

## Séance du 28 mai 1996

(Extrait du procès-verbal)

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

*Sont en outre présents* : MM. J. Alexandre, E. Bernard, E. De Langhe, J. D'Hoore, R. Dudal, L. Eyckmans, A. Fain, C. Fieremans, P. Gigase, P. G. Janssens, F. Malaisse, H. Maraite, J.-C. Micha, J. Mortelmans, G. Stoops, J.-J. Symoens, P. Van der Veken, E. Van Ranst, membres titulaires ; MM. J. Bolyn, P. Goyens, J.-M. Jadin, S. Pattyn, J. Rammeloo, R. Swennen, J. Vercruyse, membres associés.

*Ont fait part de leur regret de ne pouvoir assister à la séance* : MM. M. De Dapper, F. De Meuter, A. de Scoville, S. Geerts, J. Jadin, A. Lawalrée, D. Le Ray, H. Nicolai, Mme F. Portaels, MM. M. Reynders, E. Robbrecht, J. Semal, C. Sys, E. Tollens, H. Vis, M. Wéry.

Le Directeur accueille M. R. Swennen, membre associé, qui assiste pour la première fois à nos séances.

### Décès de MM. Jozef Cap et Antoine Saintraint

Le Directeur annonce le décès de M. J. Cap, membre titulaire honoraire, survenu à Sint-Niklaas le 22 avril 1996. M. Cap a exprimé le désir que l'annonce de son décès soit limitée à cette simple mention.

Le Directeur annonce ensuite le décès de M. A. Saintraint, membre associé honoraire, survenu à Anderlecht le 5 mai 1996.

Il retrace brièvement la carrière du Confrère disparu.

La Classe se recueille à la mémoire des deux Confrères.

M. J. Mortelmans accepte la rédaction de l'éloge de M. Saintraint.

### «Cryopreservatie van bananen (*Musa* spp.) genenplasma»

M. B. Panis, lauréat du concours 1995, présente le résumé de son travail couronné, destiné à être publié dans le *Bulletin des Séances* (pp. 521-535).

MM. H. Maraite, P. Van der Veken, S. Pattyn, J. Rammeloo, E. De Langhe, L. Eyckmans et R. Swennen interviennent dans la discussion.

„La trypanosomiase en Angola à l'aube du 20<sup>e</sup> siècle.  
Réflexions sur les épidémies des bassins du Cuanza et du Congo  
(Notes historiques)”

M. P. G. Janssens stelt een mededeling voor getiteld als hierboven.

De HH. J.-M. Jadin, J. Mortelmans, A. Fain en P. Gigase nemen aan de bespreking deel.

De Klasse beslist deze studie in de *Mededelingen der Zittingen* te publiceren (pp. 537-569).

**Wedstrijd 1996**

Eén werk werd ingediend in antwoord op de derde vraag van de jaarlijkse wedstrijd 1996 „Er wordt een experimentele studie gevraagd in verband met de parasieten van mens en/of dieren in de tropen”, namelijk :

PLASMAN, N. : Etude des fonctions effectrice et inductrice des macrophages parasités par *Trypanosoma cruzi*.

De HH. F. De Meuter, J. Vercruyse en D. Le Ray worden als verslaggever aangeduid.

Eén werk werd ingediend in antwoord op de vierde vraag van de jaarlijkse wedstrijd 1996 „Er wordt een studie gevraagd over de genese en de karakterisering van recente en subrecente zoutafzettingen in de warm-aride en semi-aride gebieden”, namelijk :

MEES, F. : Petrological studies of perennial saline lake deposits and ground-water deposits of a dry lake basin.

De HH. E. Van Ranst, D. Demaiffe en M. Deliens worden als verslaggever aangeduid.

**Jean-Jacques en Berthe Symoens Prijs voor Tropische Limnologie**

Conform artikel 9 van het reglement, heeft de Selectiecommissie van de Prijs haar verslag aan de Klasse voor Natuur- en Geneeskundige Wetenschappen overgemaakt.

Twee werken werden ingediend :

KIZITO, Y. 1995. Studies of the Zooplankton of two Western Uganda Crater Lakes, Nkuruba and Nyahiryia, with Special Emphasis on the Bionomics and Productivity of the Cyclopoids. — Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades an der Naturwissenschaftlichen, Fakultät der Universität Salzburg, 144 pp.

**La trypanosomiase en Angola à l'aube du 20<sup>e</sup> siècle.  
Réflexions sur les épidémies des bassins du Cuanza et du Congo  
(Notes historiques)**

M. P. G. Janssens présente une communication intitulée comme ci-dessus. MM. J.-M. Jadin, J. Mortelmans, A. Fain et P. Gigase interviennent dans la discussion.

La Classe décide de publier cette étude dans le *Bulletin des Séances* (pp. 537-569).

**Concours 1996**

Un travail a été introduit en réponse à la troisième question du concours annuel 1996 intitulée : «On demande une étude expérimentale sur les parasites de l'homme et/ou des animaux en milieu tropical», à savoir :

PLASMAN, N. : Etude des fonctions effectrice et inductrice des macrophages parasités par *Trypanosoma cruzi*.

MM. F. De Meuter, J. Vercruyse et D. Le Ray sont désignés en qualité de rapporteurs.

Un travail a été introduit en réponse à la quatrième question du concours annuel 1996 intitulée : «On demande une étude sur la genèse et la caractérisation de dépôts salins récents et subrécents dans les régions arides chaudes et semi-arides» à savoir :

MEES, F. : Petrological studies of perennial saline lake deposits and groundwater deposits of a dry lake basin.

MM. E. Van Ranst, D. Demaiffe et M. Deliens sont désignés en qualité de rapporteurs.

**Prix Jean-Jacques et Berthe Symoens de Limnologie tropicale 1996**

Conformément à l'article 9 du règlement, la Commission de Sélection du Prix a communiqué son rapport à la Classe des Sciences naturelles et médicales.

Deux travaux ont été introduits :

KIZITO, Y. 1995. Studies of the Zooplankton of two Western Uganda Crater Lakes, Nkuruba and Nyahiryra, with Special Emphasis on the Bionomics and Productivity of the Cyclopoids. — Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades an der Naturwissenschaftlichen, Fakultät der Universität Salzburg, 144 pp.

LEONARD, V. 1995. Les plantes aquatiques, et notamment *Azolla*, sources d'aliments valables pour les poissons? — In: SYMOENS, J.-J. & MICHA, J.-C. 1995. L'aménagement des écosystèmes agro-piscicoles d'eau douce en milieu tropical (Bruxelles, 16-19 mai 1994). Centre Technique de Coopération Agricole et Rurale et Académie Royale des Sciences d'Outre-Mer, pp. 553-572.

De Klasse beslist eenparig de prijs toe te kennen aan M. Y. Kizito.

De prijs ter waarde van 100 000 BF zal hem overhandigd worden tijdens de academische openingszitting van 23 oktober 1996. De auteur zal de titel dragen van „Laureaat van de Jean-Jacques en Berthe Symoens Prijs voor Tropische Limnologie”.

De zitting wordt om 16 u. 55 gegeven.

LEONARD, V. 1995. Les plantes aquatiques, et notamment Azolla, sources d'aliments valables pour les poissons? — *In*: SYMOENS, J.-J. & MICHA, J.-C. 1995. L'aménagement des écosystèmes agro-piscicoles d'eau douce en milieu tropical (Bruxelles, 16-19 mai 1994). Centre Technique de Coopération Agricole et Rurale et Académie Royale des Sciences d'Outre-Mer, pp. 553-572.

La Classe décide à l'unanimité d'attribuer le prix à M. Y. Kizito.

Le prix de 100 000 FB lui sera remis lors de la séance académique d'ouverture du 23 octobre. L'auteur prendra le titre de «Lauréat du Prix Jean-Jacques et Berthe Symoens de Limnologie tropicale».

La séance est levée à 16 h 55.

## Cryopreservatie van bananen (*Musa* spp.) genenplasma \*

door

B. PANIS \*\*

TREFWOORDEN. — Banaan ; Cryopreservatie, Genenbank ; *In vitro* cultuur ; *Musa* spp.

SAMENVATTING. — De cultuur van bananen wordt wereldwijd bedreigd door verschillende ziekten en plagen. Het is daarom belangrijk nieuwe, resistente variëteiten te ontwikkelen maar ook het bestaande genenplasma op een veilige manier te bewaren. Momenteel wordt in het INIBAP transit centre (Laboratorium voor Tropische Plantenteelt, K.U.-Leuven) de grootste bananencollectie bewaard als *in vitro* prolifererende meristemen bij trage groeiomstandigheden (gereduceerd licht en lage temperatuur). Alhoewel deze methode geschikt is voor actieve collecties wordt cryopreservatie verkozen voor basiscollecties van vegetatief vermeerderde gewassen, daar bij ultralage temperaturen ( $-196^{\circ}\text{C}$ ) alle chemische en metabolische processen worden stilgelegd. Hierdoor wordt het mogelijk materiaal gedurende een onbepaalde periode te bewaren. Embryogene *Musa*-celsuspensies kunnen cryogeen bewaard worden na traag vriezen in aanwezigheid van een cryoprotectante stof (dimethylsulfoxide). Aldus wordt het mogelijk deze suspensies, die eveneens het uitgangsmateriaal zijn voor de genetische transformatie, op een stabiele wijze te stockeren. Er werd eveneens een eenvoudige methode ontwikkeld voor de cryopreservatie van *in vitro* prolifererende meristemen van banaan. Deze methode maakt gebruik van een voorcultuur op media met hoge suikerconcentraties waarna de behandelde meristemen snel worden ingevroren. Dit werd reeds succesvol toegepast op twaalf variëteiten behorende tot verschillende genomische *Musa*-groepen.

MOTS-CLES. — Bananier ; Banque génétique ; Cryoconservation ; Culture *in vitro* ; *Musa* spp.

RESUME. — *Cryoconservation du matériel génétique du bananier* (*Musa* spp.). — La culture du bananier est menacée dans le monde entier par plusieurs maladies et fléaux. Il est donc nécessaire de développer des variétés plus résistantes et aussi de conserver le matériel génétique existant sans risques. A l'heure actuelle, la plus grande collection mondiale de *Musa* est conservée *in vitro* sous forme de méristèmes proliférant en état de croissance ralentie (lumière réduite et basse température) au centre de transit de l'INIBAP (Laboratoire des plantes tropicales, K.U.-Leuven). Malgré l'obtention d'une collection active, une collection de base des plantes se multipliant végétativement

\* Lezing gehouden tijdens de zitting van de Klasse voor Natuur- en Geneeskundige Wetenschappen van 28 mei 1996. Tekst ontvangen op 1 juli 1996.

\*\* Laboratorium Tropische Plantenteelt, Faculteit Landbouwkundige en Toegepaste Biologische Wetenschappen, Katholieke Universiteit Leuven, Kardinaal Mercierlaan 92, B-3001 Heverlee (België).

cryoconservées est préférable car, à une température ultrabasse ( $-196^{\circ}\text{C}$ ), toutes les réactions chimiques et métaboliques sont arrêtées. On peut ainsi conserver le matériel pendant des périodes illimitées. Des suspensions cellulaires embryogéniques de *Musa* peuvent être conservées dans de l'azote liquide après une congélation lente en présence d'une solution cryoprotectrice (diméthylsulphoxide). Il est donc possible de stocker sans risques ces suspensions, qui peuvent aussi servir de matériel de départ au génie génétique. Nous avons également développé une méthode simple de cryoconservation pour des méristèmes proliférants de *Musa*. Cette méthode implique une phase de préculture sur des milieux contenant des concentrations élevées en saccharose, suivie d'une congélation rapide dans l'azote liquide. Ce protocole a été appliqué avec succès sur douze variétés appartenant à des groupes distincts de *Musa*.

**KEYWORDS.** — Banana ; Cryopreservation ; Gene bank ; *In vitro* cultivation ; *Musa* spp.

**SUMMARY.** — *Cryopreservation of banana (Musa spp.) germplasm.*— Banana cultivation is worldwide threatened by many plagues and diseases. It is therefore important to develop new, more resistant varieties and also to store the existing germplasm safely. The world's largest *Musa* germplasm collection is currently stored at the INIBAP transit centre (Laboratory of Tropical Crop Improvement, K.U.-Leuven) as proliferating *in vitro* meristems under slow growth conditions (reduced light and low temperature). In addition to this active collection, a basic collection of a vegetatively multiplied crop needs to be cryopreserved, since all chemical and metabolic processes cease at ultra-low temperatures. As such, the material can be preserved for an unlimited period. Embryogenic *Musa* cell suspensions can be stored in liquid nitrogen after slow freezing in the presence of a cryoprotective solution (dimethyl sulphoxide). It is thus possible to ensure a secure storage of these suspensions, which are also the starting material for genetic engineering. We have also developed a simple cryopreservation method for *in vitro* proliferating *Musa* meristems. It involves a precultivation period on media containing high concentrations of sucrose followed by rapid freezing. This protocol has already been successfully applied to twelve accessions belonging to distinct *Musa* groups.

### Inleiding

Bananen (*Musa* spp.) vormen een uiterst belangrijke voedselbron in tropische streken. Negentig percent van de totale wereldproductie is bestemd voor de plaatselijke consumptie en bestaat vooral uit kookbananen, plantanen, bierbananen en lokale dessertbananen. Slechts 10 % van de totale wereldproductie wordt geëxporteerd (INIBAP 1992). De productie van bananen wordt bedreigd door verschillende plagen en ziekten veroorzaakt door schimmels, virussen, bacteriën, nematoden en insecten. Vooral de schimmelziekten Black Sigatoka en de Panamaziekte, veroorzaakt door respectievelijk *Mycosphaerella fijensis* en *Fusarium oxisporium*, zijn zeer verwoestend. Het was trouwens de Panamaziekte die er de oorzaak van was dat dessertbananen van het Gros Michel Type

in het begin van de twintigste eeuw wereldwijd moesten vervangen worden door de resistente bananen van het Cavendish type.

Hoe kan men nu het hoofd bieden aan deze ziekten zonder te veel, voor de kleine boer te dure en ecologisch nadelige fytopharmaceutische producten aan te wenden? Men kan bestaande, meer resistente cultivars aanplanten of men kan trachten via de klassieke veredeling (SWENNEN & VUYLSTEKE 1993) of de moderne biotechnologie (SAGI *et al.* 1995) nieuwe resistente cultivars te ontwikkelen. Voor elk van deze strategieën is het belangrijk een zo groot mogelijke diversiteit van bananengenplasmas ter beschikking te hebben.

Verschillende methoden zijn beschikbaar om plantengenplasma te bewaren. Vooreerst heeft men de ***in situ* bewaring**. Dit omvat de bewaring van genenplasma in zijn natuurlijke omgeving. Voor de banaan betekent dit dat de oorsprongsgebieden gaande van India tot Papua - Nieuw-Guinea en zelfs de eilanden van de Grote Oceaan beschermd moeten worden, evenals de secundaire centra van diversiteit in West-, Centraal- en Oost-Afrika. Hier tegenover staat ***ex situ* bewaring**. Het bewaren van plantengenplasma door middel van **zaadgenenbanken** wordt algemeen beschouwd als de meest praktische methode. Bij banaan is dit echter alleen toepasbaar op wilde zaadproducerende variëteiten, daar de gecultiveerde eetbare bananen geen zaad aanmaken. **Veldgenenbanken** van banaan zijn daarentegen wel wijdverspreid. Er bestaan minstens tweeënveertig collecties verspreid over tweeëndertig landen (INIBAP 1990). Het onderhoud van veldgenenbanken is echter zeer arbeidsintensief en daarenboven zijn ze onderhevig aan genetische erosie door plagen, ziekten en extreme klimaatomstandigheden (droogte, overstroming, orkanen).

Als alternatief werden ***in vitro* genenbanken** ontwikkeld. Het genenplasma wordt er bewaard onder de vorm van goed regeneerbaar materiaal in proefbuizen (in het geval van *Musa* spp. worden meristemen of groeipunten bewaard). De bewaring kan gebeuren onder normale of gereduceerde groeiomstandigheden. Gereduceerde groeiomstandigheden hebben het voordeel dat het materiaal trager groeit en aldus minder frequent overgeënt moet worden op nieuw cultuurmedium. De grootste bananen *in vitro* genenbank ter wereld bevindt zich in het INIBAP's (International Network for the Improvement of Banana and Plantain) Musa germplasm Transit Centre op het labo voor Tropische Plantenteelt aan de K.U.-Leuven. Dit maakt deel uit van een wereldomvattend netwerk van plantencollecties onder auspiciën van de wereldvoedselorganisatie, FAO. Er worden meer dan 1 060 verschillende klonen bewaard bij lage temperaturen (15 °C in plaats van 28 °C) en gereduceerde lichtomstandigheden (2 000 Lux in plaats van 5 000 Lux) om de groei te vertragen (BANERJEE & DE LANGHE 1985, DE SMET & VAN DEN HOUWE 1991). Deze methode is echter nog steeds vrij arbeidsintensief daar de meristemen gemiddeld één maal per jaar gesubcultuurd moeten worden. Tijdens het subculturen is er tevens het risico op verlies van variëteiten door contaminatie of menselijke fouten. Daarenboven is dit materiaal onderhevig aan somaklonale variatie (mutaties



gedurende de *in vitro* cultuur). Deze methode is echter zeer geschikt voor het bewaren van materiaal op middellange termijn en voor uitwisseling van genenplasma (= actieve genenbank). Voor een basiscollectie, waar het materiaal voor lange termijn moet worden opgeslagen en dit op een zo veilig mogelijke manier, is cryopreservatie de oplossing (WITHERS 1992).

Het gebruik van **cryopreservatie** of vriesbewaring bij ultralage temperaturen met als doel de lange-termijnbewaring van cellen en weefsels is gebaseerd op het stilleggen van al de metabolische activiteiten en de meeste fysische processen. Om praktische redenen wordt meestal de temperatuur van vloeibare stikstof ( $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) als bewaringstemperatuur genomen.

Ten slotte kunnen we nog het bestaan van **DNA-banken** vermelden. Het grootste nadeel van deze methode is dat hieruit geen regeneranten verkregen kunnen worden, daar enkel delen geëxtraheerd DNA worden bewaard. Deze DNA-banken kunnen echter in de toekomst een grote rol spelen, bijvoorbeeld bij de isolatie van bruikbare genen voor genetische manipulatie (ADAMS & ADAMS 1992).

### Cryopreservatie bij planten

Algemeen wordt aangenomen dat de belangrijkste schadeoorzaak bij cryopreservatie de vorming van intracellulaire ijskristallen is. Deze ijskristallen doorbreken de membraanstructuren waardoor hun functionaliteit, waaronder de semipermeabiliteit, verloren gaat. Dit is de reden waarom de meeste cryopreservatietechnieken gericht zijn op het vermijden van intracellulaire ijskristallen (SAKAI 1993). Deze strategieën hebben meestal tot gevolg dat de intracellulaire oplossing vitrificeert. Vitrificatie is een fysisch proces waardoor een vloeistof kan overgaan van een vloeibare naar een vaste fase zonder de vorming van ijskristallen. Om vitrificatie te verkrijgen moet er echter aan twee voorwaarden worden voldaan. Ten eerste moet de vloeistof voldoende geconcentreerd zijn en ten tweede moet er snel genoeg gekoeld worden. Snel koelen wordt bekomen door het materiaal onder te dompelen in vloeibare stikstof, terwijl om de celoplossing te concentreren volgende vijf strategieën kunnen worden aangewend :

- **Vriesdehydratatie** doet zich voor wanneer plantencellen traag ( $0,5\text{-}2\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min.}$ ) worden ingevroren. Eerst worden ijskristallen gevormd in de extracellulaire oplossing waardoor de overblijvende oplossing concentreert. Doordat de intra- en extracellulaire vloeistof met elkaar in osmotisch evenwicht staan, gaat water onttrokken worden aan de cel. Wanneer  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  bereikt is, is de celoplossing meestal voldoende geconcentreerd om te vitrificeren bij onderdompeling in vloeibare stikstof.
- De meeste plantenweefsels hebben een **chemische cryoprotectie** nodig tegen vriesschade. Er wordt onderscheid gemaakt tussen penetrerende cryo-

protectantia zoals proline, glycerol en DMSO (dimethylsulfoxide) die de celoplossing meer viskeus maken en niet-penetrerende cryoprotectantia zoals suikers (sacharose, fructose en trehalose), suikeralcoholen (mannitol en sorbitol) en polymeren met een hoog moleculair gewicht (dextran en polyvinyl pyrolidone) die de cel dehydrateren door middel van osmose. Beide resulteren in een concentratie van de celoplossing. Daarenboven hebben sommige van deze stoffen, zoals suikers, de eigenschap om membranen en proteïnen te stabiliseren bij lage temperaturen (KENDALL *et al.* 1993).

- **Acclimatisatie** maakt gebruik van een natuurlijk metabolisch proces waardoor de cel onder bepaalde omstandigheden (lagere temperatuur, gereduceerde lichtintensiteit, kortere fotoperiode,...) zelf cryoprotectante stoffen, zoals bijvoorbeeld proline of suikers, aanmaakt. Dit adaptieve metabolisme is genetisch gedefinieerd. Sommige gewassen (vooral uit gematigde en koude streken) reageren sterk, terwijl andere (tropische gewassen zoals banaan) niet reageren.
- **Plantvitrificatie-oplossingen** zijn sterk geconcentreerde oplossingen die gedeeltelijk in de cel dringen waardoor er zowel intra- als extracellulair vitrificatie optreedt na ultrasnel koelen. Het verschil met normale cryoprotectante oplossingen is dat ze zo sterk geconcentreerd zijn dat ze bij snel koelen uit zichzelf vitrificeren. Zo bevat de meest gebruikte vitrificatie-oplossing (PVS2) 30 % glycerol, 15 % ethyleenglycol en 15 % DMSO (SAKAI *et al.* 1990). Deze concentraties blijken echter te giftig voor veel plantenweefsels.
- **Drogen** aan de lucht is de meest evidente en eenvoudige methode om de intracellulaire celoplossing te concentreren. Voor de meeste niet-behandelde plantenweefsels heeft het drogen echter nefaste gevolgen. Uitzonderingen hierop zijn zygotische embryo's die uit zichzelf reeds een hoge droogte-tolerantie bezitten.

De overgrote meerderheid van de cryopreservatieprotocollen ontwikkeld voor plantenweefsels, zijn combinaties van twee of meerdere van deze strategieën. Voor elke plantensoort en -weefsel moet er telkens een nieuw aangepast protocol worden ontwikkeld.

Eén van de belangrijkste vereisten waaraan een plantenweefsel moet voldoen om in aanmerking te komen voor cryopreservatie, is een hoge regeneratie-capaciteit. Uit het bevroren materiaal moeten opnieuw normale planten verkregen kunnen worden. Bij banaan voldoen zaad, zygotische embryo's, regenererbare callus (ongedifferentieerde celmassa's), somatische embryo's, embryogene celsuspensies en meristeemculturen aan deze voorwaarden. Cryopreservatie van zaad en zygotische embryo's is echter alleen toepasbaar op wilde zaadproducerende bananen, terwijl regenererbare callus en somatische embryo's het nadeel hebben dat ze zelden in voldoende hoeveelheden beschikbaar zijn.

Wij concentreerden ons vooral op de cryopreservatie van embryogene celsuspensies en meristeen-culturen.

### Cryopreservatie van embryogene celsuspensies

Op het Laboratorium voor Tropische Plantenteelt werd een systeem ontwikkeld om regeneerbare embryogene celsuspensies te initiëren vanuit proliferende meristeen-culturen (DHED'A *et al.* 1991). Deze cellen kunnen we via somatische embryogenese regenereren tot nieuwe planten. Somatische embryogenese is een ontwikkelingsproces dat bijna identiek is aan zygotische embryogenese (ontwikkeling van bevruchte eicel tot een embryo en vervolgens tot een plant) met dit grote verschil dat hier de ontwikkeling start vanuit een somatische cel. We hebben bewezen dat deze suspensies het materiaal bij uitstek zijn voor gebruik in de genetische manipulatie. Uit de suspensies worden regeneerbare protoplasten geïsoleerd (PANIS *et al.* 1993) die getransformeerd kunnen worden via electroporatie (SAGI *et al.* 1994). Directe transformatie van deze suspensies door middel van partikelbombardement leidde tot 's werelds eerste transgene bananenplanten (SAGI *et al.* 1995).

Het cryopreservatieprotocol dat we ontwikkelden voor embryogene *Musa* celsuspensies omvat de volgende stappen (PANIS *et al.* 1990) :

- Suspensies worden best bevroren twee weken na hun laatste subcultuur. Dan bevindt de suspensie zich in een exponentiële groeifase en is ze aldus het meest actief.
- Uit de verschillende stoffen en mengsels met cryoprotectieve eigenschappen getest, bleek DMSO (dimethylsulfoxide) bij een concentratie van 7,5 % het meest effectief. De cellen worden blootgesteld aan dit penetrerend agens gedurende één uur vóór het invriezen start.
- Vervolgens wordt de behandelde suspensie getransfereerd naar een cryotube en traag ingevroren met een snelheid van 1 °C/min. tot - 40 °C. Om een optimale vriesdehydratie te bekomen (zie boven) initieerde we gedurende het traag vriesproces extracellulaire ijskristallen bij - 7,5 °C. Indien dit niet gebeurt, kan de vloeistof onderkoelen tot - 20 °C waardoor het positieve effect van de vriesdehydratie verloren gaat.
- Wanneer - 40 °C bereikt is, worden de cryotubes met de suspensie ondergedompeld in een vat vloeibare stikstof (- 196 °C) voor bewaring.
- Het dooien na bewaren gebeurt snel in een warm waterbad van 40 °C om de vorming van letale ijskristallen te vermijden.
- De ontdooide suspensie wordt uitgeplaat op een vast cultuurmedium voor regeneratie. Regeneratie in een vloeibaar cultuurmedium resulteerde steeds in het volledig afsterven van de cellen.

Na deze vries-dooicyclus wordt een chemische leefbaarheidstest met fluoresceinediacetaat (FDA) uitgevoerd. Deze test wees uit dat alleen de meest embryogene cellen het vriesproces kunnen overleven. Typisch embryogene cellen zijn klein (diameter van ca. 30  $\mu\text{m}$ ), isodiametrisch, hebben een relatief grote celkern en bevatten een dets cytoplasma en vele kleine vacuolen. Grote sterk gevacuoliseerde cellen en georganiseerde structuren (zoals globulaire structuren en pro-embryo's) overleven het vriesproces niet. Het vriezen resulteert aldus in een selectie naar de embryogene cellen. Het beste bewijs voor de integriteit van ontdooide cellen is echter hun regeneratiecapaciteit (Fig. 1). Via somatische embryogenese kunnen uit 1 ml bevroren celsuspensie honderden, zonet duizenden planten verkregen worden.

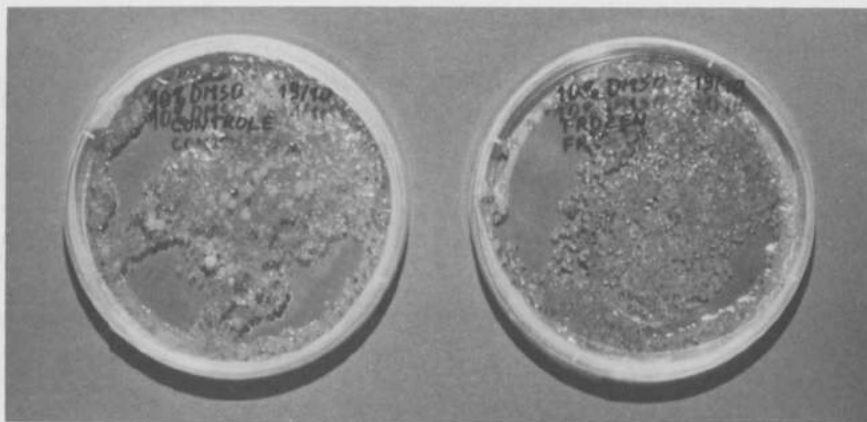


Fig. 1. — Regeneratie van embryogene celsuspensies van banaan (cv. „Bluggoe”) na cryopreservatie. Niet-bevroren (links) en bevroren (rechts) celsuspensie na vier weken op een regeneratiemedium.

Het cryopreservatieprotocol werd initieel ontwikkeld voor embryogene celsuspensies van de cultivar „Bluggoe” behorende tot de ABB-groep. Recentere experimenten wezen uit dat deze techniek eveneens toepasbaar is op andere cultivars zoals Monthan (ABB-groep), Three Hand Planty en French Sombre (AAB-plantanen), en *Musa balbisiana* (BB-groep).

#### Cryopreservatie van meristeemculturen

In tegenstelling tot de cryopreservatie van celsuspensies, waar traag vriezen in aanwezigheid van een cryoprotectant agens zoals DMSO, een veelgebruikte techniek is, is er geen standaardtechniek beschikbaar voor georganiseerde weef-

sels zoals meristemen. Daarom waren we genoodzaakt verschillende protocols voor cryopreservatie van meristemen, beschreven in de literatuur, uit te proberen. Zoals voor de meeste *in vitro* technieken bij planten is cryopreservatie dikwijls een kwestie van *trial and error*. Men kan zich wel enigszins baseren op resultaten beschreven voor gelijkaardige weefsels van verwante plantenfamilies, maar de moeilijkheid bij banaan is dat het type weefsel (prolifererende meristemen) vrij uniek is en dat cryopreservatie ervan nog niet beschreven is.

Naar analogie met de embryogene celsuspensies testten we de procedure van **traag vriezen** in aanwezigheid van een cryoprotectante agentia. Verschillende precultuurbehandelingen, vriessnelheden en cryoprotectantia werden aangewend, echter steeds zonder succes.

De toepassing van sterk geconcentreerde **vitrificatieoplossingen** was evenmin effectief. De meest gebruikte plantvitrificatieoplossing (PVS2) bevat 30 % glycerol, 15 % ethyleenglycol en 15 % dimethylsulfoxide (SAKAI *et al.* 1990). Deze oplossing bleek echter toxisch voor banaanmeristemen. Dit in tegenstelling tot meristemen van de meeste andere plantensoorten.

**Encapsulatie-dehydratatie**, voor het eerst beschreven door FABRE & DEREUDRE (1990), is zoals vitrificatie een vrij recente cryopreservatietechniek, die reeds succesvol werd toegepast op verschillende plantensoorten. Het uniek aan deze techniek is dat ze gebruik maakt van artificiële zaden. Het protocol toegepast op banaanmeristemen omvat de volgende stappen (PANIS *et al.* 1994) :

- Meristemen van ca. 1 mm worden geïsoleerd en ingekapseld in alginaatparels met een diameter van 3-4 mm. Op deze manier verkrijgt men synthetische zaden.
- Deze parels worden gedurende drie tot vier dagen blootgesteld aan vloeibare cultuurmedia met een sacharoseconcentratie van maximaal 0,75 M. Hogere concentraties, zoals meestal gebruikt bij andere plantensoorten (soms gaat men zelfs tot 1,5 M), bleken letaal voor de banaanmeristemen.
- De behandelde parels worden vervolgens gedroogd door middel van steriele lucht, tot een watergehalte van 20 - 25 %. De combinatie van een hoge sacharoseconcentratie en drogen zorgt ervoor dat de parel vitrificeert en niet kristalliseert tijdens snel vriezen. Dit werd eveneens aangetoond door middel van DSC (differentiële scanning calorimetrie) analyse.
- De bewaring gebeurt in vloeibare stikstof.
- Na de bewaring wordt er snel ontdooid in een warm-waterbad van 40 °C.
- Vervolgens worden de parels op een vast cultuurmedium gebracht voor regeneratie.

We observeerden dat in vergelijking met meristemen van andere plantensoorten, banaanmeristemen erg gevoelig zijn voor zowel hoge sacharoseconcentraties als voor drogen. Aldus werd een maximale overleving van slechts 7 % bekomen na cryopreservatie. Deze overlevende meristemen zijn echter wel in staat uit te groeien tot normale planten. Door de lage overlevingsgraad

en het feit dat de encapsulatie-dehydratatiemethode zeer arbeidsintensief is (inkapselen van meristemen, behandeling met sacharose, dehydratie) waren we genoodzaakt alternatieve methodes uit te testen.

Dit resulteerde in een eenvoudige cryopreservatietechniek die gebruik maakt van een **voorcultuur op media met hoge sacharoseconcentraties**. De volgende stappen kunnen onderscheiden worden :

- Uitermate belangrijk voor het slagen van de cryopreservatie is het proliferatietype van het uitgangsmateriaal. De beste overleving wordt verkregen met „bloemkoolachtige” structuren, d.w.z. groepjes van kleine, witte, prolifererende meristemen. Deze worden verkregen door scheutculturen bloot te stellen aan hoge cytokinineconcentraties.
- Bloemkoolachtige structuren van ongeveer 5 mm diameter, die 5 tot 10 meristemen bevatten worden uitgesneden en geënt op een proliferatiemedium dat een hoge concentratie (0,3 - 0,5 M) aan sacharose bevat. Deze culturen worden in de kweekkamer geplaatst gedurende twee tot vier weken.
- Door de hoge sacharoseconcentratie aanwezig in het cultuurmedium zal de groei van de meristemen sterk vertraagd worden. Een deel van de culturen zal zelfs zwart worden en afsterven. Dit wordt mede bepaald door het genotype. Blokjes van 3-5 mm diameter van het overlevende meristematische weefsel worden geïsoleerd en overgebracht naar een cryotube.
- De cryotubes worden direct ondergedompeld in vloeibare stikstof waar ze bewaard worden.
- Na bewaring worden de meristemen ontdooid in een warmwaterbad (40 °C) en geplaatst op een vast regeneratiemedium.

Figuur 2 geeft de overleving weer van controle (niet bevroren) en bevroren meristemoepjes van de cultivar „Bluggoe” (ABB-groep), samen met hun vochtgehalte na voorcultuur op media met verschillende sacharoseconcentraties. Controleweefsels ondergaan een voorcultuur op 0,5 M sacharose zonder een belangrijk verlies in overleving. Vanaf 0,6 M neemt de overleving snel af. Een precultuur op sacharose heeft duidelijk een positief effect op overleving na vriezen. Vooral de concentraties 0,4 en 0,5 M zijn effectief, respectievelijk resulterend in 25 en 42 % overleving na vriezen. Het watergehalte van meristemen daalt met stijgende sacharoseconcentratie. Bij 0,4 en 0,5 M werd een watergehalte van 74 % opgetekend. Dit is vergelijkbaar met behandelde immature embryo's van maïs, waar 77 % resulteerde in een optimale overleving na vriezen (DELVALEE *et al.* 1989).

De regeneratie na vriezen start direct vanuit het oorspronkelijke meristeam zonder een intermediaire callusfase (Fig. 3). Een ongeorganiseerde groei van plantencellen (= callus) kan leiden tot een verhoogde frequentie van somaklonale variatie (= mutaties te wijten aan de *in vitro* kweek) (SCOWCROFT 1984). Indien we cryopreservatie willen aanwenden ter ontwikkeling van

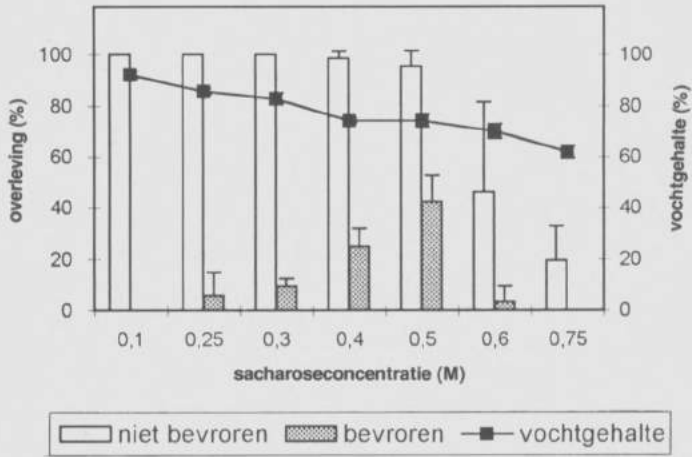


Fig. 2. — Regeneratie van banaanmeristemen (cv. „Bluggoe”) na precultuur op media met verschillende sacharoseconcentraties voor en na vriezen en hun vochtgehalte.



Fig. 3. — Petriplaat met niet-bevoren (links) en bevoren (rechts) meristemen, acht weken na cryopreservatie.

genenbanken, moet de genetische integriteit van het plantenmateriaal intact blijven, m.a.w. somaklonale variatie moet vermeden worden. Uit bevroren meristemen kunnen normale bewortelde plantjes geregenereerd worden.

Zoals men kan opmerken, is de precultuur op media met hoge sacharoseconcentraties de meest essentiële stap in ons protocol om meristeculturen vriestolerant te maken. Om na te gaan wat het effect van deze sacharoseprecultuur is op cellulair niveau werd een microscopische studie uitgevoerd. Hieruit bleek dat in het parenchym (onderliggende niet-meristematische cellen) sacharose wordt omgezet in zetmeelkorrels. In de meristematische zone daarentegen, die het vriezen overleeft, zien we dat het cytoplasma van deze cellen dener wordt. Dit wordt waarschijnlijk veroorzaakt door een opname van suikers en/of de aanmaak van proteïnen.

Over de positieve invloed van sacharose op het verkrijgen van vriestolerante cellen werden verschillende werkingsmechanismen gepostuleerd :

- Suikers zouden door middel van hun osmotische werking het vochtgehalte van de cellen kunnen verlagen, om aldus de kans op vitrificatie te verhogen (DELVALLEE *et al.* 1989). Inderdaad, zoals kon afgeleid worden uit figuur 2 daalt het vochtgehalte met een stijgende sacharoseconcentratie. Een verlaging van het vochtgehalte tot 74 % is echter geen voldoende voorwaarde voor cryoprotectie. Dit werd bewezen door het toevoegen van eenzelfde hoeveelheid mannitol, een niet-metaboliseerbaar suikeralcohol, in plaats van sacharose in het precultuurmedium. Dit resulteerde in vergelijkbare vochtgehalten, maar nooit in overleving na vriezen.
- URAGAMI *et al.* (1990) bewezen dat gedurende de precultuur van aspergescheuttoppen op media met hoge sacharoseconcentraties, een belangrijke hoeveelheid van dit suiker wordt opgenomen en gedissocieerd in glucose en fructose. Door middel van microscopie werd de opname van suikers eveneens aangetoond voor banaanmeristemen. Deze opgenomen suikers kunnen de vitrificeerbaarheid van het cytoplasma verhogen.
- Opgeloste suikers kunnen de vloeibare kristallijne fase van membraanlipiden bewaren en proteïnen stabiliseren (KENDALL *et al.* 1993). Aldus kan membraanfusie, -fasetransitie, en -faseseparatie tijdens het vriezen vermeden worden.
- Zoals bewezen door DELVALLEE *et al.* (1989), kunnen er als gevolg van een milde osmotische stress proteïnen, zoals proline, geaccumuleerd worden in het cytoplasma die de cel beschermen tegen waterstress. Deze proteïnen beschikken eveneens meestal over cryoprotectieve eigenschappen.

Meer fundamentele studies over de cryoprotectieve werking van sacharose zullen ons in staat stellen om het ontwikkelde cryopreservatieprotocol verder en misschien efficiënter te optimaliseren en daarenboven in de toekomst eventueel toe te passen op meristemen van andere plantensoorten.



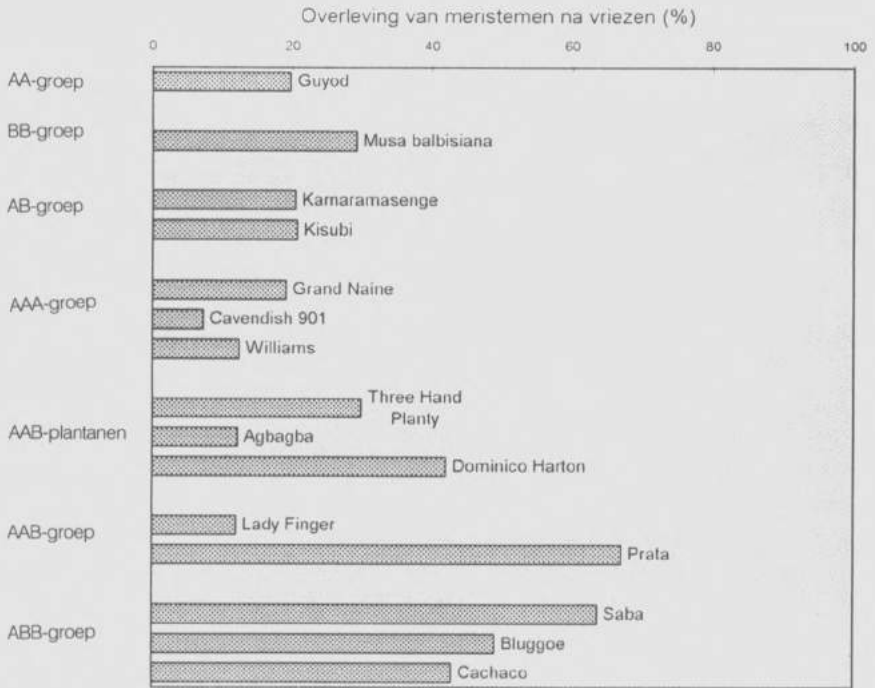


Fig. 4. — Regeneratiefrequenties na cryopreservatie van verschillende cultivars behorende tot verschillende genomische groepen.

Dit cryopreservatieprotocol werd initieel ontwikkeld en geoptimaliseerd, gebruik makende van prolifererende meristemen van de cultivar „Bluggoe”. Daar het uiteindelijk doel van cryopreservatie de ontwikkeling van een genenbank is, moeten we nagaan of de methode algemeen toepasbaar is op andere *Musa* cultivars behorende tot verschillende genomische groepen. Prolifererende meristeeemhoopjes van vijftien cultivars behorende tot zeven verschillende genomische *Musa*-groepen, werden gedurende drie weken opgekweekt op een proliferatiemedium dat 0,4 M sacharose bevat waarna ze bevroren worden, zoals hoger beschreven. De resultaten worden weergegeven in figuur 4. De eerste en meest belangrijke observatie is dat al de geteste cultivars positief reageren op het protocol. De overlevingspercentages variëren sterk van groep tot groep. Drieënveertig tot vierenzestig percent van de ABB-cultivars overleven het vriesprotocol terwijl de AAA-cultivars slechts 7 tot 19% overleving vertonen. Andere groepen zoals de AAB-plantanen en de AAB-groep vertonen daarentegen een grote variatie. Voor de ontwikkeling van genenbanken echter is niet zozeer een hoge overlevingsgraad van belang dan wel de betrouwbaarheid

van het cryopreservatieprotocol. Lagere overlevingspercentages kunnen opgevangen worden door een grotere hoeveelheid materiaal te bewaren in vloeibare stikstof.

### Besluit

Als besluit kunnen we stellen dat in het kader van dit onderzoek efficiënte cryopreservatieprotocollen ontwikkeld zijn voor zowel embryogene celsuspensies als *in vitro*-meristemen.

De techniek ontwikkeld voor de cryopreservatie van embryogene celsuspensies is vooral belangrijk als hulpmiddel bij de genetische transformatie. Op het Laboratorium voor Tropische Plantenteelt bleken deze suspensies het materiaal bij uitstek voor de genetische transformatie. Embryogene celsuspensies zijn echter moeilijk te initiëren en eens geïnitieerd onderhevig aan contaminaties, somaklonale variatie en fysiologische veranderingen. Het is daarom dus uitermate belangrijk dit waardevol materiaal op een zo stabiel mogelijke wijze te bewaren.

Indien cryopreservatie zal worden aangewend ter bewaring van een *Musa* basisgenenbanken is, gezien de nog steeds moeilijke initiatie van embryogene celsuspensies, de cryopreservatie van meristeen culturen aangewezen. Daarnaast is de cryopreservatietechniek ontwikkeld voor meristeen culturen algemeen toepasbaar op de verschillende cultivars, snel en zeer eenvoudig.

### DANKWOORD

De volgende instanties wil ik danken voor hun bijdrage aan het onderzoek op cryopreservatie van banaan : ABOS/AGCD voor de steun en werkingskosten en INIBAP (International Network for the Improvement of Banana and Plantain) voor het ons ter beschikking stellen van het genenplasma, hun aanmoedigen en financiële steun. Bijzondere dank gaat eveneens uit naar prof. E. De Langhe en prof. R. Swennen voor hun suggesties en hun steeds inspirerend werkende interesse voor dit onderwerp.

### BIBLIOGRAFIE

- ADAMS, R. P. & ADAMS, J. E. 1992. Conservation of plant genes : DNA banking and *in vitro* biotechnology. — Academic Press, San Diego, California, 345 pp.
- BANERJEE, N. & DE LANGHE, E. 1985. A tissue culture technique for rapid clonal propagation and storage under minimal growth conditions of *Musa* (Banana and Plantain). — *Plant Cell Reports*, 4 : 154-351.
- DE SMET, K. & VAN DEN HOUWE, I. 1991. The banana germplasm collection at the INIBAP Transit Center. — *In* : Annual Report of INIBAP 1991. International

- Network for the Improvement of Banana and Plantain, Montpellier, France, pp. 35-37.
- DELVALLEE, I., GUILLAUD, J., BECKERT, M. & DUMAS, C. 1989. Cryopreservation of immature maize embryos after freeze-hardening in the ear and *in vitro*. — *Plant Science*, **60** : 129-136.
- DHED'A, D., DUMORTIER, F., PANIS, B., VUYLSTEKE, D. & DE LANGHE, E. 1991. Plant regeneration in cell suspension cultures of the cooking banana cv. „Bluggoe” (*Musa* spp., ABB group). — *Fruits*, **46** (2) : 125-135.
- FABRE, J. & DEREUDDRE, J. 1990. Encapsulation-dehydration : A new approach to cryopreservation of *Solanum* shoot-tips. — *Cryo-Letters*, **11** : 413-426.
- INIBAP 1990. *Musa* conservation and documentation (Leuven, Belgium, 11-14 December, 1989). — International Network for the Improvement of Banana and Plantain, Montpellier, France, 112 pp.
- INIBAP 1992. Annual Report 1992. — International Network for the Improvement of Banana and Plantain, Montpellier, France, 64 pp.
- KENDALL, E. J., KARTHA, K. K., QURESHI, J. A. & CHERMAK, P. 1993. Cryopreservation of immature spring wheat zygotic embryos using abscisic acid pretreatment. — *Plant Cell Reports*, **12** : 89-94.
- PANIS, B., DE SMET, K., VAN DEN HOUWE, I. & SWENNEN, R. 1994. *In vitro* conservation of *Musa* germplasm : Prospects of cryopreservation. — In : Proceedings of the XIth Reunion Meeting of ACORBAT (San José, Costa Rica, 13-18 February, 1994) (in druk).
- PANIS, B., VAN WAUWE, A. & SWENNEN, R. 1993. Plant regeneration through direct somatic embryogenesis from protoplasts of banana (*Musa* spp). — *Plant Cell Reports*, **12** : 403-407.
- PANIS, B., WITHERS, L. A. & DE LANGHE, E. 1990. Cryopreservation of *Musa* suspension cultures and subsequent regeneration of plants. — *Cryo-Letters*, **11** : 337-350.
- SAGI, L., PANIS, B., REMY, S., SCHOofs, H., DE SMET, K., SWENNEN, R. & CAMMUE, B. P. A. 1995. Genetic transformation of banana and plantain (*Musa* spp.) via particle bombardment. — *Bio/Technology*, **13** : 481-485.
- SAGI, L., REMY, S., PANIS, B., SWENNEN, R. & VOLCKAERT, G. 1994. Transient gene expression in electroporated banana protoplasts (*Musa* spp. cv. „Bluggoe”, ABB group) isolated from embryogenic cell suspensions. — *Plant Cell Reports*, **13** : 262-266.
- SAKAI, A. 1993. Cryogenic strategies for survival of plant cultured cells and meristems cooled to  $-196^{\circ}\text{C}$ . — In : Cryopreservation of plant genetic resources. Ref no. 6, Japanese International Cooperation Agency, Tokyo, Japan, pp. 5-26.
- SAKAI, A., KOBAYASHI, S. & OIYAMA, I. 1990. Cryopreservation of nucellar cells of navel orange (*Citrus sinensis* Osb. var. *brasiliensis* Tanaka) by vitrification. — *Plant Cell Reports*, **9** : 30-33.
- SCOWCROFT, W. R. 1984. Genetic variability in tissue culture : impact on germplasm conservation and utilisation. — IBPGR, Rome, 41 pp.
- SWENNEN, R. & VUYLSTEKE, D. 1993. Breeding black sigatoka resistant plantains with a wild banana. — *Tropical Agriculture*, **70** (1) : 74-77.

- URAGAMI, A., SAKAI, A. & NAGAI, M. 1990. Cryopreservation of dried axillary buds from plantlets of *Asparagus officinalis* L. grown *in vitro*. — *Plant Cell Reports*, **9**: 328-331.
- WITHERS, L. A. 1992. *In vitro* conservation. — *In*: HAMMERSCHLAG, F. A. & LITZ, R. E. (eds.). Biotechnology of perennial fruit crops. *Biotechnology in agriculture*, **8**. C.A.B. International, Wallingford, Oxon, U.K., pp. 169-200.

## La trypanosomiase en Angola à l'aube du 20<sup>e</sup> siècle. Réflexions sur les épidémies des bassins du Cuanza et du Congo (Notes historiques) \*

par

P. G. JANSSENS \*\*

*Dédié à la mémoire du  
Prof. Dr F. J. C. Cambournac  
un ami fidèle.*

MOTS-CLES. — Angola ; Congo ; Cuanza ; Maladie du sommeil.

RESUME. — Le «Relatório» du Dr A. de Souza Leitão, chargé d'une mission pour évaluer l'importance de la maladie du sommeil comme cause de la déchéance des plantations dans le Cuanza est un rapport peu connu, mais très intéressant. Il établit la situation dans les plantations des territoires de Golungo Alto et Cazengo, les villes de Dondo, Massangano et Muxima, visitées de novembre 1900 à février 1901. Les données fort précises établissent qu'elle correspond à la phase terminale d'une épidémie en voie d'extinction. Leitão fournit en plus une bonne description de la maladie, les efforts pour définir l'étiologie de cette maladie qu'il estime infectieuse et probablement bactérienne. Son origine préoccupe les médecins portugais, qui la situent dans le bassin du Congo, quoique la célèbre épidémie se soit développée trente ans plus tard. Ceci donne à réfléchir sur l'importance que cette préfiguration de la catastrophe du début du 20<sup>e</sup> siècle aurait pu avoir sur l'organisation de la lutte contre la trypanosomiase par l'Etat Indépendant du Congo et du Congo belge (actuellement Zaïre). La réponse est négative et souligne le manque de valeur des critiques *a posteriori*.

TREFWOORDEN. — Angola ; Congo ; Cuanza ; Slaapziekte.

SAMENVATTING. — *De slaapziekte in Angola bij de aanvang van de 20ste eeuw. Bedenkingen over de epidemieën van het Cuanza- en het Congobekken (historische nota's).* — De „Relatório” van Dr. A. de Souza Leitão, belast met een zending om de rol van de slaapziekte in de achteruitgang van de plantages in de Cuanzavallei in het hinterland van Luanda te beoordelen, is een weinig bekend doch boeiend verslag. Het biedt een zeer omstandig beeld van de toestand van de plantages van de Golungo Alto en Cazengo gebieden, alsook van de binnenlandgemeenten Dondo, Massangano en Muxima. Deze werden bezocht tussen november 1900 en februari 1901. De zeer

---

\* Communication présentée à la séance de la Classe des Sciences naturelles et médicales tenue le 28 mai 1996. Texte reçu le 28 mai 1996.

\*\* Membre titulaire de l'Académie ; «Sparrenkrans», Vogelsanck 12, 2970 's Gravenwezel (Belgique).

zorgvuldig verzamelde gegevens duiden aan dat het gaat om de eindfase van een uitdeinende epidemie. Leitão vervolledigt zijn feitenmateriaal met een voortreffelijke klinische uiteenzetting van de ziekte en van de geleverde inspanningen om de etiologie te ontrafelen. Volgens zijn eigen opinie is slaapziekte een infectieuze overdraagbare aandoening van bacteriologische oorsprong. Het zoeken door Portugese artsen naar de mogelijke oorsprong van de rampspoedige epidemie leidt naar het Congo-bekken, dit in weerwil van het feit dat de Cuanza-epidemie drie decennia vroeger plaatsgreep. Dit noopt tevens tot nadenken betreffende de invloed die deze Angolese voorafbeelding zou kunnen hebben gehad op het bepalen van de bestrijdingsstrategie ontwikkeld door de verantwoordelijken van de Onafhankelijke Staat Congo en Belgisch Congo (nu Zaïre). Het antwoord is ontkenkend en benadrukt tevens de beuzelarij van de *a posteriori* kritieken.

KEYWORDS. — Angola ; Congo ; Cuanza ; Sleeping Sickness.

SUMMARY. — *Sleeping Sickness in Angola at the Turn of the 20th Century. Reflections on the Epidemics in the Cuanza and the Congo Basins (Historical Notes).* — The "Relatório" produced by Dr A. de Souza Leitão in the fulfilment of his mission intended to document the responsibility of sleeping sickness for the decline of the estates in the Cuanza Valley in the hinterland of Luanda is a little known but very interesting report. It provides a circumstantial and reliable account of the sleeping sickness situation in the estates in the Golungo Alto and Cazengo regions and also in municipalities such as Dongo, Massangano, Muxima. The survey was carried out from November 1900 until February 1901. The carefully collected data show that this visit took place during the final stage of a disappearing epidemic. Leitão completed his report with a first-rate clinical description of the disease and underlined the many attempts carried out to unravel its etiology. In his opinion sleeping sickness is an infectious and communicable disease of bacterial origin. In the quest of its origin, a number of Portuguese physicians relate the Angolese to the renowned Congolese epidemic, notwithstanding the occurrence of the Cuanza disaster three decades earlier. This led to think about a possible favourable influence of the knowledge acquired in the Angolese warning of the Congolese catastrophe on the implementation of a more appropriate S.S. control strategy in the Congo. The answer is negative, which underlines the self-complacency of *a posteriori* criticisms.

### Introduction

Le *Relatório* d'Alberto de Souza Maia Leitão de sa visite aux *concelhos* à l'est de Luanda, fort affectés par la maladie du sommeil, est un document rarement cité, mais particulièrement utile et intéressant. Il fournit les faits tels qu'il les a observés à l'aube du 20<sup>e</sup> siècle, c'est-à-dire avant la découverte de l'agent pathogène (1903, Castellani) et de son mode de transmission (1905, Brumpt ; 1908, Kleine). Il évoque les nombreuses hypothèses émises à ce sujet et offre en plus un aperçu des opinions courantes sur l'étiologie, la clinique et l'histoire de la maladie.

La maladie du sommeil, connue aussi sous le nom de «hypnose» ou «hypnosie», est rapportée officiellement pour la première fois en Angola en 1870. Son existence y était probablement bien antérieure à cette date. Ce problème sera discuté plus en détail.

### Angola

Ce vaste territoire se compose historiquement de deux entités, le Royaume du Kongo, un Etat souverain, et la colonie Angola. Les rapports lusitano-kongolais étaient basés à partir de la fin du 15<sup>e</sup> sur des relations bilatérales qui se voulaient constructives en respectant dans une certaine mesure l'indépendance du Royaume du Kongo, mais qui n'en limitaient pas moins le pouvoir portugais. Les autorités coloniales militaires de Luanda, fondé en 1576 par Novais, s'évertueront à brouiller cet accord au bénéfice de la colonie Angola. Elles chercheront par tous les moyens à amenuiser cette autorité indépendante en déplaçant le centre politico-économique à Luanda. L'évêché du Kongo et de l'Angola, créé en 1596, à la demande réitérée des souverains du Kongo, verra son siège déplacé de São Salvador à Luanda. Après une période de développement du Kongo richement documentée, soulignant des relations rendues plus difficiles par suite de l'attitude des autorités de São Tomé, relais obligatoire du transport vers le Portugal ; après la victoire lusitanienne à Ambuila en 1665 sur les armées du roi Antonio I Afonso, il n'y aura plus guère d'occupation administrative ni de présence médicale. Le Kongo sera virtuellement à l'abandon jusqu'à l'occupation militaire de São Salvador en 1860, pour mieux garantir l'exploitation économique. Un regain d'intérêt forcé fera suite à la conférence de Berlin (1884-1885), qui imposait l'occupation effective du territoire réclamé comme possession coloniale et à l'accord de 1885 conclu avec l'Etat Indépendant du Congo.

L'Angola a vécu sous un régime militaire régenté par une Capitainerie Générale. Ce ne sera qu'en 1836 qu'il sera remplacé par un Gouvernement Général civil et en 1924 par un Haut-Commissariat. Les garnisons fortifiées, établies pour protéger les voies commerciales, sont anciennes : Muxima (1599), Cambambe (1604), Ambaka (1614), Caconda (1683), Encoje (1759). Les marchés Dondo, Beja, Massangano, Muxima, Lucambo étaient des centres importants. En 1857, il y avait cinq districts : Luanda, Golungo-Alto, Benguela, Mocamedes, Ambriz, auxquels le Kongo viendra s'ajouter en 1885-1887. Ils comportaient sur un plan plus régional des *concelhos* (ex-subdivisions), des municipalités, des centres urbains, des circonscriptions rurales indigènes. Les changements fréquents des dénominations et des limites, communs à tous les régimes coloniaux, compliquent la compréhension des données. Finalement l'Angola comptera dix-sept provinces.

L'occupation portugaise effective restera limitée à la côte, à Luanda, à quelques villes portuaires, aux centres commerciaux, à un pôle de développement agricole dans le Bas-Cuanza, aux mines de Bembo (1856), et à un réseau de communications commerciales très anciennes protégées par des postes fortifiés. L'enclave agricole dans le *hinterland* de Luanda jouera un rôle important dans la vie économique et dans l'histoire de la maladie du sommeil. Son établissement fera suite à une convention qui autorisait la redistribution des terres présumées vacantes en faveur des colons européens. Des colons brésiliens viendront s'y installer en 1838 et y introduiront la culture du café et de la canne à sucre (production d'eau de vie). Ces colons seront responsables d'un abattage non sélectif de la forêt, de l'élimination des animaux de chasse, de drainages et d'irrigations des terres non programmés : ils produiront un bouleversement complet de l'écologie de cette enclave.

L'Angola est caractérisé par une **instabilité climatique** et un contraste entre la zone côtière aride et des hautes terres bien arrosées et plus fertiles. Depuis le 16<sup>e</sup> des sécheresses ont été enregistrées à des intervalles de 1-8 ans, engendrant des famines, encore aggravées par des invasions de sauterelles. Les fortes pluies qui font suite à la sécheresse produisent des inondations et la perte de pâturages. Les famines grèvent sérieusement l'état nutritionnel de la population malgré l'introduction du manioc du Brésil. Cet état général défectueux réduira la résistance aux épidémies de rougeole, de dysenteries, d'infections respiratoires, de pian. Des épidémies de variole meurtrières apparaissent à intervalles de 5 à 10 ans. A ces facteurs d'instabilité viendront se superposer les bouleversements écologiques liés au développement des exploitations agricoles : déforestation, chasse à grande échelle et extermination du gibier, plantations où les glossines trouveront un terrain propice à leur multiplication et, de plus, introduction de populations neuves non prémunies contre les risques locaux et porteuses potentielles de germes nouveaux. Il s'ensuit que toutes les conditions étaient remplies pour déclencher des désastres épidémiologiques. Des flambées de maladies ne se feront pas attendre.

L'**économie** sera dominée jusqu'au milieu du 19<sup>e</sup> par la traite des esclaves. Cette pratique très rémunératrice sera reconnue finalement comme répréhensible. La Grande-Bretagne sera le premier Etat à l'abolir légalement en 1807 et à faire pression sur le Portugal, son allié depuis 1703. La fuite au Brésil de Jean VI et de sa famille en 1807 devant Napoléon retardera la décision. Le Brésil devient un pays indépendant en 1822 et une république en 1889. La France où, dès le 18<sup>e</sup> les philosophes, et surtout Montesquieu, élèveront leur voix pour réclamer l'abolition, verra la Convention la supprimer en l'an II (1793) pour la rétablir dans ses colonies en l'an X (1801). Le Congrès de Vienne (1815) décrètera son abolition au nord de l'équateur. La Grande-Bretagne mettra 800 000 esclaves en liberté en 1833 et autorisera en 1839 ses croiseurs à arraisonner, perquisitionner et saisir les navires négriers assimilés à des pirates au nord de l'équateur. La France qui avait aboli la traite en



1845, s'associe à ces mesures. Toutefois, une contrebande va s'organiser au sud de l'équateur à partir d'une multitude de points d'embarquement le long de la côte où la barre est moins dangereuse et où des marchés d'esclaves avaient été établis. Le Portugal avait aboli la traite en 1835 et sera suivi par l'Angola en 1836, mais le décret d'application en 1858 prévoyait un délai de 20 ans qui sera finalement réduit à 10 ans, soit une application en 1869. Les esclaves deviennent des *libertos*, des travailleurs-salariés, en 1875 mais avec obligation de servir encore 7 ans chez leurs maîtres.

De plus, le recrutement forcé pour São Tomé et Príncipe était maintenu. La France trouvera une échappatoire similaire en créant pour sa contrebande des engagements volontaires avec des contrats de travail (devenant fictifs après le débarquement aux Antilles). Ces Africains «émigrés volontaires» étaient transportés dans les territoires français outre-Atlantique par des unités de la marine française ayant à bord des chirurgiens, qui rapporteront leurs expériences portant également sur la présence de cas d'hypnosie.

Une des conséquences de la traite est l'introduction en Amérique tropicale de pathologies africaines, dont la maladie du sommeil. Celle-ci fut découverte par des explorateurs en Afrique occidentale, qui ont précisé les symptômes apparents telles les adénopathies cervicales bien connues des négriers. Les études cliniques et anatomo-pathologiques détaillées seront l'œuvre des médecins français pratiquant aux Antilles (GUERIN 1869, réutilisées par LE ROY DE MERICOURT 1871), au Gabon (DANGAIX 1861, SANTELLI 1868) et en Sénégambie (CHASSANIOL 1865, CORRE 1876, 1877).

La Côte dite congolaise, qui va du Gabon en Angola, deviendra la zone stratégique de la traite à partir du moment où le sud de l'Equateur est laissé hors de la région soumise au contrôle de l'abolition. Elle comporte des ports tels Loango, Boma, Ambriz, Luanda, mais les embarquements se feront à partir des barracons (entrepôts d'esclaves) établis aux points de la côte où l'embarquement est facilité par une plus faible activité de la barre ou aux criques du fleuve Congo. C'est en plus la période où la traite connaît une activité accrue suite à la demande croissante de denrées et produits tropicaux et à la mutation de la navigation à voile vers celle à vapeur. Entre 1807 et 1847, on estime que plus de 4 millions d'esclaves sont transportés de cette côte en Amérique, au Brésil, dans les possessions espagnoles et françaises et aux Etats-Unis. De fait, l'apogée de la traite des Congolais se situe après son abolition officielle.

La couverture médicale était minime. Son effectif dérisoire était concentré à Luanda et dans quelques grandes communautés portugaises. Les diagnostics étaient limités aux maladies qui, grâce à leurs symptômes typiques, étaient aisément reconnaissables par n'importe qui : variole (qui, au moins depuis le 17<sup>e</sup> siècle, provoquait des épidémies à des intervalles de 5 à 10 ans), fièvres paludéennes, fièvre jaune (décimant des soldats portugais), rougeole, ulcères, lèpre, ver oculaire (loase), puce djique. La maladie du sommeil ne trouve

pas place dans ce cadre : fièvres sans caractéristique particulière, adénopathies, symptômes nerveux et mentaux complexes qui, limités à des cas isolés, signifiaient une mort dans le marasme. La chance que les rares praticiens œuvrant dans les villes se voient confrontés à ce problème était minime. Pour attirer l'attention il faut des épidémies.

Cet état de choses changera lorsque des épidémies meurtrières, sans lien avec les affections classiques, feront leur apparition et ce, dans les enclaves fertiles exploitées par des colons portugais. Leur présence se multipliera à partir de 1837 suite à une série de mesures, progressivement précisées, concernant la concession de terres présumées incultes ou en friche, qui souligneront la volonté de transformer une économie d'exploitation des richesses humaines et commerciales en une terre de peuplement par des colons portugais. Leur installation débutera dans l'*hinterland* de Luanda dans la vallée fertile du Cuanza, les régions de Cazenza et Golungo Alto.

Cette réorientation compensera en outre les pertes consécutives à la suppression de la traite des Noirs qui, depuis le 16<sup>e</sup> siècle, était la base de l'économie. Décidée en 1838, la mise en exécution de cette abolition s'étalera sur une période allant de 1858 à 1869.

Les planteurs seront surtout des Portugais brésiliens. Des relations particulières s'étaient établies entre Luanda et le Brésil depuis la reconquête de Luanda, en 1648, par des forces brésiliennes sur les envahisseurs hollandais. Elles prendront fin lors de l'indépendance du Brésil en 1822. Certains colons portugais du Brésil opteront pour une émigration vers une colonie portugaise. La zone de développement agricole sera la vallée fertile du Bas-Cuanza dans l'arrière-pays de Luanda. Les planteurs orienteront leurs cultures vers les produits qui leur étaient familiers : café, canne à sucre, maïs, manioc et autres plantes vivrières. Ces plantations seront des réussites économiques : on parlera bientôt des « barons du café ». À côté des fermes individuelles, des firmes telles que l'Association commerciale de l'Angola, une filiale de la Banque Nationale Ultramarine, exploiteront des groupes de *fazendas*. Le nombre de colons augmentera rapidement ; de 600 en 1878, ils seront 6 000 en 1898 dans les territoires (*concelhos*) entre Luanda et Malange.

Cette expansion réclamera une main-d'œuvre abondante, inexistante sur place. Le recrutement de travailleurs salariés sous contrat remplacera les esclaves transformés en *libertos*. L'importance numérique de cet effectif recruté à distance atteindra le millier en 1867, 16 000 en 1887, mais retombera à 4 000 en 1900.

Ce développement agricole nécessitera une croissance parallèle de l'infrastructure des voies de pénétration et de communications : voies navigables, routes, chemin de fer, télégraphe, postes. La navigabilité du Cuanza sera améliorée et, dès 1866, la **navigation à vapeur**, avec ses postes de ravitaillement en bois, fera son entrée. Le réseau de routes commerciales traditionnelles,

protégé par des postes fortifiés, permettra une intensification des caravanes. Les opérations militaires vont se multiplier.

En 1857, l'autorisation est donnée par le gouvernement de la constitution d'une compagnie pour la construction d'un **chemin de fer** devant relier l'intérieur à Luanda. Elle sera fondée en 1877 et le premier tronçon de la ligne Luanda-Ambaca partira de Funda en 1888, atteindra Lucala en 1899 et Malanje en 1909. Ces travaux emploieront une main-d'œuvre importante qu'il faudra recruter souvent à grande distance. A ces besoins, il faut ajouter les 2 000 à 3 000 travailleurs à fournir annuellement à São Tomé et Príncipe. A partir de 1867 viendront s'y ajouter les corvées pour la récolte de caoutchouc brut et de cire naturelle pour l'exportation.

### *Le Relatório de Leitão*

Des désastres épidémiologiques avec une morbidité et mortalité effrayantes vont décimer les villages. Leur abandon va alerter les autorités. Il faudra toutefois attendre 1899 pour voir Alberto de Souza Maia Leitão, médecin facultatif de première classe du cadre de santé de l'Angola, assigné à São Tomé et Príncipe, être chargé d'une enquête sur place. Le choix était heureux, le *Relatório* de sa mission est un document capital et captivant.

Son ordre de mission (30/09/1900) pour sa **visite «sanitaire»** est extrêmement précis. Il porte sur le bassin du Cuanza et des régions avoisinantes. Il lui est demandé en plus des informations sur le développement agricole et économique. Les circonscriptions à visiter sont stipulées : Golungo Alto, Cazengo, Massangano, Muxima, Calumbo. Il lui est enjoint de colliger toutes les données indispensables à une prise de décision par le Conseil Provincial de la Santé concernant les mesures prophylactiques urgentes à prendre pour combattre la terrifiante épidémie qui s'étend vers Dondo. Les informations souhaitées comprennent entre autres les coordonnées géographiques, les conditions atmosphériques, la constitution tellurique, l'environnement (relief, cours d'eau, cultures, habitations, eau potable, nombre de bras). En outre, tous les éléments sont susceptibles de fournir des orientations en matière d'étiologie parasitaire ou microbienne, de prévalence, de contagiosité, sur le ou les modes de propagation. Il est réclamé une description détaillée des symptômes, leur évolution et leur stade final, ainsi que les moyens de diagnostic. Des renseignements sur la vaccination jennérienne sont souhaités. Ceux-ci se résumeront à constater que le vaccin est difficile à obtenir.

Leitão commence sa mission en novembre 1900. Son inspection a débuté par le district de Golungo Alto, situé dans le *hinterland* de Luanda et dans le bassin du Cuanza. Cette visite très détaillée a été effectuée en novembre et décembre 1900 et janvier 1901, avec une courte interruption du 1<sup>er</sup> au

7 décembre à la Villa de Colungo Alto et en fin d'année à Luanda, pour se terminer à la mi-février.

### 1. GOLUNGO ALTO

Il se rend d'abord au territoire de Golungo Alto, qui est une unité du district de Luanda, dont il est distant de 287 km par le chemin de fer de Luanda à Ambaca. Ce territoire, qui comporte 8 divisions administratives, compte, selon l'annuaire de 1898, 415 bourgades dont la ville Golungo Alto, 5 831 foyers (cases ou paillotes) et 15 238 âmes, dont 98 européens. Golungo Alto est divisé en 3 zones, la centrale est montagneuse, très fertile et richement arrosée par des cours d'eau tributaires du Zenze. Elle compte 22 plantations dignes de ce nom employant 1 500 travailleurs sous contrat régulier et 15 000 auxiliaires divers, les *forros* vivant dans des hameaux satellites de la plantation et des indigènes vivant dans les *sanzalas*, des villages sous juridiction indigène, qui prêtent leurs services occasionnellement comme journaliers. La prospection a porté sur 14 *fazendas* ou exploitations rurales, soit 12 grandes et 2 petites, sur 3 postes militaires, sur 4 municipalités disposant de services administratifs et d'établissements commerciaux et sur 8 villages indigènes.

#### *Villa de Golungo Alto*

La «Villa de Golungo Alto» est une petite agglomération, siège du *Conselho* (Conseil), constituée par une place centrale et 4 rues. Le conseil municipal est composé d'un chef administratif, d'un commandant militaire, d'un médecin en charge de l'ambulance et de la préparation des médicaments, de l'instituteur et d'un secrétaire-greffier. Officiellement le poste compte 165 foyers, en réalité il n'y a que 40 cases et une *sanzala* de 50 cases. Il y a 30 européens dont une femme. Une route de 25 km la relie à Canhoca en passant par Cambondo. Un decauville est projeté pour l'évacuation de la production vers la station de Canhoca. C'est le seul endroit du rapport où il est fait mention de la mouche tsé-tsé *caçauçau*, qui est accusée de produire par ses piqûres chez les bêtes bovines une gastro-entérite mortelle en 2 à 3 jours.

#### *Les plantations*

La visite des plantations se fait à pied, à cheval, en chaise à porteurs, par bateau. Les bagages sont confiés à des porteurs. La plupart de ces *fazendas* n'ont été établies que depuis 3 à 5 ans. Leur premier objectif, garantissant un rendement rapide, est la culture de la canne à sucre servant à la distillation d'eau de vie. Le programme des cultures est plus diversifié, encore que variable de *fazenda* à *fazenda* : café, cacao, plantes vivrières (manioc, fèves, patates douces, millet, légumes divers). Les fruits ne sont pas négligés : bananiers, papayers, orangers, figuiers, manguiers, avocadiers, palmiers, ananas. De ci-là on plante aussi des eucalyptus.

L'hygiène est assez rudimentaire et les maladies ne manquent pas parmi la population indigène : bronchites et pneumonies, diarrhées et dysenteries, pian, anémie par ancylostomes, ulcères cutanés, puces djiqes (*pulex penetrans*), ainsi que la maladie du sommeil ou hypnose, connue sous un nom vernaculaire en kimbundu *hoxa*. Cette maladie est considérée comme contagieuse et de nature familiale. Elle sévit au moins depuis 1873, mais est en progression inquiétante surtout depuis 1896-97. Les autorités sanitaires ne disposent pas de statistiques et l'information est recueillie chez les résidents de longue date, les planteurs, les commerçants, les militaires, les personnalités indigènes, qui basent leurs opinions sur des faits comme les décès par hypnose, les désertions (les malades cherchant à rentrer dans leur famille) et la diminution fréquente du nombre de cases (p. ex. 80 à 23 ; 20 à 6 ; 18 à 0), l'abandon de villages. Sur base de tels souvenirs, des chiffres variant de 10, 20 à 30 cas de maladie du sommeil au cours des 3 dernières années sont avancés. Il va de soi que l'hypnose n'est pas la seule cause de décès.

Il y a lieu de préciser que les malades, parfois en stade terminal, présentés à Leitão, sont cliniquement évidents : chaîne ganglionnaire cervicale et/ou sous-mandibulaire, fièvres, céphalées, troubles nerveux, amaigrissement, déficience générale, peau qui a perdu son lustre, somnolence, aphasie, coma.

Les observations les plus détaillées sont faites dans les plantations. Ceci est compréhensible, vu la menace de la maladie du sommeil pour le développement économique agricole. Leur établissement de date récente (3 à 5 ans) est le facteur le plus restrictif. De plus, le nombre de travailleurs salariés sous contrat était le plus souvent réduit au minimum. Les besoins pour les travaux agricoles étaient couverts par des *forros* ou auxiliaires vivant dans des communautés satellites de la *fazenda* et, en outre, par des *sanzalos* ou travailleurs vivant dans des villages coutumiers. Il s'ensuit que les cas de maladie du sommeil étaient limités à un ou quelques cas cliniques (maximum 4) ou à un décès récent. Il s'agissait au surplus souvent de cas importés (membres de la famille). Il n'est nullement surprenant qu'il n'y avait aucun cas dans 6 de ces plantations. L'information au sujet de la majorité de la main-d'œuvre était basée sur des données occasionnelles : disparition de familles entières, baisse des effectifs dans les villages satellites (sur 170 *forros*, 60 décès et 15 désertions).

Dans les postes militaires, l'existence de la maladie du sommeil était connue depuis 1873. Il en est de même pour les vieux résidents des factoreries, qui connaissent de longue date les symptômes très caractéristiques et l'évolution inexorable de la maladie. Au cours de son inspection, Leitão a rencontré le village Camambe complètement abandonné.

## 2. CAZENGO

Ce territoire, voisin de celui de Golungo Alto, est exploré du 14/01 au 01/02/1901 avec la même rigueur. Au total 16 *fazendas*, dont une propriété

indigène, une colonie agricole (pénale?), 4 postes militaires et 3 villages sont visités.

Les cas de maladie du sommeil y sont plus nombreux qu'à Golungo Alto. La très belle Fazenda Palmyra, avec une superficie de 100 km<sup>2</sup>, est à cheval sur les deux territoires et occupe un site déjà colonisé antérieurement, car on y trouve les ruines d'une église et un cimetière pour Européens. L'effectif du personnel, qui s'élevait en 1897 à 165 unités, est réduit à 72, soit une diminution de  $2 \times 93$  bras. On lui présente une fillette de 10-12 ans atteinte de maladie du sommeil en évolution. Les données au sujet d'une quinzaine d'autres plantations, d'importance variée, confirment l'impression générale, soit la présence d'un à quelques malades et le souvenir de nombreux cas ou décès. La Fazenda Montebello en est un bon prototype. La Fazenda Providencia est la plus atteinte avec un nouveau cas par mois. Certaines *fazendas* pouvaient fournir des relevés annuels de leur personnel.

La fazenda da Vulla à gestion indigène avait déploré de nombreux décès par maladie du sommeil. Lors de l'inspection, il y avait un cas en évolution.

La *Colônia de São João*, agricole et probablement pénale, était un établissement où les cas de maladie du sommeil étaient nombreux, et l'origine présumée de divers cas apparus dans les *fazendas*. Le nombre de résidents, qui était de 319 en 1898, s'était abaissé à 262 en 1901. De 1899 à 1901, 23 décès par maladie du sommeil avaient été enregistrés. Lors de la visite, il y avait 5 cas, âgés de 4 à 15 ans, cliniquement évolutifs.

Au poste militaire de Camingua, siège de la 8<sup>e</sup> division du *concelho de Massangano*, il y avait 2 cas, âgés de 8 et 3 ans. Ce dernier est celui de la fille d'un parent mort d'hypnose. Celui de Cambuca compte 3 malades. Au poste de Caculo, jadis le siège du territoire, Leitão trouve 3 cas dont un soldat.

A Adalatando, siège administratif actuel, qui compte une population de 400 indigènes et 93 européens et abrite une station météorologique, il observe également 3 cas. A la gare du chemin de fer, au km 321, il y a également 3 cas.

Pour la municipalité de Casuaballa, siège de la 12<sup>e</sup> division du *concelho de Massangano*, un résident présent depuis 7 ans, signale qu'une *sanzala* d'une centaine de cases n'en compte plus que 4 ; les autres ont disparu suite à la maladie du sommeil et aux fuites qu'elle provoque. Le jour de la visite, il y avait 2 cas.

Les villages, tel celui de Kindongo, dont la population a baissé de 20 % en 5 ans (260 à 203), ou de Libello, cité à diverses reprises comme étant à l'origine de cas importés dans les plantations, sont des foyers actifs de maladie du sommeil et souvent le point de départ de sa diffusion.

### 3. DONDO

Le service administratif recense la population. L'annuaire de 1897 relève pour le territoire 12 304 habitants, chiffre qui s'est réduit pour 1900 à 5 595,

soit de plus de 50 %, chute qui semble due en bonne partie à une émigration importante de la population vers l'île de São Tomé.

La ville de Dondo, fondée en 1625, est restée un marché et un centre commercial important sur le Cuanza où la navigation est bloquée par les rapides de Cambambe. Son port assure l'exportation des produits agricoles vers Luanda et la Métropole. Son urbanisation est de type colonial caractéristique et agréable, mais insalubre et infestée de moustiques. Elle possède une infirmerie où les malades, notamment ceux atteints de maladie du sommeil, sont enregistrés. La Délégation pour la Santé signale 98 cas pour 1900 (39 de sexe masculin, 59 de sexe féminin). Sept sont d'âge inconnu, les autres se répartissent comme suit : < 10 ans, 8, 8,2 % ; 10-20 ans, 21, 21,4 % ; 20-30 ans, 35, 35,7 % ; 30-60 ans, 25, 29,5 %. Pendant cette période, 487 décès ont été notés, dont 20,1 % dus à la maladie du sommeil. Au mois de janvier 1901, on a enregistré 38 décès, dont 14 par hypnose, en majorité des adultes, soit 36,8 %. Ces chiffres impressionnants justifient amplement l'inquiétude des autorités.

Leitão séjournera 4 jours à Dondo, ce qui lui permettra d'examiner en détail 8 malades, dont 5 hospitalisés à l'infirmerie. Il s'agit d'un soldat robuste tombé malade en novembre et dont un frère est mort de maladie du sommeil ; une ménagère originaire de Libello malade depuis 3 mois ; un garçon de 9 ans habitant chez un commerçant ; un homme de constitution solide originaire de Kissama ; un « typoyeur » originaire de Malanje ; un malade très évolutif ; un domestique âgé de 15 ans ; 2 jeunes gens de 16 ans, dont les parents et un ami sont morts de maladie du sommeil. La symptomatologie est typique, mais ce qui frappe c'est l'évolution rapide de la maladie.

Le chef du *concelho* a recueilli par l'entremise des commandants des divisions le nombre de cas de maladie du sommeil : 117 au total (68 hommes, 49 femmes). Leur distribution est inégale, forte dans les 3 premières divisions, notamment 94, soit 80, 3 %, 15 dans la 4<sup>e</sup>, 12,8 %, et 5 dans la 5<sup>e</sup>, 4,3 %. Quoique ces données aient été recueillies par des personnes sans formation médicale, elles ne sont pas sans intérêt ; en effet, les indigènes reconnaissent parfaitement la maladie du sommeil.

#### 4. MASSANGANO

Cette ville, située sur la rive droite du Cuanza et la rive gauche du Luculla, est accessible en 2 heures par bateau à vapeur en descendant la rivière à partir de Dondo. Elle fut le siège d'un gouvernement subalterne, ce qui se voit par la présence d'une église et d'une forteresse dont les murs extérieurs sont préservés.

Elle ne compte plus que 129 foyers et 356 habitants, dont 2 européens, et 2 factoreries. Le climat est chaud et humide, les moustiques abondent. L'approvisionnement en eau se fait directement à la rivière.

Un séjour de 2 jours lui permet d'observer 5 malades, dont 2 soldats, notamment un sergent de 24 ans, ancien greffier du *concelho*, malade depuis 2 mois et dont un frère et une amie sont morts de maladie du sommeil ; le deuxième, âgé de 25 ans et marqué par la variole, est malade depuis 2 ans ; il y a, en outre, un garçon de 13 ans, malade depuis 2 ans, une jeune fille de 18 ans, malade depuis 9 mois, dont une sœur est décédée de maladie du sommeil et un portier lettré de 25 ans, malade depuis 8 mois, qui se plaint d'impuissance sexuelle et alité parce qu'incapable de se tenir debout.

A la descente du Cuanza, au-delà de l'embouchure du Luculla, Leitão rencontre différents hameaux dont Engolome, appartenant déjà à Muxima et le village de Cambondo.

## 5. MUXIMA

Cette petite ville située sur la rive gauche du Cuanza est le siège du *concelho* du même nom. Elle possède une forteresse et une grande église à laquelle les habitants attribuent un pouvoir miraculeux, ne s'étendant toutefois pas à la maladie du sommeil. L'habitation du chef du territoire est l'unique bâtiment parmi des cases et des paillotes. L'endroit est insalubre et l'eau est puisée directement à la rivière.

En se rendant au siège de la 4<sup>e</sup> division, il repasse par le hameau de Cambondo, où il trouve le greffier âgé de 24 ans alité, souffrant depuis 8 mois de maladie du sommeil. Au siège de la division, il y a 2 malades atteints de maladie du sommeil.

A Muxima, il voit 3 malades atteints de maladie du sommeil : une fillette de 10 ans malade depuis 8 mois, présentant une excitation maniaque, dont la mère est décédée de la maladie du sommeil ; une jeune fille de 15 ans, malade depuis 7 mois, dont le père est mort de maladie du sommeil et dont le beau-frère déclare que la maladie est apparue dans la région en 1868 ; un garçon de 16-17 ans, originaire de Calumba (7<sup>e</sup> division).

En se rendant par baleinière à Cunha, il passe par Sagea, siège de la 1<sup>re</sup> division, où les cas de maladie du sommeil sont nombreux et beaucoup d'habitations d'Européens abandonnées. Après 6 heures de navigation, il arrive à Cunha, où il y a une station de chemin de fer sur la ligne Luanda-Ambaca. Ici, on note à nouveau de nombreuses maisons abandonnées ou fermées. Un résident, ayant 30 ans de présence, incrimine la forte réduction du négoce aux nombreux transferts d'habitants vers São Tomé et Príncipe, à la maladie du sommeil et à d'autres maladies, dont la variole. Des malades au nombre de 4 sont examinés : un garçon de 15 ans, dont la mère est décédée de maladie du sommeil ; 2 jeunes gens de 20 ans, dont l'un d'eux a également perdu sa mère de maladie du sommeil ; un noir robuste de 25 ans, dysurique par blennorragie. Tous ont une symptomatologie typique de la maladie et sont en évolution depuis 2 mois à 1 an.



Par le fleuve, il se rend en 2 h 30 à la Fazenda Bom Jesus, la plantation la plus importante dans la région de Luanda, qui est située dans le *concelho* de Calumbo sur la rive droite du Cuanza. C'est la plus grande des *fazendas* visitées par Leitão qui, regrettant de ne pas disposer à son sujet d'informations générales, se contente de décrire la grande habitation du planteur, la *sanzala* bien ordonnée et entretenue pour le personnel et les importants travaux de drainage de la plantation. L'unique source d'eau est toutefois le Cuanza.

Il y a de nombreux cas de maladie du sommeil. Un mulâtre vient d'être embarqué vers Lisbonne. Il peut observer la maladie chez un soldat et des garçons de 10-14 ans. Comme il est de règle, il voit de nombreux malades souffrant d'autres affections, notamment de tuberculose et de rachitisme.

## 6. CALUMBO

Calumbo, la dernière localité prévue au programme de l'enquête, est visitée la veille du retour à Luanda. C'est le siège du territoire dont le chef lui présente 4 malades du sommeil, notamment un batelier en service à Bom Jesus âgé de 30 ans qui, atteint depuis 3 mois de céphalées et de fièvres, était devenu réfractaire à tout travail, querelleur, abattu et qui s'endort à toute heure ; une robuste femme de 36-40 ans, dont l'ami est mort de maladie du sommeil, qui est déprimée et présente des ganglions cervicaux engorgés ; un jeune homme de 20 ans qui depuis 6 mois est atteint de fièvres et de céphalées, porteur de ganglions cervicaux et a une propension à s'endormir ; un bébé de 16 mois, souffrant de fièvres et présentant une discrète adénopathie, suspectée parce que vivant dans la même case que la femme malade ; toutefois, ce diagnostic est peu convaincant.

Il visite ensuite le poste militaire de la 1<sup>re</sup> division localisé à l'embouchure du Cuanza. Le commandant, qui y réside depuis 15 ans, certifie que la maladie du sommeil a été fréquente parmi ses hommes. Il attribue ce fait à une alimentation défectueuse et à l'abus de vin de palme.

Le commandant de la 2<sup>e</sup> division, établie à l'embouchure marécageuse du Tombo, présente son propre serviteur originaire de Libello. Il assure que les cas de maladie du sommeil sont rares et généralement importés.

Le 15 février, Leitão retourne à Luanda pour y achever son rapport et le présenter aux responsables de la Santé Publique.

Leitão a rempli avec conscience les termes de son ordre de mission en visitant les *fazendas* dans les territoires et les localités situés dans l'arrière-pays de Luanda, dont Dongo est la seule à avoir une infirmerie et Massangano qui ne s'orne que des ruines de sa forteresse et de son église. Il a rencontré, en outre, une demi-douzaine de villages plus ou moins abandonnés et quelques postes militaires le long du chemin de fer et autres points stratégiques. Sa prospection étudiera surtout une trentaine de plantations d'importance variable, privées ou gérées par des compagnies commerciales. Il a eu un entretien avec un plan-

teur indigène et a visité une *colônia*. Il recueille chaque fois des renseignements sur l'état et l'évolution de la maladie du sommeil et d'autres pathologies. Ces données fournissent un bon aperçu global de la situation.

### L'état de la question à l'orée du 20<sup>e</sup> siècle

Leitão était parfaitement au courant de la maladie du sommeil telle qu'elle était connue à la fin du 19<sup>e</sup> siècle, c'est-à-dire en l'absence de l'identification de l'agent pathogène et du vecteur, et de la découverte de l'Atoxyl, le premier médicament spécifique. Il en donne d'ailleurs, en complément de son rapport, un aperçu de 31 pages.

En combinant les données des publications de NICOLAS (1861) et de DANGAIX (1861) avec ses propres observations, il décrit **3 périodes évolutives**.

Une *période initiale*, qu'il estime pouvoir être précédée d'une période d'incubation prolongée (5-6-7 ans), soit la période de latence observée par les médecins français aux Antilles, région non endémique, chez des esclaves importés d'Afrique tropicale. L'atteinte débute par des fièvres, des céphalées à localisation, d'intensité et de durée variables, une inaptitude au travail suite à des malaises divers, asthénie, état vertigineux, adénopathies cervicales et/ou sous-maxillaires, un changement d'humeur (triste et déprimé) et de comportement (accès maniacal).

Une *période d'état* caractérisée par une somnolence diurne et de l'insomnie nocturne : le malade se plaint qu'il ne dort pas. L'amaigrissement progressif rend les adénopathies, entre-temps stabilisées, plus visibles. La peau est sèche et perd son lustre. Un prurit intense, une sensibilité diminuée, une impuissance sexuelle, une torpeur, des réponses limitées à des monosyllabes, viennent compléter le tableau.

Au *stade final*, le malade est en somnolence permanente, l'émaciation s'accroît suite au dérèglement de l'alimentation, les accès fébriles font place à de l'hypothermie qui incite le malade à se coucher en plein soleil, le pouls devient filant, il n'y a ni analgésie ni anesthésie, le système neuro-musculaire est fortement troublé, une ptose palpébrale est fréquente, les sphincters sont paralysés, la démarche est titubante, des tremblements et des convulsions cloniques sont fréquents. Image clinique qui peut évoquer une sclérose en plaques. Malgré des améliorations passagères, l'évolution est progressive, la somnolence est quasi ininterrompue, un délire tranquille peut s'installer. La marche vers le coma terminal est inexorable.

Une **classification clinique** est basée essentiellement sur la durée de l'évolution : *aiguë*, ne dépasse pas 2 mois ; *subaiguë*, jusqu'à 8 mois ; *chronique*, plus de 8 mois mais n'excédant guère 2 ans. Utilisant la symptomatologie comme critère, Leitão distingue : une *forme usuelle adynamique ou torpide*, avec des phénomènes neuro-musculaires ou mentaux se superposant à l'apa-

thie ; une *forme délirante ou vésanique* ; une *forme pseudo-ataxique* à symptomatologie neuro-musculaire, suggestive d'une paralysie spastique ou d'une sclérose en plaques.

Le **diagnostic** est basé uniquement sur des signes d'orientation : la transformation, sans raison apparente, d'un travailleur qui ne s'épargne pas en un fainéant qui devient somnolent, en plus porteur de ganglions cervicaux et/ou sous-maxillaires, dont la peau perd son lustre, qui se plaint de céphalées et de fièvres irrégulières.

Le **pronostic** est invariablement sans espoir ; la maladie se termine par la mort.

Le **traitement** : Leitão souligne qu'un relevé des médicaments et des traitements conseillés et expérimentés serait un exercice futile : aucun d'entre eux n'a à ce jour produit de guérison, ni même d'amélioration passagère. La seule médication rapportée comme palliative est une association de caféine, benzoate de soude et strychnine. Un remède spécifique devrait être trouvé au plus tôt ; entre-temps il faudra bien se contenter des mesures prophylactiques spécifiées plus loin.

### Le problème de l'étiologie

Ce problème est le plus urgent et retient tout particulièrement l'attention de l'auteur. Les spéculations émises reflètent l'évolution des modes de pensée. Les idées sont en mouvement, mais les facteurs pris en considération relèvent d'un répertoire habituel : sexe, âge, tempérament lymphatique ou sanguin, état général, soit d'aucune utilité. D'autres thèmes tout aussi classiques : alimentation, insolation, alcoolisme, abus vénériens, chanvre, hardes repaires de crasse et de vermine, logement partagé avec les animaux, cérémonies mortuaires avec ses chants, danses et beuveries en présence du cadavre, sont évoqués. Malgré leur diversité et leur réalisme, ils ne fourniront aucun élément valable. L'environnement qui, depuis Hippocrate, s'était avéré un facteur parfois déterminant, recevra une attention soutenue : les conditions climatologiques, atmosphériques, telluriques deviendront d'ailleurs des données utiles en rapport avec l'écologie des glossines.

Leitão relève aussi une série de facteurs incriminés par divers auteurs comme causes de la maladie du sommeil. MOREAU DE JONNES (1806) estime qu'un trouble physiologique d'origine climatique pourrait entraîner le sommeil léthargique. CLARKE (1840) croit à un trouble nerveux produit par des fatigues excessives. GUERIN (1869) la classe comme résultant d'une compression de l'encéphale provenant de l'hyperémie passive de cet organe, troublant les manifestations physiologiques du sommeil. CORRE (1877) émet tout d'abord l'opinion que des aliments avancés ou dénaturés pourraient, par analogie avec l'ergotisme, être responsables. Mais en 1877, après une exploration approfondie

des cercles de Joal et Portudal (Petite Côte du Sénégal), il revoit sa position. Se basant sur l'analyse de ses observations cliniques, il voit une nette parenté avec la «scrofule», y compris l'encéphalopathie scrofuleuse, tout en se posant la question : réalité ou coïncidence ? Bradshaw & Clark (1881) croient à une intoxication par le *cannabis indica*. Bérenger-Feraud suggère, dans une note manuscrite rapportée par Jacoud (1881), comme origine une insolation sub-aiguë. José Pereira de Nascimento incrimine l'acide prussique présent dans le manioc cru ou insuffisamment roui. Calmette (1888) l'assimile à une forme de pellagre. P. Manson (1891) suspecte les filaires nocturnes ou perstans. Briquet d'Armentières (1898) souligne dans la Presse Médicale du 7 septembre les rapports entre la maladie du sommeil et le myxœdème, ce que contestent dans le même journal du 10 octobre Régis et Gaige.

L'aurore de la bactériologie fera supputer divers microbes comme cause de l'hypnose. L'association la plus curieuse est celle de Tabuy (1880) qui, tenant compte de la cohabitation habituelle des poules et des hommes, verra une certaine analogie avec le choléra des poules dont la nature microbienne venait d'être établie. Marchoux (1889) sera le premier à incriminer le pneumocoque, auquel le Noir est très sensible, et qui complique souvent la phase terminale de la maladie du sommeil. En 1897, Cagigal et Lepierre avaient découvert un bacille non identifié lors d'une hémoculture d'un sommeilleux ; ils le supposeront être l'agent étiologique.

### Tentative d'approche scientifique

Le Portugal sera la première nation colonisatrice à organiser une **mission scientifique** avec comme objectif d'établir l'agent responsable. En 1901, Anibal de Bettencourt, Ayres Kopke, Gomès de Resende, Correia Mendes, accompagnés d'une technicienne de laboratoire D. Zelia Donas Botto, de l'*Institut Bactériologique Camara Pestana*, sont envoyés en Angola, aux îles de São Tomé et Príncipe. La laborantine observe en Angola dans un frottis de sang d'un trypanosé une image insolite qu'elle croit être un parasite nouveau. Elle soumet sa trouvaille au chef de la mission, Anibal de Bettencourt, éminent bactériologiste et protozoologiste. Celui-ci, convaincu que l'agent pathogène était une bactérie, décide qu'il ne s'agit que d'un quelconque détrit. Plus tard — trop tard — il a pu s'assurer à la relecture que le présumé détrit était un trypanosome. Il aura sans doute regretté souvent cette occasion perdue d'une grande découverte (CAMBOURNAC 1982). Jusqu'en 1903, la découverte fortuite de bactéries va égarer, outre de Bettencourt, et son hypnocoque, de nombreux chercheurs, bactériologistes de formation, notamment Broden (1901) et Castellani (1903) qui, même après sa découverte de trypanosomes dans le L.C.R., persistera à tenter de préparer un vaccin bactérien.

Leitão, en se basant sur ses observations et renseignements épidémiologiques, était convaincu de la nature infectieuse microbienne et contagieuse de la maladie du sommeil et excluait une condition héréditaire. Il en déduisait logiquement des mesures prophylactiques telles que l'isolement rigoureux du malade, la désinfection du logement au sublimé, une prohibition des pratiques funéraires, la nécessité de visites médicales dans les territoires sans médecin.

### Survol de l'histoire de la maladie du sommeil

Leitão fait en outre un relevé bien documenté concernant l'**historique de la maladie du sommeil**. Il commence avec T. WINTERBOTTOM (1803), médecin au Sierra Leone, qui publie un mémoire en deux volumes sur les Africains et qui comporte des données sur la situation médicale au Sierra Leone. Ce livre mettra fin à un hiatus de 50 ans pour la *sleeping sickness*, signalée en 1754 par John Atkins, médecin de la marine anglaise. Winterbottom mettra l'accent sur l'adénopathie cervicale, fréquente dans le golfe de Guinée, et bien connue des négriers. Moreau de Jones, qui pratiqua aux Antilles de 1806 à 1808, est le premier à signaler une somnolence parmi des esclaves africains qu'il dénomme «sommeil léthargique». R. CLARKE, chirurgien en Côte d'Or et au Sierra Leone, publie en 1840 ses observations sur des cas de léthargie. Daniel, médecin au Sierra Leone, spécifie en 1849 que la maladie du sommeil est endémique dans le golfe de Guinée. Davis (1857), médecin de la marine anglaise, la mentionne à l'occasion de son exploration en 1854-1857 dans le bassin du Niger. Charles DANGAIX (1861), médecin de la marine impériale, s'informe sur l'hypnose ou maladie du sommeil au Congo à Punto da Cunha. Adolphe NICOLAS (1863), chirurgien de la marine, publie après cinq voyages en charge de l'émigration d'Africains, son expérience sur la maladie du sommeil et en fera sa thèse (1872). BOUDIN (1862) traite dans son essai sur la pathologie ethnique de la maladie du sommeil. J. CARLES (1863) en fait, après cinq voyages d'émigration, le sujet de sa thèse à Montpellier. GRIFFON DU BELLAY (1864) observe des cas dans le service de l'hôpital flottant de la caravane Mouillé, ancré en rade au Gabon. Les publications d'André Charles (1864) et de SANTELLI (1868) font le point respectivement pour le Congo et chez des Krumen au Gabon. GAIGNERON (1864) étudie la maladie du sommeil, affection endémique parmi les nègres de la côte occidentale de l'Afrique. CHASSANIOL (1865) publie une contribution à la pathologie de la race nègre. GUERIN (1869) publie sa thèse sur la maladie du sommeil en Martinique chez des esclaves noirs originaires de la côte occidentale de l'Afrique. LE ROY DE MERICOURT (1871) traite de la maladie du sommeil en faisant largement usage de la thèse de Guérin. OGLE J. W. (1873), médecin du St. George Hospital, publie sur la *sleeping sickness*. FERREIRA RIBEIRO (1871) attire l'attention sur la présence à São Tomé et Príncipe d'une maladie de diagnostic obscur.

CORRE (1877), médecin de la marine, publie sa «Contribution à l'étude de la maladie du sommeil» (hypnose). L'intérêt pour le problème devient donc très réel au cours de la seconde moitié du 19<sup>e</sup> siècle.

### L'expérience angolaise

Leitão, parfaitement au courant des publications en langue française et anglaise, a contribué à leur connaissance en Angola. Il n'en est pas moins intéressant d'examiner les contributions subséquentes d'autres médecins et chercheurs portugais, après Leitão et la «Mission de Bettencourt». Les questions qui reviennent invariablement sont «où et quand la maladie du sommeil a-t-elle fait son apparition ?». Les seules données objectives sont les inscriptions de cas d'hypnose dans les registres des hôpitaux fort clairsemés, l'effectif des médecins n'atteignant pas la douzaine et les diagnostics étant réduits aux signes cliniques. Il va de soi qu'une maladie largement inconnue, ne présentant que des cas isolés, devait rester méconnue en l'absence de médecins ou d'épidémies.

Entre 1915 et 1917, le Dr Correia Mendes dirigera 3 petites missions avec les Drs Gomes Salgado, Assunção Velho et Bruto da Costa pour combattre la maladie dans les districts de Benguela, Moxico et autres. Ils réaliseront une enquête médico-géographique sur la distribution de la maladie et des glossines vectrices dans la partie centrale de la colonie. Ils vont assainir la région de Cavaço, foyer important par sa situation près de Benguela, et apparurent lors du rapatriement forcé, non contrôlé de travailleurs de São Tomé et Príncipe.

BRUTO DA COSTA et ses collaborateurs (1916), chargés d'une mission à l'île de Príncipe, complètent la liste des données historiques de Leitão. Ils citent John Atkins, médecin de la marine anglaise, comme étant le premier à mentionner en 1754 son existence en Afrique occidentale. D'autres additions ont été reprises dans le texte de Leitão. Ces auteurs signalent en outre que l'invasion du bassin du Cuanza, c'est-à-dire les terres les plus fertiles de l'Angola, aurait débuté en 1871 à partir de Malange et que, peu auparavant, sa présence aurait été reconnue en aval du Malebo (Stanley) pool. FERREIRA RIBEIRO (1871) avait observé avant cette date à São Tomé et Príncipe des cas importés du Gabon et du Congo. Ces deux îles étaient indemnes de maladie du sommeil et de leurs vecteurs, mais dépendaient pour leur main-d'œuvre d'esclaves importés du continent et nombre d'autres y étaient en transit vers le Brésil et d'autres colonies outre-Atlantique. L'épidémie, qui faisait rage à Príncipe en 1877, avait comme origine l'importation de travailleurs originaires de Cazengo. L'introduction de glossines dans l'île de Príncipe a été parallèle à l'importation de bétail du Gabon à partir de 1825, période où s'est établie une alternance du transport maritime d'esclaves et de bétail. L'écologie n'était favorable à la biologie des glossines que dans une partie de cette île, ce qui

a simplifié leur extermination en 1912-1914 et, à nouveau, lors d'une réintroduction, en 1954.

Alberto Carlos Germano da Silva Correia (1923) rappelle dans sa communication au «Primeiro Congresso de Medecina Tropical da África Ocidental» tenue à São Paulo de Loanda (juillet 1923) que, si on ignore d'où et quand la maladie a gagné l'Angola, les premières notifications datent de 1871-1872. L'existence de la maladie du sommeil avant ces dates, sous une forme endémique sporadique et méconnue, est vraisemblable. Au port fluvial de Dondo, des cas et des décès sont observés entre janvier et octobre 1872. Elle est signalée à Massangano en 1873 et à Bom Jesus, sur la rive gauche du Cuanza, à Cazengo et à Galungo en 1874, ainsi que dans les territoires de Cambambe et de Massangano. De 1875 à 1894, elle s'étend le long des rives marécageuses et arborées des rivières Cuanza, Bengo et Dande, riches en glossines, dont le rôle vecteur ne sera reconnu qu'en 1903-1905 (Brumpt) et démontré en 1908 (Kleine). Des villages florissants d'agriculteurs indigènes occupaient ces galeries forestières et seront décimés par la maladie, les fuites et les décès. En 1895 une épidémie sévit à Ambaca suite à son introduction par des travailleurs infectés rentrés de Muxima, Quissama et d'autres lieux. Simultanément elle sévit à Pungo-Andondo, Mahabella, etc. L'auteur ne parvient pas à établir un tableau «géographico-sanitaire» de ces données et, pour y suppléer, il fournit un relevé extensif des cas notifiés dans les rapports statistiques de 1873 à 1921. Il appert de ces données qu'elles se limitent aux endroits où il y a un service médical (Luanda) ou une commission sanitaire (Dondo) et, dans une moindre mesure, des agglomérations disposant de personnel sanitaire. Les cas sont estimés importés, suivis ou non d'une propagation locale, notamment à Benguela, Mossamedes, Novo-Redondo, voire Lobito (1914). Ambaca et Malange sont trouvés régulièrement infectés à partir de 1902-1903. Il est intéressant de constater qu'Ambriz, port situé à la limite de l'Angola et du Kongo, est atteint de 1873 à 1920, alors que Noqui, port sur le fleuve, n'aurait été infecté qu'à partir de 1917. Cette différence résulte de l'absence de surveillance et d'occupation médicale des territoires de l'ancien Royaume du Kongo.

En 1921, un institut de recherches scientifiques sera créé par un arrêté du Haut-Commissariat d'Angola et des mesures seront édictées visant à la protection des travailleurs indigènes employés dans les fermes agricoles et industrielles ; elles comportent en outre des mesures d'assainissement.

Lors du «Primeiro Congresso de Medecina Tropical da África Ocidental» de Luanda (1923), déjà cité, il y avait des foyers permanents dans les districts du Zaïre, Kongo et Nord-Cuanza, la *Cuanza da Morte*. Ce Congrès, auquel participaient des délégations étrangères comprenant des autorités en matière de trypanosomiasés, a déterminé les autorités angolaises à organiser deux missions de reconnaissance, notamment dans le district du Zaïre (Carlos de Almeida) et celui du Kongo (Frederico Rebelo). Leur action sera basée sur

un recensement et le traitement à l'*Atoxyl* des malades, ainsi que sur une recherche des glossines vectrices. Cette organisation n'aura qu'une durée limitée.

En 1926, le Haut-Commissaire Vincente Ferreira donnera une nouvelle impulsion aux activités sur le terrain et libérera les moyens budgétaires pour un plan d'action efficace dans quatre grandes zones, subdivisées en secteurs : Kongo-Zaïre, Cuanza, Luanda, Benguela. Le Dr Alfredo Gomes da Costa dirigera le groupe de *médicos da mata* qui procédera sur la base d'un plan d'opérations alliant des convocations collectives et une atoxylation de masse. L'efficacité de ce personnel a permis de ramener le taux d'infection à 2,6 % (1927) et à 0,26 % (1933).

PIRES VEIGA (1937), dans une note quelque peu emphatique au sujet de la terrifiante endémie qui a dévasté le bassin du Congo, est d'avis que celle-ci a pénétré en Angola par le Kwango, ses affluents et à partir des foyers en pays Luanda, mais pas avant 1870. Les premiers cas auraient été observés, d'après les documents officiels, à Quissama dans le Sud-Cuanza et disséminés par des travailleurs dans le bassin du Cuanza, notamment dans la région de Cazengo, puis à Massangano et Dondo.

António Damas Mora a établi de 1921 à 1934 divers rapports sur la question, dont celui de 1934 traite plus spécifiquement de la lutte contre la maladie du sommeil. Il discute en 1934 le rôle des plantations de café dans les districts de Cazenga et Golungo Alto comme créant des conditions idéales pour la prolifération de tsé-tsés. En 1942, il défend à son tour la thèse de l'infection du bassin du Cuanza à partir de Malange. Elle aurait été la cause de l'impressionnante dépopulation de la région la plus fertile de l'Angola. Celle-ci peut être illustrée par des chiffres : le botaniste Welwitsch avait estimé en 1852 la population à 1 500 000 ; un demi-siècle plus tard, il n'en restera que 40 000. Le territoire de Quissama, qui pouvait lever du 16<sup>e</sup> au 18<sup>e</sup> siècle 60 000 guerriers, ne compte plus après le recrutement forcé que 3 000 habitants (11 000 en 1940).

En plus des épidémies de variole, le développement agricole, qui a nécessité un recrutement forcé d'effectifs importants de travailleurs, tant pour les plantations que pour la construction indispensable d'un chemin de fer de Luanda à Ambaca, aura un effet nuisible sur la population. Les conditions de travail, l'hygiène précaire, l'alimentation non équilibrée, l'abondance des glossines du km 40 à Lucala, l'effectif réduit de médecins, ont entraîné des décès, des maladies, des renvois, des défections inspirées par des terreurs paniques. Les évasions, le long de pistes situées sur les berges des cours d'eau riches en glossines, et l'obligation imposée aux chefs de villages de remplacer les unités défaillantes ont contribué à multiplier les transmissions. La Basse-Cuanza, notamment les plantations indigènes dans le territoire de Cazengo et la municipalité de Dondo, a été très atteinte et est devenue quasi déserte. Dans le Sud-Cuanza, le territoire de Quissama sera le plus atteint.



A. SARMENTO (1947), émerveillé par l'œuvre accomplie par ses prédécesseurs portugais dans la lutte menée contre la maladie du sommeil, déplore que les informations fournies dans les traités de Joyeux-Sicé (1937) et Manson-Bahr (1942) fourmillent d'erreurs parce qu'ils se basent sur les données fournies par la Société des Nations. Elles ignorent les foyers importants existant dans le Nord et le Nord-Ouest, renseignent des foyers éteints depuis des années et en situent d'autres dans des territoires qui ont toujours été indemnes. Il rappelle que des données historiques sont d'utiles compléments aux exposés classiques. Elles permettent notamment de signaler qu'en 1895 la maladie du sommeil était fort répandue à Ambaca et régions avoisinantes, qu'en 1910-1915 Nascimento de Andrade et Assunção Velho ont effectué une mission de reconnaissance de quelque 3 700 km entre les 11<sup>e</sup> et 15<sup>e</sup> parallèles et qu'en 1915-1916 une première tentative de lutte a été entreprise par des brigades sanitaires *ad hoc*. La marche progressive de la maladie importée par l'introduction massive de travailleurs dans la Basse-Cuanza riche en glossines ne peut être explicitée.

En 1946, le Dr Luis Pinto da Fonseca organisera la chimioprophylaxie à la pentamidine, un demi-million de personnes seront injectées en 18 mois, ce qui donnera l'impression d'une victoire, hélas seulement apparente.

DA ROCHA & PIRES (1966) ébauchent un croquis historique basé sur une progression de la maladie du sommeil à partir du Nigéria dans le bassin du Congo par la Sangha et débouchant à Liranga. De ce point, elle serait descendue par le fleuve vers le Bas-Congo et aurait en outre progressé vers l'Est avec les expéditions militaires vers le Bahr-el-Ghazal. Cette progression graduelle méconnaît des faits bien connus telle la présence de l'hypnosie vers le milieu du 19<sup>e</sup> siècle dans la vallée du Cuanza, qui aurait été infectée à partir du Congo et du Kasaï. Ce mode de dissémination est également en contradiction avec la présence de la maladie du sommeil en Martinique chez des esclaves étudiés pendant 12 ans par GUERIN (1869) et présumés importés de l'Angola vers 1850 (Lambrecht 1964).

### Le problème de l'origine

En matière de maladies infectieuses, il y a un principe auquel adhèrent, avec davantage de mauvaise que de bonne foi, les autorités sanitaires de tous les pays : l'origine des épidémies se situe toujours dans le pays voisin. Une telle introduction est affirmée tout aussi bien lorsque la frontière politique scinde un même biotope. Certes, la chose peut être réelle dans des situations particulières comme celle de l'île de Príncipe, île volcanique inoccupée avant sa découverte par les Portugais. Le transport maritime de personnes infectées de maladie du sommeil originaires du Kongo-Angola et de glossines vectrices importées avec les transports de bétail venant du Gabon créeront des foyers

actifs. PIRES VEIGA (1937) estimera que l'épidémie de Malange a pénétré à partir du Kwango frontalier ou de ses affluents en pays Luanda. Pour étayer sa thèse, il se réfère à la terrifiante épidémie du bassin du Congo, quoique celle-ci se soit développée quelque 30 ans plus tard.

L'apparition d'une épidémie de maladie du sommeil en 1870 à Malange est un fait bien établi (BOBPA). Un tel incident n'est nullement extraordinaire. En effet, si l'hypnosie a été découverte dans la zone côtière de l'Atlantique, par Atkins à la Côte de Guinée en 1721, et ensuite par une série d'observateurs, nombre d'entre eux feront remarquer, après Clarke en 1840, que les malades n'étaient pas des habitants de la Côte de Guinée, mais des personnes venues de l'intérieur. On peut y ajouter que les médecins et chirurgiens de la marine ont étudié la maladie du sommeil dans les régions côtières où ils pratiquaient, mais que les explorateurs et missionnaires l'ont située à l'intérieur des terres. De plus, la reconnaissance de la maladie a été facilitée par les négriers qui connaissaient la valeur des ganglions cervicaux comme indicateur valable et tentaient de les camoufler chez ceux qui avaient échappé à leur perspicacité lors de leur acquisition, en extrayant les ganglions cervicaux témoins (signe de Winterbottom). Nicolas, chirurgien en charge des «émigrants» à bord, estime à 5 % le nombre de cas qui échappent à cette sélection lors de l'embauche.

L'existence de petits foyers sporadiques isolés évoluant à bas bruit dans des régions fort distantes peut se déduire des propos recueillis par des observateurs bien avertis chez des personnes bien au courant du passé. Leitão en a récolté dans le Golungo Alto, De Vos, Sakin, Greggio en a recueilli d'autres pour le Kwango, Rodhain pour l'Ubanghi, Hackars pour la Semliki, Heckenroth pour la Sangha, et les foyers repris par Dutton et Todd pour leur carte de 1884 en sont autant d'exemples. Ces informations s'accompagnaient souvent de remarques au sujet d'une possible intensification à l'occasion de changements brutaux du mode de vie (razzias, opérations militaires) ou par l'introduction de personnes qui s'étaient infectées lors de grands déplacements.

Des renseignements fiables au sujet de la situation dans le cas particulier du Cuanza seraient très utiles. Des données concernant les régions contingentes à la *rive occidentale* du Kwango sont inexistantes. Depuis la bataille d'Ambwila en 1665 et la réoccupation de São Salvador en 1865, suite à la requête en 1860 du roi Pedro V pour une aide portugaise, le Kongo a été complètement abandonné à son sort. Sur une carte de la distribution de la maladie du sommeil en 1957, deux foyers contingents au Kwango sont marqués. La région avoisinant la *rive orientale* du Kwango dans son cours frontière, soit les 500 km depuis le parallèle de Noqui et les chutes Guillaume, fait partie depuis 1885 de l'Etat Indépendant du Congo, puis du Congo belge. Elle a été explorée par Grenfell sur 350 km en 1886, par Delcommune en 1888 et occupée par Dhanis en 1890. Ce dernier fonde Popokabaka, mais ne signale pas la maladie du sommeil qu'il connaissait depuis ses activités dans le Haut-Congo. L'enquête de Boulanger en 1898 signale la présence de quelques cas à Popokabaka, David

(1914) trouve 20-30 % de porteurs de ganglions cervicaux (unique méthode de diagnostic), Schwetz estimera cette proportion à 60 % en 1919. L'existence de petits foyers méconnus sur l'une et l'autre rive est possible et à l'origine d'une extension considérable occasionnée par l'occupation européenne.

Des jésuites qui parcouraient régulièrement le Kwango, plus spécifiquement la région comprise entre l'Inkisi et la Nsele, ont constaté la dévastation produite par l'extension épidémique de la maladie du sommeil : Kimuenza fondé en 1900 devra être abandonné en 1905. Ce sont eux qui, parlant l'idiome véhiculaire, se sont informés auprès des populations au sujet de l'origine du fléau. Leur histoire orale précise que la maladie était présente avant 1870 et même avant l'arrivée des Blancs, mais a pris depuis une regrettable extension. Ceci est confirmé pour le Bandudu par le scheutiste Baltus. De Pierpont vérifiera ces observations pour le Kwilu. Le rapport de Leitão confirme le fait pour Golungo Alto et Gaigneron le soulignera en citant, dans sa thèse de 1860, que les médecins portugais croient à la nature épidémique de la maladie du sommeil. Cette opinion, émise à une date bien antérieure, rejoint les renseignements recueillis dans la région avoisinant la *rive orientale* du Kwango par Greggio (1917). Celui-ci, visiteur régulier de la région et parlant la langue locale, avait découvert à son tour que la maladie existait déjà longtemps avant l'arrivée des Blancs et établit qu'il existait deux foyers anciens, l'un situé entre les chutes de Kingusa et Mwene Dinga à la frontière avec l'Angola, l'autre dans la zone de la jonction des grandes rivières, Kwango, Kwilu, Kasai dans le Kwa, soit le Bandundu actuel. De Vos (1903) avait identifié également ces deux foyers.

### Le problème de la traite

La connaissance de la maladie du sommeil est, de plus, intimement liée à la *traite*. Cette honteuse exploitation de l'homme par l'homme est devenue à partir du 16<sup>e</sup> un facteur économique majeur pour le commerce «atlantique». L'occupation portugaise du Congo, puis de l'Angola, a transformé une forme de servage domestique en un marché de très grande ampleur pour satisfaire aux besoins en main-d'œuvre des colons installés dans le Nouveau Monde. Il se développera rapidement une forte rivalité parmi les armateurs hollandais, français, britanniques et autres. Les échanges de produits utiles et nécessaires dans les marchés locaux ou par des colporteurs (*pombeiros*) se verront supplantés par des «exploitations caravanières» groupant plusieurs colporteurs accompagnés de personnel divers et de milices de protection, achetant ou razziant des esclaves qui servaient en même temps de porteurs, notamment d'ivoire. Elles parcouraient des distances considérables pour livrer leurs marchandises aux sites de traite, organisés par des roitelets locaux dans des lieux de la côte atlantique aisément accessibles, à l'abri de la barre et aussi

des regards de la concurrence. Appréciés par les négriers, ils y établissent leurs barracons. Ils seront très nombreux tout au long de la côte. Des ports plus importants comme Freetown, le port d'attache de la marine britannique, Luanda, Cabinda, Malemba, Loango, etc. connaîtront des activités plus générales à partir de l'abolition officielle de l'esclavage.

Les archives des autorités portuaires et des armateurs du Portugal, de France, des Pays-Bas, entre autres, sont des sources riches en renseignements sur les caractéristiques et l'ampleur de la traite. Les journaux de bord sont des mines de renseignements très précieux. Ceux de Pierre-Ignace-Liévin Van Alstein sont un exemple très accessible. Ce Gantois, élève du collège Sainte-Barbe, est envoyé par son père, lors de l'occupation française de Gand au cours de la guerre de Succession d'Autriche et pour éviter les enrôlements forcés, à Nantes chez une tante maternelle. Elle était une Gough, famille irlandaise émigrée en France ayant suivi James II dans son exil, liée avec le monde des armateurs nantais, dont le fondateur de la Société d'Angole pour qui la traite était la raison d'être. Ces armements seront ruinés par la guerre de Sept ans. Pour ne pas être à charge de son oncle, le jeune Van Alstein, âgé de 15 ans, s'engagera comme apprenti matelot (novice) en 1849 sur le *De Montmartel* qui se rend à Saint-Domingue (Haïti). Il fera une brillante carrière, malgré un séjour d'un an en Jamaïque comme prisonnier des Anglais. Grâce à des études appropriées et la réussite d'un examen sévère, il commandera à 32 ans le brick *l'Africain* de l'armement Pottier frères. Après 7 campagnes en 34 ans sur des bâtiments négriers effectuant le circuit triangulaire reliant les côtes d'Afrique occidentale aux Antilles et à Nantes, il se retire à Nantes et terminera sa vie en rentier fortuné en 1793.

Les écrits de ce capitaine négrier sont riches en détails sur la navigation, la traite, les rites des marchandages (présents d'arrivée et de départ, paiements sous la table, les plaisirs marchands), le nombre de navires dans les divers sites d'embarquements (3 à 7), le rôle du chirurgien de bord, les maladies (gale, pian, petite vérole, variolisation), mais il n'est pas fait mention de maladie du sommeil en cette seconde moitié du 18<sup>e</sup>. Ses nombreux documents commerciaux et personnels sont en dépôt aux archives de l'Etat (Province Orientale) au Château de Gérard le Diable à Gand. Ils ont été mis à la disposition de RINCHON (1938) et de EVERAERT (1964) par l'archiviste F. H. d'Hoop, un parent éloigné de P.I.L. Van Alstein.

Un deuxième document est une étude récente par SALMON (1995) de deux rapports établis par L. H. Gaigneron, chirurgien de la marine qui, en attente du *Dahomey* où il devait prendre service pour les Antilles comme destination, occupera ses loisirs à visiter différents établissements de la Maison Regis de Marseille dans l'estuaire du Congo en 1859. Les renseignements qu'il fournit sur Saint-Victor et Boma (M'Bomma) sont particulièrement intéressants pour notre travail. Saint-Victor est un vaste baracon installé sur la lagune de sable à la rive droite du fleuve, soit la pointe de Banana, où sont rassemblés les

émigrants noirs rachetés aux traitants de la Côte occidentale en attendant leur transfert aux Antilles. Il comporte en plus un hôpital bien entretenu et desservi par un infirmier cabindais. Les renseignements rassemblés informent d'abord sur les pertes énormes pendant cette attente : 900 sur 2 000, soit 45 %. Leurs causes sont tout d'abord classiques : dysenteries, affections pleurales et pulmonaires. La surprise est la troisième : maladie du sommeil. Gaigneron la connaît et en fera l'objet de sa thèse. Il s'agit de la première mention de cette « méningite-encéphalite » pour cette région et le Zaïre. Elle semble être apparue sous une forme épidémique deux ans après une disette. Gaigneron regrette de ne pas avoir eu l'occasion de faire des autopsies. Il a observé aussi de nombreux cas de gale, de sarnes et de *macula*, une infection massive par oxyures qui sortent de l'anus et pouvant causer des ulcérations intestinales chez des enfants anémiés, ce qui pourrait entraîner des ankylostomiasés aiguës. Boma, port fluvial situé à 64 milles de l'embouchure, dans une vallée fertile et riche en eau, est un grand marché d'esclaves, desservi par d'autres marchés inaccessibles aux blancs, permettant l'achat de 60 à 80 esclaves par jour. Ils viennent de très loin, 100-200 et davantage de milles, et ce sont en majorité des esclaves de naissance. Gaigneron signale que le recrutement le long de la côte est limité par des accords avec les Portugais. Par contre, le pavillon français protège contre les intrusions anglaises.

Des études récentes plus scientifiques, bien documentées, multidisciplinaires tentent de reconstruire la vérité historique sur l'Angola. Dans les domaines pouvant jouer un rôle dans l'existence de foyers de trypanosomiase humaine gambienne ou de leur extension, elles n'apportent aucun élément nouveau. Il s'ensuit que pour la période antérieure à son identification officielle lors de la flambée épidémique de Malange en 1870 (dans BOGPA), elles doivent s'en rapporter également à l'histoire orale, d'ailleurs généralement fiable. Il est toutefois probable que des données intéressantes existent dans les archives des compagnies négrières portugaises.

J. R. DIAS (1981) estime, en se basant sur l'opinion et la lecture par F. LAMBRECHT (1964) de la thèse de GUERIN (1869) rapportant son expérience clinique sur des esclaves importés à Fort-de-France en Martinique venant de l'Angola, que la maladie était très répandue au Congo. Dans sa thèse, il spécifie que ses malades étaient des immigrés venant de la Côte d'Afrique, c'est-à-dire d'un arrière-pays très varié, parfois très éloigné. Ces malades étaient en fait des émigrés ou pseudo-engagés volontaires sous contrat transportés par la marine française au départ de barracons situés au sud de l'équateur où ce genre de transport était encore toléré. Il est possible, mais non prouvé, que leur port d'embarquement ait été Luanda.

### L'épidémie du bassin du Congo

Le *Relatório* de Leitão permet de se faire une bonne vue d'ensemble sur les suites de l'épidémie de maladie du sommeil dans le triangle fertile du plateau arrosé par le Cuanza dans le *hinterland* de Luanda. Il offre également un bon panorama historique des connaissances acquises en matière d'hypnosie en Afrique tropicale occidentale et centrale. Il fournit en plus un aperçu très complet des aspects cliniques, fruit de nombreuses observations de ses confrères portugais, ainsi que de médecins de la marine anglaise et française. Il suspecte une origine infectieuse et en déduit des conseils prophylactiques. Il souligne en outre les troubles profonds qui ont entraîné une forte régression du développement agro-économique.

Quiconque a quelque notion de la calamité majeure déclenchée par la maladie du sommeil dans le bassin du Congo et de ses affluents, contemporaine de l'ouverture trop précipitée de la colonie au processus de développement, ne peut s'empêcher d'établir un parallèle avec la catastrophe angolaise dont le début se situe trois décennies plus tôt (1870) et qui, de ce fait, en est en quelque sorte une préfiguration.

Les motifs qui ont été à l'origine de la hâte avec laquelle les responsables ont orchestré leur programme, sont à chercher dans l'*Acte Général de la Conférence de Berlin* en 1885. En effet, celui-ci imposait la liberté du commerce dans le bassin du Congo et l'occupation effective des territoires revendiqués. La concurrence expansionniste des pouvoirs coloniaux a forcé une certaine précipitation. Cet état de choses a amené du côté belge la création du Comité d'Etudes du Haut Congo (CEHC), un des nombreux changements de dénominations dont Léopold II et son entourage avaient le secret dans leurs efforts pour doter la Belgique d'une colonie. Ce Comité modifiera l'approche de l'Afrique centrale par la côte orientale, choisie par l'*Association Internationale Africaine*, née de la Conférence Géographique de Bruxelles. Lorsque Stanley atteindra Boma en 1877, la voie occidentale s'avérait possible. Le CEHC engagera Stanley en 1878 pour examiner le bénéfice que l'on pourrait tirer du bassin du Congo. Les chutes et les rapides excluant toute navigation de l'estuaire au Malebo-Pool, Stanley va établir une liaison de Vivi au Pool par une route caravanière sur la rive droite, prélude d'un chemin de fer le long de la rive gauche décidé en 1889 et achevé en 1898. Entre-temps le CEHC s'était mué en *Association Internationale du Congo* (AIC), qui facilitera la fondation de l'*Etat Indépendant du Congo* (EIC) en 1885.

Le Mandat de Berlin imposant une occupation effective du territoire, ce qui, dans le cas de l'EIC, signifiait occupation accélérée, sera réalisé. La campagne arabe anti-esclavagiste et celle contre les Mahdistes ont nécessité des expéditions militaires, mais garanti les frontières au Nord-Est et à l'Est. Ces innombrables déplacements de personnel et de matériel ont entraîné un

développement surprenant du nombre et du tonnage des bateaux fluviaux à moteur, de l'aménagement d'embarcadères et de postes à bois, dont le rôle nocif par multiplication des contacts avec les vecteurs n'était pas encore suspecté. Cela avait été établi par Bruce (1895) pour le Nagana dans le Zoulouland et pour la maladie du sommeil en Ouganda (1903-1904). Au laboratoire de Léopoldville, la récolte des glossines débutera en 1905. Entrevu par Brumpt (1903), leur rôle sera démontré par Kleine en 1908.

L'existence de la maladie du sommeil dans le bassin du Congo avait été signalée par Gaigneron dès 1859, mais ce fait est resté méconnu pendant plus d'un siècle. Par contre, des foyers circonscrits et dispersés de la mystérieuse léthargie des Noirs étaient connus et observés dans le territoire de l'EIC, Mense à Leopoldville (1888), Walfridson à Mukinbunge (1892), et seront mis en évidence sur la carte de Dutton et Todd de 1905. Le danger d'expansion à partir de tels foyers évoqué en 1895 par H. Ward, par Walfridson et par Dye à Bolebo ne retenait guère l'attention. Même la célèbre épidémie de la colonie scolaire de la Mission de Berghe Sainte-Marie, près de Kwamouth, qui débute en 1895 et sera étudiée par Van Campenhout, ne fournira aucune information quant à son origine. On décidera son abandon. Cela n'est guère surprenant car on n'avait pas encore la moindre idée de la nature de ces foyers. Les concepts évolueront rapidement à mesure qu'on réalisera qu'il existait un mode de propagation capable de produire le long des fleuves des dépeuplements angoissants, mettant en danger le développement (Delcommune, 1887 et 1909 ; Rodhain, 1907-1914).

Les risques de santé inhérents au séjour d'émigrants européens sur la côte de l'Afrique occidentale étaient connus et la source de dictons axiomatiques pouvait se résumer en « un cimetière pour les Européens ». Ces risques étaient réels et plus variés que les fièvres, malariennes et autres, les diarrhées et dysenteries, l'insolation, etc. La maladie du sommeil considérée comme une curiosité, dite « léthargie des Noirs », viendra s'y ajouter. Les Européens ne jouissaient pas d'une immunité raciale ; ils étaient simplement moins exposés. La pathologie des autochtones habitant la côte était mal connue ; les bizarreries et l'insolite retenaient l'attention : éléphantiasis, pian, sarnes, gale, ver oculaire. La seule exception était la variole dont les épidémies meurtrières étaient craintes et combattues par vaccination et même variolisation.

On était mal informé de la situation sanitaire et des risques éventuels à l'intérieur des terres. Les explorateurs n'étaient pas nécessairement des hercules, mais des hommes dotés d'une détermination à toute épreuve, capables de surmonter les obstacles et les contretemps les plus inattendus, pour atteindre leur but (Tombouctou) ou pénétrer des secrets tels que la source du Nil ou du Niger. Livingstone a fourni quelques détails sur les maladies sévissant à l'intérieur, Stanley aucun. Les médecins se trouvaient confrontés avec un terrain pathologique vierge. Ils y trouveront un objectif enthousiasmant. Ils

partageaient la conviction générale de la supériorité indiscutable de la civilisation et de la technologie européenne. Ceci leur garantissait la maîtrise absolue des décisions et excluait toute velléité de s'informer des modes de traitement traditionnels. Leur rôle de dispensateurs des bienfaits de la civilisation, justifiant la colonisation dans l'opinion publique, leur procurait une position privilégiée.

En réalistes, il faut reconnaître qu'au début de la colonisation, la couverture médicale était insignifiante. Pour une colonie dont la surface correspondait en gros à celle de l'Europe de l'Ouest, il y avait 8 médecins. Ils seront 25-30 au début du 20<sup>e</sup> siècle et une soixantaine en 1910, augmentation résultant des observations du prince Albert lors de son voyage en 1909. Un petit nombre d'auxiliaires allochtones et autochtones renforcera cette cohorte réduite. Un budget de 100 000 F en 1888 et de 500 000 F en 1906 représentent 2 % du budget total. L'apport technique était fort réduit : quinine et ipéca, substances spécifiques originaires d'Amérique latine, un choix limité dans la matière médicale et une thérapeutique largement empirique : fer, mercure, arsenic, antimoine, bismuth, alcaloïdes (opium et morphine), purgatifs, digitale, etc., et une chirurgie rudimentaire. Cette situation reflétait celle qui régnait dans d'autres colonies, sauf dans des centres privilégiés. L'appétit des colonisateurs ne trouvait pas de contrepartie ni en hommes ni en moyens financiers.

Le Laboratoire de Léopoldville, qui fera autorité en matière de trypanosomiasés, était un organisme créé et financé par un mécénat, sans doute sollicité, mais privé. Un service médical et d'hygiène était inexistant. Pendant la gestion de l'Etat Indépendant du Congo, les médecins dépendaient du Secrétaire Général de l'Intérieur, qui gérait aussi l'agriculture, les communications, les travaux publics, la police. En 1908, le Ministère des Colonies reprendra cette répartition dans la 2<sup>e</sup> Direction Générale. Il faudra attendre la période de Rodhain, comme médecin en chef (1920), pour la création d'un service autonome dépendant directement du Gouverneur Général. En 1960, la 1<sup>re</sup> Direction Générale comportait un inspecteur général de l'hygiène.

La maladie du sommeil perdra son caractère ésotérique focalisé lorsque la Grande Epidémie de l'Ouganda de 1900-1902 secouera l'opinion publique européenne. La découverte du trypanosome pathogène, de la transmission par des glossines-vectrices et d'un trypanocide actif «Atoxyl». Il est digne de remarquer que, découvert et écarté par Ehrlich, il sera trouvé actif par Thomas et Breindl (1905) et étudié systématiquement par Broden et Rodhain (1907-1920) ; il est prouvé qu'il est efficace à 70 % lorsqu'utilisé pendant la phase sanguine. L'étude de l'écologie, de la biologie et des conditions favorisant le contact avec l'homme et l'infectivité permettront la mise au point de méthodes limitant les risques de transmission et finalement une stratégie de lutte. Un monde inconnu avait livré quelques secrets. Cet acquis médico-scientifique constituait une assise solide pour attaquer l'objectif majeur, sinon unique : juguler au plus tôt l'épidémie.



Les médecins étaient au courant des risques inhérents à l'ouverture de terres vierges à des contacts avec des immigrants, porteurs potentiels de maladies nouvelles, qui se manifestaient sous forme d'épidémies meurtrières. Ils n'ont à juste titre pas envisagé cette éventualité. Toutefois, le phénomène qu'ils observaient n'était pas consécutif à une cause venue de l'extérieur, mais un emballement explosif au départ d'une maladie autochtone, objet d'une curiosité médicale pour une affection présumée ésotérique, cantonnée dans certains foyers tropicaux. Le phénomène s'était développé en concurrence avec les activités inhérentes aux progrès de la colonisation. Il est admirable qu'au moment où les médecins responsables s'évertuaient, dans un grand isolement relevant de la lenteur des communications et à la merci des grandes difficultés d'approvisionnement, de trouver par tâtonnements des solutions *ad hoc* à leurs problèmes, qu'ils aient fait appel aux mesures prophylactiques courantes pour limiter les contagions. Les mesures administratives sous-estimées, voire ridiculisées, étaient dans ce domaine les seules praticables. Ils ont prévu en plus des mesures spécifiques pour réduire le facteur infectieux par chimiothérapie et pour circonscrire et restreindre le contact avec les tsé-tsés vectrices, dont le rôle avait été supputé, puis prouvé. Le rôle de «vecteurs» en pathologie infectieuse était en plus une notion nouvelle.

Avec le recul du temps et l'accumulation de connaissances multidisciplinaires, tout le monde peut établir aujourd'hui la masse de nos ignorances dans le domaine des sciences humaines. La méconnaissance ou l'ignorance de tout un ensemble de facteurs externes et internes, inconnus à l'époque, entrelacés dans un fin réseau garantissant une homéostasie ancestrale, n'était pas soupçonnée. Seule une vision extra-lucide aurait été à même de démêler cet écheveau.

Les médecins tropicalistes, en hommes sensés et d'action, ne pouvaient ignorer certains effets néfastes de nombreux facteurs inhérents à la colonisation. Le rôle de l'intensification des moyens de communication (routes, navigation à vapeur, chemin de fer) et du recrutement sur grande échelle de militaires et de main-d'œuvre dans des régions éloignées ne leur avait pas échappé. Ils s'efforceront d'en limiter les inconvénients majeurs. Se soucier des effets négatifs de la colonisation, dont on n'attendait que des impulsions positives, au point de leur attribuer les dérèglements majeurs, aurait été un prodige. Il serait d'ailleurs arbitraire de les accuser de ne pas avoir tenté de faire restreindre l'intensité des activités de la colonisation ; à supposer qu'ils aient envisagé la chose, leur réalisation aurait été illusoire.

Ils n'étaient pas davantage formés pour reconnaître ni apprécier correctement les conséquences de la dérégulation d'un mode de vie ancestral et d'usages socio-culturels communautaires. On ne s'est pas davantage préoccupé des suites défavorables de l'implantation d'habitudes nouvelles dans un contexte culturel que le progrès était appelé à faire disparaître. Pourquoi se soucier de connaître la médecine traditionnelle alors qu'on apportait la médecine scientifique

moderne ? Toute l'idéologie coloniale cherchait à substituer à un mode de vie qualifié d'arriéré une civilisation qui avait fait ses preuves. Qui aurait pu prévoir que la propagation de cultures à grand rendement allait entraîner une monoculture ne laissant plus de place aux cultures traditionnelles variées, ni à une cuisine adoptée au cours des temps et adaptée aux besoins nutritionnels essentiels et qui, de ce fait, remplacera famine par malnutrition. Si le dépeuplement trouvait son origine dans une mortalité par maladie du sommeil, on recherchera de même pour la dépopulation, en première analyse, des facteurs infectieux et non une origine socio-culturelle ou autre. Que pouvait-on espérer d'une participation des personnes qu'on souhaitait réformer ? Un siècle plus tard, il est aisé pour les sociologues, en possession de toutes les données indispensables, de mettre en exergue des facteurs qui appartiennent à une approche holistique de la santé, jadis inconnue, de braquer tous les feux sur les erreurs du système.

Lorsqu'on tente d'examiner ce que la préfiguration du désastre de la Cuanza aurait pu apporter à une meilleure compréhension du problème dans le bassin du Congo, on est amené à se dire qu'elle n'aurait guère pu modifier favorablement la technicité de la lutte contre la maladie du sommeil. Elle aurait au mieux permis d'éviter que la responsabilité du désastre soit considérée comme une exclusivité congolaise. Mais un tel jugement appartient à l'histoire, à la multidisciplinarité, et non aux sciences bio-médicales.

#### REMERCIEMENTS

Ma gratitude très vive va à Jean DUTERTRE, Médecin Général e.r. qui, imbu de l'amitié fidèle qui règne entre les tropicalistes africains, n'a ménagé ni son temps ni ses efforts pour me fournir des documents fondamentaux concernant des médecins et chirurgiens de la marine du 19<sup>e</sup> siècle.

Le présent travail n'aurait jamais vu le jour sans l'assistance amicale et permanente de Madame S. DUBOIS-BRIGUE, qui a assuré la récolte de publications indispensables, souvent d'accès limité. Notre reconnaissance est à la mesure de son dévouement illimité.

#### BIBLIOGRAPHIE

- BOUDIN, ? 1862. De la maladie du sommeil (dans Essai de pathologie ethnique). — *Ann. Hyg. Publique*, 17 : 69-
- BRUCE, D., NABARRO, D. & GREIG, E. D. W. 1903. Further report on Sleeping Sickness in Uganda. — *Report of Sickness Commission of the Royal Society*, 4, 87 pp.
- BRUCE, D., NABARRO, D. & GREIG, E. D. W. 1903. The etiology of Sleeping Sickness (Review). — *Br. Med. J.*, Nov. 21, pp. 1343-1350.
- BRUTO DA COSTA, B. F., FIRMIN SANT'ANNA, J., CORREIA DOS SANTOS, A. & ARAUJO ALVAREZ, M. G. 1916. Sleeping Sickness. A record of four years' war against it in Principe, Portuguese West Africa. — Baillière, Tindall & Cox, London, 261 pp.

- CAMBournac, F. J. C. 1982. A Acção dos Portugueses no campo da Medecina Tropical. — *O Médico*, **102** : 1-50.
- CARLES, J. 1863. Relation médico-hygiénique de cinq voyages à l'émigration africaine et indienne. — *Thèse de Montpellier*.
- CHASSANOL 1865. Contribution à la pathologie de la race noire. — *Arch. Méd. Navale*, **3** : 505-511.
- CLARKE, R. 1840. Observations on the Pathology of Lethargus ; with cases. — *London and Edinburgh Monthly J. Medical Science*, April 1 : 321-333.
- CORRE, A. 1876. Contribution à l'étude de la maladie du sommeil (Hypnose). — *Gazette Médicale de Paris*, **46** (4) : 545 ; **47** : 563.
- CORRE, A. 1877. Recherches sur la maladie du sommeil. Contribution à l'étude de la scrofule dans la race noire. — *Arch. Méd. Navale*, **27** : 292-312 et 330-351.
- DAMAS MORA, A. 1842. Moléstia do sono (Lições do curso de patologia exótica do Instituto de Medecina Tropical). — *Africa Med.*, **8** : 270-280.
- DAMAS MORA, A. 1934. A luta contra a moléstia do sono em Angola. — *Rapport Service Médical Luanda*.
- DANGAIX, Ch. 1861. Sur l'hypnosie ou maladie du sommeil. — *Moniteur des Sciences Médicales et Pharmaceutiques*, **100** : 787-789.
- DA ROCHA, F. R. & PIRES, F. A. 1966. Vinte Anos de Luta contra a Doença de Sono 1946-1965. — *O Médico*, **41** : 377-402.
- DE ANDRADE SILVA. The situation of Trypanosomiasis in the Portuguese Overseas Provinces. — Roneo W.H.O. Tryp/W.P. 68.30, 11 pp. and 68.37, 2 pp.
- DECHAMBRE, A., DUVAL, M. & LEREBoullet, L. 1871. Maladie du sommeil (hypnose). — *Dictionnaire des Sciences Médicales*, **IV** : 286-290.
- DA SILVA CORREIA, A. C. G. 1923. A Doença do Sono em Angola. Primeiro Congresso de Medicina Tropical. — *Rev. Med. de Angola*, pp. 159-175.
- DIAS, J. R. 1981. Famine and Disease in the History of Africa 1830-1930. — *J. African Hist.*, **22** : 349-378.
- DIAS DE SOUSA, V. 1952. As tripanossomias em Angola. — *An. do Inst. Med. Trop.*, **9** : 3-?
- DUTROULAU, A. F. 1868. Maladie du Sommeil. — *In* : *Traité des Maladies des Européens dans les pays chauds* (2<sup>e</sup> édition). J. B. Baillière, Paris, pp. 159-160.
- EVERAERT, J. 1964. Pierre-Ignace-Liévin van Alstein. Gents slavenkapitein in Nantese dienst. — *Handelingen van de Mij voor Geschiedenis en Oudheidkunde van Gent*, pp. 47-84.
- FERREIRA RIBEIRO 1871. Uma moléstia de diagnóstico obscuro (Com. Soc. Scien. Med. Lisboa, 13 de maio). — *J. Soc. Scien. Medic. Lisboa*, **25** : 204. *id. Gaz. Méd. Paris* (1873) : 642-643.
- GAIGNERON, L. A. 1864. De la maladie du sommeil, affection endémique parmi les nègres de la côte occidentale d'Afrique. — *Recueil des Mémoires de Médecine, de Chirurgie et de Pharmacie militaire*, 3<sup>e</sup> série, **11** : 449-453.
- GIBLIN, J. 1990. Trypanosomiasis Control in African History: an Evaded Issue? — *J. African Hist.*, **31** : 59-80.
- GRIFFON DU BELLAY, M. T. 1864. Maladie du sommeil (dans Rapport médical sur le service de l'hôpital flottant de la Caravane Mouillé en rade du Gabon). — *Arch. Méd. navale*, **1** : 73-76.

- GUERIN, P. M. A. 1869. De la Maladie du Sommeil. — Thèse de Paris n° 202, A. Parent, Paris.
- JADIN, L. 1964. Aperçu de l'Histoire du Royaume du Kongo 1482-1718. — *Bull. Fac. Lettres Strasbourg*, 6 : 307-324.
- JANSSENS, P. G. 1992. Etat Indépendant du Congo et maladie du sommeil. — Actes du 32<sup>e</sup> Congrès International d'Histoire de la Médecine (Anvers, 3-7 septembre 1990), pp. 1003-1015.
- JANSSENS, P. G. 1992. Les trypanosomiasés africaines. Aperçu historique. — In : JANSSENS, P. G. *et al.* Médecine et Hygiène en Afrique Centrale de 1885 à nos jours. Masson, Paris, pp. 1403-1446.
- KLEINE, F. K. 1909. Positive Infektionsversuche mit Trypanosoma brucei durch Glossina palpalis. — *Deutsch. Med. Wschr.*, 35 : 469-470.
- LAMBRECHT, F. L. 1964. Aspects of Evolution and Ecology of Tsetse flies and trypanosomiasis in Prehistoric African Environment. — *J. Afr. Hist.*, 5 : 1-24.
- LEITAO DE SOUZA MAIA, A. 1901. Relatório da visita sanitária aos concelhos de leste de Loanda mais vitimados pela doença do sono. — *Empresa Literária e Tipográfica, Porto*, 129 pp.
- LE ROY DE MERICOURT, A. 1871. De la Maladie du sommeil. — Dictionnaire Encyclopédique des Sciences Médicales, Dechambre, t. 4, pp. 286-290.
- MATZKE, G. 1983. A Reassessment of the Expected Development Consequences of Tsetse Control Efforts in Africa. — *Soc. Sci. Med.*, 17 : 531-537.
- MENSE, C. 1897. Hygienische und Medicinische Beobachtung aus dem Congogebiet. — *Wiener klin. Rundschau*, pp. 107-109.
- MOREAU DE JONES 1882. Maladie du sommeil (sommeil léthargique). — *Nouveau Dictionnaire de Médecine et de chirurgie pratiques*, t. 33.
- NICOLAS, A. 1861. Pathologie interne de la maladie du sommeil. — *Gaz. hebdo. Méd. Chir.*, 8 : 670-672.
- NICOLAS, A. 1872. De la maladie du sommeil. — Thèse de Paris.
- PIRES VEIGA 1937. A luta contra a doença do sono em Angola. — *Africa Médica*, 3 : 173-180
- RINCHON, D. 1938. Le trafic négrier. — Atlas, Uccle-Bruxelles.
- ROUBAUD, ? 1908. Fixation, Multiplication, Culture d'attente des Trypanosomes Pathogènes dans la trompe des mouches tsé-tsé. — *C. R. Acad. Sciences*, 146 : 423-425.
- SALMON, P. 1995. La poursuite du trafic négrier sur la côte occidentale d'Afrique (juillet-août 1859). — *Bull. Scéanc. Acad. R. Sci. Outre-Mer*, 41 : 323-343.
- SANTELLI, M. 1868. Observation d'un cas de Maladie du Sommeil (Hypnosie). — *Arch. Méd. Navale*, 9 : 311-313.
- SOUSA DIAS VASCO, A. Distribuição da tsé-tsé, pp. 335-345.
- SOUSA SANTOS DE CARMO, J. 1946. Considerações sobre o critério de cura a adoptar na tripanossomiase humana devida ao T. gambiense. — *Conferência Inter-Colonial sobre Tripanossomiasés, Colónia de Mozambique*, 2 : 365-382.
- SARMENTO, A. 1947. Distribuição da Tripanossomiase em Angola. — *Acta da Conferência Inter-Colonial sobre Tripanossomiasés, Lourenço Marques*, 1 : 154-185.
- SARMENTO, A. 1947. Subsídios para o estudo da distribuição da tsé-tsé em Angola. — *Acta da Conferência Inter-Colonial sobre Tripanossomiasés, Lourenço Marques*, 2 : 315-323.

- SARMENTO, A. 1953. História breve de uma grande obra : O Combate da Doença do Sono em Angola. — *Bull. Clin. Estatísticas (Hospital do Ultramar)*, 7 : 23-38.
- VANDEWOUDE, E. 1990. Le voyage du Prince Albert au Congo en 1909. — *Mém. Acad. R. Sci. Outre-Mer*, Cl. Sci. mor. et pol., in-8°, N. S., 50 (4) : 47 pp.
- VANSINA, J. 1952. Long-Distance Trade-Routes in Central Africa. — *J. African Hist.*, 3 : 375-390.
- VANSINA, J. 1962. Long-Distance Trade-roads in Central Africa. — *J. African Hist.*, 3 : 375-389.
- VANSINA, J. 1966. Les anciens Royaumes de la Savane. — *Recherches Economico-Sociales*, Univ. Lovanium, Léopoldville (Rép. Congo), 250 pp.
- VANSINA, J. 1991. Enquêtes et Documents d'Histoire Africaine. Sur les sentiers du passé en forêt. — *U.C.L./Aequatoria*, 9, 407 pp.
- VELLUT, J.-L. 1970. Relations internationales du Moyen-Kwango et de l'Angola dans la deuxième moitié du 18<sup>e</sup> s. — *Etudes d'Histoire Africaine*, 1 : 75-135.
- WINTERBOTTOM, T. 1803. An account of Native Africans in the neighbourhood of Sierra Leone. — "Sleeping Sickness", *Wittingham, London*, vol. II : 29-30.

## Zitting van 25 juni 1996

(Uittreksel van de notulen)

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

*Zijn bovendien aanwezig*: de HH. J. Alexandre, M. De Dapper, E. De Langhe, J. D'Hoore, A. Fain, C. Fieremans, P. Gigase, P. G. Janssens, F. Malaise, J.-C. Micha, J. Mortelmans, H. Nicolăi, M. Reynders, E. Robbrecht, J.-J. Symoens, P. Van der Veken, E. Van Ranst, M. Wéry, werkende leden; de HH. M. Deliens, A. de Scoville, R. Dudal, J.-M. Jadin, D. Le Ray, S. Pattyn, J. Rammeloo, J.-C. Ruwet, J. Vercruyse, geassocieerde leden.

*Betuigden hun spijt niet aan de zitting te kunnen deelnemen*: de HH. J. Belot, E. Bernard, J. Boly, J. Bouharmont, F. De Meuter, L. Eyckmans, S. Geerts, J.-P. Gosse, P. Goyens, A. Lawalrée, M. Lechat, H. Maraite, Mevr. F. Portaels, de HH. G. Stoops, R. Swennen, C. Sys, E. Tollens, H. Vis, et M. D. Demaiffe, lid van de Klasse voor Technische Wetenschappen.

### Mededelingen

Van 13 tot 22 oktober 1997 zal in Antalya (Turkije) het „Congrès Forestier Mondial” plaatsvinden. Een informatieblad is ter beschikking van de leden.

### Etnobotanisch onderzoek aan de Universiteit Gent

M. P. Van Damme, faculteit Landbouwkundige en Toegepaste Biologische Wetenschappen aan de Universiteit Gent, stelt een mededeling voor getiteld als hierboven.

De HH. E. De Langhe, J. Rammeloo en P. Van der Veken nemen aan de bespreking deel.

De HH. F. Malaise en P. Van der Veken worden als verslaggevers aangeduid.

### Schistosomiasis in de Senegalriviervallei

M. J. Vercruyse stelt een mededeling voor getiteld als hierboven.

De HH. I. Beghin, J.-C. Micha, A. Fain, J. Mortelmans, P. Van Damme, P. Gigase en J.-J. Symoens nemen aan de bespreking deel.

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

## Séance du 25 juin 1996

(Extrait du procès-verbal)

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

*Sont en outre présents* : MM. J. Alexandre, M. De Dapper, E. De Langhe, J. D'Hoore, A. Fain, C. Fieremans, P. Gigase, P. G. Janssens, F. Malaisse, J.-C. Micha, J. Mortelmans, H. Nicolăi, M. Reynders, E. Robbrecht, J.-J. Symoens, P. Van der Veken, E. Van Ranst, M. Wéry, membres titulaires ; MM. M. Deliens, A. de Scoville, R. Dudal, J.-M. Jadin, D. Le Ray, S. Pattyn, J. Rammeloo, J.-C. Ruwet, J. Vercruyse, membres associés.

*Ont fait part de leur regret de ne pouvoir assister à la séance* : MM. J. Belot, E. Bernard, J. Bolyn, J. Bouharmont, F. De Meuter, L. Eyckmans, S. Geerts, J.-P. Gosse, P. Goyens, A. Lawalrée, M. Lechat, H. Maraite, Mme F. Portaels, MM. G. Stoops, R. Swennen, C. Sys, E. Tollens, H. Vis, et M. D. Demaiffe, membre de la Classe des Sciences techniques.

### Annonces

Le Congrès Forestier Mondial se tiendra à Antalya (Turquie) du 13 au 22 octobre 1997. Un feuillet d'information est à la disposition des membres.

#### «Etnobotanisch onderzoek aan de Universiteit Gent»

M. P. Van Damme, faculté des Sciences agronomiques et Biologie appliquée de l'Université de Gand, présente une communication intitulée comme ci-dessus.

MM. E. De Langhe, J. Rammeloo et P. Van der Veken interviennent dans la discussion.

MM. F. Malaisse et P. Van der Veken sont désignés en qualité de rapporteurs.

#### «Schistosomiasis in de Senegalriviervallei»

M. J. Vercruyse présente une communication intitulée comme ci-dessus. MM. I. Beghin, J.-C. Micha, A. Fain, J. Mortelmans, P. Van Damme, P. Gigase et J.-J. Symoens interviennent dans la discussion.

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

### Wedstrijd 1996

Eén werk werd ingediend in antwoord op de derde vraag van de jaarlijkse wedstrijd 1996 „Er wordt een experimentele studie gevraagd in verband met de parasieten van mens en/of dieren in de tropen”, namelijk :

PLASMAN, N. : Etude des fonctions effectrice et inductrice des macrophages parasités par *Trypanosoma cruzi*.

Na de verslagen van de HH. F. De Meuter, J. Vercruyssen en D. Le Ray gehoord te hebben, beslist de Klasse aan Mevr. Plasman de prijs ter waarde van 30 000 BF toe te kennen. Ze zal de titel van „Laureate van de Koninklijke Academie voor Overzeese Wetenschappen” dragen.

De Klasse beslist ook het werk van Mevr. Plasman in de serie *Verhandelingen* van de Academie te publiceren. Er zal aan de auteur gevraagd worden de gepubliceerde gedeelten van haar thesis samen te vatten.

Eén werk werd ingediend in antwoord op de vierde vraag van de jaarlijkse wedstrijd 1996 „Er wordt een studie gevraagd over de genese en de karakterisering van recente en subrecente zoutafzettingen in de warm-aride en semi-aride gebieden”, namelijk :

MEES, F. : Petrological studies of perennial saline lake deposits and groundwater deposits of a dry lake basin.

Na de verslagen van de HH. E. Van Ranst, D. Demaijff en M. Deliens gehoord te hebben, beslist de Klasse aan M. Mees de prijs ter waarde van 30 000 BF toe te kennen. Hij zal de titel van „Laureaat van de Koninklijke Academie voor Overzeese Wetenschappen” dragen.

De Klasse beslist ook het werk van M. F. Mees in de serie *Verhandelingen* van de Academie te publiceren. Er zal aan de auteur gevraagd worden rekening te houden met de opmerkingen van de verslaggevers.

### Floribert Jurion Fonds

Met het oog op de toekenning van een beurs van het Floribert Jurion Fonds werden tien kandidaturen regelmatig ingediend.

De Selectiecommissie, samengesteld conform artikel 5 van het reglement van het Fonds, heeft de dossiers van de kandidaten onderzocht tijdens een vergadering gehouden op 18 juni 1996.

Op voorstel van de Commissie beslist de Klasse een beurs van 30 000 BF toe te kennen aan M. D. D'Or voor zijn project „Etude de l'interaction Mycorhize-*Cylindrocladium* spp. chez le bananier” en aan Mevr. R. Wasterlain voor haar project „Contribution à l'étude de la régénération de la forêt claire zambézienne : reconnaissance et dynamique des semis de première année”.



### Concours 1996

Un travail a été introduit en réponse à la troisième question du concours annuel 1996 intitulée : «On demande une étude expérimentale sur les parasites de l'homme et/ou des animaux en milieu tropical», à savoir :

PLASMAN, N. : Etude des fonctions effectrice et inductrice des macrophages parasités par *Trypanosoma cruzi*.

Après avoir entendu les rapports de MM. F. De Meuter, J. Vercruysse et D. Le Ray, la Classe décide d'attribuer le prix de 30 000 FB à Mme Plasman.

Elle portera le titre de «Lauréate de l'Académie Royale des Sciences d'Outre-Mer».

La Classe décide également de publier le travail de Mme Plasman dans la série des *Mémoires* de l'Académie. L'auteur sera invitée à résumer les parties déjà publiées de sa thèse.

Un travail a été introduit en réponse à la quatrième question du concours annuel 1996 intitulée : «On demande une étude sur la genèse et la caractérisation de dépôts salins récents et subrécents dans les régions arides chaudes et semi-arides», à savoir :

MEES, F. : Petrological studies of perennial saline lake deposits and ground-water deposits of a dry lake basin.

Après avoir entendu les rapports de MM. E. Van Ranst, D. Demaiffe et M. Deliens, la Classe décide d'attribuer le prix de 30 000 FB à M. Mees. Il portera le titre de „Lauréat de l'Académie Royale des Sciences d'Outre-Mer”.

La Classe décide également de publier le travail de M. Mees dans la série des *Mémoires* de l'Académie. L'auteur sera invité à tenir compte des remarques des rapporteurs.

### Fonds Floribert Jurion

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

La Commission de Sélection, constituée conformément à l'article 5 du règlement du Fonds, a examiné les dossiers des candidats au cours d'une réunion tenue le 18 juin 1996.

Sur proposition de la Commission, la Classe décide d'attribuer une bourse de 30 000 FB à M. D. D'Or pour son projet «Etude de l'interaction Mycorhize-*Cylindrocladium* spp. chez le bananier» et à Mme R. Wasterlain pour son projet «Contribution à l'étude de la régénération de la forêt claire zambézienne : reconnaissance et dynamique des semis de première année».

**Besloten Vergadering**

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

*Corresponderend lid* : MM. R. Branckaert, J.-P. Dujardin, B. Mansourian en J. Shamshuddin.

De zitting wordt om 17 u. 45 geheven.

**Comité secret**

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

*Membre correspondant* : MM. R. Branckaert, J.-P. Dujardin, B. Mansourian et J. Shamshuddin.

La séance est levée à 17 h 45.

**KLASSE VOOR TECHNISCHE  
WETENSCHAPPEN**

---

**CLASSE DES SCIENCES  
TECHNIQUES**

## Zitting van 26 april 1996

(Uittreksel van de notulen)

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

*Zijn bovendien aanwezig*: de HH. Jacques Charlier, Jean Charlier, E. Cuypers, J. De Cuyper, H. Deelstra, A. Deruyttere, G. Heylbroeck, A. Lederer, R. Leenaerts, W. Loy, J. Michot, R. Paepe, J. J. Peters, R. Sokal, werkende leden; de HH. H. Paelinck, W. Van Impe, U. Van Twembeke, geassocieerde leden; M. B. Hoyle, corresponderend lid; M. J.-J. Symoens, Erevast Secretaris.

*Betuygden hun spijt niet aan de zitting te kunnen deelnemen*: de HH. P. Beckers, J. Debevere, J. Delrue, D. Demaiffe, P. De Meester, C. De Meyer, J.-J. Drosbeke, P. Fierens, A. François, G. Froment, Mgr. L. Gillon, de HH. P. Goossens, A. Jaumotte, A. Lejeune, J. Marchal, J. Roos, A. Sterling, F. Suykens, F. Thirion, R. Tillé, R. Wambacq.

### Mededelingen

Van 11 tot 17 oktober 1997 zal in Beijing (China) de „General Population Conference” plaatsvinden. Een informatieblad en een inschrijvingsformulier zijn op het secretariaat ter beschikking van de leden.

#### „The Changing Port City in Modern Africa”

M. B. Hoyle stelt een mededeling voor getiteld als hierboven.

De HH. J.-J. Peters, H. Paelinck, Jacques Charlier en A. Deruyttere nemen aan de bespreking deel.

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

### Benoemingen

Bij koninklijk besluit van 5 maart 1996 werd M. A. Lejeune tot werkend lid benoemd.

Bij ministerieel besluit van 28 februari 1996 werd M. R. Hartmann tot geassocieerd lid benoemd.

Bij ministerieel besluit van 28 februari 1996 werd M. B. Hoyle tot corresponderend lid benoemd.

De zitting wordt om 16 u. 25 gegeven.

## Séance du 26 avril 1996

(Extrait du procès-verbal)

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

*Sont en outre présents* : MM. Jacques Charlier, Jean Charlier, E. Cuypers, J. De Cuyper, H. Deelstra, A. Deruyttere, G. Heylbroeck, A. Lederer, R. Leenaerts, W. Loy, J. Michot, R. Paepe, J. J. Peters, R. Sokal, membres titulaires ; MM. H. Paelinck, W. Van Impe, U. Van Twembeke, membres associés ; M. B. Hoyle, membre correspondant ; 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. Delrue, D. Demaiffe, P. De Meester, C. De Meyer, J.-J. Droesbeke, P. Fierens, A. François, G. Froment, Mgr L. Gillon, MM. P. Goossens, A. Jaumotte, A. Lejeune, J. Marchal, J. Roos, A. Sterling, F. Suykens, F. Thirion, R. Tillé, R. Wambacq.

### Annonces

Le «Congrès général de la population» se tiendra à Beijing (Chine) du 11 au 17 octobre 1997. Un feuillet d'information et un bulletin d'inscription sont à la disposition des membres.

### «The Changing Port City in Modern Africa»

M. B. Hoyle présente une communication intitulée comme ci-dessus.

MM. J.-J. Peters, H. Paelinck, Jacques Charlier et A. Deruyttere interviennent dans la discussion.

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

### Nominations

Par arrêté royal du 5 mars 1996, M. A. Lejeune a été nommé membre titulaire.

Par arrêté ministériel du 28 février 1996, M. R. Hartmann a été nommé membre associé.

Par arrêté ministériel du 28 février 1996, M. B. Hoyle a été nommé membre correspondant.

La séance est levée à 16 h 25.

## L'évolution de la production de l'acide phosphorique dans le contexte économique et politique de l'environnement. L'impact des contaminants de l'apatite à l'intégration des productions de $P_2O_5$ et des sous-produits \*

par

F. THIRION \*\*

MOTS-CLES. — Acide phosphorique ; Apatite ; Environnement.

RESUME. — L'industrie chimique phosphatière doit, depuis plusieurs années, faire face à des contraintes environnementales, tant au niveau de l'acide et des engrais produits qu'au niveau des effluents. Ces pressions ont conduit les industries à l'amélioration des rendements globaux et à la valorisation des sous-produits de la fabrication d'acide phosphorique. Suite à cette évolution, la filière phosphate est à reconsidérer, les exigences des producteurs sont de plus en plus pointues quant à la qualité et à la pureté des concentrés de phosphate de calcium. Un concentré ne peut à lui seul remplir l'entièreté des exigences. Les technologies de fabrication et de traitement d'acide phosphorique termineront la réduction de l'impact des différentes phases contaminantes des minerais phosphatés.

TREFWOORDEN. — Apatiet ; Fosforzuur ; Milieu.

SAMENVATTING. — *De ontwikkeling van de productie van fosforzuur in de economische en politieke context van het milieu. De impact van de besmetters van apatiet op de integratie van de producties van  $P_2O_5$  en van de bijproducten.* — De chemische fosfaatindustrie heeft al een paar jaar met milieuverplichtingen af te rekenen, zowel wat geproduceerde zuren en meststoffen, als effluënten betreft. Deze druk heeft de industrieën ertoe gebracht de globale rendementen te verbeteren en de bijproducten van de vervaardiging van fosforzuur te valoriseren. Tengevolge van deze ontwikkeling moet de fosfaatfilier opnieuw overwogen worden ; de eisen van de producenten zijn steeds scherper wat de kwaliteit en de zuiverheid van calciumfosfaatconcentraten betreft. Een concentraat alleen kan niet aan alle eisen voldoen. De fosforzuurbehandelings- en fabricatietechnologieën zullen de vermindering van de impact van de verschillende bezoedelende fasen van fosfaaterts afronden.

---

\* Communication présentée à la séance de la Classe des Sciences techniques tenue le 15 décembre 1995. Texte reçu le 30 avril 1996.

\*\* Membre titulaire de l'Académie, process manager et consultant, Prayon-Rupel Technologies, rue Ste-Walburge 12, B-4000 Liège (Belgique).

KEYWORDS. — Apatite ; Environment ; Phosphoric Acid.

SUMMARY. — *The Evolution of the Production of Phosphoric Acid in the Economic and Political Context of the Environment. The Impact of Apatite Contaminants on the Integration of the Productions of  $P_2O_5$  and of the By-Products.* — The phosphate chemical industry has been facing environmental constraints for several years, both regarding the produced acid and fertilizers, and regarding the effluents. These pressures have led the industries to improve total outputs and to develop the by-products from the manufacturing of phosphoric acid. As a consequence of this evolution, the phosphate network has to be reconsidered, producers' demands are becoming more and more specialized as far as the quality and the purity of calcium phosphate concentrates are concerned. A concentrate alone cannot fulfill all demands. The technologies of manufacturing and treatment of phosphoric acid will complete the reduction of the impact of the various contaminating phases of the phosphate ores.

### Introduction

Outre les difficultés d'ordre purement technique engendrées par la nature complexe et la grande variabilité des minerais dans les procédés de valorisation de leurs concentrés, l'industrie chimique phosphatière doit, depuis plusieurs années, faire face à des contraintes environnementales de plus en plus sévères, tant au niveau de l'acide phosphorique et des engrais produits qu'au niveau des effluents et sous-produits solides et liquides. Ces pressions environnementales ainsi que le souci d'amélioration des rendements globaux ont conduit ces industries à la valorisation de sous-produits longtemps considérés comme des rejets de la fabrication d'acide phosphorique. Il s'agit notamment de la récupération du fluor et de la rentabilisation, mais aussi et surtout de la valorisation des importants volumes de gypse résiduaire produits lors de l'attaque acide du minerai (on obtient environ 5 tonnes de gypse par tonne de  $P_2O_5$  acide produite).

La société PRAYON, qui produit de l'acide phosphorique à partir de phosphates naturels, présente un bel exemple de cette évolution et propose aujourd'hui sur le marché ses deux sous-produits : le fluor sous forme d'acide fluosilicique et le sulfate de calcium sous ses différentes formes cristallines.

Malheureusement, la valorisation du sulfate de calcium dans l'industrie plâtrière se heurte à un problème particulièrement épineux, à savoir la présence d'éléments radioactifs dans le gypse, éléments trouvant leur origine dans les minerais de phosphates. D'autres limites seront exprimées où l'industrie veut valoriser le sous-produit qu'est le sulfate de calcium.

La production d'acides phosphoriques subit également cette confrontation qui ne fait que s'accroître depuis quelques années à la présence des métaux



indésirables, soit pour des raisons spécifiques aux produits finis, soit pour les risques de toxicité [1] \* qu'ils pourraient présenter.

Pour que le processus industriel reste rentable ou pour que le produit final reste de bonne qualité, des contraintes « techniques » sont exprimées en ppm ou en pourcentage. Ces limites sont différentes suivant que le produit final sera de l'acide phosphorique ou des engrais.

Que ce soit au niveau belge ou au niveau européen, bien que le besoin du législateur existe, il n'y a pas encore de normes bien précises quant à la teneur maximale des contaminants qui présentent un risque, tout au plus trouve-t-on quelques recommandations.

Cependant, les industriels de l'acide phosphorique ont déjà dû prendre les devants et de gros efforts de recherche ont été entrepris pour tenter de résoudre les problèmes à tous les niveaux de l'industrie du phosphate.

Suite à cette évolution et à cette reconsidération de la filière phosphate, les exigences des producteurs d'acide phosphorique sont de plus en plus pointues quant à la qualité et à la pureté des concentrés de phosphate de calcium.

L'identification et la caractérisation des phases porteuses des éléments contaminants critiques au sein des concentrés nous incitent à remonter la filière des concentrés et à voir si des améliorations quant à leur pureté ne peuvent pas être obtenues dès l'exploitation minière, ainsi que lors des procédés de concentration des minerais. Les critères et les contraintes de l'exploitant minier ne sont, en effet, pas toujours au diapason des exigences des producteurs d'acide phosphorique. Un concentré ne peut à lui seul remplir l'entièreté des exigences. Les technologies de fabrication et de traitement d'acide phosphorique termineront la réduction de l'impact des différentes phases contaminantes des minerais phosphatés.

Les procédés pour la fabrication industrielle de l'acide phosphorique par lixiviation à l'acide sulfurique choisi pour la production, ainsi que ses circuits, doivent être adaptés, en tout cas convertibles, les cas échéants, à la nature et la pureté du sulfate de calcium requis et à la technologie d'absorption du fluor avec la production de solution d'acide fluosilicique concentré. Nous ne pouvons en aucun cas négliger l'importance du phosphate à consommer : son choix, son conditionnement et le processus de la solubilisation du  $P_2O_5$  avec les étapes des phases de cristallisation du sulfate de calcium requises pour le traitement des acides.

Les phases de cristallisation possibles du sulfate de calcium : Dihydrate, Hémihydrate  $\alpha$  et Anhydrite II participent sélectivement à la réduction de la teneur de bon nombre de contaminants présents dans l'acide ou dans le sulfate de calcium, selon les paramètres de traitement et l'effet recherché.

---

\* Les chiffres entre crochets [ ] renvoient aux notes et références, pp. 623-624.

Ces traitements qui agissent par cocrystallisation ou par coprécipitation des éléments lors de la cristallisation du sulfate de calcium ne doivent pas entraîner des coûts excessifs ni même créer de nouveaux sous-produits non recyclables.

A partir d'un procédé produisant de l'hémihydrate  $\alpha$  (CENTRAL-PRAYON : CPP ou PRAYON Hémihydrate 3 cristallisations : PH3), toutes les possibilités de valorisation du sulfate de calcium sont offertes et, de plus, par une réhydratation humide, nous pouvons purifier l'hémihydrate  $\alpha$  et produire un dihydrate pur et peu radioactif si nécessaire.

En conclusion, le processus industriel doit envisager les réponses aux problèmes des contaminations de certains éléments dans le minerai de phosphate, à la fois au sein du gisement, au sein du concentré, au sein des technologies «propres» de production et de traitement d'acides phosphoriques de qualité avec le souci d'élargissement des possibilités de valorisation des sous-produits.

Ces exigences de production laissent prévoir le rapprochement des activités du secteur des phosphates au secteur minier. L'intégration industrielle, à tous les niveaux, permet de répondre aux nécessités des qualités de production et environnementales. Le fait d'être à la fois Mineur et Producteur de Produits  $P_2O_5$  permet de repenser le schéma de production.

Ainsi, de nouveaux gisements peuvent être exploités dans de bonnes conditions de rentabilité. Pour nous, producteurs européens, l'investissement en commun avec le mineur d'outre-mer est l'assurance d'une politique industrielle à long terme, entre pays d'un même continent ou de continents différents. Cette politique garantira l'activité et l'économie des industries du secteur  $P_2O_5$  au sens le plus large, c'est-à-dire de façon stable et durable.

## 1. Les phosphates

### 1.1. LE PHOSHORE [2] [3] [10] [11]

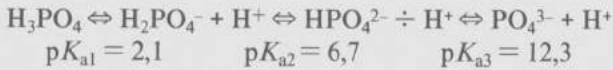
Le contenu moyen en phosphore de la croûte terrestre est de 1 180 ppm, ce qui le classe onzième dans la hiérarchie des éléments les plus abondants. Les contenus en soufre et en azote sont respectivement de 520 et 46 ppm.

Les principales sources de phosphore sont les os qui sont utilisés dans l'industrie de la colle et de la gélatine, les scories de déphosphoration de l'acier employées comme engrais et, enfin, les phosphates minéraux d'où est extraite la plus grande partie du phosphore. C'est bien sûr uniquement sur cette dernière catégorie que nous porterons notre attention.

Le phosphore est un élément indispensable à la vie [4] : l'organisme contient environ 500 g de phosphore dont près de 90 % sont localisés au niveau des os. Il entre dans la composition de nombreuses substances, telles que les protéines, lipides, acides nucléiques et enzymes. Il joue également un rôle dans la régulation de l'équilibre acido-basique qui maintient le PH sanguin constant.

Le phosphore est présent dans le sang sous trois formes :

- Phosphates inorganiques (ceux que l'on peut doser, valeur moyenne 35 mg/l). Ils sont en partie dissociés, en partie sous forme de molécules de sodium, de calcium et de magnésium. L'acide phosphorique peut libérer trois protons selon l'équation suivante :



Au pH physiologique, les phosphates existent sous deux formes et leur proportion est régie par l'équation de Anderson-Hasselbach

$$7,4 = 6,7 + 1 \lg \frac{c \text{HPO}_4^{2-}}{c \text{H}_2\text{PO}_4^-} \qquad \frac{c \text{HPO}_4^{2-}}{c \text{H}_2\text{PO}_4^-} = 5,01$$

Autrement dit, à pH 7,40, 80 % du phosphate est sous forme monohydrogénée et 20 % sous forme dihydrogénée.

- Phosphore organique, tels les glycérophosphates, le phosphore nucléoprotéique (ADN et ARN).
- Phosphore lipidique organique, appelé phospholipides (lécithines, sphingomyélines, céphalines).

Le phosphore est éliminé par les fèces et les urines. Dans les urines, excrétion moyenne de 500 à 1500 mg par 24 h, dans les fèces, élimination de 400 à 800 mg : 24 h sous forme de phosphate organique et inorganique.

Le phosphore est un élément nutritif majeur, l'intensification des cultures a réclamé un emploi de quantité croissante d'engrais. D'énormes tonnages de phosphates sont extraits chaque année : 140 millions de tonnes en 1992. 90 % de cette production sont destinés au marché des engrais.

Une baisse de la production mondiale de phosphate s'explique par la fermeture en Europe de l'Ouest de plusieurs usines et par une diminution de la demande en engrais phosphatés. Un autre facteur important affectant le marché des concentrés phosphatés est le développement de la production d'acide phosphorique à proximité des sites d'exploitation.

L'idée de convertir le phosphate tricalcique naturel (l'apatite) peu soluble en phosphate monocalcique revient à J. Von Liebig en 1830. Les engrais sont produits à partir des phosphates naturels et sont commercialisés soit sous forme de phosphate monocalcique, soit de phosphates mono et diammoniques.

Les applications des phosphates dans la vie courante sont innombrables et passent en grande partie par l'acide phosphorique. Ce dernier trouve des applications dans les traitements anticorrosion des métaux, dans la chimie organique industrielle en tant que catalyseur, ainsi que dans la fabrication

de diverses boissons telles que limonades, bières et colas afin d'en corriger la saveur.

Les principales applications résident dans l'élaboration de divers sels. Les phosphates sodiques utilisés dans les détergents et dans l'alimentation industrielle. Les phosphates potassiques trouvent des débouchés dans l'industrie du latex synthétique, dans l'épuration en  $H_2S$  des gaz industriels et en tant qu'inhibiteur de corrosion dans les liquides de refroidissement. Quant aux phosphates calciques, on les emploie quotidiennement dans les dentifrices (50 % en poids) : ils servent d'abrasif et d'agent de polissage.

Les phosphates ammoniques sont aussi utilisés comme charges d'extincteurs, dans l'alimentation pour bestiaux et industrielle (boissons, fromages, levures, ...).



Fig. 1. — Consommation de phosphates. Estimation en 1992 (Monde - Europe occidentale).

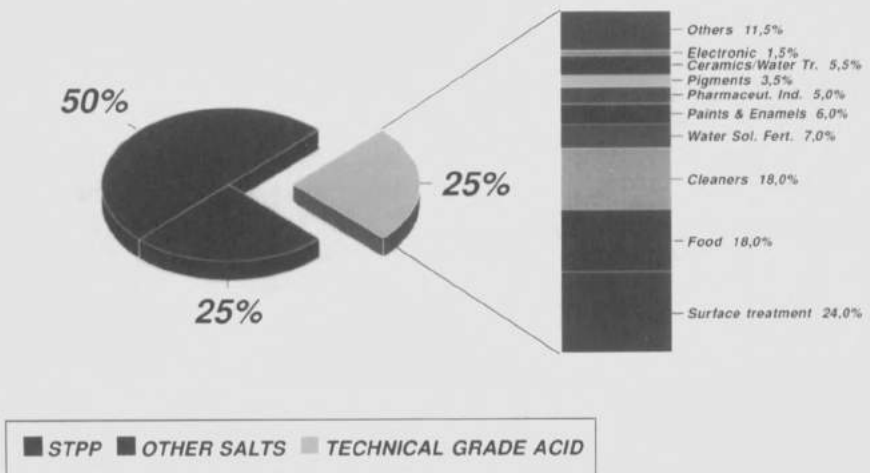


Fig. 2. — Applications des acides à grade technique (Europe occidentale).  
 (Source : DORE, D. Biochimie clinique. — Editions Maloine. BLACQUE BELAIR, A. Dictionnaire des constantes biologiques et physiques en médecine).

**Tableau 1**  
 Production de phosphate (en 10<sup>3</sup> tonnes)  
 (Source : Metals and Minerals Annual Review, 1993)

	1990	1991	1992
Finlande	546	473	490
Suède	13	0	0
Turquie	87	0	65
CEI	35 082	29 994	21 411
Afrique du Sud	3 086	3 165	3 230
Algérie	1 102	1 170	1 230
Egypte	1 143	1 300	1 300
Maroc	21 189	17 988	19 700
Sénégal	2 289	1 741	2 301
Tanzanie	20	5	15
Togo	2 314	2 965	2 083
Tunisie	6 566	6 401	6 400
Autres	156	128	130
USA	46 041	48 096	46 965
Mexique	636	596	350
Brésil	2 968	3 210	3 450
Colombie	37	30	35
Pérou	0	30	90
Venezuela	183	250	220
Iraq	650	0	50
Israël	3 516	3 370	3 595
Jordanie	5 925	4 433	4 296
Syrie	1 670	1 415	1 266
Chine	15 500	17 627	17 956
Iles Christmas/ Autres	34	132	110
Inde	659	580	580
Corée du Nord	520	500	500
Pakistan	30	25	30
Vietnam	274	275	280
Australie	14	4	10
Nauru	926	530	747
Monde	153 206	146 433	138 885

## 1.2. LES TYPES DE GISEMENTS [10] [11]

On distingue principalement trois types de gisements phosphatés : les gisements d'origine *sédimentaire marine*, les gisements *magmatiques* et les dépôts de *guano*.

Du point de vue géochimique, le phosphore figure dans la classe des lithophiles. La principale phase minérale porteuse du phosphore est la famille des

**Tableau 2**  
Top 10 des pays producteurs en 1992 (en 10<sup>3</sup> tonnes)

USA	46 965
CEI	21 411
Maroc	19 700
Chine	17 956
Tunisie	6 400
Jordanie	4 296
Israël	3 595
Brésil	3 450
Afrique du Sud	3 230
Sénégal	2 301

**Tableau 3**  
Principaux exportateurs de phosphates (en 10<sup>3</sup> tonnes)

	1989	1990	1991
Maroc	12 426	11 672	9 143
USA	8 323	6 959	5 749
Jordanie	6 357	4 871	4 246
Togo	3 347	2 783	3 074
Israël	1 946	1 501	1 400
Sénégal	1 396	1 356	1 304
Syrie	1 729	1 394	1 246
Afrique du Sud	1 094	1 217	1 166
Ex-URSS	2 712	1 914	1 128
Algérie	298	851	1 044
Chine	194	344	534
Nauru	1 187	926	530
Tunisie	1 082	602	421

composés isomorphes de la fluorapatite, minéraux de formule moyenne  $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{F}, \text{Cl}, \text{OH})$  auxquels on donne le nom d'apatites. Le réseau cristallin est du type hexagonal, prismatique et de densité variant entre 3,17 et 3,23. Du point de vue chimique, la structure de l'apatite permet des substitutions ioniques. Les phases contaminantes (Cd, U, Th, ...) sont contenues dans la maille apatique même, rendant leur élimination quasi impossible. Les principales substitutions simples sont les suivantes :

- L'ion de base  $\text{Ca}^{2+}$  peut être remplacé par :  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ag}^+$ ,  $\text{Sr}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Cd}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Sc}^{3+}$ ,  $\text{Y}^{3+}$ ,  $\text{Re}^{3+}$ ,  $\text{Bi}^{3+}$ ,  $\text{U}^{4+}$ ,  $\text{Th}^{4+}$  ;
- L'ion de base  $\text{PO}_4^{2-}$  peut être remplacé par :  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CrO}_4^{2-}$ ,  $\text{AsO}_3^{3-}$ ,  $\text{VO}_4^{3-}$ ,  $\text{CO}_3\text{F}^{3-}$ ,  $\text{CO}_3\text{OH}^{3-}$ ,  $\text{SiO}_4^{4-}$  ;
- Les ions de base classiques  $\text{F}^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{OH}^-$ , peuvent être remplacés par  $\text{Br}^-$  et  $\text{O}^{2-}$ .

Tableau 4

Principaux importateurs de phosphates (en 10<sup>3</sup> tonnes)

	1989	1990	1991
France	3 578	3 271	3 085
Inde	2 431	2 682	2 428
Belgique / Luxembourg	2 279	2 212	2 162
Pays-Bas	2 367	2 236	2 028
Espagne	2 422	2 088	1 998
Mexique	1 457	2 278	1 630
Indonésie	886	899	1 586
Japon	1 590	1 543	1 456
Corée du Sud	1 544	1 560	1 310
Canada	1 847	1 258	1 079
Philippines	780	834	929
Pologne	3 319	1 411	604
Yougoslavie	1 235	1 066	513
Australie	1 761	1 092	394

La présence de thorium et d'uranium remplacent le calcium dans la chlorapatite, selon le mécanisme suivant :  $2 \text{Ca}^{2+} = (\text{U}, \text{Th})^{4+}$ .

Les minéraux phosphatés les plus communs dans les apatites sédimentaires sont le carbonate-fluorapatite ou francolite de formule approchée  $(\text{Ca}, \text{Na}, \text{Mg})_{10}(\text{PO}_4, \text{CO}_3)_6(\text{F}, \text{OH})_2$ , le carbonate-hydroxyapatite ou dahllite de formule  $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4, \text{CO}_3)_6(\text{OH})_2$  et, dans une moindre mesure, l'hydroxyapatite de formule  $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ .

Dans certaines phosphorites, le phosphore est contenu dans des minéraux alumineux et ferrugineux, tel le phosphate aluminocalcique comme la crandallite  $[\text{Ca Al}_3(\text{OH})_5(\text{PO}_4)_2\text{H}_2\text{O}]$ .

Les gisements sédimentaires sont d'origine marine et sont connus sous le nom générique de phosphorites. On connaît des phosphorites sur chaque continent et d'âge Précambrien à actuel, mais pratiquement tous les gisements exploités sont Phanérozoïques ; les époques reines de la sédimentation phosphatée (Fig. 5) étant le Miocène, la période allant du Crétacé supérieur à l'Eocène, le Jurassique, le Permien, l'Ordovicien, le Cambrien et le Protérozoïque.

Les quatre plus grands producteurs de phosphate tricalcique naturel servant à la fabrication d'acide phosphorique sont actuellement les U.S.A., la Russie, le Maroc, la Chine.

Les principaux gisements sont situés respectivement pour chaque pays en Floride et Caroline du Nord ; dans la presqu'île de Kola, le massif de Kara-Tau ; dans l'ancien Sahara Occidental, dans les provinces du Yunnan, du Hunan et de Guizhou. D'autres gisements importants existent au Brésil, en Australie, au Sénégal, au Togo, ...



Fig. 3. — Répartition mondiale des dépôts de phosphates.



Les gisements effectivement exploités sont un peu moins nombreux et beaucoup plus localisés, ils sont très souvent voisins de la mer ou se trouvent dans un pays développé aux points de vue industriel et agricole.

## 2. Le traitement des minerais phosphatés et les principales phases des concentrés [6] [10] [11]

### 2.1. INTRODUCTION

Les phénomènes d'altérations post-dépôts ont affecté la minéralisation phosphatée. Le gisement est donc loin de constituer une minéralisation homogène et des passages latéraux et verticaux de l'un à l'autre de ces faciès sont fréquents. Il est dès lors intéressant de voir si cette situation peut induire une hétérogénéité dans la répartition des éléments contaminants au sein du gisement.

Plusieurs auteurs (Prévôt L., Lucas J., Nathan Y. et Shiloni Y. 1977, Altschuler Z.S., 1980, ...) ont effectué des recherches sur les éléments traces dans les phosphorites et ont constaté que le milieu phosphaté était un des milieux favorables à l'enrichissement en éléments traces (Sr, Ba, U, Terres Rares, Cd, Mn, V, Ni, Cr, Zn, B, ...). Bien qu'il n'y ait pas de règles tout à fait générales quant à leur répartition et leur comportement au sein des phosphorites :

- Les quantités d'éléments traces dépendent du sédiment ;
- Les traces se distribuent entre l'apatite, les argiles et les oxydes de Fe ;
- Les teneurs en éléments traces sont plus fortes lorsqu'il y a plus d'argiles ;
- La matière organique semble jouer un rôle dans la préconcentration de ces éléments traces ;
- Dans les séries non altérées, Sr est toujours étroitement lié au phosphate ;
- Au sein des dépôts phosphatés, l'association V-Ni-Cr-Zn est constante ;
- La répartition des éléments traces les plus courants entre les principales phases des phosphorites est la suivante :
  - Apatites : Sr, U, Ba, Na, Cd, S, Zn, Y et Terres rares, V, Cr ;
  - Argiles : Mg, Na, Ni, Mn, Zn, V, Cr, Ti ;
  - Argiles riches en matières organiques : As, Ni, V, Zn, Cr, Cu, Cd, Sb, Ag, Se, Mo ;
  - Carbonates : Sr, Ba, Mg ;
  - Oxydes de fer : V, Ni, Mn, Zn, Cr, As, Mo.

Un minerai de phosphate brut a une teneur en  $P_2O_5$  trop faible, ainsi qu'une gangue et des contaminants trop pénalisants, pour satisfaire directement les exigences de qualité d'un produit commercial. Il faut donc envisager un stade d'enrichissement et de purification juste après l'extraction à la mine. C'est principalement la nature minéralogique, mais aussi l'organisation des minéraux

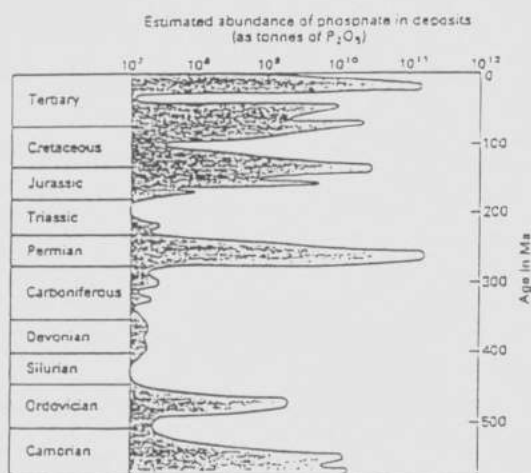


Fig. 4. — Abondance estimée des phosphates des dépôts mondiaux connus (incluant réserves et ressources) en relation avec les phanérozoïques. Notons l'échelle des tonnages logarithmiques !

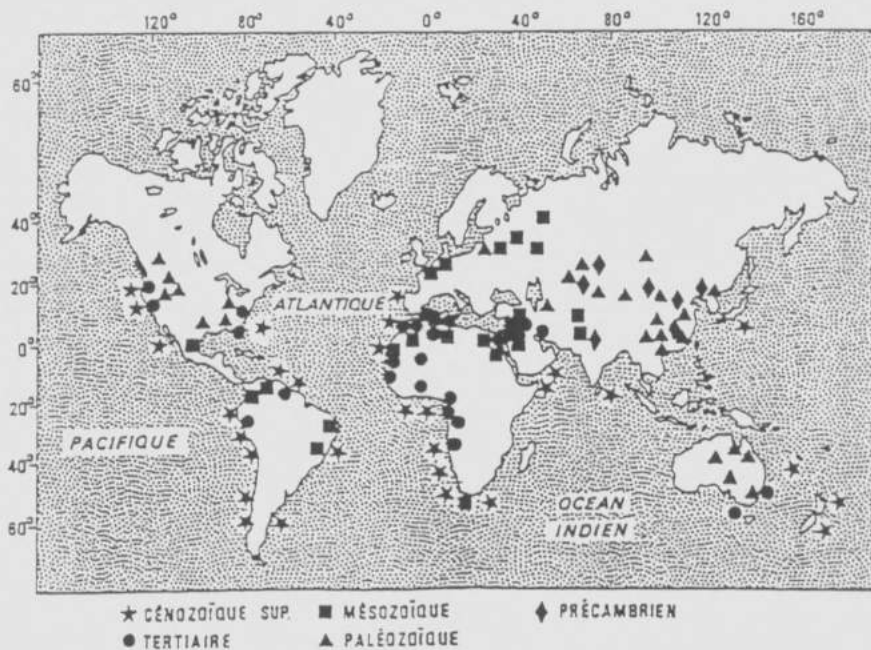


Fig. 5. — Distribution des principales phosphorites marines.



Fig. 6. — Les principaux dépôts de phosphore en Afrique.  
(Source : Phosphate deposits of the world, volume 2, 1989).

au sein d'un minerai qui orientent son aptitude à un enrichissement ou à une élimination des éléments contaminants. L'importance du traitement varie en fonction de la complexité et de la richesse du minerai à traiter, mais aussi de l'affectation du produit final. Ainsi, la réalisation dans certaines régions d'un produit fertilisant peu élaboré, directement utilisable, pas cher et destiné à une utilisation locale, ne doit pas nécessiter les mêmes exigences que celles d'un produit destiné aux industries chimiques pour la fabrication de produits techniques ou d'engrais de qualité.

**Tableau 5**  
Ressources de phosphate reconnues en Afrique

Age/Pays	Ressources (millions de tonnes)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> moyen (en %)
<i>Néogène - Quaternaire</i>		
Afrique du Sud		
Province du Cap	100	6
Agulhas Bank <sup>b</sup>	1 400	10
Sénégal	50 <sup>a</sup>	29
Ouganda <sup>d</sup>	230	13
Tanzanie <sup>e</sup>	10	20
<i>Éocène</i>		
Algérie	500	24
Guinée-Bissau	112	30
Malie	12	25
Maroc	56 250 <sup>f</sup>	28
Mauritanie	100	20
Sénégal	65	31
Togo	100	36
Tunisie	3 000	16
<i>Crétacé</i>		
Egypte	3 000 <sup>b</sup>	22
Tanzanie <sup>a</sup>	125	5,5
Zambie <sup>a,i</sup>	207	2,5
Zimbabwe <sup>a</sup>	100	7
<i>Précambrien</i>		
Afrique du Sud <sup>a</sup>	1 300	7
Burkina Faso	60	25
Burundi <sup>a</sup>	40	5,6
Mozambique <sup>a</sup>	155	9
Niger <sup>j</sup>	100	26
Total		
Brut	67 016	26
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	17 419	

Notes : a : ignée ; b : dépôt sur le fond océanique ; c : phosphorite dérivant de guano ; d : résidu d'altération, carbonatite crétacée de Sukulu ; e : dépôt de Tama guilel ; f : dépôt de Bu Craa inclus (Sahara Occidental) ; g : concentré phosphaté marchand ; h : réserves prouvées : 1 508 millions de tonnes titrant en moyenne 23 % P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ; i : uniquement la carbonatite de Kaluwe ; j : dépôt de Tapoa.

Les contraintes de qualités imposées portent autant sur la teneur en  $P_2O_5$  que sur la présence d'impuretés qui pénalisent les processus de fabrication d'engrais et d'acide phosphorique :

- Teneur en  $P_2O_5 \geq 30 \%$  ;
- $CaO / P_2O_5 \leq 1,60-1,65$  ;
- $Fe_2O_3 + Al_2O_3 \leq 3 \text{ à } 4 \%$  ;
- $Fe_2O_3 + Al_2O_3 / P_2O_5 \leq 0,09$  ;
- $Al_2O_3 \geq 0,20 \%$  ;
- $S^{2-} \leq 200 \text{ ppm}$  ;
- C organique  $\leq 1\ 500 \text{ ppm}$  ;
- $SiO_2 \leq 3-5 \%$  ;
- $Cl^- \leq 250-1\ 000 \text{ ppm}$  ;
- $Na_2O + K_2O \leq 1 \%$  ;
- $Na_2O \leq 0,5 \%$  ;
- Bonne réactivité lors d'une acidulation pour conversion en acide phosphorique et engrais chimique ;
- $MgO \geq 0,8 \%$  -  $0,3 \%$  respectivement pour engrais courant et acide marchand  $54 \%$   $P_2O_5$  ;
- Eléments en trace contaminants des engrais comme Cd, As, Hg, Pb, Se, V, Cr, Ti et éléments radioactifs comme U, Th.

Les phosphates d'origine sédimentaire constituent  $96 \%$  des ressources mondiales et fournissent environ  $80 \%$  des concentrés marchands. Il faut aussi signaler que le développement de la valorisation des sous-produits (gypse, Terres rares, U, F) dans la filière classique de fabrication d'acide phosphorique par voie humide répond à une volonté de réduction des coûts de traitement. Enfin, on limite volontairement la perfection des séparations pour des raisons économiques évidentes. Plus on enrichit la teneur en minéral utile d'un concentré, plus on admet l'existence de pertes en minéral utile dans les rejets. C'est la nature minéralogique, mais aussi l'organisation des minéraux au sein d'un minerai qui déterminent son aptitude à un enrichissement ou à une élimination d'éléments contaminants. Il faut distinguer deux principaux types de minerai à l'origine et aux caractéristiques fondamentalement différentes : les minerais de phosphate d'origine sédimentaire et les minerais de phosphate d'origine ignée.

## 2.2. PRINCIPALES PHASES CONTAMINANTES DES CONCENTRES PHOSPHATES [6] [7] [8] [9] [11] [12] [13] [16]

Le titre en  $P_2O_5$  n'est pas la seule qualité d'un concentré phosphaté et les impuretés jouent un rôle de plus en plus important. Les contaminants critiques sont différents suivant le type de débouchés des divers produits fabriqués. Les valeurs de ces limites sont celles en vigueur dans le cadre d'un procédé

où la production d'acide phosphorique est intégrée à la valorisation des sous-produits.

#### *Le calcium*

La teneur en CaO affecte de façon sensible la consommation d'acide sulfurique. De hautes teneurs en CaO n'ont qu'un effet économique et de l'acide relativement pur peut être produit à partir de concentrés contenant de grandes quantités de calcite. En général, le rapport CaO/P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> doit être compris entre 1,4 et 1,6.

#### *Le fluor*

Les opérations d'attaque et de concentration conduisent à la formation d'HF. La présence excessive d'HF engendre une corrosion accélérée du matériel. Afin d'éviter cette corrosion, le minerai doit contenir suffisamment de silice réactive. Le rapport F/SiO<sub>2</sub> doit être ≤ à 2 %.

#### *Le chlore*

La présence excessive de chlore dans les gaz provoque une corrosion accélérée des aciers inoxydables. On impose une teneur limite en Cl (≤ 700 ppm).

#### *La silice*

On distingue deux types de silice : la silice réactive et le quartz ou silice non réactive. Le quartz diminue la capacité de filtration du gypse, augmentant ainsi la fraction de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> retenue dans le gypse. Notons que la silice joue également un rôle dans le mode de cristallisation du sulfate de calcium.

#### *Le fer et l'alumine*

La somme Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> est communément appelée feral. La limite en feral est de 2 %. Néanmoins, la quantité d'Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> conditionne la qualité de la cristallisation du sulfate de calcium. De cette qualité dépend l'efficacité de la filtration. L'aluminium a également pour effet de réduire la corrosion par formation d'ALF<sub>6</sub><sup>3-</sup>.

#### *Le magnésium*

Le magnésium reste dans la phase acide. Une teneur excessive en MgO augmente fortement la viscosité de l'acide phosphorique diminuant ainsi son rendement d'extraction.

#### *La soude*

La teneur excessive de soude gêne la valorisation du gypse dans l'industrie du plâtre. On limite la teneur en Na<sub>2</sub>O à 0,4 %.

#### *Le dioxyde de carbone et le carbone total*

Le CO<sub>2</sub> et la présence de matières organiques dans le minerai provoquent l'apparition de mousses lors de l'attaque. De plus, leur présence colore l'acide

produit. La matière organique en forte teneur n'est également pas souhaitée dans le phosphogypse.

#### *Le strontium*

Comme il précipite facilement sous forme de sulfate, il sort dans le gypse. La faible quantité restant en phase liquide peut ultérieurement précipiter.

#### *L'arsenic*

La plupart des concentrés de phosphate en contiennent de 3 à 15 ppm qui passent en solution durant l'attaque. Pour l'élaboration de produits alimentaires, un abattage de l'arsenic est nécessaire.

#### *Le titane*

Le titane ne présente pas de danger dans les engrais, ni dans l'alimentation puisqu'il est généralement reconnu qu'il ne joue aucun rôle physiologique. Le titane semble être à l'origine de quelques désagréments lors d'usages postérieurs de l'acide, il provoque des jaunissements de la solution lorsque l'acide est traité à l'ammonium et semble modifier la viscosité. Sa présence dans l'acide peut provoquer des précipitations extrêmement fines qui donnent à l'acide une turbidité blanche. Dans les minerais, le Ti ne se présente jamais sous forme native, ce métal est toujours oxydé, principalement sous forme de rutilé ou d'ilménite.

#### *Le vanadium*

Le vanadium est un élément toxique pour les animaux lorsqu'il est ingéré. L'acide phosphorique étant utilisé largement dans l'alimentation humaine et animale, il est donc primordial de baisser sa concentration en vanadium. Les procédés utilisés font appel à la précipitation du vanadium par l'ajout d'un oxydant à de l'acide phosphorique concentré. Le  $V^{5+}$  devient insoluble.

#### *Les Terres Rares*

Les Terres Rares (T.R.) constituent une famille de 15 éléments aux caractères chimiques très proches. Il s'agit du lanthane, cérium, praséodyme, néodyme, samarium, europium, gadolinium, terbium, dysprosium, erbium, holmium, thulium, ytterbium et lutécium. Le scandium et l'yttrium sont souvent associés à ces éléments car leur comportement est proche. Les T.R. se rencontrent dans beaucoup de minerais sous forme très dispersée et sont solubilisées en milieu sulfo-phosphorique.

#### *L'uranium et le thorium*

Ces éléments radioactifs ne causent pas, à proprement parler, de difficultés pratiques lors du traitement industriel des concentrés phosphatés ; cependant, ils se retrouvent dans le sulfate de calcium et sont à la base de la radioactivité de ce sous-produit et donc du plâtre fabriqué. Actuellement, on demande une

radioactivité maximale du gypse pour sa valorisation en plâtre de 10 picocuries/gramme. En terme de comparaison, rappelons que la radioactivité moyenne d'un granite est de l'ordre de 300 pCi/gd. [17]. La «structure magnétique» (répartition entre les fractions) n'apporte guère de solution à la réduction du Th et les séparations granulométriques montrent de plus que le thorium et les terres rares accompagnent l'apatite. Le thorium est toujours associé à diverses terres rares.

L'uranium a tendance à passer dans le gypse lorsqu'il est insuffisamment oxydé, l' $U^{4+}$  ayant tendance à se substituer au  $Ca^{++}$ . Les producteurs d' $H_3PO_4$  ont donc intérêt à garder l'uranium dans l'acide et à l'extraire par la suite. Pour cela, il faut que l'uranium soit oxydé jusqu'à l'état +6 ( $U^{6+}$ ).

#### *Le cadmium*

Il faut éliminer le Cd de l'acide phosphorique pour éviter de polluer les sols lors de l'épandage des engrais. On trouve du cadmium dans tous les concentrés phosphatés sédimentaires<sup>e</sup>, mais dans une gamme très variable de teneurs. Alors que certains concentrés n'en contiennent que quelques ppm (3 à 5 ppm), d'autres peuvent renfermer jusqu'à 100 ppm et plus. Lors de la fabrication d'acide phosphorique, le cadmium, dans des proportions dépendant du type de cristallisation du sulfate<sup>f</sup>, passe en solution. Les procédés de décadmiation porteurs semblent être ceux pour lesquels la décadmiation s'effectue à partir de l'acide phosphorique ou lors de son élaboration. Ces quelques procédés sont : extraction par solvant, précipitations de sulfure, extraction par colonnes échangeuses d'ions ou encore par une cristallisation du sulfate en anhydrite II qui fixe le cadmium et l'entraîne dans le rejet solide.

Les teneurs limites en cadmium admises dans les engrais pour quelques pays sont reprises dans le tableau suivant :

**Tableau 6**  
BASF Antwerpen M.V.  
Teneurs limites en cadmium dans les engrais

	mg Cd/ Kg P	mg Cd/ Kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
Allemagne	200	90
Belgique	200	90
Pays-Bas (2000)	34	15
Finlande (1993)	50	22,5
Suisse (1993)	50	22,5
Suède (1992)	100	45
Norvège (1992)	100	45
Danemark (07/92)	150	67
Autriche (07/95)	275	120
Japon (proposition)	150	67



Afin de cibler grossièrement ces contaminants critiques de quelques concentrés actuellement sur le marché, les analyses chimiques de quelques-uns d'entre eux sont reprises dans le tableau 7 ci-après.

**Tableau 7**  
Analyses chimiques de différents concentrés

	U <sub>3</sub> O <sub>8</sub> (ppm)	Th (ppm)	Ti (ppm)	Cd (ppm)	Na <sub>2</sub> O (%)	CO <sub>2</sub> (%)
Bucraa <sup>a</sup> (Maroc)	101	5	159	34	0,17	2,3
Palfos88S <sup>a</sup> (Afrique du Sud)	14	107	40	< 2	0,064	1,1
El Shidiya <sup>a</sup> (Jordanie)	60	2	56	5	0,52	3,6
Kola <sup>a b</sup> (Russie)	5	21	2 300	< 2	0,506	0,14
Cajati <sup>a</sup> (Brésil)	8	10	45	< 2	0,15	3
Zin <sup>a</sup> (Israël)	165	6	23	21	0,38	2,6
Togo 80 <sup>a</sup>	124	—	36	53	0,20	1,6
Gafsa <sup>c</sup> (Tunisie)	—	—	—	30	1	6,5
Floride <sup>d</sup> (USA)	185	—	690	5	0,5	3,8

<sup>a</sup> analyses Prayon-Rupel

<sup>b</sup> 40,9 % P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>

### 3. Valorisation des concentrés phosphatés

#### 3.1. L'ACIDE PHOSPHORIQUE [2] [20] [22]

##### 3.1.1. Introduction

Une fois extraits, les phosphates, suivant leurs qualités et débouchés visés, subissent diverses opérations de préparations et/ou concentrations. Les uns ne nécessitent qu'une classification, ou un broyage et une classification, et seront utilisés tels quels (phosphates d'amendement direct), les autres nécessiteront classification, broyage, flottation et séchage, d'autres encore seront traités par voie thermique (calcination).

L'élaboration de produits techniques et de la plupart des engrais passe par une étape intermédiaire indispensable qui est la fabrication d'acide phosphorique. Cette fabrication d'acide phosphorique à partir du phosphate minéral peut se réaliser par voie thermique ou par voie humide.

Dans le procédé par voie humide, l'acide phosphorique est produit par attaque directe du phosphate à l'aide d'acide, le plus souvent sulfurique mais pouvant également, dans d'autres procédés, être nitrique ou chlorhydrique. Seuls les procédés en voie humide, par lixiviation à l'acide sulfurique et notamment le Central Prayon Process (CPP), seront succinctement présentés ici.

Les procédés, qu'ils soient à simple, double ou triple cristallisation, permettent d'envisager leur application dans un contexte d'environnement et selon la demande de l'usage des produits manufacturés pour autant qu'ils soient convertibles, c'est-à-dire réalisés au départ en fonction d'une évolution possible du procédé. C'est de cette manière qu'il faudra user économiquement pour améliorer les performances de son unité de production et de ce fait solutionner la pollution en réduisant les rejets liquides, gazeux et solides :

- L'augmentation de rendement en  $P_2O_5$  par une conversion vers un procédé plus performant réduira les rejets  $P_2O_5$  et fluor ;
- La rationalisation des circuits des eaux réduira les pertes  $P_2O_5$  et le rejet fluor ;
- Le contrôle des températures aux réacteurs et concentrateurs par une recirculation dans des équipement sous vide permettra, avec une technologie appropriée, d'absorber le fluor sous forme de solution d' $H_2SiF_6$  ;
- Le lavage en plusieurs étages des gaz de ventilation avec recirculation des eaux fluorées dans le procédé permettra de satisfaire aux exigences de la teneur en F dans l'atmosphère ;
- Le rendement élevé en  $P_2O_5$  du procédé, ainsi que la nature du sulfate de calcium déchargé au filtre, seront les atouts de la valorisation industrielle de ce sous-produit ( $CaSO_4 \times H_2O$ ) qui représente à lui seul 5 tonnes de produits par tonne de  $P_2O_5$  produite.

Comme la réactivité des phosphates varie d'un minerai à l'autre, celui qui permet un rendement élevé et une forte concentration de l'acide peut aider à compenser un prix plus haut du minerai ou des frets plus importants. La capacité et par conséquent le coût d'une installation de concentration dépend de même du stade d'attaque. La technologie des Procédés Prayon (agitation, évaporation, recirculation, réacteur multicompartment et filtre Prayon) permet un contrôle optimum des paramètres des procédés. L'acide phosphorique préparé par les procédés classiques titre de 28 à 36 % de  $P_2O_5$  par l'attaque dihydrate et de 40 à 45 % par attaque hémihydrate alpha à la sortie du filtre.

### 3.1.2. *La voie humide comporte plusieurs types de procédés*

A chacun des domaines de cristallisation du sulfate de calcium correspond un type de procédé caractérisé par la nature même des cristaux précipités. Suivant qu'il s'agit de sel anhydre, hémihydrate alpha ou dihydrate, différentes possibilités sont envisageables. Le sulfate de calcium peut être précipité dans

l'acide avec des degrés variés d'hydratation, dépendant des températures et des concentrations utilisées. On trouve un seul type de sulfate dihydrate ou gypse. On trouve deux types de sulfate hémihydrate ( $\alpha$  et  $\beta$ ), deux types d'anhydrites correspondant aux deux hémihydrates (III  $\alpha$  et  $\beta$ ), plus un anhydrite II obtenu par déshydratation ou par cristallisation à partir de solution et un anhydrite I stable à très haute température.

### 3.2. PROCÉDES DE PRODUCTION

Le procédé de base, dit procédé PRAYON en Dihydrate, en est actuellement à sa quatrième génération ; ensuite vient un procédé qui produit du sulfate de chaux marchand : le Central Prayon Process, un procédé en deux temps. Il comporte d'abord la réaction du phosphate avec l'acide sulfurique en milieu dihydrate et s'accompagne de la production d'un acide à titre moyen (30 à 36 %  $P_2O_5$ ) qui est ensuite séparé, tandis que le sulfate de chaux est réattaqué à plus hautes températures et acidités afin de le purifier tout en l'obligeant à recristalliser en hémihydrate  $\alpha$ , lequel est ensuite filtré, lavé et mis en stock où il se réhydrate en absorbant son humidité résiduelle donnant ainsi un phosphogypse pur et sec, aisément manipulable, sans recours à aucune opération de séchage, toujours coûteuse en calories.

Dans les pilotes industriels est né le Procédé PH3 (Prayon Hémihydrate 3 Crystal) qui associe le meilleur des deux mondes, à savoir, d'une part, la production d'acide phosphorique concentré à plus de 40 % de  $P_2O_5$  et, d'autre part, la production de sulfate de calcium avec les perspectives de valorisation directes sur plusieurs «phases» cristallines.

Le rendement technique en  $P_2O_5$  des procédés modernes est supérieur à 99 % et les phases de sulfate de calcium produites, hémihydrate  $\alpha$ , anhydrite II ou un mélange dans des proportions déterminées de ces deux types, sont très pures et produites à un coût concurrentiel à leur production actuelle par voie sèche. Les propriétés mécaniques du sulfate de calcium sont étroitement liées à l'analyse de phases du produit.

Prayon élargit sa gamme de procédés afin de répondre aux besoins des producteurs et aux nouveaux investisseurs, notamment des pays en voie de développement. Ces procédés répondent à leurs principales préoccupations : utilisation de phosphates pauvres, faibles consommations énergétiques, haut rendement, suppression des problèmes d'environnement, valorisation éventuelle du sulfate de chaux, etc.

Les procédés PRAYON sont convertibles car ils utilisent des «blocs Process» identiques, les équipements sont adaptés tant à une réaction d'attaque que de recristallisation, le filtre PRAYON est parfaitement adapté à séparer ou à filtrer des liquides, des bouillies hémihydrate  $\alpha$  ou dihydrate, ainsi qu'à décharger les solides selon les nécessités de procédé ou d'évacuation, par voie «sèche» ou «humide».

Lors d'une conversion de procédé, on augmente le titre de l'acide produit, le rendement mais, généralement, on augmente la capacité de production. Compte tenu du titre plus élevé, les capacités de concentration «libérées» permettent d'absorber le surplus de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ou de produire des acides à plus haut titre et de qualité supérieure.

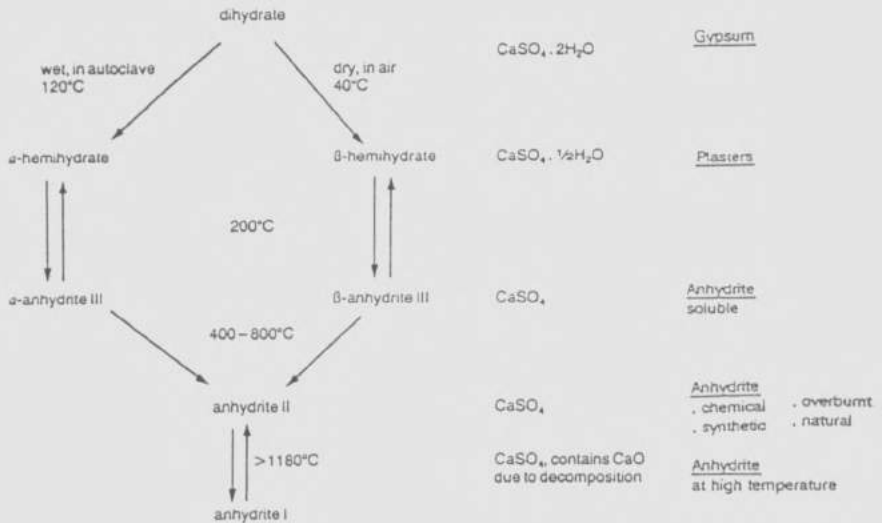


Fig. 7. — Diagrammes du sulfate de calcium.

**Tableau 8**  
Données physico-chimiques du CaSO<sub>4</sub> et ses hydrates

Name	Formula	s.g.	Mol. w.	Water content		Solubility *	
				stoichiom.	pract.	25°C	100°C
dihydrate	CaSO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O	2.31	172.2	20.92	20.9	2.0	1.8
α-hemihydrate	CaSO <sub>4</sub> ·0,5H <sub>2</sub> O	2.76	± 145.1	6.21	6.21-8	6.2	1.7
β-hemihydrate	CaSO <sub>4</sub> ·0,5H <sub>2</sub> O	2.62-2.64	± 145.1	6.21	6.21-12	7.8	1.7
α-anhydrite III	CaSO <sub>4</sub> ·0H <sub>2</sub> O	2.59	136.1	0	0.02-0.05	see HH	
β-anhydrite III	CaSO <sub>4</sub> ·0,1H <sub>2</sub> O	2.48	± 137	0	0.6-0.9	see HH	
anhydrite II	CaSO <sub>4</sub>	2.93-2.97	136.1	0	0	2.6	0.75
anhydrite I	CaSO <sub>4</sub>	already partially decomposed		0	0	?	?

\* g/litre solution

**Tableau 9**  
Systèmes cristallins  $\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$

Formula	Crystal system	Names
$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	monoclinic	gypsum
$\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$	hexagonal	hemihydrate
$\text{CaSO}_4 \cdot 0\text{H}_2\text{O}$	hexagonal	anhydrite III, dehydrated hemihydrate
$\text{CaSO}_4 \cdot 0\text{H}_2\text{O}$	orthorhombic	anhydrite II, dead-burned gypsum
$\text{CaSO}_4 \cdot 0\text{H}_2\text{O}$	cubic	anhydrite I (high-temperature form)

**Tableau 10**  
Caractéristiques mécaniques : résistance à la compression  $\text{N}/\text{mm}^2$

II anhydrite : 70	$\alpha$ hemihydrate : $\geq 40$
Natural anhydrite : 15-40	$\beta$ hemihydrate : 10
Concrete : 50	

### 3.3. SOUS-PRODUITS INDUSTRIELS DE LA PRODUCTION D'ACIDE PHOSPHORIQUE [2] [19] [20] [21] [22]

En raison des augmentations des productions, le problème du gypse résiduaire et des effluents fluorés, notamment, est entré dans une phase décisive, d'autant que les réglementations concernant l'épuration des eaux, du sol et de l'air deviennent de plus en plus sévères.

Selon la pratique actuelle encore en usage général de nos jours, on entasse le gypse résiduaire en « montagnes » ou bien on l'évacue, mélangé à l'eau, dans les fleuves ou dans la mer. Ce sulfate de calcium contient toutefois des impuretés, de nature partiellement soluble et partiellement insoluble, qui provoquent une pollution effective des eaux. On voit aux tableaux suivants (tableaux 11 et 12) une analyse typique des sulfates de chaux résiduaire de la fabrication de l'acide phosphorique par voie humide selon un procédé di-hémihydrate (CPP) et un procédé héli-di-hémihydrate (PH3).

#### 3.3.1. Nature du sulfate de calcium produit

##### a) Techniques de traitement et qualités des produits

Pour le producteur d'acide phosphorique, le sulfate de calcium reste le principal impact de l'activité sur l'environnement. L'évacuation économique du sulfate de calcium résiduaire est l'objet de recherches poussées en vue de son utilisation, surtout dans les pays ne disposant pas de gypse natif et, par conséquent, obligés d'importer de l'étranger cette matière première.

Selon les procédés de fabrication de l'acide, le sulfate de calcium a des qualités équivalentes, voire supérieures, à celles du gypse naturel. Ceci nous amène à repenser l'efficacité technique d'un procédé (son rendement) calculé

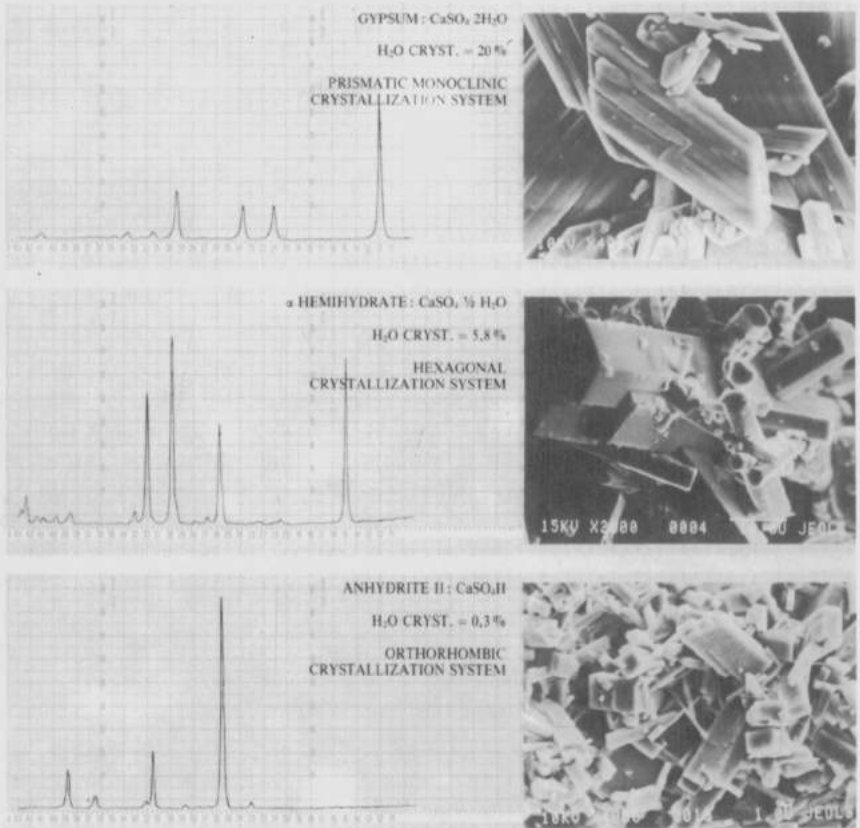


Fig. 8. — Analyse physico-chimique.

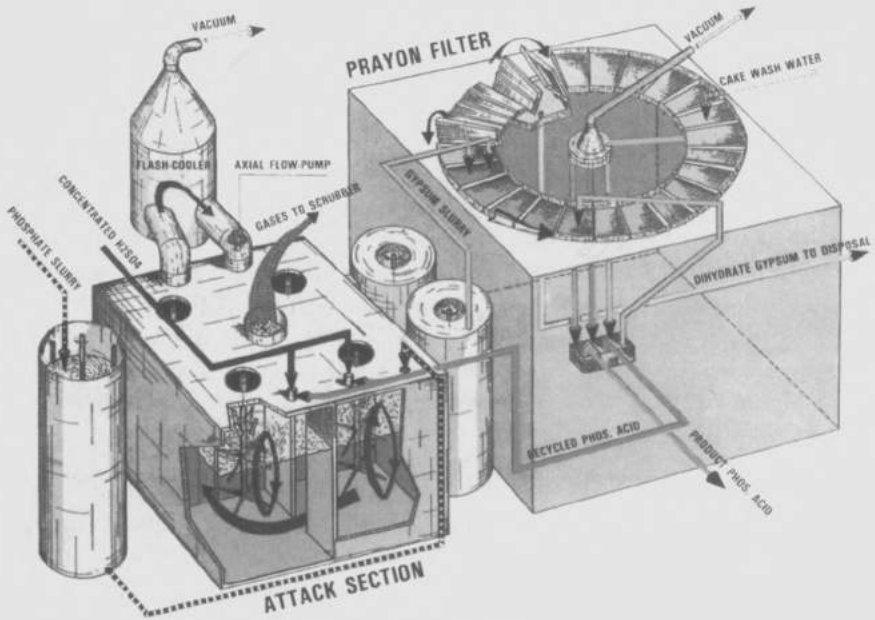


Fig. 9. — Mark IV.

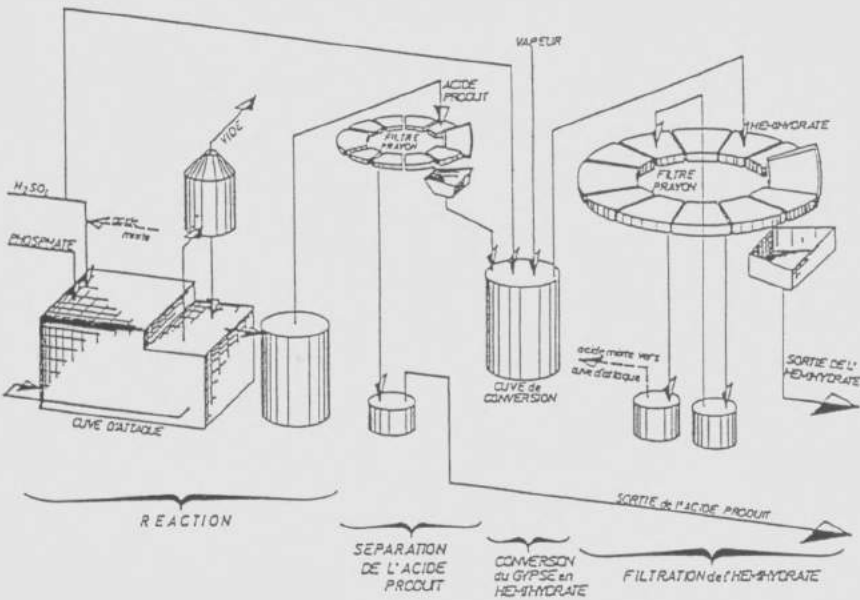


Fig. 10. — Central-Prayon Process.

sur base du  $P_2O_5$  contenu dans les solides à la décharge du filtre. Lors d'un choix de procédé, les types d'évacuation, de traitement et d'utilisation éventuelle des solides doivent être nécessairement pris en considération. Les solides  $CaSO_4 \times H_2O$  peuvent être évacués par voie sèche ou humide, ils peuvent être du dihydrate ou d'hémihydrate  $\alpha$ .

L'aval à la décharge des solides du filtre sera d'importance quant à l'exploitation du procédé et des objectifs recherchés, notamment le rendement. Précisément, PRAYON est seul à détenir des procédés d'acide phosphorique où les solides  $CaSO_4 \cdot 1/2H_2O \alpha$  sont directement valorisables avec un maximum de possibilités d'application, ce sont les procédés PH3 et CPP. On a nécessairement une décharge sèche, la majorité des applications pour valorisation partent d'hémihydrate  $\alpha$  sec ou réhydraté par voie sèche ou réhydraté par voie humide. Aujourd'hui, il s'agit d'augmenter le rendement et de réaliser une unité «propre».

#### b) Valorisation du sulfate de calcium [2] [21] [22]

Avant de choisir le procédé de fabrication d'acide phosphorique, il importe de connaître sous quelle forme d'hydratation le sulfate de calcium peut être fourni aux ateliers de traitement, forme qui intervient d'abord sur son aptitude à la filtration, donc de récupération, et sur son utilisation ultérieure.

Le  $CaSO_4 \cdot 1/2 H_2O \alpha$ , étant produit sous une forme généralement instable, se réhydrate plus ou moins vite sous différentes conditions à l'état de  $CaSO_4 \cdot 2 H_2O$ . Dans l'industrie, c'est généralement sous forme  $CaSO_4 \cdot 2H_2O$  que le sulfate de chaux est au départ valorisé. Pour que les plus grandes chances de valorisation du gypse soient réunies, on doit viser un objectif de qualité.

Généralement, la vente du sulfate de calcium va prendre un marché existant fourni à partir du gypse naturel. La spécification demandée par le client correspondra à ce qu'il utilise déjà, et c'est là la difficulté car les normes auxquelles doivent satisfaire les produits finis existent. Les choses sont différentes quand le pays ne possède pas de gisement naturel de  $CaSO_4 \times H_2O$  ou que l'état pour une politique d'environnement peut «exiger» le recyclage des sous-produits et «ralentir» l'exploitation des gisements naturels.

Toutefois, ce qui est certain, c'est que pour les procédés d'acide phosphorique très performants et à plusieurs formes de cristallisation du  $CaSO_4 \times H_2O$  les produits dérivés de l'acide phosphorique présentent des caractéristiques physico-chimiques et économiques tout à fait équivalentes et même largement supérieures aux produits naturels. Certains clients qui utilisent des produits naturels ont amélioré les qualités et les coûts de leurs produits en introduisant nos produits d'hémi  $\alpha$  du procédé CPP dans certaines proportions aux produits naturels. En résumé, la spécification des produits sera différente selon les pays, l'application que l'on veut en faire et l'usage des produits manufacturés.

Le sulfate de calcium produit par les procédés CENTRAL-PRAYON est un produit beaucoup plus pur que le phosphogypse dihydrate classique et il peut



être conditionné soit sous forme dihydrate (après réhydratation naturelle), soit sous forme hémihydrate alpha sec. Ce sulfate de calcium est donc devenu un produit qui peut se substituer au gypse naturel dans beaucoup d'applications industrielles, contribuant ainsi à l'économie du procédé d'acide phosphorique et donnant une réponse au problème important et coûteux du stockage du gypse et de l'environnement. Il est préférable que la quantité d'hémihydrate alpha sec ou de dihydrate réhydraté produit corresponde à la taille des marchés potentiels. Par exemple :

- Le gypse entre pour environ 4 % comme retardeur de prise dans la fabrication du ciment, c'est-à-dire qu'à 1 t gypse correspondent 25 t ciment ;
- Pour la fabrication de carreaux de plâtre de 70 mm d'épaisseur environ, à 1 t plâtre correspondent environ 14 m<sup>2</sup> de carreaux.

Ces deux exemples sont significatifs de la complexité du problème de trouver suffisamment d'usages pour consommer le tonnage du sulfate de calcium produit.

Cette réflexion veut aussi dire que la solution la plus avantageuse pour la modernisation des unités actuelles d'acide phosphorique est :

- De transformer une fraction de la production de dihydrate classique en sulfate de calcium purifié par le procédé CENTRAL-PRAYON + séchage PRAYON ;
- De faire agréer le produit final par les différents ministères et organismes (construction, mines, ...) intéressés par ce sulfate de calcium ;
- D'augmenter la capacité de production de sulfate de calcium purifié par ajout de lignes de transformation en parallèle à la première ligne.

Les principaux débouchés pour le sulfate de calcium purifié (hémihydrate alpha sec ou dihydrate réhydraté) sont les suivants (chacun d'eux nécessite des qualités de gypse spécifiques) :

- Industrie du plâtre : plâtre à projeter, carreaux en plâtres, plaques, ... Ce débouché nécessite un gypse faiblement radioactif, contenant peu de matière organique et de Na<sub>2</sub>O ;
- Industrie minière : régulateur de prise du ciment Portland. Ce gypse doit être dépourvu de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> cocrystallisé et soluble, ainsi que de fluor influençant le temps de prise et les caractéristiques mécaniques. Environ 100 % de la production de dihydrate marchand produits par les unités Central Prayon au Japon sont vendus aux cimenteries japonaises et du sud-est asiatiques ;
- Industrie sucrière : adjuvant de pressage des pulpes ;
- Industrie papetière : charge/pigment de couchage ;
- Industrie minière : matériau de remplissage ;
- agriculture : amendement des sols ;
- fabrication de panneaux anti-feu et anti-bruit ;

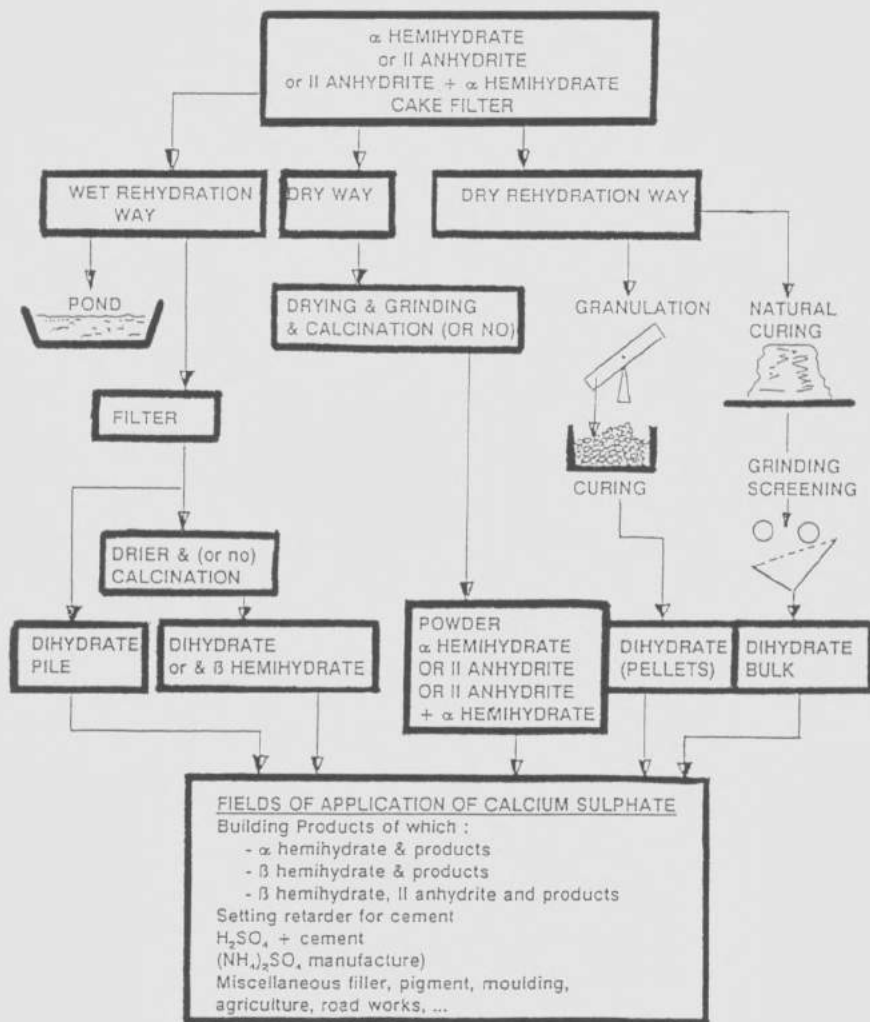


Fig. 11. — Modes d'utilisation du sulfate de calcium phosphoreux à partir des procédés Prayon PH3 et CPP.

Tableau 11

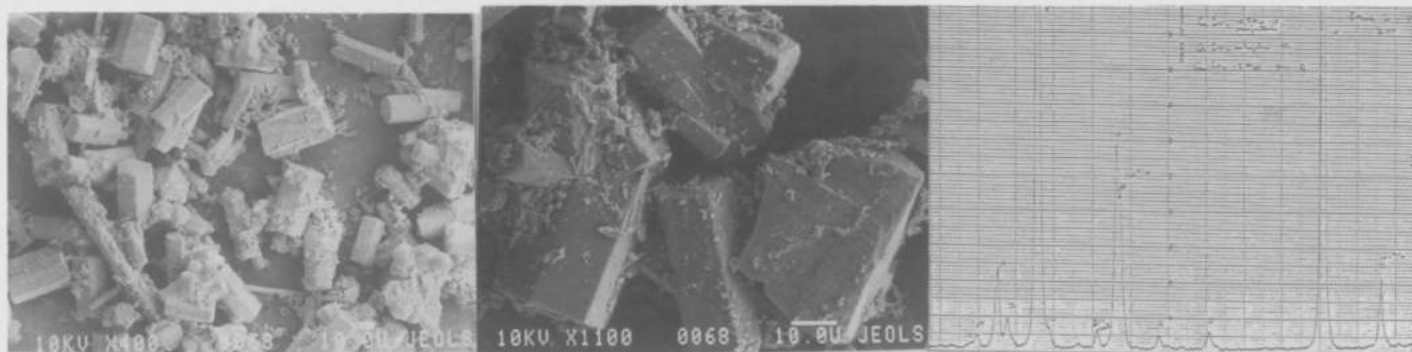
Procédé Central-Prayon convertible — Analyses chimiques

	PHOSPHATE PHALABORWA PYROXENITE 80 BPL			PHOSPHATE TOGO 80 BPL		
	phosphate	product acid	hemi- hydrate	phosphate	product acid	hemi- hydrate
Densité Total H <sub>2</sub> O <i>On dry basis</i>	100 °C	1.397	5.7 250 °C (5.5)	100 °C	1.416	250 °C
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		36.4	0.19		36.6	
CaO	53.20	0.23	41.0	51.0	0.32	39.1
SO <sub>3</sub>	0.00	0.82	58.3	0.1	0.8	58.0
F	2.30	1.70	0.04	4.0	1.70	0.55
SiO <sub>2</sub>	2.60	0.90	0.5	3.7	0.30	2.1
N <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.19	0.15	0.08	1.06	0.31	0.31
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.19	0.18	0.02	1.10	1.00	0.02
Na <sub>2</sub> O	0.11	0.05	0.05	0.20	0.02	0.13
K <sub>2</sub> O	0.04	0.03	0.02	0.03	0.00	0.02
MgO	1.20	0.90	0.00	0.1	0.10	0.00
Cl	0.04	0.03	0.02	0.09	0.07	0.03
C. Org.	0.55	0.01		0.05	0.02	0.03
TiO <sub>2</sub>				0.04	0.01	
CO <sub>2</sub>	3.42			2.1		

Tableau 12

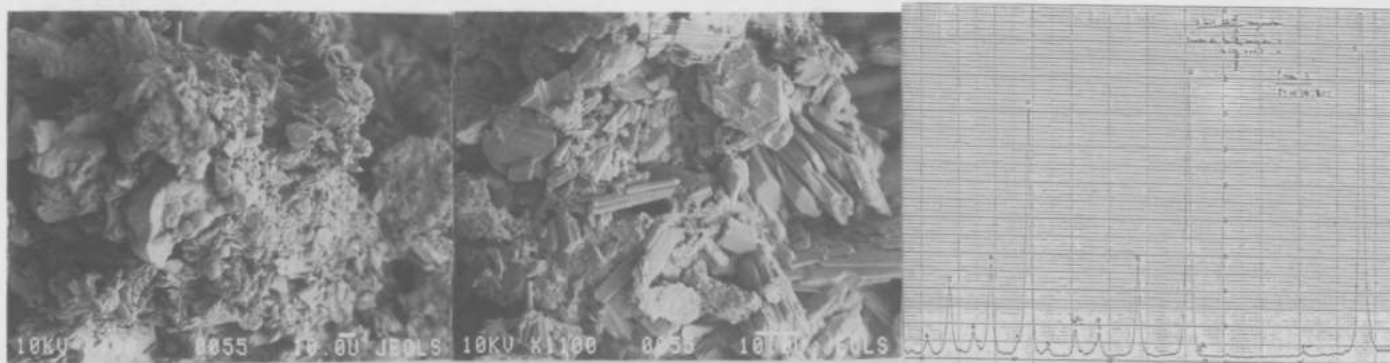
Procédé Prayon — PH3 — Analyses chimiques

DESIGNATION %	PHOSPHATE CENTRAL FLORIDA 70-72 BPL			MOROCCO PHOSPHATE K11		
	phosphate blend	product acid	calcium sulphate	phosphate blend	product acid	calcium sulphate as such hemi α + 5-10 % anhyd.
Specific gravity kg/dm <sup>3</sup>		1.550			1.472	
Total H <sub>2</sub> O <i>On dry basis</i> :	1.2 100 °C		18.9 250 °C (5.5)	1.14 100 °C		20 250 °C (6.3)
H <sub>2</sub> O 50-250						
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> tot.	32.5	45-46	0.20	31.3	42.7	0.22
CaO	47.1	0.015	39	49.1	0.17	40.6
SO <sub>3</sub>	1	1.9	57.7	1.7	1	58
F	3.9	0.88	0.12	3.8	2	0.07
SiO <sub>2</sub>	6.3	0.2	1.7	3.6	1.1	1.2
N <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.5	1.0	0.12	0.65	0.56	0.073
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1	0.9	0.064	0.30	0.41	0.013
Na <sub>2</sub> O	0.45	0.008	0.12	0.67	0.009	0.088
K <sub>2</sub> O	0.081	0.010	0.031	0.055	0.004	0.019
MgO	0.32	0.49	0.005	0.50	0.4	0.005
Cl	1.2	0.15	0.026	1.8	0.05	0.57
H <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	0.0154	0.0124	0.0015	0.0146	0.0009	≤ 0.0010



E 84.10.31 L58 – Alpha hemi + Anhydrite :  $H_2O$  C = 5.2 % ;  $P_2O_5$  T = 0.24 % ;  $P_2O_5$  SET = 0.12 % (+ < % dihydrate)

4. Dihydrate sulphate after natural rehydration of alpha hemi cake



E 84.10.30 L23 – Dihydrate as such :  $H_2O$  C = 20.5 % ;  $P_2O_5$  T = 0.16 %

Fig. 12. — Observation au microscope électronique à balayage et analyses par diffraction des rayons X des produits de sulphate de calcium.  
 Etape 3 : conversion du dihydrate en hémihydrate  $\alpha$  : c.  $P_2O_5$  : 28,9 % ;  $SO_3$  = 5,6 %.

- fabrication de sulfate d'ammonium ;
- fabrication d'acide sulfurique et de ciment.

### 3.3.2. *Dégagement du fluor aux différentes étapes des procédés*

#### a) Production et récupération du fluor

Le fluor, qui représente 0,06 à 0,09 % en poids des couches superficielles de la lithosphère, existe surtout à l'état de fluorures accompagnant le phosphore dans ses minerais.

Dans l'industrie des fertilisants, dont l'objectif est de convertir la fluorapatite  $[\text{Ca}_{10}\text{F}_2(\text{P}_2\text{O}_4)_6]$  en  $\text{P}_2\text{O}_5$  soluble et facilement assimilable par les plantes, le fluor se dégage en quantités plus ou moins abondantes selon les méthodes de traitement. Pendant l'acidification du phosphate naturel, un mélange d'acide fluorhydrique et de tétrafluorure de silicium se dégage sous forme de gaz. Les gaz en question pourraient être utilisés comme source de différents fluorures. Trois facteurs importants jouent en faveur de l'utilisation de ces sous-produits comme matière première :

- La tendance à construire des usines de plus en plus grandes, ce qui rend le recyclage ou la récupération des sous-produits indispensable et, dans bien des cas aussi, économiquement souhaitable. Le minerai phosphaté contient une quantité importante de fluor (3 à 4,5 % en poids). La majeure partie de ce fluor est dégagée sous forme gazeuse pendant le traitement de la roche et la concentration de l'acide des procédés de production d'acide phosphorique.
- L'insuffisance des matières premières disponibles. Les besoins chimiques fluorés, autrefois couverts à partir des gisements de spath fluor, mais assez rares aujourd'hui, font naître un intérêt pour la récupération du fluor là où il est produit. Le fluor contenu dans l'acide phosphorique de voie humide peut et doit donc être récupéré ; cette nécessité économique est doublée par une obligation régie par les lois anti-pollution.
- La nécessité de protéger l'environnement et, par conséquent, de prendre des mesures officielles à cet effet.

L'organisation rationnelle des circuits de recyclage permet la valorisation du fluor dans les effluents gazeux et liquides et aboutit à la formation d'acide fluosilicique. C'est la technique utilisée à Prayon où l'acide fluosilicique récupéré est valorisé à la fabrication de divers sels fluorés.

Lors de la production et de la concentration de l'acide faible, la solubilité de ions  $\text{SiF}_6^-$  diminue, phénomène lié à l'augmentation conjointe de la température et de la teneur en  $\text{P}_2\text{O}_5$ . Autrement dit, dans ces conditions, l'acide fluosilicique se décompose en ces deux composants volatils : HF et  $\text{SiF}_4$ . La récupération de ceux-ci s'effectue par absorption : on pulvérise une solution d'acide fluosilicique sur les gaz chargés de HF et  $\text{SiF}_4$ , ce qui conduit à un enrichissement progressif de la solution en acide. Le dégagement préférentiel

de HF ou de SiF est en fonction de la concentration de l'acide  $H_2SiF_6$ . La récupération du fluor sous forme d'acide fluosilicique se base sur le fait que la pression partielle en  $SiF_4$  reste faible pour autant qu'on ne dépasse pas une concentration en  $H_2SiF_6$  trop élevée ; on évalue à 25 % cette concentration. Les facteurs qui règlent l'efficacité de récupération du fluor dans une tour d'absorption sous vide sont la pression absolue dans la tour, la concentration de la solution en  $H_2SiF_6$  et le débit de la solution lié à la dispersion du liquide dans les gaz.

#### b) Valorisation de l'acide fluosilicique

Les débouchés de l'acide fluosilicique sont variés car celui-ci entre dans la fabrication de la plupart des composés à base de F. Il est utilisé dans l'industrie de la céramique, dans celle de l'aluminium, mais aussi comme herbicide ou pour le traitement des eaux usées.

A partir de l'acide fluosilicique produit, on peut fabriquer trois principaux groupes de produits :

- Les Fluosilicates ;
- Les Fluorures ;
- Des Cryolites et Fluoroborates.

L'acide fluosilicique brut ne subit généralement pas de traitement particulier. Les impuretés qui seraient à éliminer sont les solides et notamment de phosphate. Pour de l'acide fluosilicique pur, on peut descendre jusqu'à moins de 50 ppm de  $P_2O_5$ , mais il s'agit là d'un degré de pureté qui n'est pas nécessaire pour des productions de  $AlF_3$  et de Cryolite (250 ppm suffisent).

#### 4. Perspectives et conclusions [11] [12] [13] [19] [20] [21] [22] [26] [27] [28]

La production d'acide phosphorique n'est plus un problème de procédé, on peut traiter les minerais de phosphates selon les technologies les plus modernes, c.-à-d. : produire un acide à haut titre, avec un rendement de valorisation en  $P_2O_5$  élevé et se permettre de répondre aux normes écologiques contraignantes par une valorisation assez large des sous-produits du fluor et du sulfate de calcium. Néanmoins, ce qui touche aujourd'hui bon nombre de producteurs, c'est la limite en teneur de certains contaminants des produits phosphatés (engrais, acides, sels de phosphates et dérivés, ...). Il n'y a pas de normes internationales ni européennes, mais il existe des limites commerciales à ne pas dépasser et qui varient selon les pays. En Europe, l'industrie de l'acide phosphorique est réduite par les productions de la concurrence étrangère et les contraintes pour les règles écologiques intérieures, on s'oriente vers des phosphates à moindre teneur en éléments radioactifs et en métaux lourds, en cadmium notamment. La recherche nous conduit à exploiter des procédés qui

**Tableau 13**  
Les produits fluorés

fluosilicates		fluorures		cryolites	fluoroborates
Insolubles Peu solubles	Solubles	Insolubles	Solubles		
BaSiF <sub>6</sub> K <sub>2</sub> SiF <sub>6</sub> Na <sub>2</sub> SiF <sub>6</sub> CaSiF <sub>6</sub> Cu <sub>2</sub> SiF <sub>6</sub> Rb <sub>2</sub> SiF <sub>6</sub>	Ag <sub>2</sub> SiF <sub>6</sub> · 4H <sub>2</sub> O MgSiF <sub>6</sub> · 6H <sub>2</sub> O ZnSiF <sub>6</sub> · 6H <sub>2</sub> O PbSiF <sub>6</sub> (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SiF <sub>6</sub> H <sub>2</sub> SiF <sub>5</sub> Al <sub>2</sub> (SiF ?) <sub>5</sub> · 9H <sub>2</sub> O MnSiF <sub>5</sub> · 6H <sub>2</sub> O HgSiF <sub>5</sub> · 6H <sub>2</sub> O	NaF CaF <sub>2</sub> MgF <sub>2</sub> ZnF <sub>2</sub> AlF <sub>3</sub> PbF <sub>3</sub> FeF <sub>3</sub> BaF <sub>3</sub>	AgF KF NH <sub>4</sub> F BF <sub>3</sub> CdF <sub>3</sub> HF	K <sub>3</sub> AlF <sub>6</sub> Na <sub>3</sub> AlF <sub>6</sub> Li <sub>3</sub> AlF <sub>6</sub>	Pb(BF <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> NaBF <sub>4</sub> KBF <sub>4</sub> Zn(BF <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> Sn(BF <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> NH <sub>4</sub> BF <sub>4</sub>
Insecticides Emaux Traitement verre Industrie latex Pigments	Céramique Insecticides Modificateur des propriétés physiques Industrie électrolyse Catalyseur Antiseptique	Cryolites Fluoroborates Usinage Traitement matériaux (durcissement) Source HF Céramique - Verres spéciaux insecticides Fongicides	Agent de fluorisation Cryolites Traitement matériaux Désinfectant	Industrie Aluminium Céramique Production HF insecticides Abrasifs	Catalyseur Traitement surface Abrasifs Corrosion

ne peuvent guère s'appliquer que dans la fabrication de produits plus élaborés que les engrais. Les procédés se classent généralement en quatre catégories :

- Co-cristallisation dans l'anhydrite II, l'hémihydrate  $\alpha$  et le dihydrate ;
- Précipitation par molécules contenant  $S^{-}$  ;
- Enlèvement par résine «échangeuse» d'ions ;
- Enlèvement par extraction aux solvants.

Aux U.S.A., la présence de cadmium dans les engrais ne pose pas de problème car ils voient les choses différemment des Européens. Par contre, les producteurs africains de phosphate, dont les débouchés sont menacés (Sénégal, Togo, Maroc, Tunisie, ...), sollicitent des producteurs de technologies de résoudre leur «problème Cd». Le groupe Imphos (Maroc) entame ses recherches avec l'appui financier de la CEE ...

Les productions et les quantités échangées de phosphates vont en diminuant avec les années, phénomène qui résulte de la conjonction de divers facteurs tels que l'évolution des politiques agricoles, qui visent à moins subsidier l'emploi d'engrais, et des meilleurs rendements lors de l'utilisation de ces engrais. De plus, le commerce international des minerais de phosphates subit une récession consécutive au développement de la production d'acide phosphorique près de sites d'exploitation. Cette tendance va vraisemblablement s'accroître aux cours des prochaines années. Le Mineur-Producteur, dans une politique d'environnement par la production d'acide phosphorique, devra intégrer la production compte tenu des régions et des ressources industrielles à pourvoir.

Le lien entre la qualité du minerai et la qualité des produits est immédiat. Un concentré ne peut à lui seul remplir l'entière exigence et c'est par le biais de mélanges de différents phosphates de diverses origines que l'on va réaliser ces contraintes. Chaque minerai, avec ses qualités propres, pallie les carences de l'un ou l'autre, ou permet des dilutions. Les phosphates sédimentaires renferment généralement des teneurs en Al et de  $SiO_2$  élevées. Ils peuvent constituer un apport intéressant d'Al venant combler le déficit de certains minerais d'origine ignée. Ces éléments contribuent à la formation des cristaux des sulfates de calcium recherchés. De ce fait, ils participent au rendement et aux possibilités accrues de valorisation des sous-produits de l'acide phosphorique. En cas de déficience, on peut avoir recours à des ajouts de minéraux (additifs) tels que Kaolin, Perlite, Benthonite, de diatomée et même de Groisil (sous-produit des industries du verre et des fibres de verre). Le phosphate du Sénégal, le Phosphal, pourrait être commercialisé comme additif  $SiO_2/Al_2O_3$ . Ainsi, en Belgique où les normes environnementales se sont renforcées, le solide du sulfate de calcium, indissociablement lié à la fabrication d'acide phosphorique est devenu une contrainte majeure. Le procédé Prayon de fabrication d'acide phosphorique produisant un sulfate de calcium de grande pureté, le procédé à double cristallisation Central-Prayon présentant des qualités équivalentes, voire supérieures à celle du gypse naturel, permet une politique de



valorisation du sulfate de calcium entraînant, en fonction des débouchés visés, des exigences particulières sur la pureté des minerais phosphatés utilisés :

- A partir d'un procédé produisant de l'hémi  $\alpha$  (CPP ou PH3), toutes les possibilités de valorisation du  $\text{CaSO}_4 \times \text{H}_2\text{O}$  sont offertes et, de plus, par une réhydratation humide, nous pouvons purifier l'hémihydrate  $\alpha$  et produire un dihydrate très pur et peu radioactif si nécessaire ;
- En résumé, il y a donc une gamme assez large de possibilités pour consommer l'hémihydrate  $\alpha$  produit par une unité Central-Prayon ; les solutions les plus intéressantes seront toujours celles qui permettront de consommer la plus forte quantité de sulfate de calcium.

Les procédés à décharge de solides hémihydrate  $\alpha$  offrent le plus de possibilités à valoriser le sulfate de calcium. Les recherches, progressivement industrialisées, visent à améliorer les qualités marchandes du sulfate de calcium. Du point de vue environnement, ces résultats peuvent se résumer comme suit :

- Dans la mesure où les qualités de sulfate de chaux atteintes lui donnent accès à des usages pour lesquels il existe un marché réel, le sulfate de chaux vendu devient un co-produit marchand et les quantités vendues diminuent d'autant la quantité à mettre à terril ou à rejeter en mer (ou rivière) ;
- Dans la mesure où il n'existe pas ou pas encore de marché pour toutes les quantités produites, la mise à terril ou le rejet en mer (ou rivière) de la nouvelle qualité de sulfate de chaux est facilitée aux points de vue manutention, environnement par ses plus grandes puretés et siccités et par un tonnage réduit à l'unité de  $\text{P}_2\text{O}_5$  produite (influence du rendement et de l'humidité du solide évacué) ;
- De plus, ces mêmes propriétés sont éminemment favorables dans le cas où l'on assisterait à la mise au point de procédés de recyclage du sulfate de chaux. De nombreuses recherches sont en cours dans ce sens, notamment en Allemagne et aux Etats-Unis, et nous nous en tenons informés car nous estimons disposer de la qualité de sulfate de chaux idéale pour entrer dans ces procédés. A ce moment, on pourra envisager non seulement le traitement des quantités produites, mais éventuellement le recyclage des terrils.

Ces développements constituent un pas énorme dans la bonne direction, celle de nombreux procédés de fabrication plus performants et moins polluants.

Dans la technologie de production d'acide phosphorique, les traitements des effluents liquides, solides et gazeux doivent retenir particulièrement l'attention. Les quantités de fluor qui se dégagent sont incompatibles avec les normes limitant le rejet de fluor dans l'atmosphère. Une méthode développée par Prayon a l'avantage d'éliminer le fluor en permettant sa valorisation sous forme d'acide fluosilicique. Pour les effluents liquides et solides, il est nécessaire

d'adapter les circuits des eaux et de réhydrater l'hémi  $\alpha$  avant son évacuation par pompage vers un pond.

De cette manière, un maximum du  $P_2O_5$  et du F sont récupérés et recyclés dans le procédé au niveau des eaux de lavage des gâteaux au(x) filtre(s).

La plupart des métaux lourds représentent un risque très complexe qui est assez difficile à évaluer en termes quantitatifs précis. Certains individus manifestent une sensibilité particulière à des doses qui n'ont aucun effet perceptible chez d'autres individus. Le problème relatif à la plupart des métaux lourds consiste dans leur mobilité à travers différentes matières dans l'environnement. Dans le cas du cadmium, les émissions dans l'air se déposent finalement sur le sol ou dans l'eau. Le cadmium et les métaux lourds sont toujours présents dans l'environnement naturel et, par conséquent, se trouvent même dans les régions les plus éloignées. Dans les phosphates, pour remédier aux problèmes causés par la toxicité des métaux lourds, la condition préalable est d'intervenir dans le processus de la transformation des phosphates, avec toutes les conséquences d'une efficacité diminuée, de coûts augmentés, d'une consommation accrue de matières premières. Vu que la majeure partie des contaminants dans le minerai de phosphate ne se rassemble pas dans le gypse, les fertilisants phosphatés contiennent encore une large part des métaux lourds originaires des gisements de phosphates.

Les acides de production ou les sous-produits des contaminants indésirables peuvent pour la plupart être réduits, voire éliminés par cocrystallisation ou coprécipitation selon un choix de conversion au cours de laquelle nous faisons passer du sulfate de calcium d'une phase cristalline à une autre. Le coefficient de partage d'un élément peut être totalement différent suivant la phase de sulfate de Ca formée. Dans le procédé Prayon Di-Hémi (CPP) tel qu'utilisé à Engis, l'attaque de l'apatite aboutit à la formation d'un dihydrate qui est ensuite converti en hémihydrate  $\alpha$ . Au cours de la conversion du dihydrate, les deux autres phases cristallines peuvent être réalisées. Sachant que l'anhydrite II pompe littéralement le Cd hors de l'acide phosphorique, le problème en CPP consiste donc à se placer dans des conditions telles que l'on forme de l'anhydrite II en quantité suffisante en parallèle à l'hémihydrate  $\alpha$ . Au cours des concentrations, on peut traiter les acides lors de la conversion de dihydrate ou de la cristallisation de sulfate de calcium en anhydrite II. Le brevet déposé par l'OTP et le procédé O.C.P. sont assez semblables. Ils procèdent à la formation d'anhydrite II à la section de concentration des acides.

Dans ces technologies proposées, il serait possible de passer d'une teneur en cadmium de l'acide phosphorique d'environ 50-100 ppm jusqu'à une valeur qui peut être inférieure à 3 ppm voire à 1 ppm ; de plus, ce décadmiage peut être réalisé pour tout acide quelle que soit sa teneur initiale en cadmium. Ces technologies enlèvent en plus des Terres Rares (yttrium), le baryum et le strontium et fournit un acide désaturé qui ne donne plus lieu à des post-

# Procédé Central-Prayon

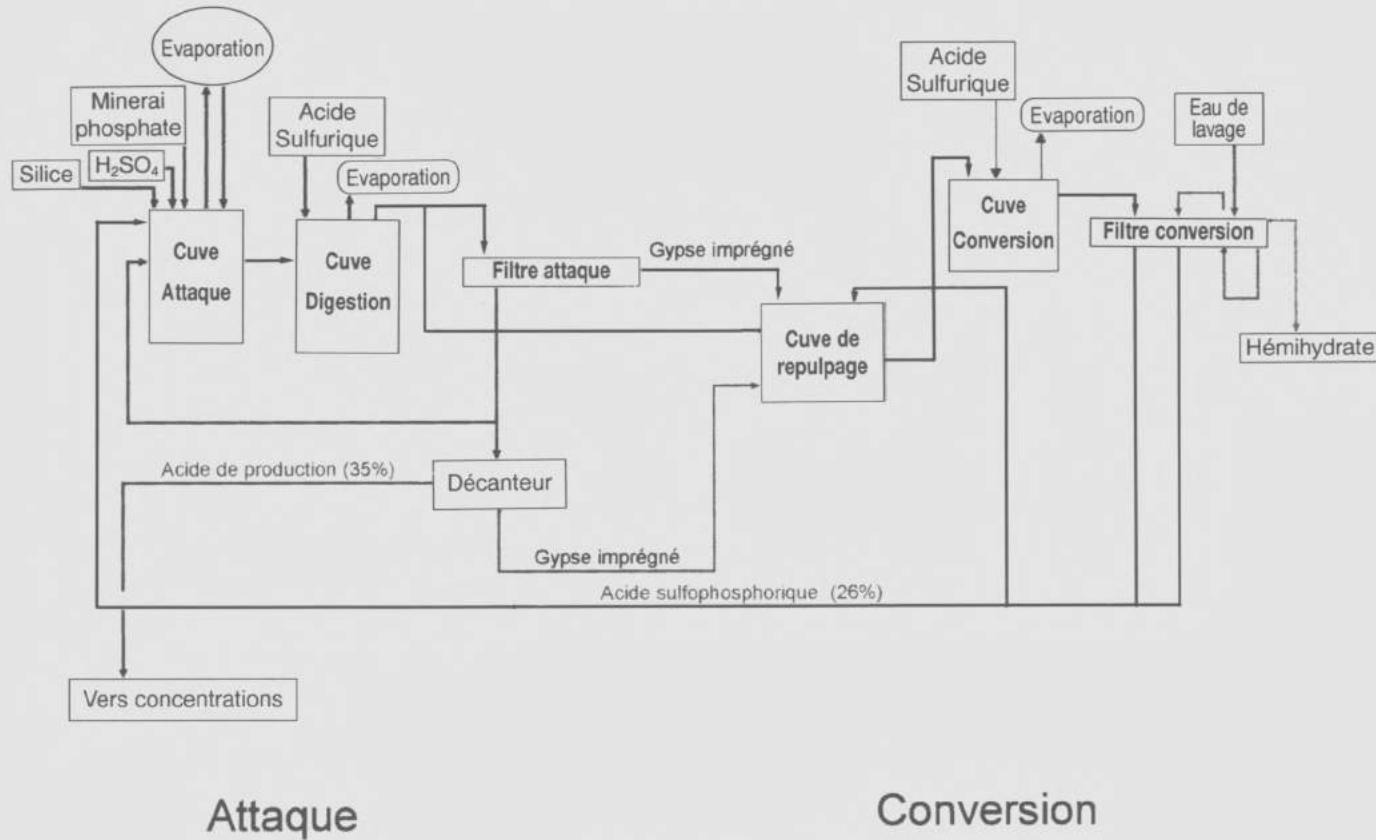


Fig. 13. — Organigramme CCP.

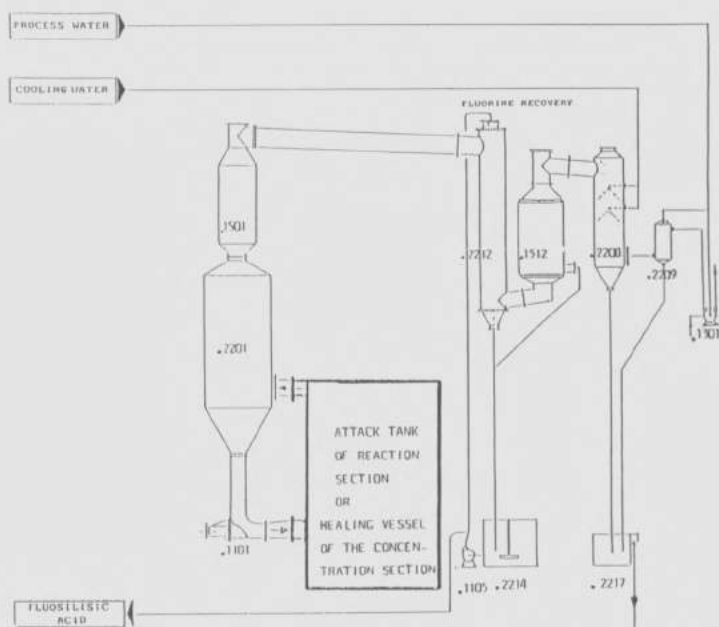


Fig. 14. — Diagramme des procédés Prayon dans l'unité de production d'acide fluosilicique.

précipitations. Leur installation doit être associée à l'unité d'acide phosphorique. Il faut poursuivre les recherches portant sur des procédés économiquement viables. Entre-temps, des mesures existent :

- Les pays exportateurs de phosphates cherchent à localiser des gisements de phosphate à faible teneur en cadmium ;
- Les pays producteurs d'acide phosphorique traitent des quantités de plus en plus importantes de phosphate à l'intérieur de leurs frontières ;
- Les producteurs prennent part au débat sur l'environnement. Ils soutiennent des recherches rationnelles concernant les effets des phosphates ainsi que des éléments en traces sur l'environnement ;
- La technologie de conversion de dihydrate en hémihydrate  $\alpha$  + anhydrite II (AII de 5 à 100 %) des procédés Prayon : CPP et  $\text{PH}_3$  permettraient de réaliser, lors de la lixiviation du minerai, une part importante, voire suffisante dans l'opération de décadmiation. Nous pensons que les deux procédés industriels, lixiviation du phosphate et traitement des acides, est la solution la plus attrayante, la mieux adaptée et ils peuvent équiper les unités existantes (*revamping* de procédés dihydrate en exploitation) dans des conditions intéressantes pour les producteurs et mineurs, sans être polluants vu la faible teneur des solides en Cd déposés.

DIAGRAM OF THE CaSO<sub>4</sub> CRYSTALLIZATION

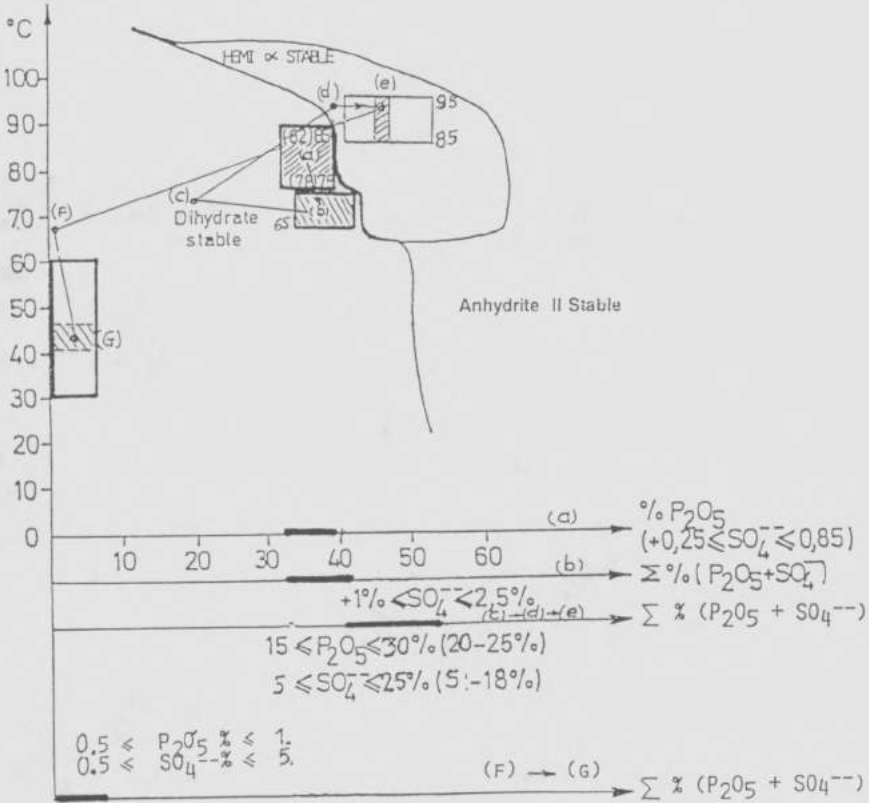


Fig. 15. — Diagramme de la cristallisation du CaSO<sub>4</sub>.

En conclusion, l'industrie de l'activité P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> poursuit son évolution au niveau mondial, bien que nous constatons que la production et la consommation du P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> restent relativement stationnaires et cela depuis près de vingt années. En Europe, il y a de sérieuses réductions dans les capacités et possibilités de traitement des phosphates pour la production d'acides phosphoriques de qualité de plus en plus élargies. Si la production mondiale est proche de 30 millions de tonnes de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> transformées en P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, l'Europe de l'Ouest n'est pas loin d'en consommer 20 % de la production totale. Il semble utile que l'Europe reste néanmoins parmi les producteurs d'acide phosphorique. Les producteurs européens et d'outre-mer devront intégrer leurs productions, de la mine en passant successivement par les minerais, à l'unité de production P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> de base, aux unités de traitement et la concentration des acides requis, avec une

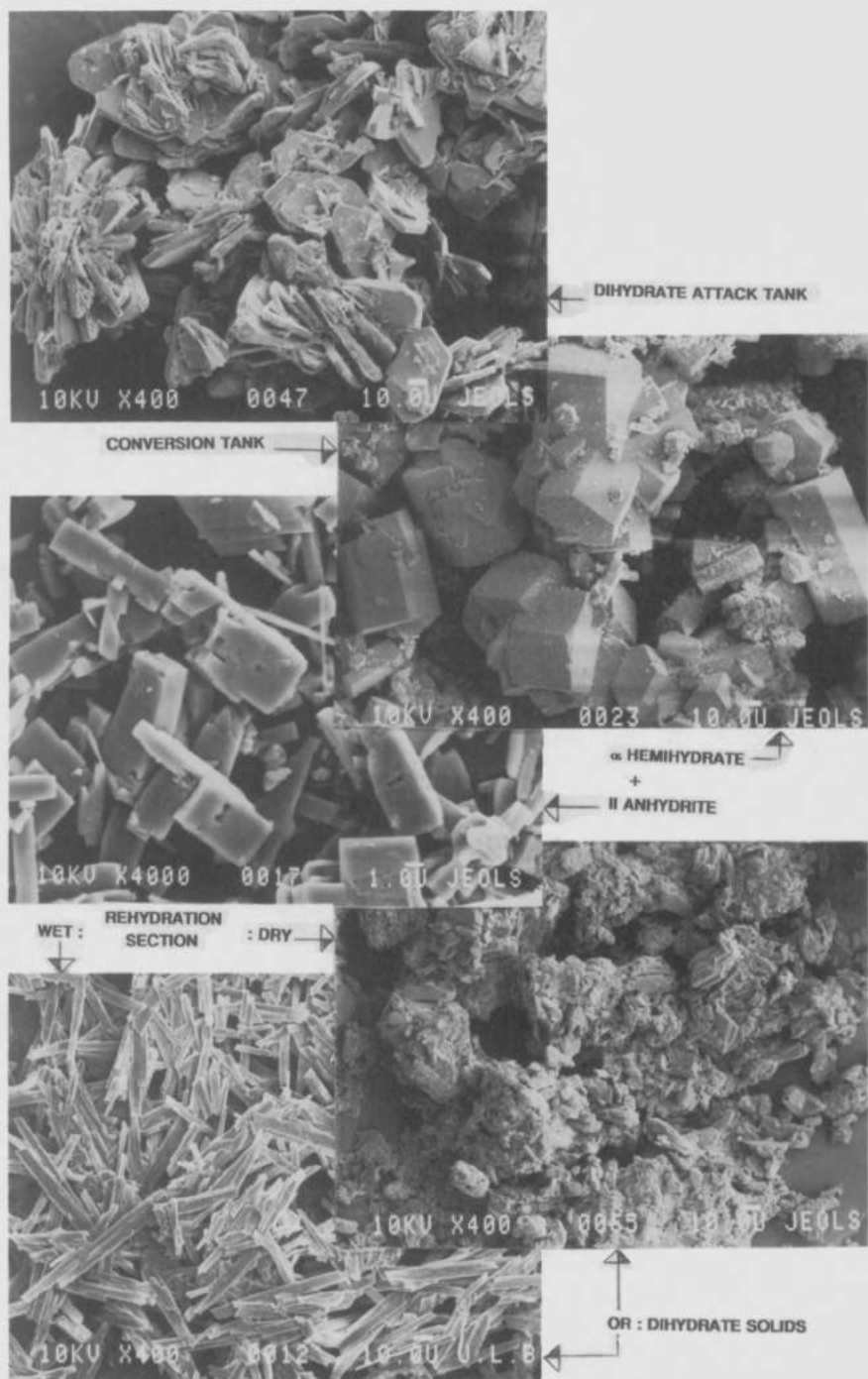


Fig. 16. — Observation au microscope électronique à balayage des solides produits aux différentes étapes.



valorisation des sous-produits, composés de sulfate de Ca et produits fluorés. Le schéma ci-avant est un équilibre à gérer mais n'implique pas que toutes les unités connectées au réseau industriel soient voisines. Pour un Mineur-Producteur, il existe deux centres d'activités, c'est-à-dire :

- Le site de la mine avec l'extraction du minerai et son conditionnement et l'alimentation du concentré à l'unité de  $P_2O_5$  de base pour la production d'acide faible ;
- Le site des activités industrielles chimiques et énergétiques où les réactifs seront produits, les acides concentrés, valorisés tels quels en engrais et en produits chimiques divers. Les matières nécessaires aux activités seront importées d'autres régions. Le site alimentera les marchés intérieurs et l'exportation de ses productions.

Ceci illustre une possibilité nouvelle d'exploitation rationnelle, qui permet de répondre aux contraintes environnementales et de contrôler, à tous les niveaux, les pertes continues et/ou accidentelles en  $P_2O_5$  (il n'y a plus de rejets directs des solides ou d'eaux usées à la mer, aux océans ou aux fleuves). Avec ces conceptions, on peut penser que des gisements de phosphate aujourd'hui non exploités, pour des raisons de communications et d'infrastructures inexistantes, pourront l'être dès demain et de manière rentable. A la limite, un pipe-line de connexion entre les deux sites suffit (transfert d'acide sulfurique dans un sens ; la production d'acide faible dans le sens inverse). Finalement, que voulons-nous ? L'industrie doit guérir l'environnement de ses problèmes. C'est une opération toujours ambitieuse au cours de laquelle l'environnement, les producteurs industriels et chercheurs expliqueront pourquoi ils ont l'audace d'y croire. Croire en l'avènement de traitements issus des progrès de la technologie, en quelque sorte l'utilisation de méthodes de travail et d'équipements propres à tous les niveaux de l'élaboration du produit recherché, est une thérapie qui pourrait s'avérer la solution à une grande partie des difficultés, mais également, dans certains cas, à l'innovation de technologies nouvelles. L'intégration industrielle à tous les niveaux en est une voie.

Les progrès accomplis au cours des dix dernières années par l'industrie du  $P_2O_5$  et son secteur de recherche dans sa lutte contre les pertes en  $P_2O_5$  et l'impact sur l'environnement ont eu pour résultat l'amélioration des performances et de qualités des produits. Ceci est un fait de témoignage et de reportages que l'on présente d'ores et déjà comme une nécessité à l'intégration des activités à tous les niveaux depuis les gisements de phosphate à la production de produits manufacturés. L'étape la plus importante à franchir est le rapprochement du Mineur et du Producteur. C'est dans une politique d'investissement en commun qu'elle pourra se réaliser. C'est aussi l'occasion pour le monde de se rendre compte que la géniosité alliée aux performances des chercheurs donne des résultats inestimables, comme par exemple serait la découverte de la technologie industrielle du recyclage du CaO et du  $SO_2$ , grand



responsable aujourd'hui du problème du sulfate de calcium et de son environnement.

#### NOTES ET REFERENCES

- [1] «Tout est toxique et rien n'est toxique : c'est la dose qui fait le poison» (Paracelse 1493-1541).
- [2] THIRION, F. 1977. Séminaire de chimie industrielle : la fabrication industrielle de l'acide phosphorique, T. 2, chap. I. — Inst. de génie chimique, Université Catholique de Louvain.
- [3] SMITH, P. A. 1992. Phosphorus and industry : present situation and trends in Europe. — Prayon Rupel Technologies S.A., 4th Int. IMPHOS (Gent, Belgium).
- [4] DORE, D. Biochimie clinique. — Editions Maloine. BLACQUE BELAIR, A. Dictionnaire des constantes biologiques et physiques en médecine.
- [5] OGER, F. 1993. Effets comparatifs de différents modes de broyage sur la structure des phosphates Palfos et Bucraa. — Lab. de géologie appliquée, Université de Liège.
- [6] VAN LANDUYT, A. 1994. Contamination minérale des concentrés phosphatés de Palabora. — Lab. de géologie appliquée, Université de Liège.
- [7] POIZAT, V. 1994. Le problème du titane dans le minerai de Kola. — Lab. de géologie appliquée, Université de Liège.
- [8] DIMANCHE, V. 1994. Les contaminants dans les minerais phosphatés. — Lab. de géologie appliquée, Université de Liège.
- [9] DIEDHIOU, J. 1994. Etude qualitative des phosphates de TAIBA (Sénégal). — Lab. de géologie appliquée, Université de Liège.
- [10] BASTIN, D. & PHILIPPART, P. 1994. Rapport de stage : le site minier de TAIBA. — Lab. de géologie appliquée, Université de Liège.
- [11] BASTIN, D. 1995. Contribution à l'étude des phases contaminantes du minerai phosphaté de TAIBA.
- [12] AMRANI, A. 1995. Etudes de l'élimination du cadmium des solutions aqueuses d'acide phosphorique de voie humide. — Unité des procédés, Université Catholique de Louvain.
- [13] MICHEL, B. 1994. Amélioration du procédé d'obtention d'acide phosphorique de voie humide. — Chimie industrielle, Université Libre de Bruxelles.
- [14] SPODAREK, R. 1982. Récupération du fluor à la concentration de l'acide phosphorique. — Institut Supérieur Liégeois (ISIL).
- [15] RIESGO, V. 1983. Bilan fluor et étude de la récupération du fluor à la 5<sup>e</sup> unité de concentration (PRAYON) d'acide phosphorique. — Institut Supérieur Liégeois (ISIL).
- [16] TILMANT, M. 1994. Approvisionnement en phosphates naturels : recherche d'une stratégie de diversification des sources. — Enseignement Supérieur Economique de Jemeppe.
- [17] <sup>c</sup> 1 ppm Th = 0,11 pCi/g ou 4,1 Bq/kg  
1 ppm U = 0,33 pCi/g ou 12,2 Bq/kg  
<sup>d</sup> Teneurs moyennes d'un granite en U et Th considérées : U = 350 ppm ; Th = 1800 ppm

- [18] DAVISTER, A., BOURGOT, A. & SMITH, P. A. 1986. Une bonne conception des équipements améliore le prix de revient des ateliers nouveaux et réhabilités, au point de vue énergie, entretien et rendement. — I.F.A., Tunis.
- [19] THIRION, F. 1987. Acide phosphorique de voie humide. Le procédé PH3 - Procédés et produits dérivés. — Dossier de candidature au «Grand Prix de l'Innovation en Wallonie (Belgique) de la Société Prayon Rupel».
- [20] THIRION, F. 1991. PH High Strength Processes. — Prayon technical symposium on phosphoric acid technology.
- [21] BOURGOT, A. 1986. Prayon industrial experience of manufacturing merchant grade phosphogypsum. Phosphogypsum AL-KAIM (Irak).
- [22] THIRION, F. & DAVISTER, A. 1984. Obtention simultanée de sulfate de chaux marchand et d'acide phosphorique concentré. — IFA, Paris.
- [23] SMITH, P. A. 1991. Some considerations on the selection of concentration and fluorine recovery units for phosphoric production. — Prayon technical symposium on phosphoric acid technology.
- [24] Licensing Division of Prayon Rupel Technologies. S.A. PRAYON Processes for Phosphoric Acid Production.
- [25] BECKER, P. 1989. Phosphates and phosphoric acid, raw materials, technology and economics of the wet process.
- [26] CERPHOS 1988. Procédé d'élimination des métaux lourds, et notamment du cadmium, contenus dans l'acide phosphorique. — Brevet français n° 26298122 (12.4.1988).
- [27] BECKER, P & O. T. P. 1989. Procédé de traitement de l'acide phosphorique pour en éliminer certains métaux lourds.
- [28] DAVISTER, A. 1992. Inventaire des études et procédés réalisés en vue de l'élimination du cadmium à partir de l'acide phosphorique. — CEE, DG VIII, Bruxelles.

**Zitting van 31 mei 1996**

---

**Séance du 31 mai 1996**

## **Zitting van 31 mei 1996**

(Uittreksel van de notulen)

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

*Zijn bovendien aanwezig* : de HH. E. Cuypers, H. Deelstra, A. Deruyttere, Mgr. L. Gillon, de HH. A. Lederer, R. Leenaerts, R. Paepe, J. J. Peters, R. Sokal, R. Tillé, werkende leden ; de HH. H. Paelinck, M. Simonet, U. Van Twembeke, geassocieerde leden.

*Betuigden hun spijt niet aan de zitting te kunnen deelnemen* : de HH. P. Beckers, Jacques Charlier, Jean Charlier, J. De Cuyper, P. De Meester, C. De Meyer, P. Fierens, A. François, G. Froment, A. Lejeune, J. Marchal, L. Martens, J. Michot, A. Monjoie, J. Roos, F. Suykens, F. Thirion, W. Van Impe, en M. J.-J. Symoens, Erevast Secretaris.

### **Academische onderscheiding**

M. A. Lederer, erewerkend lid, werd tot Ere-Vice-Voorzitter van de Koninklijke Belgische Marine Academie benoemd.

### **Het Geografisch Informatie Systeem (GIS) als beleidsinstrument en basis van de besluitvorming**

M. U. Van Twembeke stelt een mededeling voor getiteld als hierboven.

De HH. R. Sokal, J. J. Peters, H. Paelinck, R. Paepe en E. Cuypers nemen aan de bespreking deel.

De Klasse beslist deze studie in de *Mededelingen der Zittingen* te publiceren (pp. 631-643).

### **„Atouts et contraintes de la science et de la technologie en Afrique”**

Tijdens de zitting van 29 maart jl. heeft Mgr. L. Gillon deze mededeling van M. F. Malu wa Kalenga, corresponderend lid, voorgesteld.

De Klasse beslist deze tekst in de *Mededelingen der Zittingen* te publiceren (pp. 645-656).

## Séance du 31 mai 1996

(Extrait du procès-verbal)

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

*Sont en outre présents* : MM. E. Cuypers, H. Deelstra, A. Deruyttere, Mgr L. Gillon, MM. A. Lederer, R. Leenaerts, R. Paepe, J. J. Peters, R. Sokal, R. Tillé, membres titulaires ; MM. H. Paelinck, M. Simonet, U. Van Twembeke, membres associés.

*Ont fait part de leur regret de ne pouvoir assister à la séance* : MM. P. Beckers, Jacques Charlier, Jean Charlier, J. De Cuyper, P. De Meester, C. De Meyer, P. Fierens, A. François, G. Froment, A. Lejeune, J. Marchal, L. Martens, J. Michot, A. Monjoie, J. Roos, F. Suykens, F. Thirion, W. Van Impe, et M. J.-J. Symoens, Secrétaire perpétuel honoraire.

### Distinction académique

M. A. Lederer, membre titulaire honoraire, a été nommé Vice-Président d'honneur de l'Académie Royale de Marine de Belgique.

### «Het Geografisch Informatie Systeem (GIS) als beleidsinstrument en basis van de besluitvorming»

M. U. Van Twembeke présente une communication intitulée comme ci-dessus.

MM. R. Sokal, J. J. Peters, H. Paelinck, R. Paepe et E. Cuypers interviennent dans la discussion.

La Classe décide de publier cette étude dans le *Bulletin des Séances* (pp. 631-643).

### Atouts et contraintes de la science et de la technologie en Afrique

Lors de la séance du 29 mars 1996, Mgr L. Gillon a présenté cette communication réalisée par M. F. Malu wa Kalenga, membre correspondant.

La Classe décide de publier ce texte dans le *Bulletin des Séances* (pp. 645-656).

**„The Complex Food-Energy Nexus :  
Is the Provision for Food and Energy Sustainable ?”**

Tijdens de zitting van 29 maart jl. heeft Mgr. L. Gillon deze mededeling van M. F. Malu wa Kalenga, corresponderend lid, voorgesteld.

De tekst zal aan de leden die het wensen toegestuurd worden. De Klasse zal over de publicatie oordelen tijdens haar zitting van 28 juni e.k.

**„Historique du réseau triangulé au Congo belge/Zaire”**

Tijdens de zitting van 19 mei 1995 heeft M. P. Meex een mededeling voorgesteld getiteld als hierboven.

Na de verslaggen van de HH. R. Thonnard en U. Van Twembeke gehoord te hebben, beslist de Klasse deze studie te publiceren mits de toevoeging van een hoofdstuk waarin de gebruikte technieken beschreven worden en naar de gespecialiseerde werken verwezen wordt.

**Wedstrijd 1996**

Geen enkel werk werd ingediend in antwoord op de vijfde vraag van de wedstrijd 1996 „Er wordt een studie gevraagd over de organisatie en de duurzame ontwikkeling van de periferie van grote steden in de Derde Wereld”.

Eén werk werd ingediend in antwoord op de zesde vraag van de wedstrijd 1996 : „Er wordt een studie gevraagd over de economische voorwaarden en de ontwikkelingsperspectieven van de exploitatie van minerale grondstoffen in de mijnbouw van de Derde Wereld” namelijk :

RAJERISON, J. A. Conditions économiques et perspectives du développement des gisements des matières premières minérales dans les pays du tiers monde.

De HH. P. Goossens, J. Michot en G. Panou worden als verslaggevers aangeduid.

De zitting wordt om 16 u. 25 geheven.

**«The Complex Food-Energy Nexus :  
Is the Provision for Food and Energy Sustainable ?»**

Lors de la séance du 29 mars 1996, Mgr L. Gillon a présenté cette communication réalisée par M. F. Malu wa Kalenga, membre correspondant.

Le texte sera donc transmis aux membres qui le souhaitent. La Classe décidera de sa publication en sa séance du 28 juin prochain.

**Historique du réseau triangulé au Congo belge/Zaïre**

Lors de la séance du 19 mai 1995, M. P. Meex a présenté une communication intitulée comme ci-dessus.

Après avoir entendu les rapports de MM. R. Thonnard et U. Van Twembeke, la Classe décide de publier cette étude moyennant l'ajout d'un chapitre décrivant les techniques utilisées et mentionnant les références des ouvrages spécialisés.

**Concours 1996**

Aucun travail n'a été introduit en réponse à la cinquième question du concours 1996 «On demande une étude sur l'organisation et le développement durable de la périphérie des grandes villes du Tiers-Monde».

Un travail a été introduit en réponse à la sixième question du concours 1996 : «On demande une étude sur les conditions économiques et les perspectives de développement de l'exploitation des gisements des matières premières minérales dans les pays du Tiers-Monde», à savoir :

RAJERISON, J. A. Conditions économiques et perspectives du développement des gisements des matières premières minérales dans les pays du tiers monde.

MM. P. Goossens, J. Michot et G. Panou sont désignés en qualité de rapporteurs.

La séance est levée à 16 h 25.

## Het Geografisch Informatie Systeem (GIS) als beleidsinstrument en basis van de besluitvorming \*

door

U. VAN TWEMBEKE \*\*

TREFWOORDEN. — Geografisch Informatie Systeem.

SAMENVATTING. — Een Geografisch Informatie Systeem (GIS) is een coherent communicatie- en beheerssysteem voor het verwerken en integreren van karakteristieken van ruimtelijk beschreven objecten en fenomenen die onze omgeving uitmaken. Een GIS heeft een zeer brede waaier van toepassingen gaande van de consultatie en integratie van omvangrijke alfanumerieke bestanden, het interactief automatisch tekenen van kaarten en plannen en het opstellen van beleidsplannen tot de oordeelkundige organisatie van het maatschappelijk leven. De belangrijkste verschillen met klassieke werkwijzen moeten gezocht worden in de numerieke beschrijving, door coördinaten, van objecten en fenomenen alsook in de grote flexibiliteit en snelheid waarmee complexe taken kunnen uitgevoerd worden.

MOTS-CLES. — Système d'Information Géographique.

RESUME. — *Le Système d'Information Géographique (SIG) en tant qu'instrument de gestion et de base de la prise de décision.* — Un Système d'Information Géographique (SIG) est un système cohérent de communication et de gestion pour le traitement et l'intégration des caractéristiques d'objets et phénomènes qui nous entourent et qui sont décrits dans un espace à trois dimensions. Un SIG est d'application dans un nombre illimité de problèmes comme la consultation et l'intégration de fichiers alphanumériques volumineux, le dessin automatique interactif de cartes et plans, l'établissement de plans de gestion et l'organisation optimale de la vie de la société. Les différences essentielles avec les méthodes de traitement classiques consistent dans la description numérique, par des coordonnées, des objets et phénomènes, ainsi que dans la grande flexibilité et rapidité d'exécution de tâches complexes.

KEYWORDS. — Geographical Information System.

SUMMARY. — *The Geographical Information System (GIS) as a Management Tool and Basis of Decision-Making.* — A Geographical Information System (GIS) is a coherent communication and management system permitting the processing and integration of characteristics of objects and phenomena described in a spatial reference system. A GIS can be used for an unlimited number of problems such as the consul-

---

\* Lezing gehouden tijdens de zitting van de Klasse voor Technische Wetenschappen van 31 mei 1996. Tekst ontvangen op 22 augustus 1996.

\*\* Eregeassocieerd lid van de Academie, Kruisbooglaan 11, B-3210 Linden (België).



tation and integration of voluminous alphanumeric lists in tabular form, interactive automatic drawing of maps and plans, setting-up of management programmes giving decisive answers to vital questions of our society. The essential differences with classical processing methods are the numerical description of objects and phenomena by coordinates, the flexibility and speed to execute complex tasks.

## 1. Inleiding

De idee aardgebonden informatie te verzamelen en te integreren is niet nieuw. In de jaren 70 werd ten behoeve van de Belgische ruilverkaveling uit kracht van de wet een werkprocedure ontwikkeld die als een voorloper van een GIS kan beschouwd worden. De werkprocedure maakt gebruik van een metrisch basisplan in de vorm van een orthofoto en een stel transparanten waarop verschillende ruilverkavelingsthema's werden voorgesteld : bestaande perceelsgrenzen, wegen en waterlopen, het gewestplan, de ondergrondse leidingen, de topografische grondslag van gekende en gematerialiseerde punten, de bodemkaart, enz. Door superpositie van de verschillende documenten kwam men een geïntegreerd beeld van de ruilverkavelingszone waarop de herverkaveling en de cultuurtechnische werken gesteund werden. In feite ging het om een **grafisch GIS** met een welbepaald doel : de landbouwzones te herstructureren met de bedoeling de landbouwopbrengsten te verhogen en de landbouweconomie te stimuleren.

De huidige toepassingen zijn gesteund op een **numeriek GIS** ; zij hebben betrekking op zeer omvangrijke informatiebestanden.

De thematische bestanden van een GIS zijn verbonden met het aardoppervlak en betreffen objecten en fysische fenomenen waarvan de positie vastgelegd is in een conventioneel referentiesysteem door coördinaten.

## 2. Bepaling en analyse van een GIS

Een GIS is een coherent communicatie- en beheerssysteem voor de analyse en de integratie van aardgebonden ruimtelijke informatie.

Menselijke kennis wordt overgedragen ; de overdracht gebeurt bij middel van een **communicatiesysteem** als zeer omvangrijke informatiebestanden ter beschikking gesteld worden van een onbeperkt aantal gebruikers en de informatie permanent beschikbaar moet zijn.

Een GIS is een **coherent** informatiesysteem ; de overdracht van informatie gebeurt binnen geformaliseerde communicatienetwerken. Dit betekent dat de overdracht aan strikte regels onderworpen is. Deze regels betreffen de vorm waarop de informatie wordt vastgelegd, de strikte betekenis van de informatie en de bewerkingen of transformaties die er kunnen op toegepast worden.

De **analyse en integratie** van de beschikbare informatie leiden tot nieuwe informatie die aan de oorspronkelijke informatie toegevoegd wordt.

De nieuwe informatie kan ontstaan door eenvoudige samenvoeging of superpositie, maar ook door toepassing van wiskundige modellen als de relaties tussen verschillende informaties gekend zijn.

Onder **ruimtelijke beschrijving** van de objecten en fysische fenomenen moet verstaan worden dat hun ligging of plaatsbepaling in een conventionele geografische referentie, onder de vorm van coördinaten, gekend is.

De ruimtelijke beschrijving is drie- of tweedimensioneel en heeft betrekking op een aantal karakteristieke punten van de objecten of fysische fenomenen; hun vorm en afmetingen worden bepaald door de relatieve ligging van de karakteristieke punten.

In de ruimtelijke beschrijving wordt ook gebruik gemaakt van de topologie; deze slaat op de verbondenheidsrelaties als „grenzen aan”, „liggen in”, „behoren tot”, ...

### 3. De terreinbeschrijving

#### 3.1. ALGEMEEN

De klassieke terreinbeschrijving is gesteund op een integratie van topografische kaarten die de geometrie beschrijven en steekkaarten, lijsten of registers die de niet-geometrische informatie bevatten.

De integratie van de twee informatiebronnen gebeurt mentaal.

In een GIS-context worden de geometrische en niet-geometrische informatie in één enkel bestand samengebracht en vastgelegd op elektromagnetische dragers. Er bestaat dus een scheiding tussen de vastlegging enerzijds en de weergave of grafische voorstelling anderzijds. De grote soepelheid van de GIS-technologie bestaat in het feit dat de automatische verwerking door computers een algoritmische en een interactieve manipulatie van de informatie toelaat.

Algoritmische manipulatie laat toe verbanden te leggen tussen verschillende informatiebestanden, nieuwe informatie te genereren en fysische processen in de tijd te beschrijven.

De interactieve manipulatie, van de beschikbare informatie en de persoonlijke kennis van de gebruiker, verloopt over het oog en de handbediende „cursor” van het computerscherm.

#### 3.2. GEOMETRIE EN THEMATIEK

De **geometrie** van een object omvat vier aspecten: de positie, de vorm, de afmetingen en de topologie. Wat de vorm betreft, kan men puntobjecten, lijnobjecten en vlakobjecten onderscheiden. De geometrische beschrijving houdt rekening met de context waarin het object beschreven wordt. Zo zal

bij een kleinschalige voorstelling een huis beschouwd worden als een puntobject terwijl hetzelfde huis bij een grootschalige voorstelling als een vlakobject zal beschouwd worden.

De geometrische beschrijving kan een beroep doen op twee complementaire voorstellingsstructuren, de vectorstructuur en de rasterstructuur die verder beschreven worden.

De **thematiek** van een object heeft te maken met zijn specifieke eigenschappen en kenmerken.

Objecten en fysische fenomenen kunnen thematisch ingedeeld worden in verschillende klassen. De klassen worden weergegeven door een klassenaam ; aan elke klasse kunnen een aantal **attributen** toegevoegd worden.

Zo kan het object „waterweg” behoren tot de klasse van de bevaarbare of niet-bevaarbare waterwegen. Gaat het over een bevaarbare waterweg dan kan deze behoren tot de klasse van de rivieren of de klasse van de kanalen. Voor elk van deze klassen kunnen attributen toegevoegd worden : diepte, breedte, debiet in de verschillende jaargetijden, graad van bevaarbaarheid, enz.

### 3.3. BEPERKINGEN

Het is klaar dat de complexiteit van de beschreven objecten en fysische fenomenen slechts een benaderde beschrijving toelaat. Om het GIS-systeem handelbaar te houden, zullen nutteloze details weggelaten worden. De noties „nuttig” en „onnuttig” moeten gezien worden in de context van de GIS-problematiek van een bepaalde toepassing.

In het terrein hebben objecten meestal een driedimensionele structuur terwijl men ze in de praktijk als tweedimensioneel zal beschrijven om praktische redenen van uitvoerbaarheid.

## 4. Voorstellingsstructuren

De terreinbeschrijving kan gebeuren op twee manieren :

- De vectorstructuur ;
- De rasterstructuur.

### 4.1. DE VECTORSTRUCTUUR

#### 4.1.1. Algemeenheden

Bij een vectorbeschrijving van het terrein is het **object** het basiselement (weg, brug, perceel, huis, ...) ; de lineaire structuur van lijnobjecten, de grenzen van vlakobjecten en de positie van puntobjecten worden beschreven. Lijnobjecten en vlakobjecten worden beschreven door de positie van karakteristieke punten van de objecten. Rechthoekige lijnobjecten worden bepaald door de positie van

begin en eindpunt; kromlijnige lijnobjecten worden bepaald door een opeenvolging van gepositioneerde punten die verbonden worden. Vlakobjecten worden bekomen door samenvoeging van de samenstellende lijnelementen of rechtstreeks door een polygoon waarvan de knikpunten in coördinaten gekend zijn.

Elk object behoort tot een bepaalde klasse waaraan een attributenlijst verbonden is.

Een vector-gestructureerde terreinbeschrijving wordt **vectorkaart** genoemd, met dien verstande echter dat de notie „kaart” niet in de klassieke betekenis mag gezien worden.

#### 4.1.2. Toepassing van de graphentheorie

Een „graph” bestaat uit een verzameling van **knooppunten** en een verzameling van **zijden**.

Een zijde verbindt twee knooppunten en is gericht door de aanduiding van het begin- en eindpunt. Als twee zijden een gemeenschappelijk knooppunt hebben dan zijn ze verbonden.

Een verzameling van verbonden zijden vormt een polygoon.

De **positieinformatie** wordt gegeven door de coördinaten van de knooppunten; de **vorminformatie**, d.w.z. de vorm van de zijden, wordt bepaald door een stel tussenpunten met gekende coördinaten.

Daarenboven bestaan een aantal overeenkomsten die de vectorkaart als een graph beschrijven, zo worden de zijden van de graph als rechte lijnstukken voorgesteld, twee knooppunten worden slechts door één zijde verbonden, zijden mogen elkaar niet snijden, ...

**Samengevat** kan men zeggen dat de geometrie van vectorkaarten volgende gegevenstypes vereist:

- Positieinformatie: knooppunten met coördinaten;
- Vorminformatie: zijden met begin en eindpunt.

#### 4.1.3. Topologie van vectorstructuren

Een topologie heeft haar eigen regels, werkt op basis van eigen gegevens, legt eigen relaties tussen de gegevens en heeft bijgevolg een eigen of typische informatiewaarde.

De topologie op objectniveau laat toe de verbondenheid van verschillende objecten te onderzoeken. Hierbij moeten een aantal objectrelaties gedefinieerd worden.

- **Punt-punt relatie**: onderlinge afstand;
- **Punt-lijn relatie**: een puntobject ligt op een lijnobject of ligt op een bepaalde afstand van het lijnobject;
- **Lijn-lijn relatie**: twee lijnobjecten kunnen elkaar snijden (zelfde niveau), elkaar kruisen (verschillende niveaus) of het ene is een vertakking van het andere;

- **Lijn-vlak relatie** : een lijnobject kan beginnen of eindigen op de grens van een vlakobject, kan samenvallen met de grens van een vlakobject of kan het doorsnijden ;
- **Vlak-vlak relatie** : twee vlakobjecten kunnen aan mekaar raken of aan mekaar grenzen.

De vectorstructuur is goed geschikt voor het opstellen van topologische relaties tussen objecten.

#### 4.1.4. *Bevraging van vectorstructuren*

De bevraging op basis van formele datastructuren is gesteund op de object-identificatie, de geometrische en de thematische gegevens.

Typeondervragingen zijn bijvoorbeeld :

Geef alle objecten in een bepaalde zone : de zone wordt begrensd door punten waarvan de coördinaten worden opgegeven. Alle knooppunten binnen het gebied worden via hun coördinaten opgezocht.

## 4.2. DE RASTERSTRUCTUUR

### 4.2.1. *Algemeenheden*

Bij een rasterbeschrijving wordt het terrein voorgesteld door een verzameling van vierkante cellen die een raster vormen. De positie van elke cel is vastgelegd in een conventionele referentie. De vorminformatie en de thematische informatie van een object worden direct aan de **positie** van de cellen gekoppeld. Daar cellen oppervlakteëlementen zijn, is de rasterstructuur bijzonder geschikt voor het weergeven van vlakobjecten ; voor punt- en lijnobjecten is ze minder geschikt.

De **vorm** van een object wordt bepaald door de verzameling van cellen die het object bedekken ; als **thematische** informatie krijgt elke cel een kleur toebedeeld onder de vorm van een „label” (nummer van 0 tot 255).

### 4.2.2. *Relatie tussen object en rastercellen*

De relatie kan op twee manieren gebeuren :

- **Van cel naar object.** Voor iedere rastercel wordt verwezen naar het object waartoe de cel behoort. Voor de geometrische weergave van een object moet voor iedere cel onderzocht worden of het tot het object behoort. Hierbij wordt gebruik gemaakt van de topologie in het raster ; elke rastercel heeft acht celburen waarvan vier volle (gemeenschappelijke zijde) en vier gewone celburen (gemeenschappelijk punt). Voor een bepaalde rastercel wordt onderzocht welke burens hetzelfde „label” hebben. Hierdoor worden objecten als samenhangende verzamelingen van rastercellen geïdentificeerd. Als een cel de grens van twee vlakobjecten bedekt zal men de cel toewijzen aan het object dat het grootste deel van de cel inneemt.

— **Van object naar cel.** Voor ieder object wordt verwezen naar de rastercellen die er deel van uitmaken. De objectsamenhang is expliciet in de gegevensstructuur gerealiseerd.

#### 4.2.3. *Afmetingen van de rastercellen*

Naarmate de afmetingen van de cellen verkleinen bekomt men een betere beschrijving van het object. Dit heeft echter ook voor gevolg dat het opslaan van rasterbeelden meer geheugenruimte zal innemen en de topologie complexer wordt. In de praktijk worden afmetingen  $50 \times 50 \mu\text{m}$  tot  $10 \times 10 \mu\text{m}$  gebruikt. De rasterstructuur is zeer goed geschikt voor de combinatie van verschillende thema's. De attributenwaarden van de verschillende thema's worden dan per cel gecombineerd.

### 5. Inwinnen en verzamelen van terreininformatie

In de praktijk vormen het inwinnen en verzamelen van terreininformatie de basis van een GIS.

#### 5.1. IN HET GEVAL VAN EEN VECTORSTRUCTUUR

De vectorstructuur beoogt in eerste instantie een goede **geometrische beschrijving** van de objecten. Men kan volgende technieken onderscheiden.

##### 5.1.1. *Het numeriseren van bestaande topografische kaarten of plannen*

De topografische kaart of het plan wordt op een digitaliserafel gelegd. Aan de tafel is een lokaal referentiesysteem verbonden. De nodige en interessante details worden gepunt of gevolgd met een mobiele index teneinde de coördinaten van karakteristieke punten te bepalen in de lokale referentie. Deze coördinaten worden getransformeerd naar de terreinreferentie. Wegen, waterlopen, veldpercelen, hoogtelijnen, enz., worden van een analoge voorstelling omgezet in een numerieke voorstelling onder de vorm van coördinaten. Gedurende het numeriseren kan aan elk object specifieke informatie toegevoegd worden zoals de klasse van de weg, type waterloop, kadastraal nummer van een perceel, enz. Het numeriseren van analoge cartografische documenten is een veel gebruikte methode omdat ze eenvoudig is. Informatie die op de kaart voorkomt is echter niet noodzakelijk de informatie die voor het GIS gewenst is.

##### 5.1.2. *De veldtopografie*

De veldtopografie geeft ongetwijfeld de nauwkeurigste positiebepaling van de opgemeten objecten maar de methode is zeer arbeidsintensief en is vrij duur. Het gebruik van satelliettopografie door waarneming van GPS-satellieten en het inzetten van geperfectioneerde theodolieten met geïntegreerde afstandsmeting kunnen de veldtopografie gunstig beïnvloeden.

### 5.1.3. *De luchtfotogrammetrie*

De metingen gebeuren nu niet meer in het veld maar worden vervangen door metingen op perspectieve beelden (luchtfoto's) van het terrein. Overlappende fotoparen laten stereoscopisch zicht toe. De opmeting gebeurt met behulp van fotogrammetrische restitutietoestellen die de driedimensionele positiebepaling van karakteristieke punten in een lokaal referentiesysteem toelaten. De lokale coördinaten moeten naar de terreinreferentie getransformeerd worden.

De luchtfotogrammetrie moet momenteel beschouwd worden als de meest accurate inwinningsmethode; zij vereist echter een complexe uitrusting en gespecialiseerd personeel.

## 5.2. IN HET GEVAL VAN EEN RASTERSTRUCTUUR

De rasterstructuur beoogt in eerste instantie een goede **thematische beschrijving** van de objecten en fysische fenomenen. De verzamelnaam van de gebruikte technieken is „Remote Sensing” of „Teledetectie”. Deze technieken maken gebruik van sensoren die de elektromagnetische straling, uitgezonden door de objecten en fysische fenomenen op het aardoppervlak, registreren. De straling is samengesteld uit gereflecteerde zonnestraling of eigen straling. Deze laatste is typisch voor elk object of fysisch fenomeen waarvan de temperatuur hoger is dan  $-273^{\circ}\text{C}$ .

### 5.2.1. *Het stralingspatroon van de teledetectie*

Het stralingspatroon is een onderdeel van het elektromagnetisch spectrum dat zich uitstrekt van kosmische straling tot radiostraling volgens stijgende golflengten. De drie onderdelen die momenteel gebruikt worden in de teledetectie zijn :

- Het zichtbaar licht :  $0,380\ \mu\text{m}$  tot  $0,680\ \mu\text{m}$  ;
- De infra-rood band ; deze wordt op zijn beurt onderverdeeld in :
  - Het nabij-infra-rood :  $0,680\ \mu\text{m}$  tot  $1,2\ \mu\text{m}$  ;
  - Het midden-infra-rood :  $1,2\ \mu\text{m}$  tot  $100\ \mu\text{m}$  ;
- De microgolfband (radarband) :  $3,2\ \text{cm}$  tot  $21,4\ \text{cm}$ .

De straling van zichtbaar licht en nabij-infra-roodstraling behoren tot de reflectieve straling terwijl de straling in het midden-infra-rood als eigen straling of thermische straling geklasseerd wordt. De eigen straling heeft plaats in de domeinen van  $3$  tot  $5\ \mu\text{m}$  en van  $8$  tot  $14\ \mu\text{m}$ .

### 5.2.2. *Rasterbeelden*

De natuur en de stralingsintensiteit van de door de aarde uitgezonden elektromagnetische straling variëren van plaats tot plaats. De analyse van de straling vereist de kennis van de **positie** van de terreinobjecten en fysische verschijnselen die als stralingsbronnen optreden. De positie van die bronnen

wordt onrechtstreeks bekomen door de terreinstructuur te vervangen door een beeldstructuur in de vorm van rasterbeelden. Rasterbeelden van het aardoppervlak bestaan uit een verzameling van **pixels** waarvan de posities in het beeldvlak gekend zijn ( $x$ ,  $y$ -coördinaten). Daarenboven worden de natuur en de stralingsintensiteit gekenmerkt door een schakering van grijsheidsgraden (kleur) die momenteel variëren tussen 0 en 255. Op basis van positie en grijswaardeverdeling kan men de samenhang van fysische, temporele en ruimtelijke aspecten onderzoeken. De fysische aspecten betreffen de fysische toestand of chemische samenstelling van het object ; de temporele aspecten betreffen hun ontwikkeling of variaties in de tijd ; de ruimtelijke aspecten betreffen de positie, de vorm en afmetingen van een object alsook de ruimtelijke verdeling van de objecten.

### 5.2.3. Rasterbeeldtechnieken

Rasterbeelden kunnen op twee manieren bekomen worden.

- **Door afscannen van analoge beelden.** Onder analoge beelden verstaat men luchtfoto's, satellietbeelden of topografische lijnkaarten. Een scanner doorloopt het grafisch document lijn per lijn en zet het om in een verzameling van pixels met bijhorende informatie, positie in het beeld en grijsheidswaarde. Momenteel is scanning de meest gebruikte rasterstechniek omdat allerhande thematische kaarten beschikbaar zijn. Daarenboven is het ook de meest economische techniek. Nochtans moet gezegd worden dat de eigenschappen van het rasterbeeld sterk afhankelijk zijn van de kwaliteit van het analoge beeld dat gescand wordt.
- **Door het gebruik van rastercamera's.** Hier bekomt men rechtstreeks het rasterbeeld door gebruik te maken van sensoren aan boord van een vliegtuig of een satelliet. De sensor bestaat uit een batterij van lichtgevoelige detectoren. Men kan twee families onderscheiden :

a) De afscansensor. De sensor bestaat uit een scansysteem met bijhorende optische componenten en een spectrometer. Een roterende spiegel scant het terrein af in opeenvolgende banden die loodrecht staan op de vliegrichting van de dragende vector. De opgevangen straling wordt door de spiegel teruggekaatst op een optisch dispositief en gericht op een spectrometer die de lichtbundel opsplijst volgens verschillende frequentiebanden ; elke band wordt opgevangen door de bijhorende detectoren (fotomultiplicatoren of silicium fotodioden). De signalen worden geregistreerd op een drager of doorgeseind naar ontvangstcentra. Als voorbeelden kunnen we aanhalen : de multispectral scanner (MSS) met 4 kanalen ; de thematic mapper (TM) met 7 kanalen ; de Daedalus met 13 kanalen.

b) De „Charge Coupled Device” sensor (CCD). Elke detector (pixel) van de sensor is opgedeeld in drie delen, met eigen elektrische potentialen die kunnen gewijzigd worden. De sensor bestaat uit een detectormatrix en wordt



opgesteld achter een siliciumplaat. Wanneer fotonen invallen op de plaat worden elektronen vrijgemaakt die zich naar de dichtstbijzijnde „putten” van de detectormatrix bewegen. Deze „putten” bevinden zich in het centraal gedeelte van de drieledige detectoren. De twee buitendelen van de detector worden „bergen” genoemd ; hun potentieel is zodanig dat de invallende elektronen door de „bergen” in de „putten” weerhouden worden. Door een netwerk van elektroden kunnen „putten” in „bergen” en „bergen” in „putten” veranderd worden. Door opeenvolgende wijzigingen van de potentialen en gebruik te maken van een teldispositief kan men de lading van elke detector bepalen. Deze lading is een functie van de invallende elektromagnetische straling. De eerste CCD dateert van 1973 en bestond uit 10 000 pixels (100 × 100 matrix). Momenteel gaat men tot 5 000 000 pixels. Het „Jet Propulsion Laboratory werkt aan een „actieve pixel sensor” die gemakkelijker te produceren is dan de CCD pixel en daarenboven goedkoper zou zijn.

c) De elektronische sensor. Deze sensoren werken volgens het principe van de actieve RADAR. De sensor bestraalt het terrein door elektromagnetische impulsen in de C-band (5,3 GHz of  $\lambda \sim 6$  cm) af in de X-band (13,6 GHz of  $\lambda \sim 2,2$  cm). De sensor werkt zowel 's nachts als overdag en is weinig beïnvloedbaar door slechte meteorologische omstandigheden. Als voorbeelden kunnen we aanhalen : de „Side Looking Airborne Radar” (SLAR) ; de „Synthetic Airborne Radar” (SAR). De elektronische sensor vertoont ook enkele nadelen : het energieverbruik is vrij groot ; de bruto informatie is tienmaal groter dan de gebruikte nuttige informatie.

## 6. De GIS-cartografie

### 6.1. BELEIDSCARTOGRAFIE

Het gebruik van een GIS heeft naast de klassieke cartografie de nieuwe notie van **beleidscartografie** doen ontstaan.

In de beleidscartografie is het metrisch aspect in zekere mate nog aanwezig maar de eerste prioriteit gaat naar de inhoud of informatiewaarde van de kaart die als een beleidsinstrument moet gezien worden. Gezien de verschillende beleidsniveaus die van een GIS gebruik maken (mondiaal, supranationaal, nationaal, regionaal, lokaal) zullen de metrische karakteristieken van de beleidscartografie ook verschillend zijn.

### 6.2. INTEGRATIE VAN KAARTEN

Bij het opzetten van een GIS gaat men uit van bestaande informatie. Deze bestaat meestal onder de vorm van allerhande thematische kaarten die

opgesteld werden door verschillende diensten. Dit heeft voor gevolg dat de schaalfactoren van de documenten fel van elkaar verschillen maar daarenboven zijn de nauwkeurigheidskarakteristieken van de documenten fel uiteenlopend. Indien men deze documenten wil gebruiken in een GIS dan moet men eerst overgaan tot een metrische integratie van de verschillende bestaande documenten (typografische kaarten, kadasterplannen, geologische kaarten, pedologische kaarten, ...).

De integratie komt neer op een transformatie van de documenten naar een **basisreferentiekaart** zodat superpositie mogelijk is. De nauwkeurigheid waaraan de referentiekaart moet voldoen, hangt af van de doelstelling van het GIS. Hierbij moeten twee fundamentele regels in acht genomen worden :

- De GIS-cartografie moet zo nauwkeurig zijn als **nodig** is, dit in tegenstelling tot de misvatting dat de cartografie zo nauwkeurig als mogelijk moet zijn ;
- Tracht geen geometrische informatie te halen uit kaarten of plannen die *a priori* niet voldoen aan de gestelde eisen.

### 6.3. KAARTTRANSFORMATIES

Eens de basisreferentiekaart gekozen is, zal men overgaan tot een transformatie van alle andere cartografische documenten naar de referentiekaart. Als referentiekaart kan men opteren voor een numerieke versie van de topografische lijnenkaart of voor een digitale orthofoto waarvan de eigenschappen nu niet meer betwist worden. Kaarttransformaties zijn gesteund op coördinaten-transformaties van karakteristieke punten. De transformatie algoritmen worden gekozen in functie van de eigenschappen die men nastreeft : conformiteit of equivalentie. In alle gevallen bepaalt men transformatieparameters die afgeleid worden uit een aantal karakteristieke punten die op het referentiedocument en op het te transformeren document eenduidig bepaald zijn en waarvan de coördinaten in de twee referenties gekend zijn.

Men onderscheidt volgende algoritmen :

- **Affine transformatie** : 6 parameters, 2 translaties, 2 rotaties, schaalfactor volgens de x-as, schaalfactor volgens de y-as ;
- **Helble-Schenktransformatie** : 5 parameters, 2 translaties, 1 rotatie, schaalfactor volgens de x-as, schaalfactor volgens de y-as ;
- **Helmerttransformatie** : 4 parameters, 2 translaties, 1 rotatie, 1 schaalfactor volgens de x-as en y-as ;
- **Anamorfose transformatie** : algemene transformatie waardoor een gesloten veelhoek met n hoekpunten perfect ingepast wordt op de n corresponderende hoekpunten van de basisreferentiefiguur.

## 7. Besluiten

De GIS-technologie met zijn gegevens, algoritmen, werkwijzen, voorstellingen en technische uitrustingen heeft zich geleidelijk ontwikkeld maar staat nog ver van haar eindversie. Een GIS is van bij het begin gericht op een bepaalde toepassing. Alhoewel de begininformatie voor verschillende toepassingen van dezelfde natuur kan zijn, zal deze toch verschillen in de keuze van de geometrische nauwkeurigheid, de indeling volgens klassen, de keuze van de attributen, de grootte van de pixels, enz. Men kan dus stellen dat er geen algemene GIS bestaat.

De GIS-technologie kan niet beschouwd worden als een moderne vorm voor het maken van kaarten in de klassieke betekenis. De klassieke kaarten werden meestal opgesteld door militaire cartografische diensten die alleen oog hadden voor hun toepassingen. De GIS cartografie is van numerieke aard en wordt gemaakt in functie van de toepassingen van de gebruiker die alle wijzigingen kan aanbrengen en zelf de inhoud van de kaart kan bepalen.

Maar al te dikwijls wordt het woord GIS verkeerdelijk gebruikt en stroken de toepassingen niet met de definitie van GIS. Een GIS is meer dan de verzameling van klassieke fichebakken die in een computer gestopt werden. Een GIS is meer dan een modern instrument om kaarten te maken, kaarten te kleuren of kaarten te superposeren op een computerscherm.

Maar al te dikwijls wordt de invoer van informatie en de uitbating van een GIS verkeerdelijk ingeschat. De gebruiker moet de behandelde toepassingen grondig beheersen ; het is niet voldoende een gelegheidsinformaticus voor het GIS verantwoordelijk te stellen.

Een GIS die beantwoordt aan de bepaling en beheerd wordt door deskundigen kan beschouwd worden als een krachtig toekomstgericht beleidsinstrument dat aan de basis ligt van de technische, economische en administratieve besluitvorming.

### BESPREKING

**R. Paepe.** — Waarom sprak U niet over het gebruik van Radarbeelden ?

**U. Van Twembeke.** — Radarbeelden worden momenteel bekomen door een „Side Looking Airborne Radar” (SLAR) of een „Synthetic Airborne Radar” (SAR). SLAR-beelden vertonen belangrijke geometrische vervormingen. SAR-beelden zijn wel beter dan SLAR-beelden maar vertonen volgende nadelen :

- Ongefilterde beelden veroorzaken „speckle” waardoor de resolutie fel vermindert ;
- De grote massa bekomen informatie is tienmaal groter dan de nuttige informatie (er is te veel informatie) ;
- Het energieverbruik is zeer groot (enkele kW) ;
- De SAR-radar is tot vijfmaal duurder dan equivalente optische sensoren.

In de toekomst wordt de RADAR een volwaardige sensor voor GIS-toepassingen.

**J. J. Peters.** — De vraag is of het GIS het instrument is dat mogelijk maakt een grote hoeveelheid gegevens, van zeer verschillende aard, op te slaan en beschikbaar te maken voor gebruik in de besluitvorming, of het ook dat beleidsinstrument is? In Bangladesh wordt GIS intensief gebruikt binnen de „Flood Action Plan”. Binnen het project FAP 19 werd een GIS ontworpen dat werd gebruikt samen met hydraulische modellen (numerische) om bvb. overstromingsdiepten te berekenen in verschillende scenario's van werken voor bescherming van overstromingen.

**U. Van Twembeke.** — Volgens de bepaling van GIS is de eindfase afgestemd op beleidsbeslissingen die het automatisch gevolg zijn van de besluiten die uit een GIS-toepassing werden getrokken. In het voorbeeld dat U aanhaalt is de GIS-toepassing niet beëindigd bij de bepaling van overstromingsdiepten maar moeten GIS-modellen kunnen aantonen welke de beste beleidsbeslissing is om overstromingen te vermijden of in zekere mate te controleren.

## Atouts et contraintes de la science et de la technologie en Afrique \*

par

F. W. K. MALU \*\*

MOTS-CLES. — Afrique ; Science ; Technologie.

RESUME. — L'analyse de la contribution de l'Afrique au savoir et au savoir-faire montre que ce continent souffre d'un déficit de créativité en science et en technologie. Ce déficit pourrait s'amenuiser grâce à l'effort de reconceptualisation en science qui permet un rapprochement des sciences de la nature et des sciences humaines suite à la mise en évidence des phénomènes complexes et chaotiques dans la nature.

TREFWOORDEN. — Afrika ; Technologie ; Wetenschap.

SAMENVATTING. — *Troeven en beperkingen van wetenschap en technologie in Afrika.* — De analyse van de bijdrage van Afrika tot de kennis en de *know-how* toont aan dat dit continent aan een tekort aan creativiteit in de wetenschap en de technologie lijdt. Hieraan zou nochtans verholpen kunnen worden nu inspanningen tot herformulering van begrippen een toenadering tussen natuur- en menswetenschappen mogelijk maken als gevolg van de onderkenning van complexe en chaotische fenomenen in de natuur.

KEYWORDS. — Africa ; Science ; Technology.

SUMMARY. — *Assets and Constraints of Science and Technology in Africa.* — The analysis of Africa's contribution to knowledge and know-how shows that this continent is suffering from lack of creativity in science and technology. This lack could be reduced through the effort of reconceptualization in science which leads to a rapprochement between natural science and social sciences due to the emergence of complex and chaotic phenomena in nature.

### 1. Introduction

La vraie richesse d'un pays ne se mesure pas à la quantité et à la qualité de ses matières premières minérales ou végétales, mais à la quantité et à la

---

\* Communication présentée par Mgr L. Gillon à la séance de la Classe des Sciences techniques tenue le 29 mars 1996. Texte reçu le 19 février 1994.

\*\* Membre correspondant de l'Académie ; Commissariat général à l'Energie atomique, B.P. 868 Kinshasa XI (Zaïre).

qualité de sa matière grise. Cette assertion motive le choix et l'importance du thème qui concerne les atouts et les contraintes de l'activité scientifique et technologique en Afrique. Pour traiter du sujet avec pertinence, il faut distinguer deux volets. Le premier volet concerne la contribution de l'Afrique au développement de la science et à la technologie. Le second volet concerne la contribution de la science et de la technologie universelles au développement de l'Afrique.

## **2. Contribution de l'Afrique à la science et à la technologie**

La contribution de l'Afrique à la science et à la technologie est et reste en deçà des attentes [1] \*. L'Afrique accuse un déficit de créativité en science et en technologie particulièrement préoccupant pour son avenir. Plusieurs raisons expliquent cette situation. Une de ces raisons est la logique même de la colonisation. Pour assurer la survie des conquêtes coloniales, l'Occident s'est attaché à privilégier dans les colonies un mode de vie plutôt qu'un mode de pensée. Les utilisations pratiques des acquis technologiques aux fins d'exploitation de la colonie ont pris le pas sur l'effort conceptuel. En somme, la technique a précédé la science.

La persistance du déficit de créativité en science et en technologie, trente-trois ans après les indépendances africaines, inquiète. Elle hypothèque l'avenir de l'Afrique au regard de la grande concurrence qui caractérise les relations internationales dans tous les domaines. Il importe de lever cette hypothèque de façon à asseoir sur des bases plus fermes un développement plus performant et durable de l'Afrique, dans un contexte international de jour en jour plus compétitif.

Ce constat fait par tous les observateurs de la scène africaine est, certes, alarmant mais non désespérant. Des avenues existent qui autorisent une présence plus active de l'Afrique en science et en technologie. Pour préciser ce point, il est nécessaire d'étudier les contraintes et les atouts de la science et de la technologie modernes au regard de l'assise culturelle de l'Afrique.

## **3. Les contraintes culturelles en science et technologie**

La proposition précédente pourrait étonner. Pour expliquer le marasme africain en science et en technologie, on met généralement l'accent sur des facteurs non culturels : pertinence des programmes, organisation et structuration du secteur de la recherche, compétence et masse critique des chercheurs, qualité

---

\* Les chiffres entre crochets [ ] renvoient aux références, p. 656.

des partenariats, qualité de l'intendance (budget, service technique). Ces facteurs sont, sans conteste, importants [2].

Cependant, l'expérience de trente-trois ans dans le secteur de la recherche en Afrique incite à penser que le bon développement de la science et de la technologie est probablement plus fondamentalement tributaire de l'héritage culturel, même si cette influence est indirecte. L'influence de la culture se manifeste à travers les présupposés métaphysiques qui fondent les postulats de la démarche scientifique ; à travers les principes ontologiques, par exemple l'existence d'un monde externe indépendant de soi ; à travers les références épistémologiques, par exemple la possibilité de la représentation théorique de la réalité ; à travers les principes éthiques, par exemple d'adhésion inconditionnelle à la vérité.

La maîtrise de la science et de la technologie, au niveau requis par les enjeux du monde moderne, n'est possible que lorsque la démarche scientifique est intériorisée au niveau culturel, devenant un mode de pensée, un mode d'agir, un comportement que l'on souhaiterait presque inné. C'est cette dimension culturelle qui fait la différence entre une science passable et une science excellente, entre une technologie utile mais banale et une technologie performante.

Malheureusement, il semble que la démarche scientifique moderne ne cadre pas aussi bien qu'on le souhaiterait avec le mode de pensée africain. La science moderne, telle qu'elle s'est développée en Europe au *xvi<sup>e</sup>* et *xvii<sup>e</sup>* siècles, privilégie, en effet, la démarche simplificatrice, réductrice. Or, il semble que le mode de pensée africain soit plus syncrétique, plus relationnel, intéressant le temporel comme le sacré [3]. Ceci laisserait supposer que le substrat culturel de l'Afrique, sub-saharienne tout au moins, soit quelque peu en porte-à-faux vis-à-vis de la science déterministe qui se fonde sur une vision mécaniste de l'univers.

#### **4. De la science déterministe à la science du complexe**

Cependant, au fur et à mesure que les connaissances scientifiques s'affinent et s'approfondissent, la science moderne du *xx<sup>e</sup>* siècle met en évidence une réalité qui se révèle plus complexe que ne l'imaginaient ses pères du *xvi<sup>e</sup>* et du *xvii<sup>e</sup>* siècles en Europe.

Cette perception s'acquiert au travers de divers problèmes qui surgissent de la connaissance fine de la matière, et du retour inévitable de l'intérêt scientifique vers la biologie et l'homme. On prend conscience aujourd'hui que la science moderne à vision mécaniste de l'univers, héritée de Galilée et de Newton, s'achemine vers des impasses.

Ces impasses surgissent de plus en plus nombreuses. Elles suscitent un regain d'intérêt pour d'autres logiques, hier encore décriées par la science moderne. Par exemple, celle qui privilégie le tout à la partie, la synthèse englobante à l'analyse disjonctive, le raisonnement par modèle au formalisme discursif.

Ou encore celles qui se complaisent à divers syncrétismes, jugés hier de très mauvais aloi, associant conscience et raison opératoire, science et art, raison et émotion, observateur et observé, l'universalisme de l'immanence humaine et les particularités du progrès matériel, l'activité consciente et l'activité inconsciente...

Ainsi donc, on assiste en cette fin de siècle à des changements dans la structure de la connaissance scientifique. Le modèle mécaniste, newtonien, cartésien et dualiste (sujet-objet) de la nature s'essouffle. Il se montre de moins en moins capable de rendre compte des phénomènes chaotiques et complexes que l'on met en évidence dans la nature (voir annexe).

La mise en évidence du chaos et du complexe dans la nature a pour effet de rendre moins nette la frontière entre les sciences de la nature et les sciences de l'homme. Cette évolution laisse entrevoir une chance nouvelle pour l'Afrique d'être mieux et plus présente en science au niveau d'excellence requis par les enjeux du monde moderne, et partant de mieux contribuer par son imagination créatrice au développement de la société africaine.

L'utilité pour le présent propos de cette référence aux impasses nouvelles en science moderne et sur le regain d'intérêt qu'elles suscitent pour les logiques «syncrétiques», dans le cadre d'une science du complexe, tient à un triple constat :

- Les sociétés africaines paraissent nettement plus «syncrétiques» que les sociétés européennes qui ont donné naissance et consistance à la science moderne telle qu'on la connaît actuellement ;
- Les problèmes de développement socio-économique font partie de ceux où l'approche syncrétique paraît indispensable. L'émergence de la rationalité dans les conduites du corps social fait, en effet, de l'homme tout à la fois, le sujet, l'objet et le moyen de la démarche et de l'action rationnelles ;
- La science déterministe n'intègre pas le temps comme variable explicative, mais comme simple paramètre. Or, le temps est une variable essentielle pour expliquer la diversité de l'univers, en particulier son évolution, sans parler bien entendu des phénomènes irréversibles dans la nature.

##### **5. Interrogations concernant les rapports «science-culture»**

La référence aux impasses nouvelles en science moderne, qui orientent la recherche scientifique vers de nouvelles voies d'approche, laisse entrevoir une chance nouvelle pour sortir l'Afrique de sa léthargie en matière de science et de technologie. Pour saisir cette chance, l'Afrique se doit de faire son auto-critique. Elle doit s'interroger sur la pertinence des prémisses qui fondent à ce jour ses stratégies de développement en tous genres, singulièrement en matière de développement de l'activité scientifique et technologique. Elle doit s'interroger sur le bien-fondé des attitudes et des présupposés sociétaux qui



légitiment ces stratégies au regard des exigences de la vie moderne. Cet exercice peut s'effectuer en s'attachant à répondre, en particulier, aux questions suivantes :

1. La science peut-elle au départ se développer adéquatement dans une vision, et donc dans une approche, d'emblée globalisante de la réalité vécue ?
2. A la lecture des affirmations de Tempels sur la philosophie bantoue [4], le système de pensée bantou paraît de prime abord difficilement conciliable avec le système de pensée qui a sous-tendu la révolution paradigmatique newtonienne. Peut-on cependant tirer de ce constat que l'activité scientifique moderne est radicalement désavantagée en Afrique par une assise culturelle inadéquate ?
3. Il faut reconnaître que le système de pensée bantou, comme explicité par Tempels, rejoint sur certains points les idées et concepts qui émergent de la nouvelle reconceptualisation scientifique engagée dans le monde scientifique avec la nouvelle science de la complexité (voir annexe). Peut-on voir dans cette nouvelle reconceptualisation l'occasion d'une renaissance scientifique en Afrique, qui permettrait aux Africains de faire mieux que la mauvaise copie de la science coloniale qui a prévalu à ce jour ?
4. Au regard de la primauté de la méthode expérimentale comme source principale de la connaissance en science moderne, quelles sont, parmi les sources classiques de la connaissance que sont la pratique expérimentale, l'autorité, l'analogie, la compétence, la tradition, celles jugées légitimes dans les sociétés africaines, et comment se hiérarchisent-elles ? La réponse à cette question permet, à l'évidence, d'éclairer d'une lueur particulière le problème du retard scientifique et technologique que les cultures africaines ont pris sur la culture occidentale.
5. Quels sont les paramètres qui conditionnent la dynamique de changement dans la société africaine ? L'importance de la question tient au fait que la dynamique du changement dans une société conditionne la dynamique de l'activité de R&D. La dynamique de changement s'inscrit en général comme résultante d'une suite d'étapes qui part des idéologies, des normes de comportement et des valeurs sociétales, et aboutit à la sélection des problèmes de recherche et des questions sociétales jugés prioritaires.
6. Pour qualifier de scientifiques les résultats de l'activité cognitive de l'homme, il faut s'accorder sur un critère de «scientificité». Quel pourrait-être le facteur déterminant dans l'élaboration d'un tel critère dans le contexte culturel africain ? La méthode expérimentale et le critère de Popper (qui rejette l'induction comme critère de vérité) sont-ils acceptables, sans réserve, pour les structures mentales africaines, eu égard à diverses contraintes signalées plus avant, et singulièrement celles liées à l'importance de la tradition orale en Afrique, et aux caractéristiques de la philosophie bantoue entendue dans son sens vulgaire ?

## 6. Interrogations concernant les rapports «science - technologie - société»

Alors même que l'on ne saurait exclure que la science moderne ait pu passer par d'autres voies que celles effectivement enregistrées en Europe, on est en droit de penser et d'affirmer que son développement rend nécessaire la conjugaison de moyens et de facteurs qui paraissent indispensables, et sur lesquels le relativisme culturel n'a que peu d'emprise.

Il faut en effet, de toute évidence, s'équiper adéquatement, en confectionnant éventuellement soi-même ses outils et ses instruments. Il faut rassembler des chercheurs bien formés, suffisamment nombreux et pluridisciplinaires pour constituer une «masse critique» difficilement quantifiable *a priori* mais non moins réelle et indispensable à la réussite d'une entreprise de recherche de quelque envergure. Il faut organiser adéquatement la collecte, la diffusion et le traitement de l'information.

Ces nécessités, et bien d'autres encore, étaient en partie la liaison étroite qui a prévalu dès l'amorce de l'aventure scientifique moderne entre la science, la technologie et le pouvoir sous sa triple forme militaire, économique et sociale. L'un a généralement besoin des deux autres. Les avancées de l'un sont généralement tributaires des avancées des deux autres. Ce constat soulève une foule de questions [5], dont les suivantes :

1. Les inter-rétro-actions entre la science, la technologie et le pouvoir, sous sa forme militaire, économique ou sociale, s'expliquent assez aisément en faisant référence au critère de scientificité retenu plus avant. En effet, obligée de vérifier dans les faits la pertinence de ses concepts et de ses assertions, la science moderne a, de nature, le penchant du pratique et de l'efficacité. Ce penchant sert le pouvoir. Cette liaison fructueuse entre la science, la technologie et le pouvoir est-elle adéquatement perçue et utilisée en Afrique pour promouvoir une science plus endogène et plus dynamique ?
2. La question précédente se pose dès lors qu'il faut bien se rendre à une évidence : l'Afrique a été et reste toujours une simple consommatrice de technologies produites ailleurs, qu'elle maîtrise le plus souvent assez mal d'ailleurs. Cette situation est largement imputable à la tendance africaine à recourir à des «court-circuits» en matière de développement. Par «court-circuit» on entend cette tendance à adopter sans préalable des procédés, des systèmes et même des thèmes qui laissent espérer un rapide rattrapage technologique et donc économique du monde industrialisé. La hâte à les embrasser conduit généralement à court-circuiter tous ces préalables culturels, organisationnels, éducationnels, voire même purement techniques, indispensables à la réussite de toute entreprise d'envergure en science et en technologie. Or, la maîtrise réelle de la technologie requiert toujours un effort d'imagination. Elle requiert aussi la mise en place des préalables sociétaux qu'il importe de cerner de très près si l'on veut réellement progresser. Cette évidence est-elle adéquatement perçue en Afrique aujourd'hui ?

3. La liaison entre la science, la technologie et le développement socio-économique impose de se soucier à la fois du déploiement industriel et du déploiement intellectuel dans une économie moderne. L'expérience montre que le premier ne saurait réussir pleinement sans la réussite du second, particulièrement dans un contexte de rapide évolution technologique qui est celle qui prévaut actuellement dans le monde. Le déploiement intellectuel ne se réduit pas, tant s'en faut, à la simple création des institutions d'enseignement supérieur et universitaire et de recherche scientifique. Le déploiement intellectuel signifie, d'abord et avant tout, des hommes bien formés, compétents et productifs, travaillant dans un climat propice à la création intellectuelle. Un tel climat s'instaure par des actions précises. Ce sont d'abord les actions qui visent l'élargissement des espaces de liberté, et singulièrement des libertés de pensée, d'association et de circulation de l'information, qui seules autorisent et sous-tendent la coopération intellectuelle. L'avenir d'une nation ne se décide pas simplement par des investissements matériels. Il est aussi, et surtout, tributaire d'un investissement immatériel visant à instaurer un climat de liberté et de coopération intellectuelle indispensable à la création intellectuelle. Quelle est, au regard de toutes ces exigences qui contraignent la créativité intellectuelle, la position de l'Afrique ? L'Afrique n'a-t-elle pas cherché, par le passé, à faire l'économie d'un véritable déploiement intellectuel au bénéfice d'un déploiement industriel qu'elle espérait rapide, et qui se révèle en fin de compte illusoire faute d'une assise intellectuelle solide ?
4. La réussite du déploiement industriel et intellectuel dans un pays dépend d'un grand nombre de facteurs parmi lesquels la qualité des ressources humaines est primordiale. Les possibilités de progrès pour les nations modernes se mesurent, en effet, par leur capacité à innover. La qualité des ressources humaines est tributaire de la qualité du système éducatif national. Du fait même du rythme accéléré de production des innovations dans le monde, le système éducatif ne doit pas se limiter à former les opérateurs que requièrent immédiatement les divers secteurs de la vie nationale. Il doit viser plus généralement à élever aussi haut que possible le niveau intellectuel de la collectivité nationale. L'étude du développement socio-économique des pays les plus avancés du monde montre, en effet, une nette corrélation entre le niveau d'éducation général de la population et la capacité d'innovation de la nation. Cette interdépendance est cumulative. L'accroissement de la qualité des ressources humaines favorise l'innovation ; celle-ci engendre à son tour un besoin accru de qualifications nouvelles, ... On assiste ainsi dans les pays les plus avancés à une véritable «révolution de l'intelligence» qui accentue l'écart, déjà considérable, entre les pays riches et les pays pauvres. L'impérieuse nécessité d'un enseignement de qualité et d'aussi haut niveau que possible pour l'ensemble de la population est-elle perçue en Afrique ? Est-il même possible de développer le

potentiel créatif africain, individuel et collectif, avec la vigueur nécessaire, dans une société encore fragile politiquement où tout «changement» est appréhendé pour ses conséquences éventuellement déstabilisantes ?

5. L'histoire de la science moderne montre que le progrès scientifique et technologique est la résultante d'un dialogue permanent entre les développements théoriques et les résultats expérimentaux, entre les percées conceptuelles et les faits expérimentaux «scientifiques», c'est-à-dire reproductibles, présentant un intérêt, soit pratique, soit théorique. Les avancées dans un secteur sont le plus souvent porteuses des avancées dans l'autre secteur. De toute manière, hormis la mathématique où les vérités sont nécessaires, c'est-à-dire connaissables *a priori*, l'intrusion de l'expérimentation est indispensable pour étayer les vérités contingentes, c'est-à-dire connaissables *a posteriori*. Sans nul doute, le rapprochement fait ici entre vérités connaissables *a priori* et *a posteriori*, d'une part, et vérités nécessaires et contingentes, d'autre part, ne rencontre pas l'assentiment du point de vue essentialiste. Néanmoins, l'interaction permanente entre la théorie et la pratique fonde la «méthode expérimentale» dont la mise en œuvre réussie fut la condition première du développement de la science moderne en Europe. Il est utile de souligner ici que la «méthode expérimentale» se distingue de la «pratique expérimentale», entendue comme la simple succession d'observations et d'explorations, sans idée maîtresse particulière, sans concept théorique particulier à vérifier. La science moderne cherche toujours, en effet, la formalisation adéquate des phénomènes étudiés, la mise en évidence adéquate des lois causales à validité universelle et à vocation de prédiction. Certes, la référence aux lois causales faite ici s'inscrit dans une vue «déterministe» ou «probabiliste» de la réalité qui n'est pas nécessairement de mise lorsqu'on considère «l'infiniment complexe», dont la réalité humaine, au sens large, est un exemple type. Il n'en reste pas moins que les motivations théoriques sont essentielles au développement de la science moderne. La reconnaissance de ce fait autorise les deux questions suivantes :

- Les motivations purement technologiques, imposées bien souvent par les impératifs de survie, n'ont-elles pas revêtu dans l'histoire de l'Afrique un caractère à ce point pressant qu'elles ont complètement occulté toute motivation théorique, alors même que, dans une civilisation de la parole, toute formalisation mathématique des phénomènes naturels est d'emblée exclue ?
- Le caractère tout aussi pressant des problèmes économiques actuels de l'Afrique ne pousse-t-il pas les Africains à maintenir en avant les motivations d'utilité pratique au détriment des exigences de conceptualisation adéquate des phénomènes naturels, indispensables pour asseoir une activité scientifique digne de ce nom, et seule porteuse de développement à long terme ?

## 7. Conclusion

Les questions qui viennent d'être posées s'inscrivent dans le contexte d'une même certitude : les concepts de base en science moderne, et *a fortiori* les évolutions conceptuelles dans l'histoire des sciences, sont, pour une grande part, relatifs au cadre culturel. De ce fait ils nécessitent, pour émerger, un consensus social. Ils doivent donc être conformes à une certaine représentation sociale ayant cours au moment de leur éclosion.

Bien sûr, cette hypothèse (ou conception), dite externaliste du développement de la science, coexiste toujours avec l'hypothèse, dite internaliste. Les influences sont mutuelles. Mais, comme le démontre à suffisance l'histoire des sciences modernes, l'hypothèse externaliste est prédominante dans la phase de démarrage. La science ne prend vraiment une dimension internaliste que bien plus tard dans son développement.

Tout en représentant une rupture, la mentalité et l'esprit scientifique ne sont donc pas radicalement indépendants de la mentalité tout court et de «l'esprit du temps». A ce propos, il est instructif de remarquer qu'à l'époque de l'éclosion de la science moderne en Europe, les sciences dans le monde non européen auraient bien pu produire les révolutions conceptuelles de Newton, si ce n'est faute peut-être d'une mentalité et d'un «esprit du temps» adéquats.

Les considérations qui précèdent expliquent pourquoi la science est, d'une certaine manière, à la fois internationale et incarnée dans une culture donnée. Elle est donc dépendante du cadre culturel pour son (mal)développement. Reste à savoir si le constat de mauvais développement de la science et de la technologie en Afrique légitime les appels à un changement de mentalité, à une révolution culturelle, de façon à induire un «esprit du temps» plus favorable.

## ANNEXE

### La dynamique chaotique et le phénomène complexe [6]

Sur le plan du débat épistémologique en science, diverses conceptions s'affrontent. Les différentes opinions forment un spectre qui s'élargit au fil du temps.

A l'un des bouts de ce spectre, il y a ceux qui s'accrochent à la conception traditionnelle de la science. La science décrit le monde tel qu'il est. Le chercheur s'attelle à découvrir sa structure interne et les lois nécessaires et objectives qui le régit. Cette conception, poussée à l'extrême, aboutit au scientisme pour lequel la démarche scientifique est pure rationalité et objectivité, réductible en fin de compte à une série de formules. La science au fil du temps accumule des vérités, partielles peut-être et partant réformables, mais vérités tout de même.

A l'autre bout du spectre d'opinions se situent les romantiques de la nature. Sans affirmer que le subjectivisme est ici roi, cette opinion aspire à la connaissance du monde au travers d'une expérience d'identification individuelle avec l'esprit vital. Cette

conception de la connaissance du monde est à rapprocher du vitalisme, doctrine biologique qui admet un principe vital, distinct à la fois de l'âme et de l'organisme, et dont dépendent les actions organiques. Pour cette conception de la connaissance, la science n'est pas loin d'une idéologie.

On serait tenté de faire un rapprochement entre la perception philosophique du monde des Bantous, telle que l'a décrit Tempels, et la conception vitaliste de la science. Ce qui est certain, c'est que le scientifique moyen, qu'il soit africain ou non, n'adhère ni à l'objectivisme pur et dur de la première conception de la science, ni au subjectivisme intégral de la seconde conception. La connaissance scientifique n'est ni pure objectivité, ni exempte de subjectivité. La diversité des sources jugées légitimes de la connaissance scientifique est garante de cette approche médiane. En pratique, celle-ci n'est pas identique d'un esprit à un autre, d'un contexte social à un autre. Elle varie en fonction des conditionnements du contexte sociopolitique et socioculturel ; en fonction en fait des images de la connaissance, des images du monde, en changement constant, différent d'une culture à l'autre, qui incorpore des propriétés objectives de la réalité dans une matrice conceptuelle tributaire de l'expérience individuelle, de l'histoire et de la culture de chaque peuple. Cette matrice conceptuelle a longtemps été tributaire du désir d'un commun dénominateur scientifique sous forme de lois simples et universelles régissant l'ensemble des phénomènes observés dans la nature. Or, ceci devient de plus en plus discutable avec l'émergence des phénomènes complexes et chaotiques dont l'analyse ne peut être menée à bon escient en adoptant l'une ou l'autre des deux stratégies de simplification, la stratégie déterministe et la stratégie probabiliste. En d'autres mots, le modèle paradigmatique dérivé de la physique, la science dure par excellence, jugée reine, qui s'applique aujourd'hui dans toutes les sciences, est de moins en moins de mise.

On peut faire remonter cette évolution au début des années 60 avec la prise en compte en mécanique céleste de ce que le mathématicien H. Poincaré avait découvert à la fin du siècle passé : le phénomène chaotique dans des systèmes déterministes, régi par des équations différentielles, dont les solutions sont très sensibles aux conditions initiales. C'est le cas, par exemple, de la révolution des planètes autour du soleil, de la trajectoire d'une boule de billard, ou du battement du cœur. La dynamique dans ce type de système est chaotique en ceci que deux états initiaux, extrêmement proches, donnent lieu à des évolutions qui divergent dans le temps. On se trouve, en somme, en présence de ce que l'on pourrait qualifier de déterminisme chaotique, qui bat en brèche le concept absolu de prévisibilité dans la nature, régi par les lois newtoniennes. Le champ couvert par la dynamique chaotique connaît une extension remarquable dans toutes les disciplines, non seulement en mathématique et en physique, mais également en chimie, médecine, ingénierie. Cette évolution contribue à corriger les bases épistémologiques traditionnelles de la science moderne centrées sur les postulats de simplicité, de régularité, d'ordre et de prévisibilité dans la nature.

Une deuxième évolution contribue à ces glissements épistémologiques : la mise en évidence dans la plupart des disciplines scientifiques des phénomènes ou systèmes complexes ; complexes au niveau structural, complexes au niveau fonctionnel, qui battent en brèche le concept de la réductibilité de tout phénomène dans la nature à l'interaction d'entités élémentaires régies par des propriétés simples et régulières et par les lois de la physique et de la chimie au niveau atomique ou moléculaire.

L'irréductibilité signalée plus avant, qui marque le caractère complexe d'un phénomène ou d'un système, peut se manifester ou non à chaque niveau d'organisation du

réel. Elle peut concerner ou non les propriétés structurelles de la réalité considérée. Elle semble concerner l'ensemble des systèmes capables d'auto-organisation, sans toutefois inférer de l'avis des scientifiques, notamment des biologistes, l'existence des propriétés non matérielles (propriété mystique par exemple). Elle peut être variable dans le temps en fonction d'événements aléatoires, comme l'atteste la mise en évidence récente de la dynamique propre de l'ADN.

La complexité serait donc le résultat uniquement de l'interaction et des interconnexions à chaque niveau hiérarchique d'organisation du système. Elle résulte de la grande variété des solutions organisationnelles, régulatrices, adaptatives. Elle est une conséquence de la capacité d'évolution des systèmes et du jeu antagoniste des propriétés ou des concepts qui sont ou paraissent antinomiques (hasard-nécessité, ordre-désordre, ...).

Une nouvelle vision du monde émerge de ces considérations qui force toutes les sciences, singulièrement la physique, à repenser ses buts, ses méthodes, ses objectifs, ses présupposés métaphysiques et ses postulats de façon à mieux appréhender les systèmes complexes. L'entreprise n'est pas aisée dans la mesure où chaque discipline semble avoir sa propre définition du complexe, alors même que l'approche transdisciplinaire est et doit être de mise à l'étude de ce type de système.

Les bouleversements paradigmatiques et épistémologiques qu'entraîne la venue des systèmes complexes et chaotiques à l'avant-plan des préoccupations en science s'apparentent pour les uns à une révolution scientifique. Ceux qui récusent l'idée que la subjectivité est inhérente à la démarche scientifique, notamment par le biais de l'influence des images de la connaissance, s'inscrivent en faux à cette assertion, estimant qu'il s'agit tout au plus d'un simple enrichissement dans la connaissance du réel.

Le débat et les incompréhensions tournent ici autour de la nécessaire distinction qu'il faut faire :

- Entre le chercheur et la communauté scientifique à laquelle il appartient, qui juge ses travaux en se référant à des critères qui doivent être aussi impersonnels que possible ;
- A l'intérieur du discours scientifique entre le langage technique paradigmatique et le langage formalisé programmatique, sorte de métalangage adoptée de commun accord pour exprimer les programmes, les acquis et les développements d'une discipline donnée, à une phase donnée de son histoire. Le premier, confronté à des situations nouvelles, emprunte à l'expérience ordinaire de la tradition culturelle des mots pour construire des propositions nouvelles, alors même que l'évaluation de la recherche s'effectue dans le métalangage, sur la base des critères métathéoriques (critère de scientificité, hiérarchie des problèmes à étudier en priorité) et des concepts qui n'intègrent pas encore les nouveaux développements conceptuels. Le décalage fait que les nouvelles conceptions ont toutes les chances de ne pas être publiées et donc d'être étouffées dans l'œuf de la routine et de la conformité avec le contexte social de la discipline, à moins d'une modification sensible de «l'esprit du temps».

Reste à savoir si l'intrusion du complexe et du chaotique au devant de la scène scientifique aura des effets sur les impératifs institutionnels qui constituent l'*ethos* de la science moderne : universalisme, esprit communautaire, désintéressement, doute systématique. Choisi pour éliminer tout subjectivisme en science et tout jugement de valeur partial, garantissant à tous l'accessibilité et la disponibilité des connaissances acquises, contraignant tout un chacun au droit et au devoir de la critique, l'*ethos*

de la science moderne garantit en principe l'élimination des tensions, des idéologies et des intérêts partisans de la scène scientifique. Que l'expérience vécue ne soit pas tout à fait conforme à la théorie, ne retranche rien à l'éthique professionnelle qu'il importe de sauvegarder.

#### REFERENCES

- [1] MALU W. K., F. 1992. Science et technologie en Afrique : histoire, leçon et perspective. — *Mém. Acad. R. Sci. Outre-Mer, Cl. Sci. tech.*, N.S., 18 (6), Bruxelles, 245 pp.
- [2] MALU W. K., F. 1991. Nuclear technique and solar energy : a quest for sustainable development in Africa. — *In* : Proceeding AAAS symposium on science and technology in Africa, Washington DC, pp. 126-135.
- [3] TEMPELS, P. 1949. *La philosophie bantoue*. — Présence africaine.
- [4] Voir référence 3.
- [5] CINI, M. 1992. Mentalité et révolutions scientifiques. — *Revue écologie politique*, Paris, 1 : 42-62. Voir également référence [1].
- [6] CINI, M., *op. cit.* ;  
MALU W. K., F. 1986. Epistémologie, physique et développement : l'influence de Niels Bohr. — *In* : MALU W. K., F. (éd.). Recherches nucléaires et développement du Zaïre, Presses du CGEA, pp. 202-226.  
KAYE, B. 1993. Chaos and complexity, discovering the surprising patterns of science and technology. — Lavoisier, Paris, 594 pp.  
ABRAHAM, N. *et al.* 1993. Measures of complexity and chaos. — Lavoisier, Paris, 400 pp.  
HILBORN, R. 1993. Chaos and nonlinear dynamics. — Lavoisier, Paris, 608 pp.



**Zitting van 28 juni 1996**

---

**Séance du 28 juin 1996**

## Zitting van 28 juni 1996

(Uittreksel van de notulen)

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

*Zijn bovendien aanwezig*: de HH. Jacques Charlier, Jean Charlier, H. Deelstra, A. Deruyttere, Mgr. L. Gillon, de HH. G. Heylbroeck, A. Lederer, R. Leenaerts, J. Michot, R. Paepe, J. J. Peters, R. Sokal, werkende leden; de HH. H. Paelinck, G. Panou, W. Van Impe, geassocieerde leden, en M. J.-J. Symoens, Erevast Secretaris.

*Betuigden hun spijt niet aan de zitting te kunnen deelnemen*: de HH. E. Aernoudt, P. Beckers, E. Cuypers, J. Debevere, J. De Cuyper, D. Demaiffe, P. De Meester, C. De Meyer, P. Fierens, G. Froment, A. Jaumotte, A. Lejeune, J. Marchal, L. Martens, A. Monjoie, J. Roos, R. Tillé, U. Van Twembeke.

### „Le barrage Borde Seco au Venezuela”

M. R. Sokal stelt een mededeling voor getiteld als hierboven en opgesteld door M. D. Villalta, corresponderend lid.

De HH. Jean Charlier, J. J. Peters en R. Paepe nemen aan de bespreking deel.

De Klasse beslist deze studie in de *Mededelingen der Zittingen* te publiceren (pp. 663-677).

### Hoe efficiënt waren traditionele *rainwater harvesting* systemen in de Negevwoestijn, Israël?

M. J. Poesen, laboratorium voor experimentele geomorfologie van de Katholieke Universiteit Leuven, stelt een mededeling voor getiteld als hierboven en gerealiseerd in samenwerking met M. H. Lavee, departement geografie van de „Bar-Ilan University” (Israël).

De HH. A. Deruyttere, R. Sokal, H. Paelinck, H. Deelstra, W. Van Impe en R. Paepe nemen aan de bespreking deel.

De HH. W. Loy en R. Paepe worden als verslaggevers aangeduid.

### „The Complex Food-Energy Nexus : Is the Provision for Food and Energy Sustainable ?”

Tijdens de zitting van 29 maart jl. heeft Mgr. L. Gillon deze mededeling van M. F. Malu wa Kalenga, corresponderend lid, voorgesteld.

## Séance du 28 juin 1996

(Extrait du procès-verbal)

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

*Sont en outre présents* : MM. Jacques Charlier, Jean Charlier, H. Deelstra, A. Deruyttere, Mgr L. Gillon, MM. G. Heylbroeck, A. Lederer, R. Leenaerts, J. Michot, R. Paepe, J. J. Peters, R. Sokal, membres titulaires ; MM. H. Paelinck, G. Panou, W. Van Impe, membres associés, 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, E. Cuyper, J. Debevere, J. De Cuyper, D. Demaiffe, P. De Meester, C. De Meyer, P. Fierens, G. Froment, A. Jaumotte, A. Lejeune, J. Marchal, L. Martens, A. Monjoie, J. Roos, R. Tillé, U. Van Twembeke.

### Le barrage Borde Seco au Venezuela

M. R. Sokal présente une communication intitulée comme ci-dessus et dont l'auteur est M. D. Villalta, membre correspondant.

MM. Jean Charlier, J. J. Peters et R. Paepe interviennent dans la discussion.

La Classe décide de publier cette étude dans le *Bulletin des Séances* (pp. 663-677).

### «Hoe efficiënt waren traditionele *rainwater harvesting* systemen in de Negevwoestijn, Israël ?»

M. J. Poesen, laboratoire de géomorphologie expérimentale de la «Katholieke Universiteit Leuven», présente une communication intitulée comme ci-dessus et réalisée en collaboration avec M. H. Lavee, département de géographie de la «Bar-Ilan University» (Israël).

MM. A. Deruyttere, R. Sokal, H. Paelinck, H. Deelstra, W. Van Impe et R. Paepe interviennent dans la discussion.

MM. W. Loy et R. Paepe sont désignés en qualité de rapporteurs.

### «The Complex Food-Energy Nexus : Is the Provision for Food and Energy Sustainable ?»

Lors de la séance du 29 mars 1996, Mgr L. Gillon a présenté cette communication réalisée par M. F. Malu wa Kalenga, membre correspondant.

De Klasse beslist deze tekst in de *Mededelingen der Zittingen* te publiceren (pp. 679-688).

### Wedstrijd 1996

Geen enkel werk werd ingediend in antwoord op de vijfde vraag van de wedstrijd 1996: „Er wordt een studie gevraagd over de organisatie en de duurzame ontwikkeling van de periferie van grote steden in de Derde Wereld”.

Eén werk werd ingediend in antwoord op de zesde vraag van de wedstrijd 1996 „Er wordt een studie gevraagd over de economische voorwaarden en de ontwikkelingsperspectieven van de exploitatie van minerale grondstoffen in de mijnbouw van de Derde Wereld”, namelijk :

RAJERISON, J. A. : Conditions économiques et perspectives du développement des gisements des matières premières minérales dans les pays du tiers monde.

Na de verslagen van de HH. P. Goossens, J. Michot en G. Panou te hebben gehoord, beslist de Klasse noch een prijs noch een eervolle vermelding aan M. Rajerison toe te kennen.

### Academische onderscheiding

M. P. Fierens kreeg de titel *Doctor Honoris Causa* van de Polytechnische Universiteit van Boekarest.

### Besloten Vergadering

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

*Werkend lid* : de HH. H. Paelinck, F. Thirion en W. Van Impe.

*Geassocieerd lid* : M. L. Dejonghe.

*Corresponderend lid* : M. H. Pollak.

De zitting wordt om 17 u. 35 geheven.

La Classe décide de publier ce texte dans le *Bulletin des Séances* (pp. 679-688).

### Concours 1996

Aucun travail n'a été introduit en réponse à la cinquième question du concours 1996 : «On demande une étude sur l'organisation et le développement durable de la périphérie des grandes villes du Tiers-Monde».

Un travail a été introduit en réponse à la sixième question du concours 1996 : «On demande une étude sur les conditions économiques et les perspectives de développement de l'exploitation des gisements des matières premières minérales dans les pays du Tiers-Monde», à savoir :

RAJERISON, J. A. : Conditions économiques et perspectives du développement des gisements des matières premières minérales dans les pays du tiers monde.

Après avoir entendu les rapports de MM. P. Goossens, J. Michot et G. Panou, la Classe décide de ne pas attribuer de prix, ni de mention honorable à M. J.A. Rajerison.

### Distinction académique

Le titre de *Docteur Honoris Causa* de l'Université Polytechnique de Bucarest a été décerné à M. P. Fierens.

### Comité secret

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

*Membre titulaire* : MM. H. Paelinck, F. Thirion et W. Van Impe.

*Membre associé* : M. L. Dejonghe.

*Membre correspondant* : M. H. Pollak.

La séance est levée à 17 h 35.

## Le barrage Borde Seco au Venezuela \*

par

D. VILLALTA \*\*

MOTS-CLES. — Barrage ; Etanchéité ; Friabilité.

RESUME. — Le barrage Borde Seco fait partie du système hydro-électrique Uribante-Caparo qui se trouve à présent sous processus de construction par la Compagnie CADAFE, dans la Cordillère des Andes, située dans la partie occidentale du Venezuela. Il s'agit d'un complexe hydro-électrique comprenant quatre grands barrages en terre, dix-sept kilomètres de tunnels de transvasement et trois centrales hydro-électriques principales. Il est composé de quatre développements hydro-électriques, dont le premier est déjà fini et commercialement actif. Le barrage Borde Seco constitue une partie importante du troisième développement. Le remblayage a été terminé en 1990. Il reste encore la définition et la construction du système d'écran d'imperméabilisation pour garantir l'étanchéité du barrage. Le barrage Borde Seco est une structure zonifiée, de matériel souple et compacté d'une hauteur de 122 m mesurée à partir du fond des fouilles. Il repose sur des roches de l'âge crétacé, appartenant à la formation «Escandalosa» et constituées de grès, grès glauconitiques, calcaires, grès calcaires et lutites. La mise en oeuvre du barrage dans le massif rocheux pose quelques problèmes spécifiques, surtout en ce qui concerne le tiers supérieur des fondations de chaque côté du barrage où l'on trouve un paquet de roches friables ayant approximativement 20 m d'épaisseur. Ce paquet de roches représente une surface vulnérable aux pressions hydrostatiques entraînées par le futur réservoir, et il est susceptible d'être partiellement érodé, ce qui permettrait la création de chemins préférentiels pour l'eau et qui mettrait en péril la stabilité de la structure. Il a été donc nécessaire de concevoir un écran en béton élastoplastique pour garantir la sécurité de l'oeuvre. Le remplissage du réservoir est prévu pour l'année 1998.

TREFWOORDEN. — Broosheid ; Stuwdam ; Waterdichtheid.

SAMENVATTING. — *De Borde Seco stuwdam in Venezuela* — De Borde Seco stuwdam, die momenteel door de firma CADAFE in het Andesgebergte (West-Venezuela) wordt gebouwd, maakt deel uit van het hydro-elektrische systeem Uribante-Caparo. Dit hydro-elektrische complex omvat vier grote aarden stuwdammen, zeventien kilometer overhevelingstunnels en drie hoofdwaterkrachtcentrales. Het is samengesteld uit vier hydro-elektrische ontwikkelingen waarvan de eerste reeds afgewerkt en commercieel actief is. De Borde Seco stuwdam vormt een belangrijk deel van de derde ontwikkeling.

\* Communication présentée par M. R. Sokal à la séance de la Classe des Sciences techniques tenue le 28 juin 1996. Texte reçu le 28 juin 1996.

\*\* Membre correspondant de l'Académie, Primera Avenida Los Palos Grandes con Avenida Miranda, Los Palos Grandes, Caracas 1060 (Venezuela).

De aanaarding werd in 1990 voltooid. Rest nog de beslissing m.b.t. de bouw van het waterafstotende-schermstelsel dat de waterdichtheid van de stuwdam moet verzekeren. De Borde Seco stuwdam is een in zones verdeelde structuur van soepel en compact materiaal, 122 m hoog gemeten vanaf de bodem van de uitgraving. Hij steunt op gesteenten uit het krijttijdperk die tot de „Escandalosa” formatie behoren en die uit zandsteen, glauconitische zandsteen, kalksteen, kalkhoudende zandsteen en kleischalie bestaan. De bouw van de stuwdam doet enkele specifieke problemen rijzen vooral wat betreft het bovenste derde van de funderingen aan elke kant van de dam waar zich een ongeveer 20 m dikke massa brosse gesteenten bevindt. Deze gesteenten zijn zeer kwetsbaar voor de hydrostatische druk die het toekomstige bekken met zich zal meebrengen en gevoelig voor de erosie die het ontstaan van preferentiële doorgangswegen voor water zou kunnen veroorzaken en de stabiliteit van de structuur in gedrang brengen. Het was dus noodzakelijk een scherm van elastoplastisch beton te ontwerpen om de veiligheid van het bouwwerk te verzekeren. Het vullen van het reservoir is voor 1998 voorzien.

KEYWORDS. — Dam ; Friability ; Watertightness.

SUMMARY. — *The Borde Seco Dam in Venezuela.* — Borde Seco dam is part of Uribante-Caparo's hydroelectric system which is currently under construction by CADAPE Company on the Andes Cordillera, on Venezuela's western side. It consists of four big clay dams, seventeen kilometres of transfer tunnels and three main hydroelectric stations. It is composed of four hydroelectric complexes, among which the first one has already been finished and is commercially active. Borde Seco dam is an important part of the third complex. The construction of the embankment was ended in 1990. There are still pending the definition and construction of the waterproofing screen system in order to secure the watertightness of the reservoir. Borde Seco dam is a structure divided into zones, composed of compact loose material, 122 m. high, measured from the depth of the foundations. It is supported by rocks from the Cretaceous period, belonging to the "Escandalosa" formation, made of argillaceous sandstones, glauconitic sandstones, limestones, argillaceous limestones and shales. Building the dam on the rocky massif brings up several specific problems, mainly in relation to the upper third part of the foundations on both sides of the dam where there is a friable sandstone bundle approximately 20 m. thick. This bundle covers an area which is vulnerable to hydrostatic pressures generated by the future lake and it is prone to be partially eroded, thus creating preferential ways for water streams, which endangers the stability of the structure. It has been necessary to design an elastoplastic concrete screen to protect the dam. The filling of the reservoir is expected for the year 1998.

## 1. Introduction

La Compañía Anónima de Administración y Fomento Eléctrico (CADAPE) est en train de construire le Complexe hydroélectrique Uribante-Caparo, lequel est un projet à bénéfices multiples. Il consiste à tirer le plus grand profit des ressources hydriques des rivières Uribante, Doradas, Camburito et Caparo,

situées au versant oriental de la Cordillère des Andes, et parmi lesquelles il y a des différences de niveau très remarquables, allant de 1 000 mètres dans le lit de la rivière Uribante à 200 mètres au niveau de la mer dans le lit de la rivière Caparo.

Le fait de tirer profit des débits des rivières, combinés avec les dénivellations topographiques, est rendu possible grâce à la construction de quatre barrages en terre ayant une hauteur de plus de 100 mètres chacun et qui donnent lieu à trois réservoirs interconnectés entre eux par des tunnels de transvasement et des conduites forcées pour aboutir à l'installation de 1 284 000 KW de puissance hydro-électrique approximativement dans trois centrales importantes.

L'ensemble des ouvrages a été divisé en trois développements principaux et un développement complémentaire, ce qui permet sa mise en fonctionnement par étapes, dans le but de s'adapter aux demandes d'électricité et aux disponibilités financières du pays.

Le premier développement, nommé Uribante Doradas, est déjà terminé et sa centrale, San Agatón, est active du point de vue commercial depuis septembre 1987, ayant une puissance installée de 300 MW. Le deuxième développement, nommé Doradas-Camburito, est encore en projet. Le troisième développement, nommé Camburito-Caparo, est composé de deux barrages : La Vultosa et Borde Seco, lesquels donneront lieu à un seul lac ayant une surface de 11 600 hectares et un volume de 5 600 millions de mètres cubes. On va installer au bord du barrage La Vultosa une centrale hydro-électrique équipée de trois groupes générateurs, chacun ayant une capacité de 208 MW pour obtenir une puissance installée de 624 MW. Le barrage Borde Seco est l'objectif principal de ce travail (fig. 1 et 2).

## 2. Le barrage Borde Seco

Le barrage Borde Seco est une structure de sables compactés. Il a une hauteur de 122 mètres, une largeur de 700 mètres à la base et une longueur de 400 mètres au couronnement, pour un volume de 6,5 millions de mètres cubes de matériaux. La cote de fondation est 198 et la crête du barrage atteint la cote 320. Le niveau des eaux maximal normal est prévu à la cote 310 (crête du seuil du déversoir) et les niveaux des eaux maximaux éventuels à la cote 317. Le niveau minimal d'opération est situé à la cote 290. Le talus amont a une pente de 2.5H : 1V et le talus aval a une pente de 2H : 1V. Dans son profil transversal, qui montre la section maximale du barrage, on peut constater que le remblai a des zones différentes, constituées par des matériaux ayant des caractéristiques spécifiques. Bref, la structure correspond à celle d'un barrage en terre divisée en zones, qui consiste en un noyau de sable sélectionné et de perméabilité basse, un filtre incliné et adjacent au talus à l'aval du noyau et de couches de protection aux talus amont et aval,



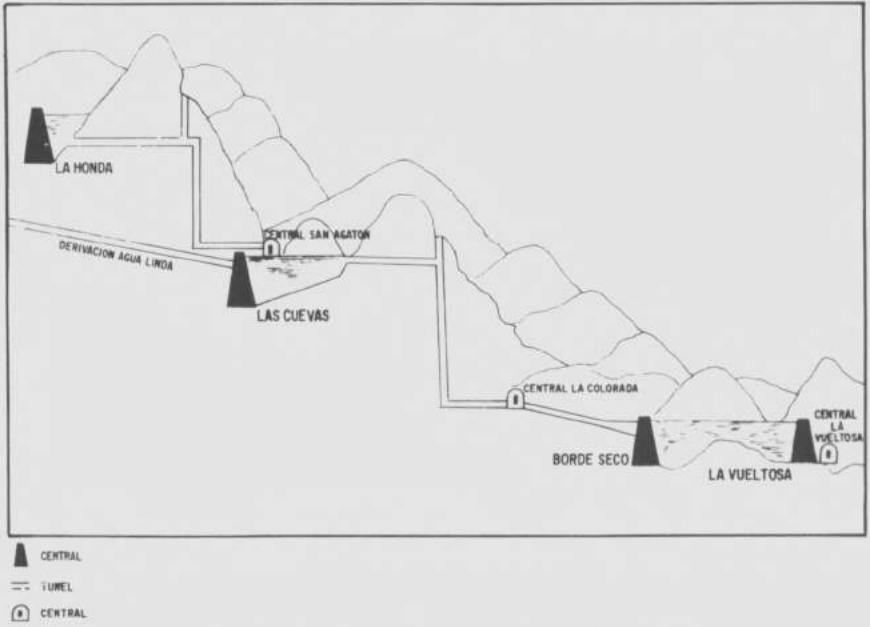


Fig. 1. — Schéma du projet d'aménagement Uribante-Caparo.

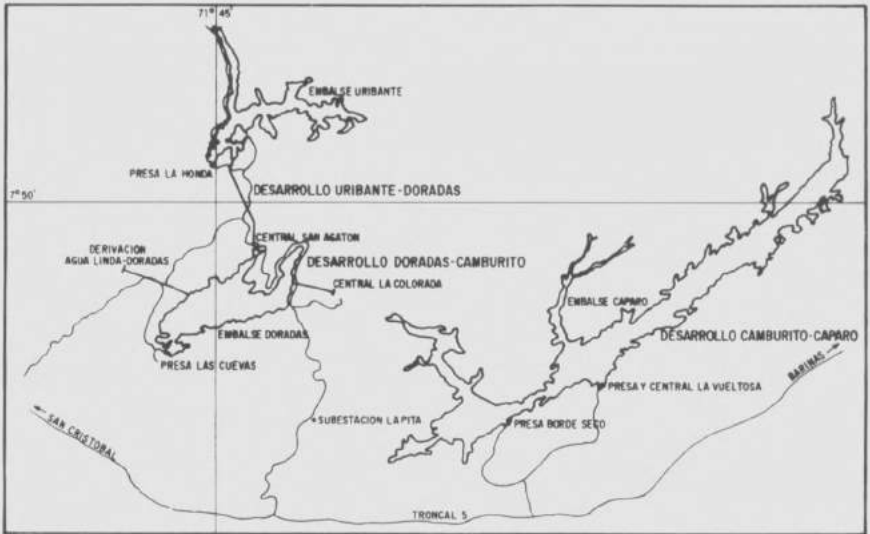


Fig. 2. — Plan de retenue de l'aménagement.

composées de grès, gravier et enrochements. Le batardeau a une hauteur de 45 mètres, un volume de 794 000 mètres cubes et il est incorporé au corps principal du barrage (fig. 3).

Le barrage Borde Seco a aussi des ouvrages connexes, tels un tunnel de déviation et de décharge de fond et un déversoir.

Le tunnel de déviation se trouve sur l'appui droit du barrage, et il a une longueur de 650 mètres. Les premiers 320 mètres sont à section circulaire, revêtue de béton armé, ayant un diamètre intérieur de 5 mètres. La travée suivante à l'aval a une section en fer à cheval de 5 de largeur et 5 mètres de hauteur. Entre les deux travées, on trouve une chambre qui renferme deux vannes rectangulaires qui permettront de mettre en fonctionnement le tunnel de déviation en tant que décharge de fond, afin de contrôler le remplissage du réservoir et éventuellement de permettre sa vidange, dans le cas où il y aurait une situation d'urgence. Un tunnel d'accès d'une longueur de 230 mètres met la chambre de vannes en communication avec l'extérieur.

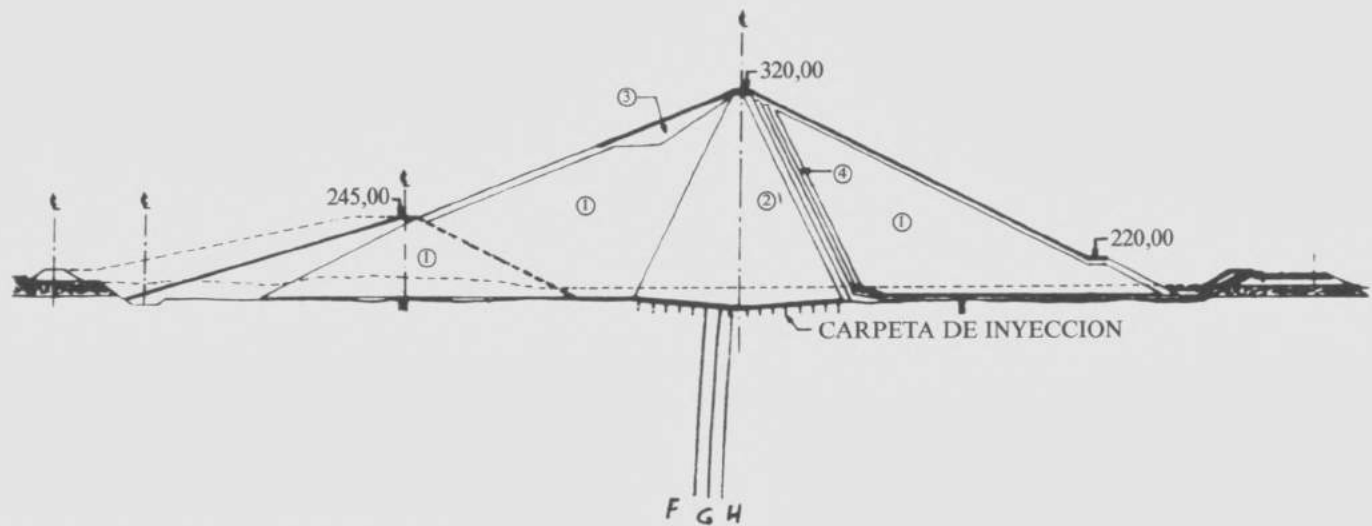
Le déversoir se trouve sur l'appui droit du barrage. Il représente une structure en béton ouverte qui comporte un canal d'approche, un déversoir en béton avec un seuil à la cote 310, une largeur de 20 mètres et une hauteur de 10 mètres jusqu'à la cote 320. Après le déversoir à seuil libre, sans vanne, on a le canal de décharge, qui a une structure de type «saut de ski» tout à la fin. La longueur totale de la structure est de 364 mètres. Il comporte un volume de 29 000 mètres cubes de béton armé. Les dalles se trouvent ancrées à la roche de fondation à travers un quadrillage à boulons profonds. Le déversoir a une capacité de décharge de 755 mètres cubes par seconde et un système d'aération afin d'éviter les phénomènes de cavitation.

### 3. Les fondations du barrage Borde Seco

#### 3.1. GEOLOGIE

Le barrage Borde Seco est situé sur un endroit composé de roches de la formation «Escandalosa», de l'âge du Crétacé moyen, constitué de grands paquets de grès glauconitiques avec intercalations de lutites et de limolites, ainsi que des couches sablonneuses friables et des calcaires et des grès calcaires fossilifères qui deviennent latéralement sablonneux à la partie supérieure des appuis. A cet endroit il y a un anticlinal asymétrique à direction N50E, par effet tectonique de la faille de la rivière Caparo, laquelle contrôle l'orientation de la vallée vers la même direction. Le flanc nord en amont atteint une pente de 39 degrés, et le flanc sud à l'aval montre une inclinaison douce de 10 degrés ; à l'axe du barrage l'inclinaison des couches est presque horizontale.

Parallèlement au développement de l'anticlinal, se développe un système de diaclases à inclinaison presque verticale. Dans la position orthogonale, par



- ① ESPALDONES (ARENISCA GRUESA)
- ② NUCLEO (ARENISCA FINA)
- ③ ENROCADO
- ④ DREN Y FILTROS PROCESADOS

Fig. 3. — Coupe du barrage Borde Seco.

rapport à celui-ci, on trouve un deuxième système de diaclases ouvertes, remblayées avec du grès friable à la partie haute du milieu de l'appui droit. Le système de diaclases à direction nord-est, parallèle au flux de la rivière, montre une fréquence basse et il est normalement fermé. Cependant, il représente un chemin favorable au déplacement des eaux du barrage vers l'aval. En raison de la faille de la rivière Caparo, d'autres failles se sont produites, ce qui a impliqué un déplacement de petits blocs dans la partie amont des appuis, dans le réservoir, sans mettre en danger la zone des appuis qui soutiennent le barrage. Ces déplacements produisent perpendiculairement d'autres déplacements qui ont lieu sur des couches de lutites.

La séquence sédimentaire au siège du barrage Borde Seco est composée de grosses couches de grès glauconitiques, alternant avec quelques couches de lutites et de calco-grès fossilifères. Au niveau de la géologie locale, ces grès à dégradation facile, contenus dans les strates, sont connus sous le nom de couches «bioturbadas». Néanmoins, tout au long ce travail, ils seront identifiés comme des grès friables, terme plus en accord avec le processus constructif et l'ingénierie civile, le premier faisant référence à un processus géologique qui a eu lieu lors de la phase de sédimentation au niveau primaire.

Le creusement final du barrage est situé à une cote moyenne de 200 au fond des fouilles. On peut constater une séquence stratigraphique avec une épaisseur qui oscille entre 130 et 150 mètres pour les deux appuis. A ce propos, on a défini, selon le type de roche et le degré de météorisation, trois niveaux ou paquets de roches (fig. 4) :

— Niveau inférieur

On le trouve entre les cotes 200 - 225. Il est composé de grès glauconitiques verdâtres, de roches saines et résistantes, peu fracturées. Cependant, quelques couches minces de grès friables peuvent être présentes de façon intercalaire ; ces couches sont facilement érodées sous l'effet de la pluie.

— Niveau moyen

On le trouve entre les cotes 225 - 283. Il présente des couches à grès glauconitiques, des couches à grès calcaires macro-fossilifères, avec intercalations de couches très minces de lutites grises. Cette section est légèrement peu résistante dans la partie du milieu ; la partie supérieure est composée de grès sain et résistant. Cette zone se trouve séparée du secteur calcaire par une lutite dont la couleur varie du gris au gris obscur à la cote 260, avec une épaisseur de deux mètres approximativement.

— Niveau supérieur

Ce niveau peut être divisé en deux sections bien définies.

3.1.1. *Section friable inférieure*

Cette section est confinée entre deux couches de lutites, situées dans les cotes 283 et 301, avec des épaisseurs moyennes de deux mètres chacune, de

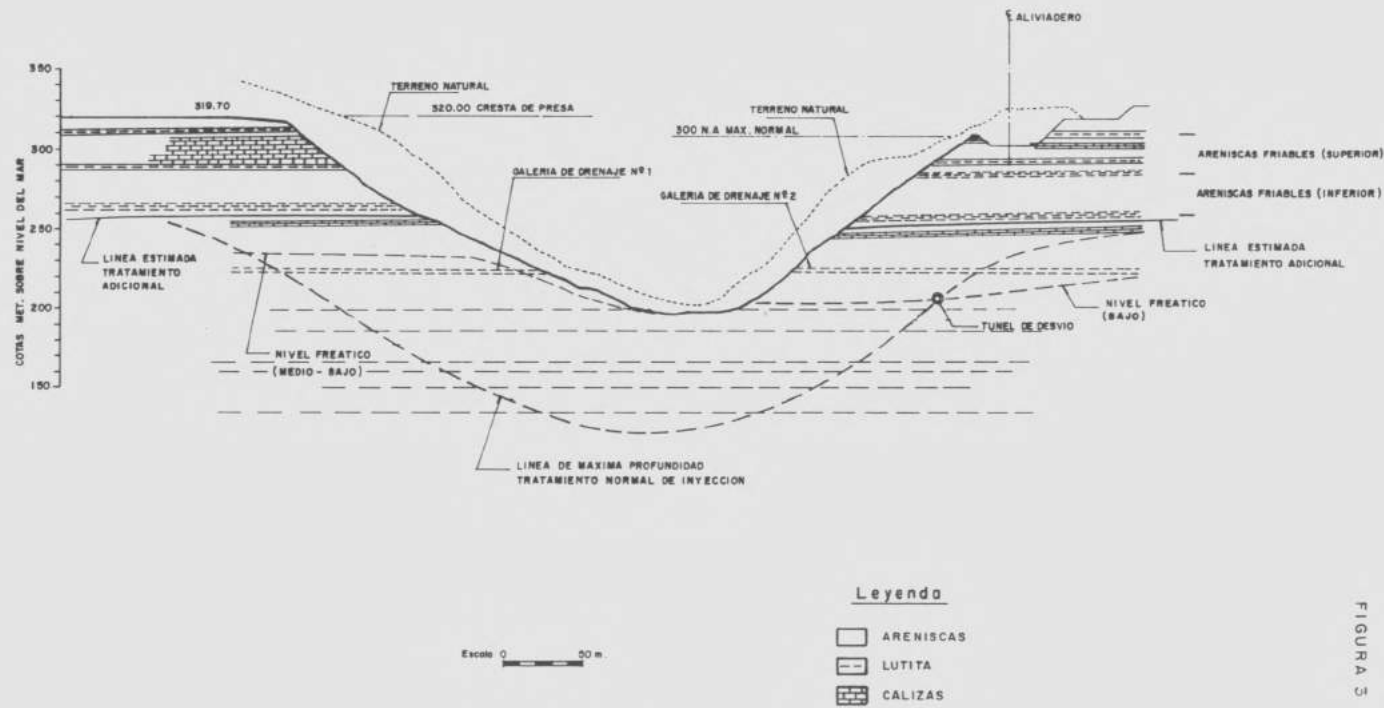


Fig. 4. — Coupe géologique du barrage Borde Seco.

couleur gris obscure, légèrement limoneuses, avec une plasticité entre moyenne et basse.

Les couches qui composent ce paquet stratigraphique sont formées par des grès calcaires à la partie supérieure, ayant des horizons à grès friables et fossilifères. Elles ont une épaisseur qui varie de 0,30 mètres à quelques mètres, avec une forme lenticulaire. On constate la présence de vides comme conséquence d'un processus de solubilité, ce qui fait augmenter considérablement la perméabilité du secteur, surtout à l'appui droit, sous la fondation de la structure du déversoir.

Il existe dans la partie du milieu une séquence de grès légèrement calcaires, de couleur grise et marron, avec un grain variant de moyen à gros, et une résistance de moyenne à modérée. On y trouve également des couches minces à grès friables de façon intercalée. On y constate un paquet sous-jacent de grès friables, avec des horizons peu consolidés, qui sont désagrégés sous la pression des doigts, et parfois on y trouve des grès glauconitiques à résistance modérée.

### 3.1.2. *Section friable supérieure*

Elle se trouve à la partie supérieure des appuis, au-dessus de la cote 305. Elle va même au-delà de la cote 320 et s'étend vers la partie intérieure des massifs formant les appuis. L'appui pour cette section est composé de grès au grain variant de moyen à limoneux par rapport à son développement latéral, d'une couleur grise claire à marron ; on y trouve de façon supra-jacente des grès à grain moyen et fin, qui oscillent entre grès peu cimentés et grès friables, très perméables ; à la partie supérieure des zones latérales, on trouve des grès à grain moyen ou fin, légèrement résistants, qui alternent avec des grès friables facilement érodables. Tel qu'on peut le constater, ce dernier niveau montre une grande hétérogénéité en ce qui concerne la consolidation, la résistance et la variation de la perméabilité, ce qui en fait un secteur à haut risque lors de la mise en fonctionnement du barrage, c'est-à-dire lorsque le remplissage du réservoir est accompli. Il sera donc nécessaire de lui donner un traitement spécial.

Les roches qui présentent le plus grand risque sont celles ayant si peu de cohésion qu'elles se comportent pratiquement comme si elles étaient constituées de terre. Les remplissages, avec du matériel souple, des fractures des roches les plus résistantes pourraient faciliter l'apparition de phénomènes de renards (piping), particulièrement en ce qui concerne le contact appui-barrage, lesquels se développeraient rapidement en raison de la haute perméabilité primaire et de l'érodabilité de ces matériaux.

## 3.2. TRAITEMENT DE LA FONDATION

Afin d'améliorer les conditions mécaniques et de diminuer le degré de perméabilité des roches présentes tant à la surface qu'en profondeur, on a

mis en pratique des processus d'injection d'un mélange d'eau-béton-bentonite, selon des critères préétablis quant à la distribution des forages, les types de laitances et pressions à utiliser d'après la profondeur et la capacité d'absorption des roches présentes dans chaque cas. Le traitement des fondations a nécessité, en pratique, des injections de consolidation, un écran d'injections profondes et un écran de drainage.

### 3.2.1. *Injections de consolidation*

Le processus d'injections de consolidation ou amélioration superficielle de la roche afin d'augmenter sa capacité de charge s'est effectué avec les roches sablonneuses qui se trouvent dans le lit de la rivière et dans la zone des appuis dans les lignes qui définissent le noyau du barrage. La distribution des forages a commencé avec un réseau de  $8 \times 8$  mètres dans des forages primaires ; après il a été réduit de moitié, avec une disposition en quinconce. Il a fallu faire des forages secondaires, tertiaires, etc., selon la capacité d'absorption des roches ou leur degré de fracturation.

La profondeur initiale de chaque forage a été de 6 mètres ; elle a été ensuite augmentée jusqu'à 10 mètres à cause de la découverte d'une grande absorption de coulis et de pertes d'eaux pendant le processus de forage. Cette profondeur, adoptée finalement, a été injectée dans deux travées de cinq mètres de façon ascendante ; dans quelques cas il a fallu injecter de façon descendante lorsqu'on a constaté des pertes d'eau ou des problèmes géologiques tels que des éboulements aux parois des forages. L'avancement de ce processus d'injection a été fait à partir de l'axe du barrage vers les épaulements et du lit de l'appui vers sa partie haute.

La pression d'injection employée à la phase de consolidation a été de  $1,5 \text{ Kg/cm}^2$  à l'appui supérieur, jusqu'à atteindre la pression spécifique dans chaque cas. Normalement, le forage s'est appliqué de façon inclinée jusqu'à atteindre une position orthogonale par rapport à la surface de la fondation. Cependant, on a pris en considération l'inclinaison des fractures et de la stratification afin de donner une meilleure orientation aux forages d'injection. Ainsi, on a soumis les fractures les plus importantes à un traitement spécial pour les croiser complètement et, de cette manière, obtenir une meilleure injection et, par conséquent, un meilleur traitement.

Mis à part les injections dans les appuis, il a fallu injecter également quelques zones à haute fracturation qui devaient supporter des structures importantes. Tel a été le cas de la fondation du déversoir au secteur du seuil, où l'on a pu constater aussi des crevasses remplies de matière souple. En principe, on a commencé à injecter directement dans la roche, puis à travers la dalle de fondation dans des endroits où les fuites du coulis d'injection à la surface étaient encore importantes.

### 3.2.2. Injections d'écran

L'écran d'étanchéité est placé à une distance de 6,5 mètres à l'amont de l'axe du barrage. Il est formé par trois lignes séparées de 1,25 mètres, nommées dans ce cas ligne H (à l'aval), ligne F (à l'amont) et ligne G ou de fermeture (au centre). Pour l'exécution des trois lignes d'injection d'écran, on a construit un parement de béton avec une largeur de 3,5 mètres et une épaisseur d'un mètre dans les deux appuis (fig. 5).

La méthodologie employée pour l'exécution de cet écran a été la suivante :

- Exécution de Forages Exploratoires, FE, dans la ligne centrale, avec récupération des échantillons, essais de perméabilité du type Lugéon et injection dans des travées de 5 mètres, espacées tous les 40 mètres ;
- Exécution de forages primaires, FA et FB, dans la ligne centrale ;
- Processus évaluatif des forages FE, FA et FB, y compris la description lithologique des échantillons et la détermination des rangs d'absorption selon les caractéristiques des roches et de leur profondeur ;
- Exécution du programme d'injections en descendant, selon les résultats de la ligne G ou ligne centrale ;

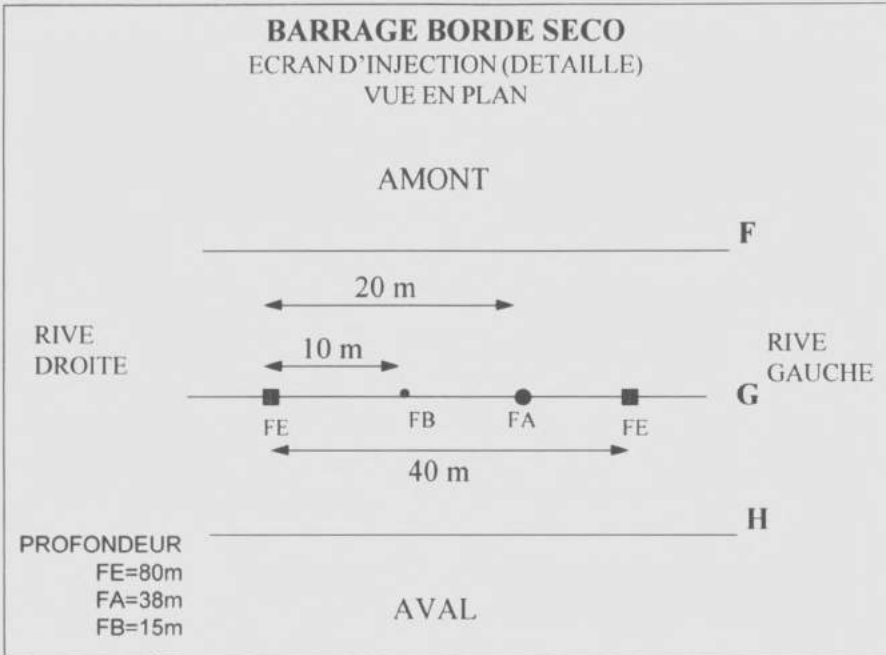


Fig. 5. — Schéma de principe du rideau d'injection.



- Exécution du programme d'injections en montant, selon les résultats de la ligne G ou centrale ;
- Evaluation du programme antérieur par l'exécution dans la ligne G ou centrale de forages de vérification, avec récupération des échantillons et exécution d'essais de perméabilité du type Lugéon.

La profondeur de l'écran a été estimée préalablement à un maximum de 60 mètres. Cependant, d'après le degré d'absorption obtenu à cette profondeur, on a approfondi jusqu'à atteindre le critère d'une absorption inférieure à 25 Kg/m, sans prendre en compte le type de forage dans lequel on est en train d'injecter. Normalement, le procédé d'injection a été fait en montant et on a obturé des petites travées seulement en cas de perte d'eau pendant le percement afin de procéder au recouvrement des crevasses, et l'on a continué à percer à la profondeur préétablie.

La méthode d'injection en descendant a été employée principalement dans les cotes supérieures des appuis, dans le secteur de roches friables, parce que la capacité d'auto-support de la roche est très basse, ce qui entraînait l'apparition d'éboulements de matériaux dans les forages.

L'analyse des percements faits pendant l'étape d'étude pour le choix géotechnique de l'endroit du barrage et des forages exploratoires FE, effectués lors de l'exécution de l'écran à injection, a permis de définir des caractéristiques géologiques différentes, à savoir :

- Zone 1 (cotes 145 à 225)  
Grès à grain fin ou moyen, cimentés, durs, contenant de la glauconite, ce qui leur donne une couleur verdâtre avec des tonalités différentes. La roche devient plus résistante aux cotes inférieures, atteignant de très hauts pourcentages de récupération, avec un index de qualité de la roche, R.Q.D., au-delà de 75 %.
- Zone 2 (cotes 225 à 283)  
Grès calcaires, grès glauconitiques, calcaires fossilifères, avec un bon pourcentage de récupération et un R.Q.D. très haut.
- Zone 3 (cotes 283 à 319)  
C'est un secteur qui correspond à un niveau de grès friable qui a en plus des couches calcaires et de grès calcaires d'une épaisseur de 2 et 3 mètres. On y trouve deux couches de lutites avec une épaisseur de deux mètres chacune, une à la base et l'autre dans la partie du milieu, laquelle divise le paquet de grès friables en deux parties : une partie inférieure et une partie supérieure. Les grès friables présentent une perméabilité très haute, et le pourcentage de récupération est très bas, ainsi que l'index de qualité de la roche, R.Q.D.

Cette exploration a permis de définir le niveau phréatique en dessous de la cote 197 proche du fond de la rivière, ce qui indique que la roche est

fracturée jusqu'à ces niveaux ; on a même identifié des forages artésiens sous le lit originel de la rivière.

La partie supérieure des appuis est d'une haute perméabilité, entre 50 et 100 U.L. (Unités Lugéon) et même plus, principalement dans le secteur de grès friables à lentilles calcaires, proche des premiers mètres de la surface.

Les pertes d'eau dans ce secteur ont été grandes, ce qui indique la haute perméabilité de la roche en présence de calcaires solubles qui lui donnent un aspect poreux. Cette condition de haute perméabilité est aussi présente près de la cote du fond de la rivière. Dans le reste du massif, la perméabilité se situe entre 0 et 10 U.L.

Cependant, on a pu constater dans les échantillons des forages de vérification que le coulis d'injection n'a pas circulé dans la matrice des roches friables, et c'est la raison pour laquelle la perméabilité propre à la roche n'a jamais diminué, ni le coulis n'a circulé dans les poches de sable souple présentes dans les fractures et dans les diaclases ; par conséquent, l'eau pourrait, éventuellement, circuler par là, sans aucun obstacle, pendant et après la période du remplissage du réservoir.

D'après ce que l'on vient de dire, il faut donc penser à un traitement additionnel et à un contrôle plus étendu concernant le déplacement de particules fines pendant la période d'opération du barrage.

Dans la partie supérieure des appuis, sur la cote 280, on a constaté des pertes de coulis très élevées, ce qui peut être une conséquence du lavage de matériel friable avec fuite vers les cavernes de calcaires ou vers une fracture de ces roches. La première situation serait un phénomène à haut risque si on ne procède pas au remplissage complet des cavernes, parce qu'il entraînerait des tassements différentiels aux appuis, ce qui mettrait en péril toute la structure.

Il est important de prendre en considération la forme lenticulaire des calcaires rendant difficile leur localisation exacte dans les appuis, ce qui est essentiel si l'on veut effectuer un remplissage total de leurs vides. Cependant, il convient de noter que ces calcaires vers le secteur en amont montrent un changement vers des grès cimentés, peu fracturés ou ayant des crevasses remplies de matière fine, ce qui contribuerait à éviter la fuite des eaux à partir du réservoir. Néanmoins, quel que soit le comportement en amont de la géologie présente et quelle que soit la solution finale que l'on prenne afin d'éviter la fuite des eaux du réservoir vers l'aval, dans les appuis, et en tenant compte du possible charriage ou érosion dans les grès friables, il faut un contrôle des eaux infiltrées moyennant un rideau de drainage.

### 3.3. CONSIDERATIONS GEOTECHNIQUES

— Les différents types de roches existant dans les appuis du barrage, tels que roches calcaires et grès friables, lesquels montrent une haute perméabilité après le processus d'injection, rendent nécessaire la prise en considération

du besoin d'un contrôle plus étendu afin d'éviter la fuite des eaux du réservoir vers l'aval ;

- Si, après avoir analysé les études sur l'exploration additionnelle mises en œuvre, on constate que, dans l'appui rive droite, la couche météorisée de grès comporte une perméabilité très basse, il serait nécessaire de penser seulement à un contrôle spécifique afin de protéger la fondation de la structure du déversoir, qui se trouve sur des roches calcaires, lenticulaires, cavernueuses remplies de matériau souple, pour éviter le charriage de matériau fin et procéder au remplissage des grands endroits vides dans les couches calcaires qui se trouvent à cet endroit et plus profond dans l'appui ;
- Concernant l'appui rive gauche, si l'on constate une faille dans la partie supérieure de cet appui et dans le cas où il y aurait une perméabilité très basse, il fonctionnerait comme un drain naturel par rapport au flux des eaux. De la même manière que l'appui rive droite, il faut un remplissage des cavernes présentes dans l'appui rive gauche, afin d'éviter l'entraînement de matériau fin friable vers ces cavernes, car cela impliquerait un facteur de déstabilisation pour la zone et mettrait en danger la structure même du barrage ;
- Il est nécessaire de faire remarquer que le résultat de l'injection de coulis dans les grès friables n'est pas tout à fait satisfaisant, parce qu'on peut constater que les laitances ne les ont pas pénétrés et que le processus n'a fait que remplir les crevasses.

#### 4. Conclusions

Les conditions géotechniques de la roche à la partie supérieure des appuis ont mené le projeteur à proposer une solution avec un écran à béton élastoplastique pour les deux appuis, entre les cotes 280 et 310 approximativement, sur une longueur d'environ 400 mètres vers l'intérieur des massifs, afin d'éviter la fuite des eaux du réservoir vers l'aval.

Dans les études faites actuellement, il faut inclure des forages dès la surface du terrain jusqu'au fond des fondations du barrage, récupérer des échantillons et faire des essais sur la perméabilité afin d'établir les dimensions réelles et nécessaires de l'écran à béton pour qu'il puisse accomplir son objectif de garantir l'imperméabilité du massif rocheux. Dans ce cas, il faut prendre en considération les expériences concernant l'appui rive gauche du barrage La Honda, construit sur la rivière Uribante, dans cette même région où un mur semblable a dû être construit.

Quoi qu'il en soit, la solution finale à prendre pour éviter des problèmes de renards à l'intérieur des appuis consiste à construire un rideau de drainage afin de contrôler le comportement de l'eau souterraine en aval, ce qui permettra

de vérifier l'existence d'entraînement de matériau des grès friables et ainsi de prendre les précautions nécessaires pour garantir la sécurité de l'ouvrage.

Pour rédiger cet article, nous avons utilisé des informations élaborées par CADAPE, propriétaire de l'œuvre, par TECNOCONSULT, projeteurs du barrage, et par le CONSORCIO INPROMAN VBL, compagnie d'inspection. Que tous reçoivent nos plus profonds remerciements.

#### BIBLIOGRAPHIE

- CADAPE 1987. Uribante-Caparo Proyecto de usos múltiples. — Caracas.
- SOKAL, R. & VILLALTA, D. 1991. The hydro-electric scheme of Uribante-Caparo in Venezuela. — *Bull. Séanc. Acad. R. Sci. Outre-Mer*, 36 (1990-4) : 751-760.
- TORRE PANISI, F. 1988. Las Capas Bioturbadas de Borde Seco. — III Convención Venezolana de Geólogos en San Cristóbal.
- VILLALTA, D. 1989. Uribante-Caparo. Aprovechamiento Hidráulico Total. — *Revista El Agua*, Caracas, 48 : 19.

#### DISCUSSION

**R. Paepe.** — Il est surprenant de constater que des instances respectables comme la Banque Mondiale, la Banque interaméricaine et le Gouvernement Vénézuélien investissent dans un grand complexe de barrages à construire sur un terrain faillé et poreux par sa condition géologique, notamment la formation «Escandalosa» bien connue et réputée parmi les géologues. L'étude géologique élaborée par l'E.D.F. semble avoir également été minimisée. Faut-il en conclure que d'autres normes de financement sont appliquées pour l'étude du site et, dans ce cas, quel degré de risque peut-on éventuellement en déduire ?

**R. Sokal.** — Les deux chocs pétroliers ont fait prévoir par les instances internationales des prix du brut dépassant rapidement les 40 dollars U.S. par baril. Dans ces conditions, des aménagements hydrauliques, même difficiles, furent considérés comme rentables. En ce qui concerne l'EDF, il s'agissait d'une investigation préliminaire des sites et il ne semble pas que l'on ait considéré des barrages supérieurs à 60 m. Jusqu'à cette altitude, la géologie ne présentait pas de difficultés majeures. En fait, ce sont les bureaux américains réputés, comme TAMS et HARZA qui ont négligé, lors des études de factibilité, d'étudier les couches supérieures connues sous le nom de «bioturbadas» ou bio-perturbées.

## The Complex Food-Energy Nexus : Is the Provision for Food and Energy Sustainable ? \*

by

F. W. K. MALU \*\*

KEYWORDS. — Energy ; Food ; Sustainability.

SUMMARY. — The interdependence of nations and peoples is no longer a question of faith. It is now a fact. It is perceived by all parts of the world as necessary and desirable. However, it has not been sufficiently translated yet into the kind of radical economic, social, political and ecological decisions needed to solve global problems of unparalleled nature and magnitude that confront mankind. Among such problems is the sustainability of the provision of food and energy in the light of the constraints that arise from the complex food-energy nexus.

MOTS-CLES. — Durabilité ; Energie ; Nourriture.

RESUME. — *L'interconnexion complexe nourriture - énergie : la fourniture en nourriture et énergie est-elle durable?* — L'interdépendance des nations et des peuples n'est plus un article de foi. C'est un fait. Tous la perçoivent comme nécessaire et souhaitable. Encore faut-il prendre les décisions économiques, sociales, politiques et écologiques nécessaires pour résoudre les problèmes globaux, de nature et de dimensions sans commune mesure avec le passé, auxquels l'humanité est confrontée. Parmi ces problèmes figure la question de la fourniture durable de nourriture et d'énergie en regard des contraintes engendrées par l'interconnexion complexe nourriture-énergie.

TREFWOORDEN. — Duurzaamheid ; Energie ; Voedsel.

SAMENVATTING. — *De complexe voedsel-energie samenhang : zijn de voedsel- en energievoorraden onuitputtelijk?* — De onderlinge samenhang van naties en volkeren is niet langer een geloofsartikel, het is een feit. Ze wordt door eenieder als nodig en wenselijk ervaren. Nochtans moeten de nodige economische, sociale, politieke en milieu-maatregelen nog genomen worden om de globale problemen — qua aard en omvang zonder voorgaande — waarmee de mensheid geconfronteerd wordt, op te lossen. Tot deze problemen behoort de vraag of de voedsel- en energievoorziening op lange termijn niet in het gedrang zal komen, rekening houdend met de beperkingen veroorzaakt door de complexe voedsel-energie samenhang.

---

\* Paper presented by Mgr. L. Gillon at the meeting of the Section of Technical Sciences held on 23rd March 1996. Text received on 15th February 1994.

\*\* Corresponding member of the Academy ; Commissaire général à l'Energie atomique ; B.P. 868 Kinshasa XI (Zaire).

## 1. Introduction

Mankind is living a period of rapid change. Man is entering a new era in his history. A new world is emerging, characterized by an increasing number of global, complex, eco-development [1] \* problems facing humanity. The development issues that arise from the consideration of these problems can be summarized by the following question: "How to achieve a peaceful transition to a world of 8 to 10 billion people, forecast for around the year 2030, which is in a sustainable balance with natural resources, while insuring an equitable distribution of well-being, with the earth system remaining resilient to foreseeable and unforeseeable shocks?"

## 2. The driving forces of unsustainable practices

Rapid population increase and poverty in the Third World, growing income in the developed countries which increases the demand and consumption of goods and services, are the driving forces of unsustainable practices that impair the survival of mankind. The mismanagement of the earth resources increases the environmental, socioeconomic and political costs of eco-development. The problems that arise from insufficient attention paid to these costs are manifold and generally interwoven. They cannot be solved unless one strikes the right balance between the concern for ecological sustainability and the concern for equitable socioeconomic development worldwide.

## 3. The food and energy issue

Raising the standard of living of the poor countries requires solving in priority the problem of the sufficient provision of food and energy, as the case of Africa demonstrates [2]. This requires a substantial increase of the efficiency of the food and energy production process, without adding new stresses to the earth resources base. For this task it is necessary to have a better understanding of the constraints arising from the nature of the food-energy nexus. The broad issues related to the use of energy in agricultural production and to the use of biomass to produce energy has been the subject of many studies. The energy requirement of the agricultural production technologies and the energy potentialities of agricultural products has been considered extensively [3]. Yet food and energy security for everyone has not been attained. In spite of the massive use of capital intensive synthetic inputs, one assists to the decreasing effectiveness of the food production systems [4].

---

\* The numbers in brackets [ ] refer to the notes and references pp. 687-688.

Besides, the environmental and financial costs of the energy supplies available to the majority of the world's population is already excessive [5].

Obviously, the sustainable provision of food and energy is a complex problem. This is due, in part, to the fact that the food and energy problematics reinforce each other in a negative, cumulative causation process. One is often confronted with a vicious circle: rising fuel price results in increased transportation and agricultural costs, which in turn increase the food price beyond the reach of an ever increasing world population whose demand for food adversely affects the productivity of the earth resource systems. This leads to a further increase in the costs of energy. The vicious circle leads often to sociopolitical upheaval and ecological disruptions.

Only one decade ago the productivity of modern big agriculture, based on massive use of agrochemicals, was highly celebrated. It was supposed to solve the food problem worldwide. Yet the harvest of the plenty had its toll on the environment: contamination of groundwater by fertilizers and pesticides, increased resistance of pests, soil degradation [6]. It seems that the success of the agriculture, based on energy and capital-intensive agro-chemical inputs, is slowly becoming a liability. An increasing number of farmers are returning to the traditional "organic farming", the so-called "alternative agriculture". The low-input organic farming has a great number of advantages although the yield is lower [7]. It makes sustainable agriculture more easily attainable in the Third World than conventional farming based on massive use of agro-chemical inputs.

Indeed the "green revolution" technologies and strategies of the 1960's were valid answers in countries where suitable infrastructures and government services such as extension, credit, high and steady supplies of various synthetic inputs were readily available. In many Third World countries, particularly in Africa, these optimal growing conditions were and remain quasi inexistent. Thus the results of the green revolution technologies have been disappointing. The "appropriateness" of the green revolution technologies for small-scale, low-input farming systems in the tropics is thus called into question.

Some are of the opinion that this state of affair calls for a new perception of the concept of development [8]. They argue that the transition to the sustainable provision of food and energy entails far more sweeping changes than simply the shifting from one technology to another, from one resource to another. It requires radical transformation in the panoply of food and energy technologies. It calls for change in the structure of institutional, economic and individual relationships. It needs a modification in the philosophy, values and goals underlying social and political structures and behaviours. It imposes the reconciliation of two driving forces: the ability of advanced science and technology to enhance productivity of labour on the one hand, the exhaustion of resources that diminishes the productivity of other factors of production on the other hand.

In order to implement a sound and efficient rural modernization, prerequisite for a sustainable provision of food and energy, one must enhance the capacity of social organization to respond creatively to constraints and opportunities. To help on this endeavours it is necessary :

- To define new priorities for the global science [9] and technology agenda for the twenty-first century ;
- To shape new approaches to a sustainable socioeconomic development, not necessarily consistent with the models derived from the historical experiences of the developed nations ;
- To define new management methods for nature resources base ;
- To assess more correctly the importance of biotic and abiotic stresses that impede the intensification of food and energy production.

#### 4. Priorities for science and technology

The previous assessment of the food and energy issue is at the root of the scientific and technological efforts, underway, aimed at changing practices in the agriculture and energy sectors to insure the sustainable provision of the production of food and energy. A global agenda of science and technology is proposed [10]. The agenda takes into account the fact that the key to achieving a sustainable eco-development is not only scientific and technological but also economic, social and political. It thus concerns individual human behaviour also. The following questions have to be answered [11] :

- What are the major constraints and obstacles to a successful application of science in order to achieve a sustainable eco-development for all ?
- Can science and technology contribute significantly to a sustainable eco-development within the present institutional policy-making process in the World ?
- How to reconcile economic competition, which requires proprietary knowledge and technology, with the need for a sustainable eco-development, which requires open access to scientific knowledge and technological results ?
- Can the hybridization of knowledge and know-how of different nature be compatible with the active promotion of cultural identity taking place in various parts of the World, particularly in Europe ?
- Is a global scientific and technological agenda compatible with the disparity in local resources, capabilities, training, education ?

The above questions and the proposed answers should be considered within a major principle : "The end-result of the cooperation in science and technology is not to give a fish, neither to provide a fishing rod, nor to teach how to



fish ; it is to give means to invent fishing and look for how to make science and technology serve the needs of the majority of human beings" [12].

The food-energy nexus provides a convenient way to test the above principle. The principle can be viewed as a requirement to applying shared science and technology results to find specific local solutions to global and pressing problems, in cooperation with others, for the same end-result : sustainable eco-development for mankind. The main topics of scientific and technological research efforts regarding the sustainable provision of food and energy are as follows :

- Production and efficient utilization of food and biomass energy. The main problem here is to take properly into account the social and ecological cost of technologies.
- The effects of the energy price spiral on food price. The main problem here is to study the regressive social and ecological impact of the increases in real price of energy and food in terms of income distribution and shift in consumption patterns.
- The utilization potential of biomass energy versus other forms of energy production in the Third World. The suggestion here is to consider simultaneously the food and energy co-production systems instead of the traditional single-purpose agricultural or energy projects, usually evaluated on micro-economic basis only, with no consideration of the social and ecological costs.
- The efficient use of waste to complement the use of energy intensive inputs of the agricultural production systems.
- The energy efficiency of food systems at all stages. The aim is to define an energy profile of food systems that is as low as possible.
- The influence of culture on the linkage between food and energy production. The objective here is to obtain a maximum "delinking" between food production and processing and different sources of energy, particularly fossil energy.

The specific issues of the proposed scientific and technological research agenda are :

- Development of analytical tools needed to assess the complex food-energy linkages ;
- Assessment of the nature of the linkage between food and energy with maximum "delinking" as an objective ;
- Assessment of the nature and cost (that is economic, social, ecological cost) of alternative production systems with the aim to lower the energy profile of the chain food systems, with due regard for co-production systems ;

- Assessment of the best strategy for a smooth transition to a more efficient energy and food production system ;
- Assessment of the constraints and opportunity of a low-input sustainable agriculture based on the combination of conventional and organic farming ;
- Assessment of the means to increase the tremendous accumulation of ecological, social, economic and toxicological knowledge necessary to cope with the requirement of a sustainable food and energy production, as regards for example the integrated weed management [13].

### 5. Basic trends and policies

To help the scientific and technological efforts to insure growth, equity and sustainability in the food and energy production front, specific policy instruments must be developed. Policy analysis framework or models must also be developed to determine quantitatively, as well as qualitatively, the impact of policies on the requirements of the sustainable provision of food and energy. This is necessary in order to evaluate the merit of alternative policies.

Because of the rapid increase of the world population, the following basic trends seem unavoidable and should be taken into account in devising national and international policies concerning the food-energy nexus :

- There will be more intensive cultivation of land which will lead to increased environmental degradation.
- A significant increase in the environmental cost of inputs (water, land, fertilizers, energy) is unavoidable in order to increase the agricultural yield.
- A technological transformation of agriculture is necessary as the basic agricultural resources become more scarce and expensive.
- The uncertainty of energy supply and the subsequent increasing cost will make the obtention of higher yield of farming harder to achieve using present techniques of production. Furthermore, energy-deficient countries with sufficient food supply are likely to divert an increasing proportion of their resources to energy plantation with negative effects on world food system.
- The environmental impact of present and new agricultural technologies poses the question of sustainability of food and energy provision for mankind.
- Because of the environmental feedback, which brings to the fore the question of the sustainability of techniques of production of food and energy, the nature of the technology available becomes more critical in formulating appropriate agricultural policies [14].

As regards policy matters the view of the scientific community was expressed in the proceedings of the ASCEND 21 meeting [15] in Vienna in preparation for the United Nations Conference on Environment and Development (UNCDE), Earth Summit in Rio de Janeiro (Brazil) in June 1992. The ASCEND 21 meeting was of the opinion that the highest priority should be given to reducing two great disturbances: the growth of human population and the increase in the resource use. Failing that, unprecedented crises may ensue arising from such changes as:

- World population doubling in about 35 years;
- Continuing rise in energy consumption;
- Irreversible loss of an increasing number of living species;
- Reduction and deterioration of the quality of the natural resources;
- Water scarcity;
- Excessive depletion of agricultural and forest resources;
- Land degradation;
- Loss of the carrying, renewal and assimilation capacity of the Earth system [16].

### **6. Alternative development strategies**

Today one is witnessing a narrowing of national policies due to the globalization of world affairs. This globalization creates three major problems:

- How to create an international framework enabling peoples and countries to manage interdependence?
- How to manage interdependence not only in an efficient but in an equitable way?
- How to be interdependent while preserving the specificity of one another's culture?

Worldwide integration of human affairs has different effects on countries and thus on people. Marginalization tends to be the norm rather than the exception. The call for the respect of human rights has yet to be reconciled with the need of social justice; the call for solidarity with the need to avoid uniformity. What is needed, and still lacking, is a long-term oriented, broadly based sustainable development centred on human beings, ecologically sound, capable of widening people options, not of reducing them to the prevailing vision of progress centred mainly on economic productivity.

The failure of three UN decades of development for the Third World, since the "Truman design" of 1949, is probably due to the fact that it was exclusively defined as economic development. That is, the progress of a society was reduced to its ability to produce goods and services. Such truncated concept

of development was considered possible only by emulating the aspirations, values, culture and technology of the developed countries. Since the benefits of the economic development have not even trickled down to the masses of the developing countries, an increasing number of people are calling for an alternative development paradigm based on three premises [17] :

- Endogeneity of development ;
- Non-hierarchical concept of human relations ;
- Generation of knowledge relevant for integral development.

The call for an alternative development paradigm is motivated, and made more urgent by the fact that Third World countries are becoming ungovernable, one by one, whatever the complexion of governments, that is, right wing, left wing, military or democratic. They are all becoming incapable of adequately responding to the expectations of their people.

On the whole the economic, social, moral and ecological crises which the World is facing today are acute enough to warrant a revision of policies and strategies. Of particular importance are the policy implications of the outlined scientific research agenda concerning the complex food-energy nexus. The majority of the population of many countries of the Third World has reached an acute state of generalized poverty. To reverse the trend one must reconcile, somehow, the modern and traditional ways of life in the Third World. The scientific and technological community can help in this endeavour by stressing the importance of development ethics in all its works. It must also assess correctly the constraints and the opportunities of new systems of food and energy production based on an ecologically sound production system. That is, on production practices based on minimal use of material- and capital-intensive inputs.

More specifically, the new food production systems should combine the wisdom of traditional agriculture with modern agronomic techniques. It must penalize environmentally unsound agricultural technologies based on unsafe use of synthetic farming inputs ; promote organic farming systems based on sustainable agro-ecological technologies ; encourage the plant breeding effort towards the development of crop varieties adapted to local climatic conditions and resistant to pests and pathogens.

## 7. Conclusions

Science and technology have been enormously effective in the past in improving man's knowledge of his environment, and in creating new resources to replace scarce ones. However, science and technology alone cannot be relied upon to solve all the emerging global problems facing mankind, particularly on the food-energy nexus front. Three reasons at least justify this assessment.

The first one is that technological innovation responds to market forces and to profit opportunities. Global problems, particularly environmental ones, do not necessarily create such opportunities. The second reason is the capital constraints, which inhibit implementation of large projects. The third reason is that some environmental problems are simply beyond the reach of science and technology, such as recreating extinct species. In spite of these restrictions, technological progress can help enormously to sustain eco-development strategies.

Different world fora have shown convincingly that the current world development trajectory, driven by rapid population growth in the Third World and by income growth in the developed countries, is excessively and unsustainably energy/material intensive. To change this state of affairs necessitates concerted actions on institutional policies, on mechanisms and frameworks for sharing new technological applications, on development of human resources, on strategies that widen people options. That is the only way to insure, at the same time, socioeconomic and ecological sustainability.

#### NOTES AND REFERENCES

- [1] By "eco-development" one means : a socially desirable, economically viable and ecologically sound sustainable resources use pattern.
- [2] United Nations Economic Commission for Africa 1993. — *Rural Progress*, 7 (1) : 74.
- [3] FLUCK, R. C. (ed.) 1992. Energy in farm production. — Elsevier, 368 pp.  
PEART, R. M. & BROOK, R. C. (ed.) 1992. Analysis of agricultural energy systems. — Elsevier, 412 pp.
- [4] McDERMOTT, J. 1990. Alternative agriculture is gaining ground. — *Smithsonian*, 21 (1) : 114-131.  
ALLEN, P. 1991. Food for future, conditions and contradictions of sustainability. — John Wiley, 344 pp.
- [5] MALU, W. K. 1993. Interconnexion énergie-nourriture : l'Afrique peut-elle atteindre l'auto-suffisance alimentaire ? — In : MARINI BETTOLO (ed.), Agriculture and the quality of life : new global trends. *Pontificiae academiae scientiarum scripta varia*, Vatican city, 77 : 239-247.
- [6] Reference [4].
- [7] BAKER, F. & TERRY, P. 1991. Tropical grassy weeds. ICSU Committee on the application of science to agriculture, forestry and aquaculture. — *Report series*, 2, Reedwood press, UK.
- [8] CARLSON, C. *et al.* 1982. Energy futures, human values, and lifestyles. — Westview Press Inc., 191 pp.  
PERELMAN, J. 1981. Energy transition : long-term perspective. — Westview Press Inc., 216 pp.  
AMSUR RAHMAN 1991. Toward an alternative development paradigm. — *IFDA dossiers 81*, Switzerland, pp. 18-27.

- [9] The term “science” is used here as encompassing the natural, social and health sciences.
- [10] DOOGE, J. *et al.* (ed.) 1992. *An agenda of science for environment and development into the 21st century.* — Cambridge University press, 331 pp.
- [11] Reference [10]
- [12] Proceeding of the “Europrospective III”, Third european long-range forecasting conference (Wiesbaden, 3-5 June 1993).
- [13] Reference [7].
- [14] Reference [7].
- [15] Reference [10].
- [16] Reference [10].
- [17] GAVANI, C. 1990. An international development strategy for the 90's. Global stakes require a new consensus. — *IFDA dossiers 78*, Switzerland, pp. 73-86.  
AMSUR RAHMAN 1991. Toward an alternative development paradigm. — *IFDA dossiers 81*, Switzerland, pp. 18-27.

## INHOUDSTAFEL — TABLE DES MATIERES

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

Zitting van 16 april 1996 / Séance du 16 avril 1996 .....	344 ; 345
E. BRUYNINX. — Het aarden vaatwerk van Aibom (East Sepik Province) en Bilbil (Madang Province) in Papoea - Nieuw-Guinea .....	349
Zitting van 21 mei 1996 / Séance du 21 mai 1996 .....	366 ; 367
J. VANDERLINDEN. — Le biographe entre le vice et la vertu. A propos de Pierre Ryckmans .....	371
Zitting van 11 juni 1996 / Séance du 11 juin 1996 .....	392 ; 393
M. GRAULICH. — Jésus, Horus, Shiva et Quetzalcoatl. De quelques similitudes entre les mythes de l'Ancien et du Nouveau Monde .....	397

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

Zitting van 23 april 1996 / Séance du 23 avril 1996 .....	412 ; 413
M. CATIZZONE. — La pédologie peut-elle être une «science» holistique ? .....	417
M.-C. HENRY. — Le traitement et la chimioprophylaxie du paludisme en Côte d'Ivoire. Huit ans après l'apparition de la Chloroquinorésistance chez <i>Plasmodium falciparum</i> .....	441
J.-C. MICHA. — Production potentielle d'une espèce introduite ( <i>Protopterus aethiopicus</i> Heckel, 1871) basée sur la modélisation de l'écosystème du lac Muhazi (Rwanda) .....	459
S. M. TOURE. — Stratégie et planification de la lutte contre la trypanosomose animale africaine, avec implication des communautés rurales et du secteur privé .....	485
Zitting van 28 mei 1996 / Séance du 28 mai 1996 .....	514 ; 515
B. PANIS. — Cryopreservatie van bananen ( <i>Musa</i> spp.) genenplasma .....	521
P. G. JANSSENS. — La trypanosomiase en Angola à l'aube du xx <sup>e</sup> siècle. Réflexions sur les épidémies des bassins du Cuanza et du Congo (notes historiques) .....	537
Zitting van 25 juni 1996 / Séance du 25 juin 1996 .....	570 ; 571

### Klasse voor Technische Wetenschappen Classe des Sciences techniques

Zitting van 26 april 1996 / Séance du 26 avril 1996 .....	578 ; 579
F. THIRION. — L'évolution de la production de l'acide phosphorique dans le contexte économique et politique de l'environnement. L'impact des contaminants de l'apatite à l'intégration des productions de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> et des sous-produits ..	581
Zitting van 31 mei 1996 / Séance du 31 mai 1996 .....	626 ; 627
U. VAN TWEMBEKE. — Het Geografisch Informatie Systeem (GIS) als beleidsinstrument en basis van de besluitvorming .....	631
F. W. K. MALU. — Atouts et contraintes de la science et de la technologie en Afrique .....	645
Zitting van 28 juni 1996 / Séance du 28 juin 1996 .....	658 ; 659
D. VILLALTA. — Le barrage Borde Seco au Venezuela .....	663
F. W. K. MALU. — The Complex Food-Energy Nexus : Is the Provision for Food and Energy Sustainable ? .....	679

## CONTENTS

### Section of Moral and Political Sciences

Meeting held on 16 April 1996 .....	344
E. BRUYNINX. — Pottery from Aibom (East Sepik Province) and Bilbil (Madang Province) in Papua New Guinea .....	349
Meeting held on 21 May 1996 .....	366
J. VANDERLINDEN. — The Biographer between Vice and Virtue. About Pierre Ryckmans .....	371
Meeting held on 11 June 1996 .....	392
M. GRAULICH. — Jesus, Horus, Shiva and Quetzalcoatl : About Some Similarities between the Myths of the Old and the New World .....	397

### Section of Natural and Medical Sciences

Meeting held on 23 April 1996 .....	412
M. CATIZZONE. — Can Soil Science Be a Holistic Science ? .....	417
M.-C. HENRY. — Malaria Treatment and Chemoprophylaxis in Ivory Coast. Eight Years after Chloroquine Resistance to <i>Plasmodium falciparum</i> Was First Observed .....	441
R. MUKANKOMEJE, J.-C. MICHA, J.-P. DESCY & V. FRANK. — Potential Production of an Introduced Species ( <i>Protopterus aethiopicus</i> Heckel, 1871) Based on Ecosystem Lake Muhazi (Rwanda) Modelling .....	459
S. M. TOURE & J. MORTELMANS. — Strategy and Planning of Fight against African Animal Trypanosomosis with Involvement of the Rural Communities and the Private Sector .....	485
Meeting held on 28 May 1996 .....	514
B. PANIS. — Cryopreservation of Banana ( <i>Musa</i> spp.) Germplasm .....	521
P. G. JANSSENS. — Sleeping Sickness in Angola at the Turn of the 20th Century. Reflections on the Epidemics in the Cuanza and the Congo Basins (Historical notes) .....	537
Meeting held on 25 June 1996 .....	570

### Section of Technical Sciences

Meeting held on 26 April 1996 .....	578
F. THIRION. — The Evolution of the Production of Phosphoric Acid in the Economic and Political Context of the Environment. The Impact of Apatite Contaminants on the Integration of the Productions of $P_2O_5$ and of the By-Products .....	581
Meeting held on 31 May 1996 .....	626
U. VAN TWEMBEKE. — The Geographical Information System (GIS) as a Management Tool and Basis of Decision-Making .....	631
F. W. K. MALU. — Assets and Restraints of Science and Technology in Africa.....	645
Meeting held on 28 June 1996 .....	658
D. VILLALTA. — The Borde Seco Dam in Venezuela .....	663
F. W. K. MALU. — The Complex Food-Energy Nexus : Is the Provision for Food and Energy Sustainable ? .....	679