit land omdat door de verlaging van het maaiveld ten opzichte van het zeeniveau, overvloedige neerslag niet meer op voldoende wijze kan geëvacueerd worden. Gebieden gekenmerkt door moessonregens worden op die manier jaarlijks geteisterd door dergelijke overstromingen.

Inpolderen veroorzaakt ook overstromingen vanuit zee en dit vooral bij hevige stormen. Inpolderen impliceert het bouwen van dijken langsheen geulen waardoor in feite de komberging van de getijdegeulen op kunstmatige manier verkleind wordt. Bij hoge vloed kan het water zich dan niet meer spreiden over het supratidaal gebied waardoor het stormvloedniveau in de geulen verhoogt wat een verhoogde druk op de dijken teweegbrengt. Wanneer de dijk langsheen de geul uiteindelijk doorbreekt, zal de massa opgestapeld water met volle kracht in de lager gelegen polders stromen met catastrofale gevolgen (VOS & VAN HEERINGEN 1997).

3.2. ZINKENDE STEDEN

Veel belangrijkere bodemdalingen komen voor wanneer in kustvlaktes grondwater gepompt wordt. Bodemdaling van enkele meters is een alom

gekend fenomeen in en rondom grote steden (BAETEMAN 1994). Vanwege de zeer hoge bevolkingsdichtheid en de industrie is de vraag naar zuiver water groot en gezien de rivieren thans dermate verontreinigd zijn, vormt grondwater het enige alternatief.

De subsidentie van de grote steden is een fenomeen waarvan men thans zeer goed de oorzaken kent, evenals de geotechnische methodes om het te controleren (o.a. POLAND 1984, JOHNSON 1991). Het blijft echter nog steeds een alarmerend fenomeen, want in de praktijk is het pompen van grondwater en bijgevolg de bodemdaling niet zo gemakkelijk te controleren. De veelvuldige lithologische variaties in de ondergrond worden genegeerd of zijn niet gekend en veel te vaak wordt de Quartairgeologische gesteldheid veralgemeend en bij wijze van inleiding op postzegelformaat weergegeven. Daarenboven hebben het merendeel van de grote hotels in de megasteden van de Derde Wereld een eigen put om grondwater te pompen om zo onder meer het comfort voor de massa toeristen te kunnen garanderen. In steden zoals Jakarta, Hanoi, Haiphong, Rangoon en delen van Metro-Manila is de mate van subsidentie echter nog steeds niet goed gekend, laat staan onder controle (BAETEMAN 1994). Financiële implicaties liggen hier heel dikwijls aan de basis.

3.3. ZURE LANDBOUWGRONDEN

De alluviale vlaktes die zich ontwikkelden bovenop de sequentie van kustafzettingen zijn uitverkoren gebieden voor de landbouw (fig. 1). Alhoewel die gebieden op een iets hoger niveau liggen dan de rest van de kustvlakte en dus minder kwetsbaar zijn voor overstromingen, is de ontginning ervan voor de landbouw toch problematisch. Dergelijke ontginning impliceert meestal de aanleg van een irrigatie- en afwateringssysteem waarbij grachten en kanalen worden gegraven. De alluviale klei wordt ook veelvuldig uitgegraven voor de productie van bakstenen. Door deze menselijke activiteiten wordt de grondwatertafel verlaagd en het pyriet dat in de onderliggende kustafzettingen aanwezig is, zal oxideren tot zwavelzuur (ROY & BOYD 1996, SURYADI 1996). Dit resulteert in het ontstaan van zure sulfaatgronden die nefast zijn voor de landbouwgewassen. Het vrijkomen van zwavelzuur zal daarenboven de waterwegen verzuren en heeft een ernstige invloed op de veelzijdige aquaculturen. Heel dikwijls zijn die gebieden ook nog gekenmerkt door bodemdaling ten gevolge van compactie en oxidatie van het veen.

4. Problemen ten gevolge van het verstoren van het dynamisch evenwicht : kusterosie

Sinds de laatste decennia hebben de meeste kustlijnen van de hele wereld te kampen met erosie. Als één van de belangrijkste oorzaken werd begin van

de jaren tachtig een zeespiegelstijging ten gevolge van het broeikas-effect aangehaald (o.a. TITUS 1986, LEATHERMAN 1987, PILKEY *et al.* 1983, VELLINGA & LEATHERMAN 1989). Op basis van getijmetingen vanaf ongeveer 1700 AD heeft men achterhaald dat de zeespiegel gestegen is met een gemiddelde variërend van 10 tot 20 cm per 100 jaar (PIRAZZOLI 1986, GORNITZ & LEBEDEFF 1987). Diverse scenario's werden uitgewerkt met schattingen dat in het jaar 2000 de zeespiegel 5 tot 17 cm hoger zou liggen. Schattingen door HOFFMAN (1984) voor de meest waarschijnlijke stijging variëren van een gemiddelde snelheid per 100 jaar van 63 cm tot 95 cm tegen het jaar 2025, 79 cm tot 120 cm tegen 2050, en 130 tot 190 cm tegen 2100. Andere bronnen geven een veel kleinere schatting zoals ongeveer 50 cm per 100 jaar tegen het jaar 2050 (MEIER 1990) en een stijging van ongeveer 48 cm tegen het jaar 2100 (WIGLEY & RAPER 1992). De verschillende scenario's lopen sterk uiteen omdat de voorspelling van de algemene zeespiegelstijging heel wat extrapolatie en speculatie inhoudt vanwege de lacunes in de kennis van de dynamiek van de oceanen en ijskappen enerzijds (TOOLEY & JELGERSMA 1992) en vanwege het feit dat men de lokale veranderingen in landniveau, veroorzaakt door isostasie en neotektoniek, nog onvoldoende kent (SCOR Working Group 89, 1991) anderzijds.

Thans blijkt dat de realiteit deze voorspellingen niet als zodanig volgt en werd nog geen versnelling van de zeespiegelstijging genoteerd in het laatste decennium (SCOR Working Group 89, 1991; WRAY *et al.* 1995). De veranderingen in zeespiegel achterhaald door getijwaarnemingen tonen echter wel een aanzienlijke variabiliteit die in tijdsspanne kan variëren van dagen tot jaren met veranderingen van zeeniveau van gemiddeld 10 tot 30 cm en soms 100 cm kunnen overschrijden (KOMAR & ENFIELD 1987). Deze veranderingen op korte termijn worden onder meer veroorzaakt door veranderingen in atmosferische druk, veranderingen in windkracht en -sterkte, watertemperatuur en kuststromingen.

Naar het einde van de jaren tachtig toe beschouwde men de zeespiegelstijging niet meer als de voornaamste oorzaak van de sterke kustafslag, maar werden de overontwikkeling en slechte ruimtelijke ordening in de kuststreken, alsmede de destructieve invloed van vaste structuren door de mens in de litorale zone ingeplant (zoals zeeweringsdijken, pieren, zeehoofden of uitbaggeren van geulen, afsnijden van longitudinaal zandtransport), als belangrijkste oorzaken aangezien (DEVOY 1987, KRAUS & PILKEY 1988, O'HARA 1989).

De gecombineerde actie van de hierboven vermelde factoren zal ongetwijfeld een aanzienlijke rol spelen bij de kusterosie. De dominerende factor is echter het sedimentbudget. Zoals hierboven beschreven in de grootschalige kustdynamiek, behoren strand en duin tot de kustbarrière die in dynamisch evenwicht is met de stijgende zeespiegel. Het evenwicht wordt bereikt door het landwaarts verplaatsen van zandmassa's die vrijkomen door erosie van de onderwateroever met als gevolg een landwaarts verplaatsing van de kustbarrière en een

zichtbare erosie van de kust. Dit is een natuurlijk dynamisch proces van herverdeling van zand wat leidt tot periodieke afslag en aanwas van strand en duin, een proces dat tegelijkertijd het voortbestaan van strand en duin garandeert, weliswaar niet op dezelfde plaats (BAETEMAN 1995). Dit proces wordt een natuurlijk risico alleen wanneer immobiliën en infrastructuur te dicht bij de kustlijn werden aangebracht. De huidige kusterosie is in werkelijkheid méér dan een incidentele kustafslag door een storm. De algemene tendens van kusterosie bevestigt dat er een tekort is aan sediment, een verschijnsel dat alleen kan opgelost worden wanneer voldoende ruimte gegeven wordt aan de kustbarrière, en dus aan strand en duin, om landwaarts te migreren als respons op het tekort aan sedimentaanbod om de zeespiegelstijging te compenseren (LEATHERMAN 1987). Het hoeft geen betoog dat het ontginnen van zand en grint in de bovenloop van rivieren of het bouwen van dammen de uiteindelijke sedimentaanvoer naar zee eveneens sterk verminderen. De erosie van de kustlijn van de Nijldelta is daar een trieste bevestiging van.

5. De reactie van de mens op kusterosie

De reactie van de mens op kusterosie is kuststabilisatie ; de kustlijn stabiel en op dezelfde plaats houden om gebouwen en investeringen te vrijwaren van schade of vernietiging. Er zijn twee alternatieven om de kustlijn te stabiliseren : harde en zachte stabilisatie. Harde stabilisatie verwijst naar permanente harde structuren op een vaste plaats. Dit zijn o.a. zeeweringsdijken gebouwd evenwijdig aan de kustlijn, en golfbrekers ingeplant loodrecht op de kustlijn. Zachte stabilisatie verwijst naar zandsuppletie, dit is de kunstmatige aanvoer van vreemd zand naar het strand. Het dynamisch proces om de kustbarrière in stand te houden enerzijds en harde stabilisatie anderzijds zijn opponenten, en hun confrontatie is niet zonder gevaar. Onderzoek betreffende de invloed van harde stabilisatie tijdens de laatste twintig jaar heeft uitgemaakt dat, op enkele uitzonderingen na, zeeweringsdijken een zeer nefaste invloed hebben en op lange termijn strand en duin volledig doen verdwijnen (o.a. KRAUS & PILKEY 1988, PILKEY *et al.* 1983). De gebouwen en infrastructuur zijn weliswaar beschermd, maar het strand — de reden voor de aanwezigheid van de toerist — is verdwenen. Vanwege de nefaste invloed van harde stabilisatie is men de laatste jaren in de meeste landen overgestapt naar zandsuppletie om het strand in stand te houden. Het grote nadeel hierbij is dat het steeds opnieuw moet uitgevoerd worden waarbij enorme volumes zand met welbepaalde kenmerken ergens moeten ontgonnen worden. Deze methode impliceert een voortdurende waakzaamheid en actie en brengt zware financiële lasten met zich mee wat in derdewereldlanden vaak een onmogelijke inspanning is. Zandsuppletie moet steeds opnieuw uitgevoerd worden, omdat een artificieel strand namelijk veel sneller verdwijnt dan zijn natuurlijke voorganger (PILKEY

et al. 1983). Daarom probeert men thans ook de onderwateroever artificieel op te hogen in plaats van alleen maar het strand. Op die manier krijgt de kustbarrière een groter volume zand en kan de natuurlijke tendens van landwaartse migratie enigszins gematigd worden. De financiële lasten worden weliswaar nog zwaarder.

6. Besluit

Kustvlakte en kustlijn zijn vanwege hun dynamisch karakter zeer gevoelig voor de kleinste verandering die zich voordoet op land en in zee. De intense aanwezigheid van de mens heeft dergelijk gebied uiterst kwetsbaar gemaakt voor natuurlijke risico's. De gebieden als zodanig worden niet bedreigd, maar wel de miljoenen mensen die er leven en hun industriële en economische infrastructuur en investeringen. De specifieke natuurlijke risico's die de gebieden voortdurend bedreigen, zijn niets anders dan de natuurlijke geologische processen werkzaam om het gebied van nature uit in stand te houden. Kustvlakte en kustlijn moeten daarom niet verdedigd worden tegen natuurlijke risico's. Ze bezitten van nature uit alle elementen om zichzelf te verdedigen, onder natuurlijke omstandigheden, weliswaar. Het zijn de geologische processen en het dynamisch evenwicht die het gebied in stand houden, die moeten beschermd worden. Die bescherming impliceert echter een degelijk beleid vanwege de overheid. Het is dan ook noodzakelijk dat het beleid de geologische processen erkent en het dynamische aspect ervan aanvaardt. Maar het beleid moet vooral bereid zijn om de belangen en de veiligheid van de gehele kustbevolking af te wegen tegen het winstbejag van enkele projectontwikkelaars.

De geologische processen die de vorming en de evolutie van kustvlakte en kustlijn bepalen alsook de geotechnische kenmerken van de kustafzettingen zijn in het algemeen vrij goed gekend. Ook de diverse invloeden van de menselijke tussenkomsten werden reeds grondig bestudeerd en bekritiseerd in de wetenschappelijke literatuur. De conclusies ervan worden nog steeds niet ten volle benut of geïntegreerd in de beleidsplannen van de overheid; ze worden trouwens moedwillig genegeerd door de projectontwikkelaars die uitsluitend gedreven zijn door winstbejag. De dagelijkse realiteit leert ons dat vaste bebouwing en infrastructuur nog steeds veel te dicht bij de kustlijn worden geplaatst, dat de sedimentaanvoer nog steeds verhinderd wordt door het bouwen van dammen op grote rivieren, dat getijdegebieden die met moeite boven water komen, nog steeds op grote schaal ingepolderd worden, enz.

Vele van de specifieke risico's die miljoenen mensenlevens in de kustvlakte permanent bedreigen zouden in sterke mate kunnen gematigd worden als de geowetenschapper erin zou slagen de resultaten van zijn onderzoek mee te delen aan planners en beleidsmensen opdat ze zouden kunnen geïntegreerd worden in een algemeen kustbeleid waarin mens en natuur minstens even waardevol geschat worden als de financiële en economische normen.

BIBLIOGRAFIE

- ALLEN, P. & POSAMENTIER, H. W. 1994. Transgressive facies and sequence architecture in mixed tide and wave-dominated incised valleys : example from the Gironde Estuary, France. — *In* : DALRYMPLE, R. W., BOYD, R. & ZAITLIN, B. A. (eds.), Incised-valley systems : origin and sedimentary sequences. *Society for Sedimentary Geology* (Special Publication), **51** : 225-240.
- AUDLEY-CHARLES, M., CURRAY, J. & EVANS, G. 1977. Location of major deltas. — *Geology*, **5** : 341-344.
- BAETEMAN, C. 1994. Subsidence in coastal lowlands due to groundwater withdrawal : the geological approach. — *In* : FINKL, C. W. Jnr. (ed.), Coastal Hazards, Perception, Susceptibility and Mitigation. *Journal of Coastal Research* (Special Issue), **12** : 61-75.
- BAETEMAN, C. 1995. De conflictsituatie tussen natuur en toerisme in het kustgebied. — *De Aardrijkskunde*, **3** : 5-20.
- BAETEMAN, C., BOGEMANS, F., GOVAERT, E., HUANZHONG, H. & JINGXIN, L. 1992. The Quaternary deposits of the Changjiang Coastal Plain (Shanghai Area). — *Bull. Intern. Assoc. Eng. Geol.*, **46** : 7-23.
- BEETS, D. J., VAN DER SPEK, A. J. F. & VAN DER VALK, L. 1994. Holocene ontwikkeling van de Nederlandse kust. — Rijks Geologische Dienst rapport 40 016 - Project Kustgenese, 53 pp.
- BEETS, D. J., VAN DER VALK, L. & STIVE, M. J. F. 1992. Holocene evolution of the coast of Holland. — *Marine Geology*, **103** : 423-443.
- BELKNAP, D. F. & KRAFT, J. C. 1977. Holocene relative sea-level changes and coastal stratigraphic units on the northwest flank of the Baltimore Canyon Trough geosyncline. — *Journal of Sedimentary Petrology*, **47** : 610-629.
- DALRYMPLE, R. W., BOYD, R. & ZAITLIN, B. A. 1994. History of research, valley types and internal organization of incised-valley systems : Introduction to the volume. — *In* : DALRYMPLE, R. W., BOYD, R. & ZAITLIN, B. A. (eds.), Incised-valley systems : origin and sedimentary sequences. *Society for Sedimentary Geology* (Special Publication), **51** : 225-240.
- DEVOY, R. J. N. 1987. Sea-level applications and management. — *Progress in Oceanography*, **18** : 273-286.
- EINSELE, G. 1992. Sedimentary Basins. — Springer-Verlag, Berlin, 628 pp.
- ELLISON, J. C. & STODDART, D. R. 1991. Mangrove ecosystem collapse during predicted sea-level rise : Holocene analogues and implications. — *Journal of Coastal Research*, **7** (1) : 151-165.
- FINKL, C. W. Jnr. (ed.) 1994. Coastal Hazards, Perception, Susceptibility and Mitigation. — *Journal of Coastal Research* (Special Issue), **12** : 372.
- GORNITZ, V. M. & LEBEDEFF, S. 1987. Global sea-level changes during the past century. — *In* : NUMMEDAL, D., PILKEY, O. H. & HOWARD, J. D. (eds.), Sea-level fluctuations and coastal evolution. *S.E.P.M.* (Special Publication), **41** : 3-16.
- HOFFMAN, J. S. 1984. Estimates of future sea-level rise. — *In* : BARTH, M. C. & TITUS, J. G. (eds.), Greenhouse effect and sea-level rise : a challenge for this generation. Van Nostrand Reinhold, New York, pp. 79-104.
- JOHNSON, A. I. (ed.) 1991. Land Subsidence. — Proceedings of the Fourth International

- Symposium on Land Subsidence (Houston, May 1991), IAHS Publication, No. 200, 690 pp.
- KAYE, C. A. & BARGHOORN, E. S. 1964. Late Quaternary sea-level and crustal rise at Boston, Massachusetts, with notes on the autocompaction of peat. — *Geol. Soc. Am. Bull.*, **75** : 63-80.
- KOMAR, P. D. & ENFIELD, D. B. 1987. Short-term sea-level changes and coastal erosion. — *In* : NUMMEDAL, D., PILKEY, O. H. & HOWARD, J. D. (eds.), Sea-level fluctuations and coastal evolution. *S.E.P.M.* (Special Publication), **41** : 17-27.
- KRAUS, N. C. & PILKEY, O. H. (eds.) 1988. The effect of seawalls on the beach. — *Journal of Coastal Research* (Special Issue), **4** : 146.
- LEATHERMAN, S. P. 1987. Beach and shoreface response to sea-level rise : Ocean City, Maryland, U.S.A. — *Progress in Oceanography*, **18** : 139-149.
- MEIER, M. F. 1990. Reduced rise in sea level. — *Nature*, **343** : 115-116.
- NIEDORODA, A., SWIFT, D. & HOPKINS, T. 1985. The Shoreface. — *In* : DAVIS, R., Jnr. (ed.), Coastal Sedimentary Environments, Springer-Verlag, New York, pp. 533-624.
- O'HARA, N. W. 1989. Eroding shorelines. — *Geotimes*, April : 3-5.
- OOST, A. P. & DE BOER, P. L. 1994. Sedimentology and development of barrier islands, ebb-tidal deltas, inlets and backbarrier areas of the Dutch Wadden Sea. — *Senckenbergiana Maritima*, **24** : 65-115.
- PILKEY, O. H. Sr., PILKEY, W. D., PILKEY, O. H. Jnr. & NEAL, W. J. 1983. Coastal Design. A guide for builders, planners, and home owners. — Van Nostrand Reinhold Company, New York, 224 pp.
- PIRAZZOLI, P. A. 1986. Secular trends of relative sea-level (RSL) changes indicated by tide-gauge records. — *Journal of Coastal Research* (Special Issue), **1** : 1-126.
- POLAND, J. F. 1984. Guidebook to studies of land subsidence due to ground-water withdrawal. — Studies and reports in Hydrology, Unesco, No. 40, 305 pp.
- RIEKE, H. & CHILINGARIAN, G. (eds.) 1974. Compaction of argillaceous sediments. — Developments in Sedimentology, Elsevier SCI Publ., Amsterdam, 16, 424 pp.
- ROY, P. S. & BOYD, R. 1996. Quaternary Geology of a Tectonically Stable, Wave-Dominated, Sediment-Deficient Margin, Southeast Australia. — IGCP Project # 367, Field Guide to the Central New South Wales Coast (November 1996). New South Wales Geological Survey, Sydney, 174 pp.
- ROY, P. S., COWELL, P. J., FERLAND, M. A. & THOM, B. G. 1995. Wave-dominated coasts. — *In* : CARTER, R. W. G. & WOODROFFE, C. D. (eds.), Coastal evolution : Late Quaternary shoreline morphodynamics. University Press, Cambridge, pp. 121-186.
- SCOR Working Group 89, 1991. The response of beaches to sea-level changes : a review of predictive models. — *Journal of Coastal Research*, **7** (3) : 895-921.
- STEPHENS, J. C., ALLEN, L. H. Jnr. & CHEN, E. 1984. Organic soil subsidence. — *In* : HOLZER, T. L. (ed.), Man-induced land subsidence. Reviews in Engineering Geology, VI, Geol. Soc. of America, pp. 107-122.
- SURYADI, F. X. 1996. Soil and water management strategies for tidal lowlands in Indonesia. — Balkema, Rotterdam, pp. 1-35.
- TITUS, J. G. 1986. Greenhouse effect, sea-level rise, and coastal zone management. — *Coastal Zone Management Journal*, **14** (3) : 147-171.

- TOOLEY, M. & JELGERSMA, S. (eds.) 1992. Impact of sea-level rise on European coastal lowlands. — Blackwell, Oxford, 265 pp.
- VELLINGA, P. & LEATHERMAN, S. P. 1989. Sea-level rise, consequences and policies. — *Climatic Change*, **15** : 175-189.
- VOS, P. C. & VAN HEERINGEN, R. M. 1997. Holocene geology and occupation history of the Province of Zeeland. — In : FISCHER, M. M. (ed.), Holocene evolution of Zeeland (SW Netherlands). *Mededelingen Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen TNO*, **59** : 5-109.
- WIGLEY, T. M. L. & RAPER, S. C. B. 1992. Implications for climate and sea level of revised IPCC emissions scenarios. — *Nature*, **357** : 293-300.
- WRAY, R. D., LEATHERMAN, S. P. & NICHOLLS, R. J. 1995. Historic and future land loss for upland and marsh islands in the Chesapeake Bay, Maryland, U.S.A. — *Journal of Coastal Research*, **11** (4) : 1195-1203.
- ZAITLIN, B. A., DALRYMPLE, R. W. & BOYD, R. 1994. The stratigraphic organisation of incised-valley systems associated with relative sea-level change. — In : DALRYMPLE, R.W., BOYD, R. & ZAITLIN, B.A. (eds.), Incised-valley systems : origin and sedimentary sequences. *Society for Sedimentary Geology* (Special Publication), **51** : 45-60.

Zitting van 27 maart 1998

(Uittreksel van de notulen)

De zitting wordt om 14 u. 30 geopend door M. J. J. Peters, Directeur, bijgestaan door Mevr. Y. Verhasselt, Vast Secretaris.

Zijn bovendien aanwezig : de HH. Jean Charlier, J. De Cuyper, H. Deelstra, A. Deruyttere, P. Fierens, G. Heylbroeck, R. Leenaerts, W. Loy, J. Michot, R. Paepe, R. Sokal, A. Sterling, F. Suykens, R. Thonnard, R. Tillé, W. Van Impe, werkende leden ; M. L. Dejonghe, geassocieerd lid ; en M. J.-J. Symoens, Erevast Secretaris.

Betuigden hun spijt niet aan de zitting te kunnen deelnemen : de HH. E. Aernoudt, P. Beckers, Jacques Charlier, E. Cuypers, J. Debevere, P. De Meester, C. De Meyer, A. François, P. Goossens, A. Jaumotte, A. Lejeune, L. Martens, A. Monjoie, H. Paelinck, J. Poesen, J. Roos, T. Van Frachen, U. Van Twembeke.

De statistische evaluatie van diamantafzettingen

M. L. Rombouts, Terraconsult, stelt een mededeling voor getiteld als hierboven.

De HH. Jean Charlier, P. Fierens, R. Sokal, L. Dejonghe, W. Loy en J. De Cuyper nemen aan de bespreking deel.

De HH. R. Tillé en J. De Cuyper worden als verslaggevers aangeduid.

Wedstrijd 2000

Zoals tijdens de februarizitting door de Klasse beslist, wordt de vijfde vraag van de wedstrijd 1997 voor het jaar 2000 hernomen :

Er wordt een vergelijkende technisch-economische evaluatie gevraagd van de havenindustrialisering in de ontwikkelde landen, de landen in transitie en de ontwikkelingslanden.

De Klasse legt de tekst van de zesde vraag voor de wedstrijd 2000 als volgt vast :

Er wordt een studie gevraagd over de relevantie van privatisering als middel voor bevordering van economische vooruitgang in derdewereldlanden.

Prijs voor Havenstudies Directeur-generaal Fernand Suykens

Conform artikel 7 b) van het reglement, duidt de Klasse de HH. Jacques Charlier en H. Paelinck als juryleden voor de Prijs voor Havenstudies Directeur-generaal Fernand Suykens aan.

Séance du 27 mars 1998

(Extrait du procès-verbal)

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

Sont en outre présents : MM. Jean Charlier, J. De Cuyper, H. Deelstra, A. Deruyttere, P. Fierens, G. Heylbroeck, R. Leenaerts, W. Loy, J. Michot, R. Paepe, R. Sokal, A. Sterling, F. Suykens, R. Thonnard, R. Tillé, W. Van Impe, membres titulaires ; M. L. Dejonghe, membre associé ; et M. J.-J. Symoens, Secrétaire perpétuel honoraire.

Ont fait part de leur regret de ne pouvoir assister à la séance : MM. E. Aernoudt, P. Beckers, Jacques Charlier, E. Cuypers, J. Debevere, P. De Meester, C. De Meyer, A. François, P. Goossens, A. Jaumotte, A. Lejeune, L. Martens, A. Monjoie, H. Paelinck, J. Poesen, J. Roos, T. Van Frachen, U. Van Twembeke.

«De statistische evaluatie van diamantafzettingen»

M. L. Rombouts, Terraconsult, présente une communication intitulée comme ci-dessus.

MM. Jean Charlier, P. Fierens, R. Sokal, L. Dejonghe, W. Loy et J. De Cuyper interviennent dans la discussion.

MM. R. Tillé et J. De Cuyper sont désignés en qualité de rapporteurs.

Concours 2000

Comme décidé lors de la séance de février, la Classe reprend pour la cinquième question du concours 2000, celle posée en 1997, à savoir :

On demande une évaluation technico-économique comparée de l'industrialisation portuaire dans les pays développés, en transition et en développement.

La Classe établit comme suit le texte de la sixième question du concours 2000 :

On demande une étude sur l'impact de la privatisation comme moyen de stimulation du progrès économique dans les pays du Tiers-Monde.

Prix pour les Etudes portuaires Directeur général Fernand Suykens

Conformément à l'article 7 b) du règlement, la Classe désigne MM. Jacques Charlier et H. Paelinck comme membres du jury du Prix pour les Etudes portuaires Directeur général Fernand Suykens.

Denkgroep „Congo”

De subgroep „Documentatie : Inventariseren en archiveren” van de denkgroep „Congo” vergaderde op woensdag 18 februari jl. De groep vraagt de leden van de drie Klassen een overzicht te geven van domeinen waarvoor er archieven beschikbaar en toegankelijk zijn. De bedoeling is een gids van de inventarissen en archieven over Congo op te stellen.

M. R. Paepe meldt dat de Belgische Geologische Dienst en het Koninklijk Museum voor Midden-Afrika samen een inventaris van de archieven over geologie voorbereiden.

Wat de meteorologie betreft, beschikt het Koninklijk Meteorologisch Instituut over een grote hoeveelheid documentatie.

Voor de hydrologie verwijzen de HH. J. J. Peters en Jean Charlier naar de laboratoria voor hydrologisch onderzoek van de Ministeries voor Milieu en openbare werken van beide gewesten.

Samenwerking Academie - Kabinet van Minister Moreels

De Vast Secretaris heeft de mogelijkheden van de samenwerking met het Kabinet van Minister Moreels onderzocht. Thema's worden aan de leden gevraagd.

Een mogelijkheid zou zijn een onderzoek m.b.t. de organisatieproblemen van de essentiële netwerken zoals vervoer, gezondheid, opvoeding, landbouw om hun werking in de ontwikkelingslanden te verbeteren. Dit onderwerp zou eerst in zijn geheel kunnen bestudeerd worden. Daarna zouden prioriteiten kunnen bepaald worden.

Een werkgroep zou moeten samengesteld worden. Gezien het dringend karakter, zal dit punt op de vergadering van de denkgroep „Congo” van 1 april besproken worden.

„Réseau des Académies des pays méditerranéens”

Op de volgende vergadering van dit netwerk, die op 24 en 25 april 1998 in Parijs zal plaatsvinden, moeten de deelnemers thema's voorstellen.

M. F. Suykens stelt als thema voor : de havenontwikkeling in het Middellandse-Zeebekken. Dit zeer actuele thema zal binnenkort het onderwerp van een Congres zijn.

Broeikaseffect

M. E. De Langhe, lid van de Klasse voor Natuur- en Geneeskundige Wetenschappen, heeft voorgesteld een activiteit over het broeikaseffect te organiseren.

Een werkgroep, waarbij de belangstellenden zich kunnen aansluiten, werd samengesteld.

De zitting wordt om 17 u. gegeven.

Groupe de réflexion «Congo»

Le sous-groupe «Documentation : inventaire et archivage» du groupe de réflexion «Congo» s'est réuni le 18 février 1998. Il demande aux membres des trois Classes de lui fournir une liste des domaines pour lesquels des archives sont disponibles et accessibles. L'objectif est de réaliser un guide des inventaires et archives sur le Congo.

M. Paepe signale que le Service Géologique de Belgique et le Musée Royal de l'Afrique Centrale réalisent ensemble un inventaire des archives sur la géologie.

En ce qui concerne la météorologie, une quantité importante de documentation est accessible à l'Institut Royal de Météorologie.

Pour l'hydrologie, MM. J. J. Peters et Jean Charlier font référence aux laboratoires de recherche hydrologique des Ministères de l'Environnement et des Travaux publics des deux régions.

Collaboration Académie - Cabinet du Ministre Moreels

La Secrétaire perpétuelle a exploré les possibilités de collaboration avec le Cabinet du Ministre Moreels. Des thèmes sont demandés aux membres.

Une possibilité serait de réfléchir sur les problèmes d'organisation des réseaux essentiels comme les transports, la santé, l'enseignement et l'agriculture en vue d'améliorer leur fonctionnement dans les pays en voie de développement. Le sujet pourrait être étudié dans un premier temps dans son ensemble. Ensuite, des priorités devraient être dégagées.

Un groupe de travail devrait être constitué. Vu l'urgence, ce point sera discuté à la réunion du groupe de réflexion «Congo» du 1^{er} avril.

Réseau des Académies des pays méditerranéens

Dans le cadre de la prochaine réunion de ce réseau qui se tiendra à Paris les 24 et 25 avril 1998, des thèmes devront être proposés par les participants.

M. F. Suykens propose comme thème le développement portuaire du bassin de la Méditerranée. Ce thème très actuel fera l'objet prochainement d'un congrès.

Effet de serre

M. E. De Langhe, membre de la Classe des Sciences naturelles et médicales, a proposé d'organiser une activité sur l'effet de serre. Un groupe de travail, auquel les membres intéressés peuvent se joindre, a été constitué.

La séance est levée à 17 h.

INHOUDSTAFEL — TABLE DES MATIERES

Agenda 1999	98
-------------------	----

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

Zitting van 20 januari 1998 / Séance du 20 janvier 1998	100 ; 101
Zitting van 17 februari 1998 / Séance du 17 février 1998	102 ; 103
P. BOUVIER. — Essai sur la conflictualité en Afrique subsaharienne. Etiologie d'une endémie politique	105
Zitting van 17 maart 1998 / Séance du 17 mars 1998	120 ; 121
P. RAYMAEKERS. — Préhistoire et protohistoire du Haut-Comoé	125

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

Zitting van 27 januari 1998 / Séance du 27 janvier 1998	146 ; 147
P. G. JANSSENS. — Charles Nicolle. Réflexions induites par «Le Pommier et l'Olivier», la biographie fondamentale par Maurice Huet	149
Zitting van 24 februari 1998 / Séance du 24 février 1998	170 ; 171
Zitting van 24 maart 1998 / Séance du 24 mars 1998	174 ; 175

Klasse voor Technische Wetenschappen Classe des Sciences techniques

Zitting van 30 januari 1998 / Séance du 30 janvier 1998	180 ; 181
P. GOOSSENS. — Métallogénie quantitative et prévisionnelle de l'or dans le monde ; comparaison avec son potentiel en Afrique occidentale	185
W. DE VOS. — De dynamische aardmantel en de gevolgen voor de aardkorst.....	211
Zitting van 27 februari 1998 / Séance du 27 février 1998	236 ; 237
P. FIERENS. — La méthode éducative de «l'enfant pour l'enfant» : une recherche- action multi-disciplinaire de terrain au Katanga	241
C. BAETEMAN. — Is het de natuur of de mens die een bedreiging vormt voor kusten en polders ?	257
Zitting van 27 maart 1998 / Séance du 27 mars 1998	274 ; 275

CONTENTS

Activities 1999	98
Section of Moral and Political Sciences	
Meeting held on 20 January 1998	100
Meeting held on 17 February 1998	102
P. BOUVIER. — Essay on the Conflictuality in sub-Saharan Africa. Etiology of a Political Endemic	105
Meeting held on 17 March 1998	120
P. RAYMAEKERS. — Prehistory and Protohistory of the Haut-Comoé (Ivory Coast)	125
Section of Natural and Medical Sciences	
Meeting held on 27 January 1998	146
P. G. JANSSENS. — Charles Nicolle. Reflections Brought by "Le Pommier et l'Olivier", the Fundamental Biography by Maurice Huet	149
Meeting held on 24 February 1998	170
Meeting held on 24 March 1998	174
Section of Technical Sciences	
Meeting held on 30 January 1998	180
P. GOOSSENS. — Global Quantitative Gold Metallogeny and Projections to the Future ; Comparison with the Potential of West Africa	185
W. DE VOS. — Earth Mantle Dynamism and Consequences for the Crust	211
Meeting held on 27 February 1998	236
P. FIERENS. — The Educational Method "the Child for the Child" : a Multi- disciplinary Field Research-action in Katanga	241
C. BAETEMAN. — Is it Nature or Man which is Threatening Coasts and Polders ?	257
Meeting held on 27 March 1998	274