

932851 ~~1987~~

WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM  
BIBLIOTHEEK  
: 3499  
Académie royale  
LABORATOIRE de RECHERCHES HYDRAULIQUES  
BIBLIOTHEQUE  
Sciences coloniales

Académie royale  
LABORATOIRE de RECHERCHES HYDRAULIQUES  
BIBLIOTHEQUE  
Sciences coloniales  
—  
CLASSE  
DES SCIENCES TECHNIQUES

Mémoires in-8°. Nouvelle série.  
Tome IV, fasc. 2.

Koninklijke Academi  
voor  
Koloniale Wetenschappen  
—  
KLASSE  
DER TECHNISCHE WETENSCHAPPEN  
Waterbouwkundig  
LABORATORIUM  
MUSEUM  
NIEUW  
OPENBARE  
WERKEN

Verhandelingen in-8°. Nieuwe reeks.  
Boek IV, aflev. 2.

# Possibilités d'emploi de l'énergie hydroélectrique du Bas-Congo

PAR

W. L. DE KEYSER

PROFESSEUR A L'UNIVERSITÉ LIBRE DE BRUXELLES

ET

I. DE MAGNÉE

PROFESSEUR A L'UNIVERSITÉ LIBRE DE BRUXELLES  
MEMBRE DE L'ACADÉMIE ROYALE DES SCIENCES COLONIALES



Avenue Marnix, 25  
BRUXELLES

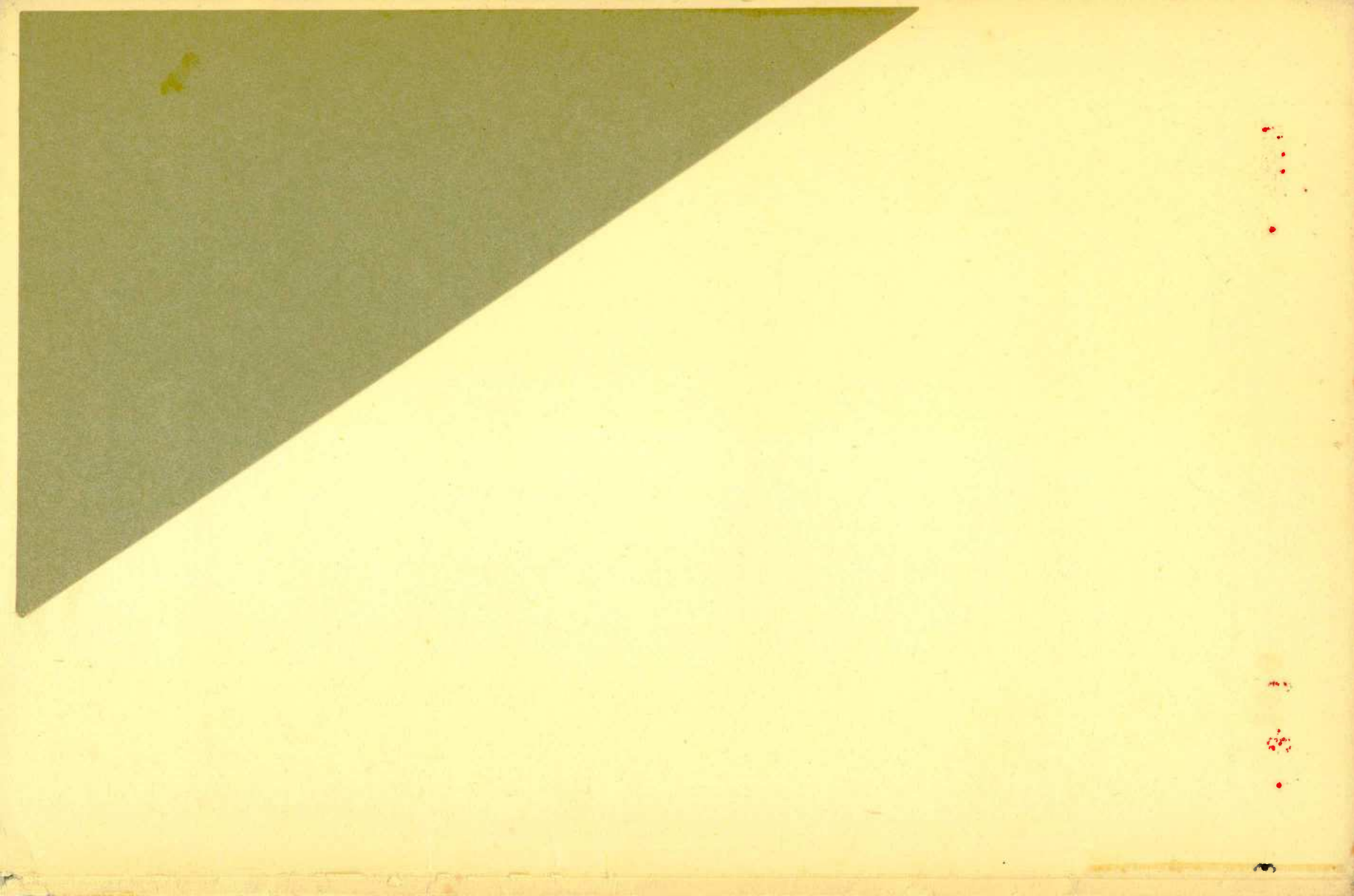
Marnixlaan, 25  
BRUSSEL

1956

PRIX : F 70  
PRIJS :

01230

W. L. DE KEYSER et I. DE MAGNÉE. — Possibilités d'emploi de l'énergie hydroélectrique du Bas-Congo. — 1956.



# Possibilités d'emploi de l'énergie hydroélectrique du Bas-Congo

PAR

**W. L. DE KEYSER**

PROFESSEUR A L'UNIVERSITÉ LIBRE DE BRUXELLES

ET

**I. DE MAGNÉE**

PROFESSEUR A L'UNIVERSITÉ LIBRE DE BRUXELLES  
MEMBRE DE L'ACADÉMIE ROYALE DES SCIENCES COLONIALES

8938

---

Mémoire présenté à la séance du 27 janvier 1956.

Rapporteur : M. I. DE MAGNÉE.

---

## Possibilités d'emploi de l'énergie hydroélectrique du Bas-Congo.

---

### INTRODUCTION

Dès 1926, le général VAN DEUREN a proposé l'aménagement du Bas-Congo en vue d'utiliser l'énorme réservoir d'énergie que constitue le fleuve en cette région.

Dans l'ouvrage qu'il a publié en 1928, ce pionnier citait déjà quelques fabrications grosses consommatrices d'énergie électrique <sup>(1)</sup>.

Lorsque, en 1954, la question de l'aménagement du Bas-Congo s'est à nouveau posée, les auteurs de ce mémoire ont cru faire œuvre utile en rassemblant à la lumière de nos connaissances actuelles, certaines données concernant des fabrications dont l'installation dans le Bas-Congo pourrait être envisagée.

Mais avant d'aborder l'objet même de ce travail et en vue de mieux situer le problème, il nous paraît utile de rappeler quelques notions concernant la consommation à l'échelle mondiale, mettant ainsi en évidence ce que représentent les 20 millions de kW du site d'Inga.

D'après une étude du *Stanford Research Institute* <sup>(2)</sup>, la consommation totale d'énergie (électrique et calorifique) aurait atteint aux États-Unis en 1950  $9,5 \cdot 10^{15}$  calories.

L'énergie hydroélectrique produite aux É.-U. représente 1 % seulement de ce chiffre. La puissance électrique totale installée des États-Unis était d'environ

<sup>(1)</sup> P. VAN DEUREN, Aménagement du Bas-Congo (Édition A. I. A., 1928).

<sup>(2)</sup> MERRIT L. KASTENS, Stanford Res. Inst. (*Chem. Eng.*, 1955, 201).



83 millions de kW en 1952, 110 millions de kW en 1954 et, d'après le rapport PALEY <sup>(1)</sup>, elle atteindrait 300 millions de kW en 1975.

La puissance hydroélectrique installée y était de  $20,4 \cdot 10^6$  kW en 1952.

Ajoutons encore que la puissance électrique totale installée en Belgique était de 2.800.000 kW en 1954.

L'accroissement de l'utilisation de l'énergie dans le monde est tel que le *Stanford Institute* estime que l'humanité consommerait, dans les cinquante années à venir, autant de calories que depuis le début de l'ère chrétienne jusqu'à ce jour.

Ceci pose d'impérieux problèmes. A ce rythme, les sources traditionnelles d'énergie (charbon, pétrole) seront bien vite épuisées, ou du moins leur exploitation deviendra de plus en plus onéreuse.

C'est dans cet esprit que le professeur BETHE, grand spécialiste américain de l'énergie nucléaire, a pu dire il y a peu, dans une conférence à Bruxelles, que s'il est exact que l'énergie nucléaire sera longtemps encore plus coûteuse que l'énergie provenant d'autres sources, le problème changera bientôt d'aspect, car devant la pénurie d'énergie, on sera dans l'obligation de recourir à ce nouveau mode de production, et cela malgré son prix relativement élevé.

Il est bien connu par ailleurs que l'énergie hydroélectrique est la moins chère. Il faut donc s'attendre, prochainement, à un développement des centrales hydroélectriques dans le monde entier, même dans les régions pauvres en matières premières, à la condition de bénéficier de grandes facilités de transport.

Il est extrêmement difficile de faire des évaluations précises des réserves d'énergie hydroélectrique à l'échelle mondiale.

<sup>(1)</sup> Resources for Freedom, Report by the President's Materials Policy Commission (Washington, D. C., June 1952).

Nous avons des données qui ont été rassemblées par la Conférence Internationale de l'Énergie Mondiale. Ces documents mériteraient d'être étudiés et commentés pour en dégager la signification réelle, mais cela sortirait du cadre de ce travail.

Voici cependant quelques chiffres, évaluant l'énergie disponible.

*Ressources d'énergie hydraulique  
reconnues dans le monde en eaux moyennes  
(milliers de kW)*

|                   | <i>Disponibles</i> |
|-------------------|--------------------|
| Afrique .....     | 209.480            |
| Amérique .....    | 195.884            |
| Asie .....        | 226.707            |
| Europe .....      | 136.920            |
| Océanie .....     | 20.661             |
| Totaux .....      | 789.652            |
| Congo belge ..... | 103.340            |
| soit .....        | 13 %               |

Reproduisant ce tableau, M. DEVROEY ajoutait <sup>(1)</sup> :

« Le gîte d'énergie hydraulique le plus puissant du monde se situe dans la région des Cataractes entre Léopoldville et Matadi : 84 millions de kW (10,5 % des disponibilités mondiales) en eaux moyennes, ce qui, à raison d'un demi-kilogramme seulement de charbon pour un kWh, correspond en un mois, à la plus forte production annuelle de charbon que la Belgique ait connue. »

Depuis les travaux de VAN DEUREN que nous avons cités, d'autres études ont été faites.

Le mémoire le plus récent, dû à M. P. GEULETTE <sup>(2)</sup>, est un exposé remarquable de l'état actuel de la question. Les études dirigées par l'auteur constituent un grand pas en avant.

<sup>(1)</sup> E.-J. DEVROEY, Les richesses hydrauliques du Congo belge (*Rev. Univ. Mines*, n° 6, 1949).

<sup>(2)</sup> P. GEULETTE, Considérations sur l'aménagement hydro-électrique du fleuve Congo à Inga (*Ac. Royale Sc. Col.*, 1955, *Mém. in-8°*, Cl. Sc. techn., N. S., Tome II, fasc. 3).

Aussi renvoyons nous le lecteur à ce mémoire pour tout ce qui concerne les travaux d'aménagement proprement dits.

M. GEULETTE justifie d'ailleurs l'équipement d'Inga par des besoins autres que ceux de la Colonie et les conclusions de notre travail, fait tout à fait indépendamment, rejoignent les siennes.

En effet, pour utiliser des millions de kW, il faut dans l'état actuel de nos connaissances, très peu compter sur la mise en œuvre de matériaux se trouvant au Congo à proximité immédiate du gîte hydroélectrique, mais comme celui-ci est situé près de la mer, les conditions de transport rendent possible l'utilisation de matières premières de toute provenance et spécialement celles venant de la côte africaine occidentale. Cette situation géographique est tout aussi avantageuse pour l'exportation des produits finis dans le monde entier.

C'est pour cette raison et dans le cadre ainsi défini que M. DE MAGNÉE a fait une première étude des ressources minières dont le traitement pourrait être pris en considération.

De son côté, M. DE KEYSER a rassemblé quelques données sur la mise en œuvre de certaines de ces matières premières et fait des suggestions concernant l'installation de fabrications électrométallurgiques, en calculant les consommations d'énergie correspondantes.

Comme on le verra ci-après, l'un des grands consommateurs possibles d'énergie électrique est l'industrie de l'aluminium.

Dans cette étude, des calculs ont été faits en admettant l'emploi de la bauxite comme matière première, mais il est à signaler que depuis plusieurs années, des recherches sont en cours au laboratoire de Chimie industrielle de l'Université de Bruxelles dont les résultats indiquent qu'il est possible d'améliorer certains procédés pour l'utilisation de latérites à haute teneur en alumine.



## I<sup>ère</sup> PARTIE

### Ressources minières

Un ensemble d'industries qui soit à l'échelle du réservoir d'énergie hydroélectrique du Bas-Congo ne peut se concevoir que sur la base d'un approvisionnement facile et assuré de très grands tonnages de matières minérales. Il n'y a que de rares exceptions à cette règle (ammoniaque, eau lourde).

Ces matières minérales sont les produits pondéreux à faible valeur intrinsèque, disons en général inférieure à 1.000 ou 1.500 F à la tonne. Ils ne peuvent supporter que des transports à courte distance par voie de terre (route, chemins de fer, navigation intérieure).

Pour des usines axées sur l'énergie du bas-fleuve, les matières premières indispensables ne peuvent arriver économiquement que par voie maritime, en provenance de gisements situés eux-mêmes à proximité des côtes de l'Atlantique. Cette proximité doit être telle que ces matières débouchent dans un port bien équipé, à un prix compétitif sur le marché international.

Dans ce qui suit, nous passerons en revue les ressources minérales de la côte occidentale de l'Afrique, par rapport auxquelles l'estuaire du Congo est particulièrement bien situé (voir carte hors-texte). Ces ressources comprennent celles, très limitées, du Bas-Congo. Les matières premières dont les gisements sont situés dans l'Est de notre Colonie ne pourraient alimenter les industries en question que dans les rares cas où leur valeur intrinsèque est largement supérieure au coût de leur transport vers Matadi ou

Lobito (minerai riche de manganèse, blende crue ou grillée). Encore faut-il qu'il n'y ait pas avantage à les traiter sur place au Katanga ou au Kivu, en utilisant l'énergie hydroélectrique installée ou en voie d'installation dans ces régions.

L'exposé se limite à donner brièvement la situation géographique, les réserves et les potentiels de production, dans la mesure où on les connaît par la littérature publiée et en fonction des différentes industries électrométallurgiques et chimiques étudiées dans la deuxième partie. Celle-ci aborde aussi l'aspect quantitatif des approvisionnements en matières premières, en fonction de niveaux de production fixés plus ou moins arbitrairement.

\* \* \*

## I. ALUMINIUM

### RESSOURCES EN BAUXITE.

Celles-ci se trouvent essentiellement le long de la côte septentrionale du Golfe de Guinée, principalement à la Gold Coast et en Guinée française.

Les réserves sont très importantes et la qualité du minerai est bonne.

D'après des estimations récentes, l'Afrique possède environ 25 % des réserves mondiales de bauxite, estimées à 1600 à 1800 millions de tonnes.

#### 1° *Gold Coast.*

Les Anglais ont mis en exploitation des gisements assez importants. La production exportée vers l'Angleterre, est de l'ordre de 100.000 t par an. Une usine d'aluminium est en projet. Elle disposerait d'une puissance hydroélectrique de 560.000 kW (*Volta River Project*).

En 1953, les réserves étaient estimées à 220 millions de tonnes de bauxite.

2° *Iles de Los (ou Loos) — Guinée française.*

Le principal gisement est situé dans la petite île de Kassa, en face de Conakry. Il fournit une excellente bauxite à 56,5 %  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , 2 à 4,5 %  $\text{SiO}_2$ .

L'exploitation est très facile et s'est fortement intensifiée depuis 2 ans, au point d'atteindre 442.150 t en 1954. A ce rythme, le gisement sera épuisé dans une quarantaine d'années (réserves : 22 millions de tonnes).

Les concessions appartiennent à la Société des Bauxites du Midi, filiale de l'ALCAN (*Aluminium Company of Canada*). La production est exportée vers les usines de l'est du Canada.

3° *Guinée française — Zone de l'intérieur.*

Les grands gisements les mieux connus sont ceux des cercles de Kindia et de Boké, en Basse-Guinée. Les réserves totales ont été évaluées en 1953 à 88 millions de tonnes.

Les premiers appartiennent à la société PÉCHINEY. Celle-ci envisage la possibilité de traiter ce minerai sur place (à Kindia) en équipant les chutes du fleuve Konkouré, capables de fournir 300.000 kW. Ce projet est en concurrence avec celui de l'aménagement hydroélectrique de la rivière Kwilu, en A. É. F. (1).

D'autre part, une usine de fabrication d'aluminium (40 à 45.000 tonnes/an) est en construction (ou en projet

(1) Le 15/3/56 a été annoncée la conclusion d'un accord franco-canadien entre les producteurs de bauxite de Guinée, en vue de la création sur place d'une usine d'aluminium. L'énergie proviendrait des barrages à établir sur le fleuve Konkouré. Les industries de l'aluminium suisse, italienne et allemande sont associées aux études que comportent ces projets tant en A. É. F. qu'en Guinée.



très avancé) au Cameroun. Elle recevra son courant du barrage d'Edea (120.000 kW). Elle appartient à un groupe associant les sociétés PÉCHINEY et UGINE. L'alumine sera importée de France et plus tard, peut-être, de Guinée (la France vend actuellement de l'alumine à l'étranger).

Les gisements de Boké, très importants, appartiennent à la Société des Bauxites du Midi. Ils sont capables de relayer le gisement des Iles de Los, lorsque celui-ci deviendra insuffisant ou sera épuisé.

Boké est favorablement situé près de la côte, dans l'angle N. W. de la Guinée.

#### 4<sup>o</sup> Congo belge.

Le Congo ne semble pas posséder de bauxites proprement dites, malgré l'abondance des latérites alumineuses. Les « bauxites » connues dans la région de Stanleyville sont siliceuses et de toute façon, mal situées. Ce sont en fait des « argiles bauxitiques » à plus de 26 %  $\text{SiO}_2$  (1).

La situation du Congo, à cheval sur l'Équateur, n'est pas favorable au point de vue de la formation naturelle des bauxites. Celles-ci se forment dans les régions tropicales proprement dites, à grande pluviosité. Il est vrai qu'au Congo, aucune prospection sérieuse pour bauxite n'a eu lieu. Le Mayumbe est à explorer à ce point de vue, mais avec de faibles chances de succès.

#### Phosphate d'aluminium.

Une autre source intéressante d'alumine est le phosphate d'alumine de Thiès (Dakar), exploité par la société PÉCHINEY (voir IV. Phosphates).

Celle-ci a mis au point un procédé permettant de

(1) R. VANDERSTAPPEN et J. CORNIL, Note sur les « bauxites » du Congo septentrional (*Bull. Ac. R. des Sc. Col.*, N. S., Vol. I, n<sup>o</sup> 4, 1955, pp. 690-707).



valoriser à la fois  $P_2O_5$  et  $Al_2O_3$  contenus dans ce minerai spécial.

\* \* \*

## II. FER

### RESSOURCES EN MINERAI DE FER.

Comme dans le cas de la bauxite, les réserves principales de minerai riche sont situées sur les côtes du Golfe de Guinée et celles du Sénégal.

L'exploitation des gisements les mieux situés vient de commencer.

#### 1° *Libéria.*

Ce pays a exporté, en 1953, 1.300.000 tonnes de minerai très riche, à 67 % Fe. Les mines sont exploitées par un groupe américain.

#### 2° *Sierra Leone.*

Cette colonie anglaise a produit, en 1953, 1.368.000 tonnes d'excellent minerai hématite, dirigé vers l'Angleterre et les É.-U.

#### 3° *Guinée française.*

Le gisement de fer de Conakry (presqu'île de Kaloum) renferme au moins 2 milliards de tonnes de minerai à environ 50 % de fer (limonite latéritique).

Son exploitation a commencé (production : 593.000 t en 1954).

Le gisement est admirablement situé et facile à exploiter. Le rythme de production correspondant à son équipement actuel est d'environ 1.200.000 t par an. Il peut être porté facilement à 2.500.000 t par an. Mais

les débouchés semblent manquer actuellement, la France ayant déjà trop de minerai de fer.

Le minerai de Conakry titre 51,5 % Fe, 9,8 %  $Al_2O_3$  et 1,25 Cr. Sa teneur en chrome est une particularité qui peut devenir intéressante, mais qui, dans la situation actuelle de la demande, est un handicap.

#### 4° *Mauritanie.*

Le gisement de Fort-Gouraud est estimé à 100 millions de tonnes de minerai à 62 à 68 % Fe. La société des Mines de Fer de Mauritanie, qui en étudie la mise en exploitation, a un capital international : intérêts français 51 %, intérêts canadiens 34 %, intérêts anglais 15 %.

Le problème est l'évacuation du minerai, qui nécessitera la construction d'un chemin de fer d'au moins 380 km vers Villa Cisneros (Rio de Oro).

#### 5° *Afrique du Sud-Ouest (voir Pl. I).*

Deux gisements de fer importants ont été découverts dans la région désolée du Kaokoveld. Les réserves sont de l'ordre de 210 millions de tonnes. On projette d'y installer une aciérie. Le projet comprend la construction d'un port à Rocky Point et d'une voie ferrée de 100 miles.

#### 6° *Congo belge.*

Les énormes richesses en minerai de fer du Congo sont situées dans le N.E. le et S.E. de la colonie, donc hors d'atteinte.

Il n'y a à signaler, à portée de l'embouchure du fleuve Congo, que les petits filons d'oligiste et les lentilles de magnétite du Mayumbe. Le gisement le mieux connu est celui du mont Sali, près de Tshela, qui renferme, à vue, quelques centaines de mille tonnes de minerai

riche. La détermination des réserves réelles reste à faire (par prospection magnétique et sondages).

Les gisements du Mayumbe semblent de peu d'importance et ne pourront probablement que servir d'appoint ou pour une petite industrie sidérurgique d'intérêt local, au service du complexe industriel à créer sur le bas-fleuve. L'impossibilité d'approvisionner en coke bon marché une industrie sidérurgique de grande envergure, nous a conduits à ne pas inclure cette industrie parmi les fabrications à envisager au premier stade de développement.

\* \* \*

### III. MANGANÈSE

#### RESSOURCES EN MINÉRAI DE MANGANÈSE.

Quatre sources principales se trouvent à portée de l'estuaire du Congo.

##### 1<sup>o</sup> *Les gisements de Kisenge* (B.C.K.-Manganèse).

Ces importants gisements, dont les réserves se chiffrent par millions de tonnes, sont raccordés au rail Tenke-Dilolo-Lobito. Le port d'évacuation normal du minerai congolais est Lobito. La production actuelle, de l'ordre de 250.000 t/an (290.000 t en 1955) de minerai à 50-52 % Mn, est exportée par Lobito. Une partie assez importante du minerai est transformée en ferro-manganèse en Belgique.

Il a été annoncé que lorsque, grâce au barrage Le Marinel, le Katanga disposerait d'un excédent d'énergie, le ferro-manganèse serait fabriqué au Katanga, probablement à Kolwezi. Cette solution épargne au maximum les frais de transport et pourrait être plus avantageuse que le traitement dans le Bas-Congo. Cependant, l'accroissement des besoins du Katanga en énergie hydro-



électrique est tel qu'il n'est rien moins que certain qu'une grande industrie du ferro-manganèse pourra s'y établir.

Les besoins propres du Katanga en ferro-manganèse sont couverts par la petite production des usines de Lubudi.

### 2° *Les gisements de Franceville* (A. É. F.).

Les premières prospections ont révélé un gisement de première grandeur, de l'ordre de 50 à 100 millions de tonnes. Bien que le gisement soit situé sur l'Ogooué, l'évacuation du minerai vers la côte exigera la construction d'un chemin de fer de près de 400 km.

C'est une réserve pour l'avenir (minerai à 48-50 % Mn).

La *U. S. Steel* possède une participation de 49 % dans le syndicat d'études COMILOG, qui a entrepris l'étude de l'affaire.

Ces minerais seraient traités en A. É. F. pour ferro-manganèse, pour autant que se réalise le projet du barrage de Kwilu, ce qui n'est pas établi.

### 3° *Les gisements de Nsuta* (Gold Coast).

Ces gisements sont parmi les plus productifs du monde : plus de 800.000 t en 1953, de minerai à plus de 45 % Mn. L'exportation était de 710.700 t en 1954.

### 4° *Afrique du Sud.*

Ce pays est également un important producteur, par ses gisements de Postmasburg (Transvaal). En 1953, ils produisaient près de 800.000 t de minerai de différentes teneurs échelonnées entre 35 et 50 % Mn. La production de 1954, 700.000 t, fut influencée par des difficultés de transport.

Ce minerai est exporté par mer. Une partie passe devant la côte du Congo et il semble donc économiquement possible de transformer ce minerai (dans le Bas-



Congo) en ferro-manganèse à 80 %, ce qui quadruple la valeur à la tonne.

L'Afrique du Sud-Ouest commence à développer sa production : 40.655 t en 1953.

En définitive, actuellement et dans l'avenir, une importante industrie du ferro-manganèse serait bien située dans l'estuaire du Congo.

\* \* \*

#### IV. PHOSPHATES

##### A. RESSOURCES EN PHOSPHATES DE CHAUX.

Le Maroc produit actuellement environ 5.000.000 t de phosphates de chaux riches. Il est à noter qu'en 1954, plus de 330.000 t ont été exportées vers l'Afrique du Sud.

D'autre part, les gisements abondent le long de la côte, depuis le Sénégal jusqu'en Angola. Ils ne sont exploités qu'en A. O. F. (41.800 tonnes en 1953), en partie faute de débouchés. L'Angola en produit à peine un millier de tonnes.

Au Togo, les projets qui sont à l'étude portent sur une production annuelle qui pourra atteindre 500.000 t de phosphate riche (plus de 80 % de tricalcique). Un premier gisement a été étudié. Ses réserves exploitables sont de 15 millions de tonnes.

Plusieurs bancs de phosphate de chaux ont été reconnus dans le Crétacé de la région de Banana et, plus au nord, en bordure de et dans l'enclave portugaise de Cabinda. Ils n'ont jamais fait l'objet d'une prospection sérieuse, aucun débouché n'étant en vue. D'après des échantillons conservés à l'U. L. B., leur teneur en uranium n'est pas négligeable (1).

(1) Les seuls affleurements phosphatés qui aient fait l'objet, à notre connaissance, de prélèvements soignés et d'analyses moyennes sont ceux connus dans la

## B. RESSOURCES EN PHOSPHATES D'ALUMINIUM.

Le phosphate d'alumine est un minéral nouveau. Un énorme gisement existe en A. O. F. autour de Thiès, près de Dakar. Il est exploité et utilisé par le groupe PÉCHINEY-UGINE. La production a été de 52.480 t en 1953 et de 73.200 t en 1954. La mine de Pallo a été équipée pour pouvoir produire plusieurs centaines de milliers de t par an.

Le minéral contient 28 à 30 % de  $P_2O_5$ , 25 à 30 %  $Al_2O_3$  et 6 à 10 % CaO (2 à 6 %  $SiO_2$ ).

Une partie du phosphate est déshydratée (clinkerisée) sur place.

Il est possible de tirer parti de l'uranium que contiennent ces phosphates du Sénégal, soit environ 400 g/t (contre 20 à 30 g/t dans les phosphates nord-africains courants).

\* \* \*

## V. SEL GEMME ET SEL MARIN

Le Congo belge importe annuellement environ 30.000 tonnes de sel pour sa consommation intérieure (consommation humaine, industrie du savon, etc.).

concession FORMINIÈRE du Bas-Congo. Cette société a bien voulu nous communiquer les analyses suivantes :

| Éléments dosés | Éch. n° 1 | Éch. n° 2 | Éch. n° 3 |
|----------------|-----------|-----------|-----------|
| Pertes au feu  | 8,36 %    | 9,01 %    | 8,51 %    |
| $SiO_2$        | 39,64 %   | 34,00 %   | 47,58 %   |
| $P_2O_5$ total | 17,30 %   | 17,65 %   | 14,10 %   |
| $FeO_3$ total  | 4,87 %    | 4,46 %    | 4,24 %    |
| $Al_2O_3$      | 7,63 %    | 11,82 %   | 5,92 %    |
| CaO            | 21,16 %   | 21,68 %   | 19,60 %   |
| MgO            | 1,29 %    | 1,37 %    | —         |
|                | 100,25 %  | 99,99 %   | 99,95 %   |

Ce phosphate pauvre paraît peu intéressant.

L'Angola, par ses salines des environs de Lobito, produisait en 1953, 40.735 t de sel (dont 8.481 t exportées vers le Congo). L'Angola possède en outre des gisements de sel gemme (*rock salt*) non exploités, le long de la partie sud de ses côtes maritimes.

Dans le nord de l'Angola (région de Loanda), des sondages récents ont recoupé d'importantes masses de sel.

L'Afrique du Sud-Ouest possède de grandes possibilités de production, tant en sel marin qu'en sel gemme. Ce pays produisait en 1953 plus de 45.000 tonnes de sel. Les salines et les gisement primaires se suivent le long de la côte au nord de Swakopmund.

L'A.O.F. produit environ 66.000 tonnes de sel.

Il n'y a donc pas de difficultés à prévoir pour l'approvisionnement en NaCl, nécessaire pour la fabrication électrolytique de la soude, du chlore et des chlorates.

Les gisements de sel gemme de l'Afrique du S. W., près de Swakopmund, sont accompagnés de couches d'anhydrite ( $\text{CaSO}_4$ ) et de gypse ( $\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ), matières qui pourraient être intéressantes pour la production simultanée d'acide sulfurique et de chaux, si la pyrite, la blende ou le soufre natif de Louisiane revenaient trop cher.

\* \* \*

## VI. POTASSE

### *Gabon.*

Les prospections pour pétrole au Gabon ont amené la découverte d'un gisement de sel potassique, à proximité de la côte (région du lac Azingo).

Une société d'exploitation a été constituée. Son capital est exclusivement français, avec participation de la société des Mines Domaniales de Potasse d'Alsace. Des installations de stockage et de chargement sont à l'étude à Owenda (Gabon).



L'appoint de potasse sera intéressant pour la fabrication d'engrais chimiques « complets » dans le Bas-Congo.

\* \* \*

## VII. ILMÉNITE, RUTILE ET MAGNÉTITE TITANIFÈRE

Il n'est peut-être pas inutile de préciser la situation actuelle de l'approvisionnement mondial en minerais de titane, en vue de l'élaboration de titane métallique.

La presque totalité du titane fabriqué aux États-Unis provient de rutile (à près de 96 %  $\text{TiO}_2$ ) fourni par les grands placers côtiers de l'Australie. Leur production était de 44.000 t en 1954 et tend à augmenter. La même année, les É.-U. ne produisaient que 6.800 tonnes. Les autres producteurs sont relativement insignifiants, mais la situation pourrait changer à la suite de la découverte d'un grand gisement à Oaxaca, au Mexique.

Le rutile est la matière première la plus coûteuse à l'unité de titane (10,6 cents par lb de Ti contenu), mais l'absence de fer simplifie la transformation en tétrachlorure qu'exigent les procédés métallurgiques actuels. D'autre part, il semble que le rutile soit trop coûteux et trop peu abondant pour pouvoir servir de base à une grande industrie du titane.

L'*ilménite* ( $\text{FeO.TiO}_2$ ) par contre, existe en surabondance et son prix est faible (16 à 20 dollars par t, soit 2,7 cents par lb de Ti contenu). L'ilménite commerciale contient 44 à 60 %  $\text{TiO}_2$ . La consommation mondiale n'est que d'environ 1 million de tonnes et l'utilisation principale est la fabrication de blanc de titane.

En outre, il existe dans de nombreux pays, et notamment en Afrique, de nombreux et très grands gisements de *magnétite titanifère*. Ce minerai est en fait une association



intime de magnétite et d'ilménite, dont la teneur en  $\text{TiO}_2$  va de 15 à 35 %.

En général, il n'est pas économiquement possible de séparer l'ilménite par concentration électro-magnétique.

Le premier grand gisement de ce type à être exploité sur une base commerciale est celui d'Allard Lake, Québec. Ses réserves sont de l'ordre de 100 millions de tonnes. La réduction au four électrique de ce minerai à 32 à 35 %  $\text{TiO}_2$  fournit une fonte de qualité et, d'autre part, un laitier à environ 70 %  $\text{TiO}_2$ . Pour la métallurgie du titane, ce laitier constitue une matière première plus intéressante que l'ilménite.

La production de fonte paie son élaboration.

#### RESSOURCES EN MINÉRAIS DE TITANE.

D'importantes réserves d'ilménite et de magnétite titanifère existent le long de la côte occidentale de l'Afrique.

##### 1° A.O.F.

Les placers des plages qui s'étendent au sud de Dakar (Rufisque, Joal) contiennent des sables riches en ilménite et ilménorutile. Les concentrés contiennent 55 à 60 %  $\text{TiO}_2$ .

Par suite de la concurrence du rutile australien et de l'ilménite de Malaisie et des Indes, ces placers ne sont que peu exploités. Ils fournissaient près de 3.000 t d'ilménite pendant le troisième trimestre de 1954. Le zircon est un sous-produit de cette exploitation (production : 918 t en 1954) comme en Australie.

Cependant, une exploitation importante et bien équipée (Djiféré-Sangomar) a démarré au début de 1955. Elle fournira, à son premier stade de développement, 30 à 35.000 t/an d'ilménite à 56-58 %  $\text{TiO}_2$ .

Le Sénégal, le Cameroun et l'A.É.F. ont été des pro-

ducteurs de rutile. Mais cette production a été presque arrêtée faute de prix rémunérateurs et de débouchés. Il en est de même au Dahomey.

### 2° *Afrique du Sud-Ouest.*

De grandes quantités de sables riches en ilménite existent sur les plages près de Swakopmund. Ils ne sont pas exploités.

### 3° *Angola.*

Un groupe métallurgique belge a acquis la concession de l'important gisement de magnétite titanifère de Gambos, sur le chemin de fer de Mossamedes.

Ce minerai contient 26 %  $TiO_2$  et 72 %  $Fe_2O_3$  (52 % Fe).

Il peut être réduit au four électrique en produisant du fer et un laitier riche en titane. C'est le procédé utilisé par l'usine de Sorel (Canada) sur le minerai d'Allard Lake. Celui-ci contient 32 %  $TiO_2$  et 36 à 40 % Fe.

### 4° *Congo belge.*

On sait qu'il existe au Congo d'importants résidus riches en ilménite, provenant du lavage de sables aurifères ou diamantifères (1). Mais ces stocks sont difficilement utilisables à cause de leur situation géographique.

L'important « terril » d'ilménite de Bakwanga (Bushimaie) est dévalorisé par la teneur en chrome de ce minéral.

\* \* \*

## VIII. MINERAIS DE Pb, Zn ET Cu.

La création d'une industrie métallurgique extractive pour ces métaux ne s'impose pas, à première vue, dans le

(1) P. SPORCO, Le titane (*Soc. belge d'Ét. et d'Expansion*, 49<sup>me</sup> année, n° 142, 1950, pp. 565-568).

Bas-Congo. Mais il convient de l'examiner sous l'angle de l'approvisionnement en soufre indispensable pour la fabrication de l'acide sulfurique que nécessitent certaines des industries envisagées dans la deuxième partie de cette note.

#### RESSOURCES MINIÈRES.

##### 1° *Afrique du Sud-Ouest.*

La mine de Tsumeb produit des concentrés mixtes sulfurés contenant à la fois Cu, Pb et Zn. En 1953, la production était de 59.500 t de plomb métal contenu dans les concentrés de galène et 15.800 t de zinc contenu dans la blende. En 1954, ces chiffres étaient respectivement de 70.100 et de 20.000 t.

##### 2° *A.E.F. (région du Niari).*

La mine de Mfouati a produit en 1954 environ 6.600 t de plomb sous forme de concentrés de carbonates et silicates de plomb.

Une campagne de sondages étendue a été menée par les Sociétés franco-américaines EMAC et SOMINIA. Elle a mis en évidence des tonnages relativement modestes de minerais sulfurés de Cu, Pb et Zn. Le gisement de Hapilo pourrait fournir environ 5.000 t de concentrés de galène par an. La mine est en voie d'équipement.

##### 3° *Bas-Congo.*

Les prospections du syndicat BAMOCO ont mis en évidence des réserves modestes de minerais sulfurés de Pb-Zn, ainsi que des minerais de cuivre riches (partie oxydés, partie sulfurés). Déjà un petit tonnage de chalcosine à haute teneur a été exporté.

Aucun grand gisement n'a été découvert. Cependant la prospection se poursuit activement, car les indices sont nombreux.



Les réserves développées paraissent jusqu'à présent insuffisantes pour justifier à elles seules la création d'une électro-métallurgie Cu-Pb-Zn dans la région de Matadi.

#### 4° *Katanga.*

En 1954, l'U.M.H.K. exportait, surtout vers la Belgique, 120.566 t de blende crue (53 à 55 % Zn) et produisait en outre 85.260 t de blende grillée à 61 % Zn. Cette importante production provient de la mine de Kipushi.

La blende crue et la blende grillée alimentent les usines à zinc belges. Cependant la quantité de blende correspondant à 40.000 tonnes de zinc électrolytique est mise en œuvre sur place par la MÉTALKAT.

La question est de savoir si une partie de la blende crue exportée vers la Belgique pourrait être dérivée sur Matadi, pour y être grillée. Elle serait ensuite soit réexportée vers la Belgique, soit transformée en zinc électrolytique.

#### 5° *Divers.*

Citons encore, pour mémoire, les productions de galène du Tanganyika Territory, les minerais Pb-Zn-Va de la Rhodésie du Nord (Broken Hill) et les minerais Pb-Zn sulfurés de la Nigérie.

\* \* \*

### IX. PYRITE ET SOUFRE

Au point de vue fabrication de l'acide sulfurique, on dispose, comme nous l'avons signalé, de la possibilité de la greffer sur une industrie du zinc électrolytique.

En fait d'autres matières premières, il y a lieu de mentionner le fait que la pyrite n'est pas exploitée actuellement sur la côte W de l'Afrique, surtout faute de débouchés locaux.

Dans le Bas-Congo, les prospecteurs du syndicat BAMOCO ont rencontré de nombreux indices de gisements de pyrite. Ce syndicat n'en a pas poussé, à notre connaissance, la prospection ou l'évaluation, la pyrite n'ayant pas de valeur actuelle au Bas-Congo.

En Afrique du S. W., Tsumeb pourrait récupérer de la pyrite, mais ne le fait pas, l'opération n'étant pas payante actuellement.

Comme sources de soufre actuellement exploitées et pouvant alimenter le Bas-Congo, on ne voit, à part la blende, que le soufre de Louisiane et les pyrites du Portugal (Aljustrel et Louzal, gisements appartenant à des sociétés belges). Cependant, la Rhodésie du Sud produisait 40.417 t de pyrite en 1953, l'Afrique du Sud 36.793 t, mais ces tonnages sont consommés sur place.

Pour mémoire, citons le gypse de l'Angola et du Sud-Ouest Africain (voir § XI).

\* \* \*

## X. LITHIUM

Pour le lithium, on sait que le Congo belge, grâce aux pegmatites de la GÉOMINES à Manono, est potentiellement le principal producteur mondial de spodumène. C'est le minerai de lithium le plus utilisé. Cependant, il ne contient que 6 % de  $\text{Li}_2\text{O}$  et son transport de Manono vers la côte est contre-indiqué, d'autant plus que la GÉOMINES disposera au début de 1957 d'un excédent considérable d'énergie hydro-électrique, qui lui permettra de réaliser sur place la fabrication des sels de lithium.

Reste la production de phosphate de lithium (amblygonite) du Ruanda. Elle a atteint 2.000 t, à 8 %  $\text{Li}_2\text{O}$  en 1955. Distances et insuffisance de réserves empêchent de prendre cet intéressant minerai en considération.

Mieux situés pour le transport vers le Bas-Congo sont les minerais de lithium du Sud-Ouest Africain.

Ce pays produisait en 1954 :

1.070 t d'amblygonite à env. 8 %  $\text{Li}_2\text{O}$  ;

3.900 t de lépidolite à 3-3,6 %  $\text{Li}_2\text{O}$  ;

1.670 t de pétalite à 3-4 %  $\text{Li}_2\text{O}$ .

D'autre part, la Rhodésie du Sud développe rapidement sa production de minerais de lithium. Rappelons que le lithium est un métal dont la consommation augmentera probablement à un rythme très rapide.

\* \* \*

## XI. CALCAIRE ET GYPSE

Du calcaire de bonne qualité est exploité à Lukala, sur le chemin de fer Matadi-Léo. Il s'agit d'un horizon de la Série Schisto-Calcaire et les réserves sont illimitées.

Mais pour l'approvisionnement d'une industrie placée sur l'estuaire du fleuve, il sera probablement plus avantageux d'avoir recours aux calcaires du Crétacé et de l'Eocène qui forment la bande côtière et affleurent depuis le fleuve jusqu'à l'extrémité N.W. du Mayumbe. On y a signalé des calcaires tendres très purs, mais il n'y a pas eu, à notre connaissance, d'étude ou évaluation à but industriel.

Le gypse (ou l'anhydrite) devrait être importé en provenance du sud de l'Angola ou du nord du Sud-Ouest Africain. Il y est associé aux couches de sel gemme de la bande côtière. Aucune exploitation n'existe faute de débouchés suffisants.

L'estuaire du Congo est donc bien situé pour la fabrication du calcium métallique, du carbure de calcium, de la chaux, du ciment, voire pour la fabrication d'acide sulfurique au départ de  $\text{CaSO}_4$ .

\* \* \*



## XII. MAGNÉSIUM ET MAGNÉSIE

Les sources les plus importantes de giobertite ou magnésite ( $MgCO_3$ ) se trouvent au Katanga <sup>(1)</sup> et en Rhodésie du Sud, loin de l'embouchure du Congo.

Les giobertites du Katanga sont bien exposées dans quelques mines à ciel ouvert de l'U.M.H.K. Il s'agit principalement du niveau dit « Calcaire à minerai noir », partie supérieure de la Série des Mines.

Les giobertites massives proviennent de la métasomatose magnésienne de dolomies, souvent accompagnée par une imprégnation par des sulfures de cuivre et de cobalt.

Ces minerais sulfurés Cu-Co seront prochainement broyés et flottés dans les nouveaux ateliers en voie de construction. Il y a des chances que le résidu de la flottation constitue un minerai de magnésium de bonne qualité (mélange de dolomie et de giobertite).

Cependant, il est peu probable qu'il soit économiquement possible de transporter ce minerai jusqu'à Matadi. Par contre, la possibilité de créer au Katanga une industrie du magnésium métal est certainement ouverte (voir ci-après, deuxième partie, Magnésium).

La magnésite de la Rhodésie du Sud, exploitée à raison de 10 à 12.000 t/an, alimente une industrie de réfractaires métallurgiques.

\* \* \*

## XIII. VANADIUM

Les deux producteurs de minerais oxydés de vanadium-plomb sont la Rhodésie du Nord et le Sud-Ouest Africain. Ce dernier pays exportait en 1953 de la descloisite (vanadate de Pb etc.) contenant 965 t de vanadium métal.

<sup>(1)</sup> W. L. DE KEYSER, Possibilités de fabrication de magnésium au Katanga (*Bull. Acad. R. Sc. Col.*, N. S. II (1956), fasc. 2, février 1956).

Dans le Bas-Congo et dans la région avoisinante de l'Angola, on signale de petits gisements superficiels de vanadates de plomb. Le syndicat BAMOCO a déjà extrait un lot contenant 28 % Pb et 5 % de vanadium métal. Le Bas-Congo offre de sérieux espoirs concernant le vanadium, dont un gisement assez important vient d'être découvert.

\* \* \*

#### XIV. CHROMITE

La Rhodésie du Sud produisait 861.839 t de chromite en 1952 et 463.030 t en 1953 (crise de surproduction). L'Afrique du Sud en a produit 597.493 t en 1953.

A cela s'ajoute la production du Sierra Leone (26.505 t en 1953).

Il n'y aurait donc aucune difficulté à alimenter dans des conditions avantageuses une industrie du ferrochrome ou de l'acier inoxydable.

\* \* \*

#### XV. BÉRYLLIUM

On sait que les pegmatites africaines renferment les principales ressources mondiales de béryl.

La Rhodésie du Sud produisait en 1953 1.774 t de béryl à 10-12 % BeO ; le Sud-Ouest Africain en produisait 536 t. En 1954 ces productions devenaient respectivement 868 et 786 t. La même année, le Mozambique produisait 1175 t.

On sait que le béryl n'est pas rare dans les pegmatites stannifères de l'est du Congo, et surtout au Ruanda. Par triage à main, on en a récupéré 45 t en 1954 (Société MIRUDI).

Le béryl du sud de l'Afrique alimenterait avantageusement une fabrication électro-métallurgique de béryllium ou d'alliage cuivre-béryllium. Malgré une surproduction momentanée par rapport à la consommation mondiale, les experts prévoient une augmentation progressive de l'utilisation du béryllium.

\* \* \*

## XVI. FLUORINE

L'Afrique du Sud-Ouest produisait 5.120 t de fluorine en 1953 et 2.780 t en 1954. De grandes réserves viennent d'être établies par sondages à la mine d'Okarusu.

Leur existence est importante à notre point de vue, puisque la fluorine serait consommée en grands tonnages par une industrie de l'aluminium fabriquant elle-même sa cryolithe artificielle (voir deuxième partie, Aluminium).

\* \* \*

## CONCLUSIONS

A la lumière de nos connaissances actuelles sur les ressources minérales de la côte occidentale de l'Afrique, on peut affirmer qu'un grand port industriel établi dans l'estuaire du fleuve Congo disposerait, dans des conditions de transport avantageuses, de nombreuses matières premières minérales. Récapitulons-les brièvement : bauxites et latérites alumineuses ; minerais de fer et de manganèse ; phosphates de chaux et d'alumine ; chlorure de sodium, potasse et gypse ; ilménite et magnétite titanifère ; blende ; calcaire ; minerais de vanadium-plomb ; chromite ; béryl ; fluorine.

La situation est moins favorable en ce qui concerne les



combustibles solides et, peut-être, les matières utilisables pour la fabrication de l'acide sulfurique.

La situation actuelle ne peut qu'évoluer favorablement au fur et à mesure que de nouvelles découvertes minières se font à la faveur de la prospection qui s'intensifie tout le long des côtes atlantiques de l'Afrique. Contrairement à ce qui était le cas avant la guerre, cette prospection s'adresse de plus en plus à des matières minérales pondéreuses à faible valeur intrinsèque. Certaines de celles-ci n'ont pas fait l'objet d'évaluations sérieuses, parce qu'elles ne pouvaient présenter un intérêt économique immédiat. Il en existe d'ailleurs qui ne sont pas couvertes par des permis ou concessions. La réalisation du projet Inga les valoriserait. C'est pourquoi il serait sage, de la part des promoteurs de ce projet, de prendre les mesures conservatoires qui s'imposent.

Il est intéressant de constater que, dans l'état actuel de nos connaissances, le Congo lui-même ne peut contribuer que pour une faible partie à l'approvisionnement des importantes industries électro-métallurgiques et électro-chimiques. Sous réserve de découvertes nouvelles, le Bas-Congo proche de l'estuaire ne peut fournir que du calcaire en abondance, du phosphate médiocre, des latérites alumineuses et de faibles quantités de minerais de cuivre, zinc, plomb et vanadium. On peut y ajouter des sables et calcaires bitumineux.

C'est peu de chose et la conclusion inévitable est que l'utilisation de la formidable puissance potentielle du bas-fleuve commande la mise en œuvre de grandes quantités de matières premières minérales en provenance de gisements situés hors du Congo, de préférence ceux existant le long de la côte atlantique de l'Afrique. Elles proviendront donc de territoires d'appartenance ou d'influence anglaise, française, portugaise ou sud-africaine. La nature et les quantités de ces matières premières seront précisées dans la deuxième partie de ce travail.

Il n'y a guère de doute que, par la provenance de son approvisionnement, le complexe industriel à créer présente un caractère international, quelle que soit la façon dont les détenteurs des ressources minérales en question seront associés au projet. Ce caractère international se maintient pour les produits fabriqués, dont le volume sera nécessairement hors de proportion avec les besoins de la Belgique et du Congo. Leur vente doit être assurée.

Remarquons que les industries à créer ne sont pas davantage liées aux traditions industrielles de la Belgique, pays à courant électrique cher.

## II<sup>e</sup> PARTIE

# Fabrications électrochimiques et électrométallurgiques. Fabrications annexes.

### Avertissement.

La présente note donne quelques précisions concernant diverses fabrications électro-chimiques et électro-métallurgiques qui peuvent être prises en considération.

Elle n'a d'autre ambition que de donner un premier aperçu de l'importance relative de ces fabrications, de leur consommation d'énergie, et de certaines interconnexions possibles.

Il est bien entendu que, pour continuer de telles études, il faudrait dans chacun des domaines cités et dans d'autres sans doute, qui pourraient y être associés, faire appel à des spécialistes de chacune des fabrications.

Malgré toutes ses imperfections et omissions, ce travail n'aura pas été inutile s'il permet dès à présent de se faire une idée plus claire des immenses possibilités d'utilisation de l'énergie hydroélectrique du Bas-Congo.

\* \* \*

### I. ALUMINIUM

Parmi les fabrications envisagées, il apparaît que l'aluminium présente le plus grand avenir de tous les



métaux dont la production exige une consommation importante d'énergie électrique.

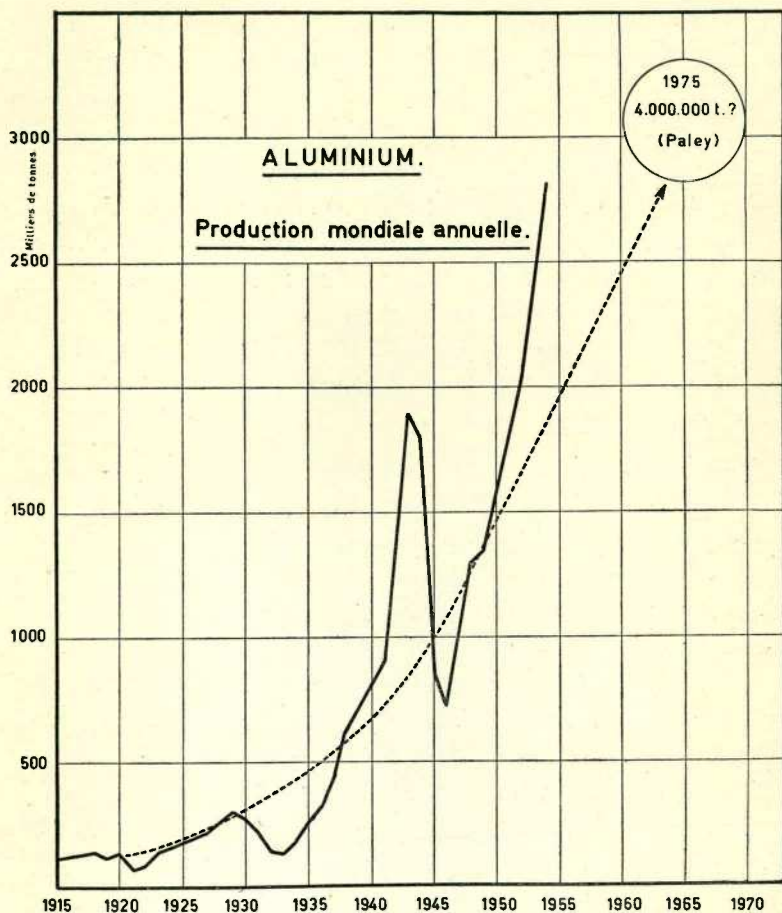


FIG. 1. — Production mondiale d'aluminium.

La *fig. 1* donne les productions d'aluminium depuis 1915 jusque 1954. On peut y voir que, malgré quelques reculs et deux maxima qui se situent en 1929 et en 1943, la production de l'aluminium s'est accrue dans son ensemble suivant une fonction logarithmique.

Le principal producteur est actuellement les États-

Unis qui, en 1954, produisaient 1.325.000 t d'aluminium, sur une production mondiale de 2.822.800 t.

Les projets en cours d'exécution aux États-Unis et au Canada ajouteront une capacité de production d'environ 1.000.000 t d'aluminium à celle qui existe actuellement.

En 1954, la Belgique a importé environ 18.400 t d'aluminium brut de première fusion pour une valeur de 405 millions de F, soit un prix de environ 22,50 F/kg.

Le rapport PALEY <sup>(1)</sup> prévoit un rapide développement de la consommation de l'aluminium, qui atteindrait 4 millions de t en 1975. Ce chiffre établi en 1952 paraissait énorme et pourtant, dès 1954, la production atteignait 2,8 millions de t, dépassant ainsi le rythme d'accroissement prévu par le rapport en question.

Malgré les grands développements de l'industrie de l'aluminium aux États-Unis et au Canada, il semble bien que l'on tende dans ces pays vers une limite, parce qu'il ne paraît pas possible de développer dans le même rapport la production d'énergie hydroélectrique à bon marché et parce qu'il y a compétition pour son utilisation.

Pour ces raisons, il semble donc que la fabrication de l'aluminium dans le Bas-Congo se présentera favorablement.

Toutefois, comme cela a été signalé dans le chapitre précédent, le Bas-Congo belge ne dispose pas de bauxites. Cependant, il en existe d'importantes réserves sur la côte occidentale d'Afrique. Elles peuvent être amenées à pied d'œuvre par voie maritime, dans des conditions avantageuses par rapport aux autres utilisateurs de ces ressources.

Notons d'autre part que si, dans un avenir plus ou moins éloigné, les ressources en bauxite venaient à se raréfier, d'autres matériaux pourraient être pris en

<sup>(1)</sup> Resources for Freedom, Report by the President's Materials Policy Commission (Washington, D. C., June 1952).

considération, tels par exemple les kaolins et les latérites, dont il existe d'énormes quantités dans le Bas-Congo.

Durant la guerre, s'étant trouvés devant ce problème, les alliés ont mis en route diverses usines pilotes pour étudier le traitement de matériaux silico-alumineux.

Le rapport PALEY (1) conclut de l'étude des réserves de bauxite se trouvant dans le monde, que le gouvernement des États-Unis devrait patronner la poursuite de la mise au point des méthodes de traitement des minerais à plus faible teneur en alumine et à plus haute teneur en silice.

On annonce que dès à présent la société ANACONDA envisage l'utilisation de matériaux argileux (usine projetée à Spokane).

L'un de nous a fait un examen critique des procédés étudiés pendant la guerre. Un résumé de ce travail a fait l'objet d'une publication dans la *Revue Technique de l'A.I.Br.* (2).

Des essais effectués au laboratoire de Chimie Industrielle de l'Université de Bruxelles ont permis d'apporter certains perfectionnements à celui de ces procédés qui nous a paru le plus intéressant et qui permettraient sans doute d'en améliorer la rentabilité (3).

Il faudrait d'autre part, le plus rapidement possible, faire un inventaire des latérites du Bas-Congo, en s'attachant essentiellement à rechercher des matériaux riches en alumine et d'une teneur relativement faible en silice.

Tout en mettant l'accent sur ces travaux qui seront certainement utiles dans l'avenir, il convient toutefois, dans une première étude, de nous baser sur l'emploi de bauxites dont les gisements se trouvent dans un rayon suffisamment proche de l'usine envisagée.

(1) Voir note 1, page précédente.

(2) W. L. DE KEYSER, Considérations sur la fabrication de l' $Al_2O_3$  à partir de l'argile par les procédés modernes (*Revue A. I. Br.*, n° 2, 1949).

(3) W. L. DE KEYSER, L'action de KCl et de NaCl sur le kaolin à haute température (27<sup>e</sup> Congrès de Chimie Industrielle, sept. 1954).



La fabrication classique d'aluminium à partir de bauxite exige, en dehors du minerai et de l'énergie électrique, l'emploi d'importantes quantités de cryolithe, de soude caustique et de coke de pétrole.

Les tableaux suivants résument quelques données concernant la consommation d'énergie électrique et celle des matières premières qu'exige la fabrication de l'aluminium par le procédé BAYER.

Dans la dernière colonne, nous avons indiqué les besoins d'une usine fabriquant 500.000 t d'aluminium par an, c'est-à-dire la production qu'aura l'usine de Kitimat (Colombie britannique) lorsqu'elle sera achevée. La plus grosse usine actuelle est Arvida (Québec). Elle produit 354.000 t d'aluminium.

### I. MATIÈRES PREMIÈRES.

|   | Par tonne de métal<br>kg | Pour 500.000 t de métal<br>tonnes |
|---|--------------------------|-----------------------------------|
| Bauxite (60 % $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) | 4.100                    | 2,05. $10^6$                      |
| Cryolithe + $\text{CaF}_2$              | 100                      | 0,5. $10^5$                       |
| $\text{NaOH}$ (76 %)                    | 122,5                    | 0,60. $10^5$                      |
| Coke de pétrole                         | 750                      | 0,37. $10^6$                      |

### II. ÉNERGIE ÉLECTRIQUE (production $\text{Al}_2\text{O}_3$ et Al).

|  | par tonne de métal<br>kWh | pour 500.000 t de métal<br>kWh   |
|--|---------------------------|----------------------------------|
| Métallurgie  | 22.050                    | 11,025. $10^9$                   |
| Fabrication de l' $\text{Al}_2\text{O}_3$ à<br>partir de minerai | 600                       | 0,300. $10^9$                    |
|  | <u>22.650</u>             | <u>11,325. <math>10^9</math></u> |

### III. FABRICATIONS ANNEXES.

#### A. *Fabrication des électrodes.*

Les électrodes nécessaires à l'électrolyse doivent être produites sur place.

La consommation est estimée à  $2/3$  kg de carbone pour 1 kg de Al produit, soit 670 kg /1.000 kg de métal.

La consommation de coke de pétrole peut être estimée à 750 kg /1.000 kg de métal. La consommation d'énergie électrique est de l'ordre de 2,2 kWh par kg de carbone produit, soit environ :

1.480 kWh /1.000 kg Al ou  $740.10^6$  kWh pour 500.000 t Al.

L'approvisionnement en coke de pétrole sera un gros problème. Cependant, la grande raffinerie de pétrole que la Société PETROFINA va construire près de Loanda (Angola), non loin de l'estuaire du Congo, pourra fournir une partie de ce combustible spécial. Mais cela ne résoudra que partiellement le problème. Peut-être faudra-t-il étudier l'emploi de carbone d'autres origines, y compris le charbon de bois.

#### B. *Fabrication de la cryolithe artificielle.*

La cryolithe est un minerai indispensable à l'électrolyse de l'aluminium.

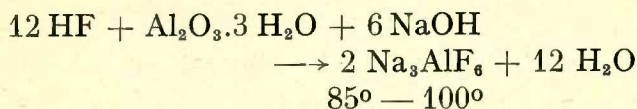
Les gisements de cryolithe se trouvent au Groenland et sont en voie d'épuisement. Les États-Unis en ont importé 34.530 t métriques en 1950, pour une production d'aluminium s'élevant à ce moment à 651.000 t.

Étant donné les difficultés d'approvisionnement, la cryolithe se fabrique aussi artificiellement à partir d'alumine hydratée  $Al_2O_3 \cdot 3H_2O$  (produite par les usines d'aluminium), de fluorine  $CaF_2$  (dont il existe d'importants gisements), et de soude caustique.

L'acide fluorhydrique nécessaire est produit par l'ac-

tion de l'acide sulfurique sur la fluorine. Cette opération se fait sur un minerai enrichi par flottation à 97-98 %. L'opération s'effectue à 200-250°.

L'acide fluorhydrique réagit avec l'alumine et la soude caustique :



Le tableau suivant donne une idée approximative des tonnages mis en œuvre, mais ne tient pas compte des pertes de fabrication.

|                                 | Pour 1.000 kg<br>cryolithe artificielle | Pour 500.000 t<br>d'aluminium |
|---------------------------------|---|-------------------------------|
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>  | 0,243 t                                 | 0,12. 10 <sup>5</sup> t       |
| NaOH 76 %                       | 0,75 t                                  | 0,375. 10 <sup>5</sup> t      |
| CaF <sub>2</sub> <sup>(1)</sup> | 1,11 t                                  | 0,55. 10 <sup>5</sup> t       |
| SO <sub>4</sub> H <sub>2</sub>  | 1,40 t                                  | 0,70. 10 <sup>5</sup> t       |

### C. Fabrication de NaOH — Par électrolyse de NaCl.

| Matière première   | Pour 1.000 kg<br>NaOH 76 % | Pour 1.000 kg<br>Al | Pour 500.000 t<br>de métal |
|--|----------------------------|---------------------|----------------------------|
| Sel  | 1.600 kg                   | 316 kg              | 158.10 <sup>3</sup> t      |
| CO <sub>3</sub> Na <sub>2</sub> 58 %                         | 25 kg                      | 4,9 kg              | 2,45.10 <sup>3</sup> t     |
| SO <sub>4</sub> H <sub>2</sub> 66° Be                        | 100 kg                     | 19,7 kg             | 9,8.10 <sup>3</sup> t      |
| Vapeur   | 10.000 kg                  | 1.975 kg            | 988.10 <sup>3</sup> t      |
| Cons. énergie<br>électrique                                  | 2.800 kWh                  | 553 kWh             | 276.10 <sup>6</sup> kWh    |
| Production<br>annexe de<br>H <sub>2</sub> et Cl <sub>2</sub> |                            |                     |                            |
| Hydrogène  | 25 kg                      | 4,9 kg              | 2,45.10 <sup>3</sup> t     |
| Chlore   | 875 kg                     | 173 kg              | 86.10 <sup>3</sup> t       |

<sup>(1)</sup> Cette consommation peut être réduite grâce à la récupération du fluor absorbé par les creusets des fours électriques à aluminium.



Les colonnes 2 et 3 ont été établies en admettant que pour l'élaboration de 1.000 kg Al, il faut 197,5 kg NaOH 76 %.

En effet, l'électrolyse consomme par tonne Al :

122,5 kg NaOH 76 %.  
100 kg de cryolithe.

S'il faut 75 kg NaOH 76 % pour 100 kg de cryolithe, il faudra au total  $122,5 + 75 = 197,5$  kg NaOH 76 %.

\* \* \*

## II. EAU LOURDE

D'après des renseignements puisés à des sources autorisées, il semble que l'emploi de  $D_2O$  puisse se développer jusqu'à absorber plusieurs centaines de tonnes par an. Toutefois, en ce qui concerne la consommation, aussi bien qu'en ce qui regarde les prix, la situation évolue constamment.

Il est bien difficile à l'heure actuelle de déterminer le prix de l'eau lourde. On peut admettre cependant 10.000 F par kg, comme ordre de grandeur.

Une étude technique fort complète a été communiquée à la Conférence de Genève (août 1955) par M. BENE-DICT <sup>(1)</sup>.

L'eau que l'on trouve dans la nature contient environ 0,015 % de  $D_2O$ .

Divers procédés de fabrication ont été proposés :

- a) électrolyse de l'eau ;
- b) électrolyse de l'eau combinée avec les réactions d'échange deutérium/vapeur ;
- c) distillation fractionnée de l'eau ;
- d) distillation fractionnée de l'hydrogène liquide.

<sup>(1)</sup> International Conference on the peaceful Uses of Atomic Energy (A/Conf 8 P) 819 U. S. A., Genève, août 1955).

Le principe de l'enrichissement de l'eau en  $D_2O$  par électrolyse repose sur le fait que, dans certaines conditions, l'hydrogène produit par électrolyse renferme moins de  $D_2$  que l'hydrogène de l'eau.

Il y a un rapport entre la teneur de l'hydrogène dégagé à l'électrolyse et la teneur de l'hydrogène se trouvant dans le bain électrolytique.

Ce rapport  $\alpha = \frac{(H/D) \text{ gaz}}{(H/D) \text{ liquide}}$  est de 6 à 8.

Dans ces conditions, il y a, au cours de l'électrolyse, un enrichissement progressif du liquide résiduaire.

Bien entendu, au fur et à mesure de l'enrichissement de l'eau électrolysée, le gaz dégagé devient de plus en plus riche en deutérium.

Au cours de la première opération, il ne faudrait naturellement pas pousser l'électrolyse au-delà du moment où l'hydrogène à la cathode renferme autant de deutérium que l'hydrogène de l'eau ordinaire.

On peut calculer en se basant sur  $\alpha = 6$ , qu'il faudra électrolyser 88 l d'eau sur 100 l avant d'en arriver à ce moment.

Au cours de cette première opération, pour 1 litre d'eau lourde se trouvant dans la solution, on aura électrolysé 6,3 m<sup>3</sup> d'eau renfermant 0,7 tonne d'hydrogène. Pour que ce procédé soit applicable, il faut utiliser l'hydrogène produit à d'autres usages (exemple : synthèse de  $NH_3$ ).

La description du traitement de l'eau enrichie en  $D_2O$  sort du cadre de ce travail. Nous renvoyons le lecteur à l'article de BENEDICT.

Si comme au *lit. b*, on associait le procédé par électrolyse à celui qui utilise l'échange d'hydrogène deutérium/vapeur, on pourrait, d'après BENEDICT, récupérer la presque totalité de l'hydrogène contenu dans l'eau traitée et la consommation d'énergie se ramènerait à peu près à celle que nécessiterait l'électrolyse de l'eau totale utilisée.

De cette manière, d'après cet auteur, pour 1 kg  $D_2O$ , on

consommerait 70.000 kWh, libérant 1.240 kg d'hydrogène comme sous-produit.

Quoi qu'il en soit, la rentabilité de l'opération dépend de la possibilité d'utiliser cet hydrogène, par exemple, pour la synthèse de l'ammoniac. Cette interconnexion est envisagée au paragraphe suivant.

\* \* \*

### III. AMMONIAC SYNTHÉTIQUE

La fabrication de l'ammoniac synthétique peut être envisagée dans le Bas-Congo comme source d'approvisionnement d'engrais azotés.

L'azote peut être produit par liquéfaction de l'air, l'hydrogène pouvant provenir de différentes sources.

1<sup>o</sup> *Hydrogène sous-produit de la fabrication de la soude, utilisé dans la production de l'aluminium.*

Nous avons noté ci-avant que, pour 500.000 t d'aluminium, il faut produire 98.500 t de soude à 76 %, ce qui entraîne la production de 2.450 tonnes d'hydrogène.

S'il n'y avait pas de pertes, cet hydrogène permettrait de fabriquer :

$$\frac{1375 \times 17}{3} = 13.900 \text{ t de NH}_3 \text{ par an,}$$

ce qui exigerait la production de

$$\frac{1375 \times 14}{3} = 11.450 \text{ t d'azote.}$$

Si l'on admet que la production du kg d'azote consomme 0,425 kWh, la production de l'azote nécessaire à la synthèse consommerait

$$4,87. 10^6 \text{ kWh}$$

Si, pour la synthèse proprement dite, il faut 1 kWh par kg d'ammoniac, il faudra 13,9. 10<sup>6</sup> pour la synthèse de



l'ammoniac, soit au total, en y incluant l'énergie nécessaire à la production d'azote : 18,8. 10<sup>6</sup> kWh par an.

2° *Hydrogène provenant de l'électrolyse de l'eau et hydrogène sous-produit de l'eau lourde.*

La fabrication de l'hydrogène par électrolyse en vue de la synthèse de l'ammoniac n'est plus rentable à l'heure actuelle, si ce n'est en associant cette fabrication à celle de l'eau lourde.

Réciproquement, comme nous l'avons signalé, la production de D<sub>2</sub>O par électrolyse n'est rentable que si elle est associée à d'autres fabrications, par exemple celle de l'ammoniac, qui utilise les quantités énormes d'hydrogène produites lors de l'extraction de l'eau lourde.

Le tableau suivant reproduit les données de BENEDICT et leur conversion en unités métriques, avec, en regard, les consommations en kWh, les productions d'hydrogène et d'ammoniac, sous-produits de la fabrication de 50 t de D<sub>2</sub>O.

| D <sub>2</sub> O produit          | 1 lb        | 453 g D <sub>2</sub> O | 1 kg       | 50 t D <sub>2</sub> O  |
|-----------------------------------|-------------|------------------------|------------|------------------------|
| Énergie cons.                     | 31.800 kWh  | 31.800 kWh             | 70.000 kWh | 35.10 <sup>8</sup> kWh |
| H <sub>2</sub> produit<br>(60° F) | 224.000 cuf | 533 kg H <sub>2</sub>  | 1,175 t    | 58.700 t               |
| NH <sub>3</sub> produit           | 3 sht       | 2,72 t                 | 6 t        | 300.000 t              |

Si l'on se base sur ces données, on aurait pour 50 t de D<sub>2</sub>O, 58.700 t d'hydrogène.

Cette énorme quantité d'hydrogène permettrait de produire 300.000 t d'ammoniac.

Cette fabrication entraînerait d'autre part la consommation de 300.10<sup>6</sup> kWh pour la synthèse de l'ammoniac proprement dite et il faudrait 246.000 t d'azote.

La production de cet azote consommerait 104.10<sup>6</sup> kWh, soit au total

|  |                        |
|--|------------------------|
| Production eau lourde                            | 50 t                   |
| kWh électrolyse D <sub>2</sub> O (voir ci-avant) | 35.10 <sup>8</sup> kWh |

|   |                         |                            |
|---|-------------------------|----------------------------|
| l' $\text{NH}_3$ sous-produit de l'eau lourde |                         |                            |
| consomme                                      | 300.10 <sup>6</sup> kWh | } 404.10 <sup>6</sup> kWh. |
|   | 104.10 <sup>6</sup> kWh |                            |

### III. FABRICATIONS UTILISANT L'AMMONIAC.

L'ammoniac est essentiellement utilisé à la fabrication des engrais azotés, mais, actuellement, un tonnage assez considérable de  $\text{NH}_3$  sert à la fabrication de l'urée, qui est utilisé non seulement comme engrais, mais aussi comme matière première de l'industrie des matières plastiques.

#### 1<sup>o</sup> *Sulfate ammonique.*

En Belgique, les engrais azotés sont produits sous forme de sulfate ammonique, à partir d'acide sulfurique et d'ammoniac provenant en ordre principal de la synthèse de l'ammoniac et étant accessoirement un sous-produit de la fabrication du coke. Le sulfate industriel contient approximativement 20 % d'azote.

Cette fabrication a l'inconvénient d'exiger l'emploi de l'acide sulfurique et de produire un engrais de teneur assez faible en azote.

A première vue, la fabrication de cet engrais est à exclure au Congo, étant donné l'incidence des frais de transport rapportés à l'unité d'azote, et de plus, en ce qui concerne le Bas-Congo, à cause des difficultés relatives d'approvisionnement en soufre.

#### 2<sup>o</sup> *Nitrate ammonique.*

La fabrication du nitrate ammonique se développe malgré le danger qu'elle présente (catastrophes de Oppau, Tessengerloo, Texas).

Le nitrate ammonique industriel contient environ 33 % d'azote ; il s'obtient aisément par action de l'ammoniac sur l'acide nitrique synthétique.

Ce dernier est lui-même obtenu par l'oxydation au moyen d'air de  $\text{NH}_3$ , sur catalyseurs de platine.

Notons que la consommation d'énergie électrique pour la fabrication de l'acide nitrique par cette méthode est relativement faible (270 kWh/t  $\text{NO}_3\text{H}$  100 %).

### 3° *Urée* ( $\text{NH}_2\text{CO NH}_2$ ).

La synthèse de l'urée à partir de  $\text{CO}_2$  et de  $\text{NH}_3$  se fait aujourd'hui à très grande échelle.

La production d'urée synthétique aux É.-U. a été d'environ 330.000 t en 1955 et l'on prévoit que cette production doublera d'ici un an ou deux.

Le Président de la *U.S.A. Materials Policy Commission* prévoit d'autre part, que la consommation, évaluée actuellement à 60.000 t par an dans l'industrie des matières plastiques, sera doublée avant 1975.

Notons que l'urée est aussi utilisée comme source de protéines dans la nourriture des animaux, et l'on évalue aux É.-U. cette consommation à environ 70.000 t par an.

C'est cependant comme engrais synthétique que l'urée semble avoir le plus grand avenir.

Elle est aisément soluble dans l'eau et est aussi l'engrais ayant la teneur en azote la plus élevée (46,7 %).

Actuellement on admet que la consommation d'énergie électrique est d'environ 300 kWh par tonne et le prix de revient environ 75 \$ la tonne.

En ce qui concerne le Bas-Congo, l'urée pourrait être synthétisée à partir de  $\text{NH}_3$  (voir ci-avant) et d'anhydride carbonique provenant de la décomposition du calcaire, dans l'industrie de la chaux et du ciment.

Ces industries sont certainement appelées à se développer dans le Bas-Congo, si l'on réalise l'aménagement du site d'Inga.

### 4° *Phosphate ammonique.*

Cet engrais composé contenant l'azote et le phosphore



sous une forme très concentrée pourrait sans doute également présenter un intérêt pour la Colonie.

Dans le paragraphe suivant, nous donnerons des chiffres concernant la consommation d'énergie pour la production d'acide phosphorique.

Le  $\text{PO}_4\text{H}_2\text{Am}$  s'obtient aisément par combinaison d'acide phosphorique et d'ammoniac gazeux.

On obtient ainsi un produit industriel renfermant environ 11 % d'azote et 48 % de  $\text{P}_2\text{O}_5$ .

\* \* \*

#### IV. CYANAMIDE CALCIQUE

Au cas où la fabrication d'eau lourde ne serait pas réalisée, on pourrait trouver un complément d'engrais azotés par la fabrication de cyanamide calcique.

La cyanamide commerciale a une teneur de 55 à 70 % en  $\text{CaN}_2$ . C'est une substance grise qui contient environ 20 à 24 % N, 12 % C, 12 à 15 % CaO.

Cet engrais est intéressant parce qu'il ne nécessite pas la production conjointe d'acide sulfurique ou nitrique pour la fabrication de sulfate ammonique, comme c'est le cas pour l'ammoniaque de synthèse.

La cyanamide calcique est d'autre part un engrais consommateur d'énergie électrique. Par tonne d'azote fixé dans la cyanamide, il faut 9.600 kWh et la mise en œuvre de 5,25 t de calcaire, 2 t de coke et 1 t de charbon.

L'azote utilisé peut être fabriqué par la liquéfaction de l'air.

Rappelons que la cyanamide calcique, comme l'urée, ne nécessite pas la production conjointe d'acide sulfurique ou nitrique, comme c'est le cas pour la production de sulfate ou de nitrate ammonique.

\* \* \*

## V. ACIDE PHOSPHORIQUE ET PHOSPHATES

Si l'on veut entreprendre au Congo la fabrication d'engrais phosphatés, il faut s'attacher en tout premier lieu aux engrais à très haute teneur en phosphore, cela pour réduire au minimum les frais de transport de l'élément utile qui sera sans doute, au moins partiellement, utilisé dans l'intérieur de la colonie et de ce fait, grevé de transports coûteux.

Le rapport PALEY (*op. cit.*, p. 156) indique qu'en 1949 la consommation aux États-Unis était de 3 millions de short tons, calculée en  $P_2O_5$ . Il estime que cette consommation sera doublée dans les 20 ans.

Les importations de la Belgique en roches phosphatées, en 1954, se sont élevées à environ 400.000 t contenant 120.000 t de  $P_2O_5$ .

Comme ordre de grandeur, admettons que l'on puisse produire dans le Bas-Congo et vendre environ 150.000 t/an d'acide phosphorique à 85 %.

Le tableau ci-dessous donne les consommations en matières premières et en énergie électrique pour la production de telles quantités d'acide phosphorique.

|                                | kg par 1.000 kg | pour 150.000 t/an       |
|--------------------------------|-----------------|-------------------------|
| Roche phosphatée (69,8 B.P.L.) | 1.980           | 297.10 <sup>3</sup> t   |
| Silice                         | 635             | 95.10 <sup>3</sup> t    |
| Coke                           | 375             | 56,4.10 <sup>3</sup> t  |
| Électricité                    | 3.800 kWh       | 5,7.10 <sup>8</sup> kWh |

On commence à utiliser actuellement le  $CaF_2$  artificiel, sous-produit de l'industrie des phosphates. Le phosphate naturel riche contient environ 3 % de fluor. En comptant sur une récupération de 80 % du fluor contenu, l'industrie envisagée pourrait fournir 14.600 t de  $CaF_2$  artificiel.

Ce sous-produit intéressant viendra en déduction des

importations de fluorine naturelle nécessitées par la fabrication de cryolithe artificielle (1).

\* \* \*

## VI. TITANE (2)

La principale utilisation actuelle des minerais de titane est toujours la fabrication du blanc de titane ( $\text{TiO}_2$ ).

Elle se fait principalement au départ d'ilménite. Il s'agit d'une industrie bien établie, mais dont le développement possible est limité. Elle consomme peu d'énergie.

Par contre, le titane métal semble promis à un brillant avenir, en raison de sa légèreté et de sa résistance à la corrosion, combinées à une bonne résistance mécanique (même à une température assez élevée). C'est un matériau de choix pour la construction aéronautique.

Le grand obstacle au développement de ses emplois est le prix de revient élevé de son élaboration métallurgique et de sa transformation en métal laminé et alliages directement utilisables. Le prix actuel est aux États-Unis, principal producteur, de 3,95 dollars la livre, pour l'éponge de titane obtenu directement par le procédé KROLL. La transformation en métal pur forgé ou laminé, en plats et tôles minces, double à peu près la valeur.

Le professeur H. H. KELLOGG, président du *Titanium Advisory Committee* du Gouvernement des É.-U. estime cependant que lorsque l'industrie du titane aura atteint le stade de maturité, le prix de l'éponge de titane pourra être ramené à 1,15 dollars par livre, grâce au perfectionnement progressif du procédé KROLL (3).

(1) HILL, W. L. et JACOB, K. D., Phosphate rock, economic source of fluorine. (*Min. Engineering*, t. 6, n° 10, 1954, pp. 994-1000).

(2) Ce paragraphe a été rédigé par M. DE MAGNÉE.

(3) H. H. KELLOGG, What the Future holds for Titanium (*Eng. and Mining Journal*, Vol. 156, n° 4, April 1955).



En attendant, le Gouvernement des É.-U. soutient puissamment le développement de cette industrie. En 1954, celle-ci produisait 4.800 t d'éponge de titane et 6.730 t en 1955. Le programme d'expansion comporte une production qui atteindrait 34.000 t en 1957. Les contrats en voie d'exécution portent sur une production de 19.600 t.

D'après les experts, les besoins des É.-U. seraient de l'ordre de 130.000 t. Le professeur KELLOGG estime à 200.000 t la consommation des É.-U., lorsque le titane en lingots atteindra un prix de l'ordre de 1,30 dollars.

L'invention d'un procédé moins coûteux que le procédé KROLL augmenterait considérablement cette consommation.

D'autres pays ont compris l'importance du titane et commencent à le fabriquer en petites quantités. Le Japon a produit, en 1954, 610 t d'éponge de titane et comptait atteindre 2.400 t en 1955. En Angleterre, l'*Imperial Chemical Industries* a créé une installation dont la capacité est de 1.500 t/an. D'autres usines sont en construction.

La production annuelle de l'U.R.S.S. a été estimée à 90.000 t !

#### MATIÈRES PREMIÈRES.

La presque totalité du titane produit aux États-Unis provient de rutilé australien.

Nous avons signalé dans la première partie pourquoi il se produira probablement une évolution vers l'utilisation de minerais moins purs que le rutilé, soit l'ilménite ou les magnétites titanifères. C'est ce dernier type de minerai, dont l'approvisionnement économique est assuré pour le Bas-Congo, qui paraît particulièrement intéressant pour notre projet. Sa métallurgie fournirait, en plus du titane, une fonte de qualité convenant pour la fonderie et pour la conversion en acier, ce qui pourrait

couvrir les besoins propres du complexe industriel envisagé.

### MÉTALLURGIE.

Jusqu'à présent, le seul procédé utilisé à l'échelle industrielle est le procédé KROLL. Il comporte une réduction partielle, suivie de chloruration. Le  $TiCl_4$  obtenu, après purification, est décomposé à l'aide de magnésium. Le titane est obtenu sous forme de loupe ou « éponge », et doit être débarrassé du magnésium et des gaz occlus.

#### a) Préparation de $TiCl_4$ pur.

Le minerai de titane (rutil, ilménite ou laitier à 70 %  $TiO_2$ ) est briqueté avec du charbon de bois (un tiers du poids de  $TiO_2$ ).

Les briquettes sont chauffées à 800° à 1000° C dans un four électrique, sous un courant de chlore. Les gaz qui distillent comprennent  $TiCl_4$  et  $FeCl_3$ . La condensation donne un mélange de  $TiCl_4$  liquide et de  $FeCl_3$  solide. Une redistillation donne du tétrachlorure de titane pur.

La réaction de chloruration peut également se faire dans de bonnes conditions par le procédé fluo-solids.

En supposant que 50 % du chlore utilisé soit employé efficacement, la fabrication de 1 kg de titane métal consommerait 5,92 kg de chlore, disons 6 kg.

Or, nous avons signalé que l'électrolyse de NaCl correspondant à la fabrication de 500.000 t d'aluminium fournirait un excédent de 86.000 t de chlore. Celui-ci permettrait donc la fabrication du tonnage de  $TiCl_4$  correspondant à 14.000 t de titane métal. La récupération du chlore perdu sous forme de  $FeCl_3$ ,  $MgCl_2$  ou NaCl est évidemment possible et réduirait la consommation à environ 1 kg de Cl par kg de titane.

La préparation de  $TiCl_4$  représente environ 25 % du prix de revient du métal. La consommation de charbon de bois est assez faible : 800 g par kg de titane produit.

b) *Décomposition de  $TiCl_4$  par le magnésium.*

Le  $TiCl_4$  liquide est mis en présence de magnésium fondu dans un réacteur étanche à atmosphère d'argon. La réaction est exothermique et le  $TiCl_4$  doit être introduit par petites quantités.

Le  $MgCl_2$  liquide est évacué périodiquement et soumis à électrolyse pour récupération de magnésium et de chlore.

A la fin de l'opération, une loupe spongieuse de titane remplit le réacteur. L'enlever est une opération difficile. La loupe ne dépasse pas, actuellement, le poids de 3.000 lbs.

La récupération de titane est voisine de 87 % de celui mis en œuvre sous forme de laitier.

L'électrolyse de  $MgCl_2$  permet de réduire la consommation de magnésium à 0,30 kg par kg de titane.

c) *Raffinage et coulée.*

L'éponge de titane est débarrassée des résidus de Mg et  $MgCl_2$  par distillation sous vide ou par dissolution acide.

Une fusion sous vide permet de couler des lingots suffisamment pauvres en gaz dissous.

L'obtention de lingots de métal pur forgeable exige une nouvelle fusion au four à arc, à électrode fondante en titane, dans une atmosphère d'argon.

Ces opérations consomment environ 2,2 kWh par livre de lingots de titane raffiné et coulé.

d) *Substitution du sodium au magnésium.*

Cette substitution semble avantageuse puisque l'électrolyse de NaCl fondu fournit à la fois le chlore et le sodium métallique.

Le procédé au sodium est déjà appliqué, à l'échelle pilote, par l'*Union Carbide and Carbon Corporation* et par l'*Imperial Chemical Industries*.



C'est ce procédé qui semble le plus intéressant pour le Bas-Congo.

e) *Consommation d'énergie.*

Le procédé au magnésium consomme environ 31 kWh par kg d'éponge de titane produit, en partant de rutile.

Pour faire la réduction au sodium, il faut théoriquement 2 kg de sodium par kg de titane. L'électrolyse de NaCl demande 15,5 kWh par kg de sodium. Il faut donc 31 à 35 kWh par kg de titane.

Une usine fabriquant 10.000 t de titane consommerait environ 35.10<sup>7</sup> kWh par an, ce qui correspond à une puissance installée d'environ 50.000 kWh. Si l'on utilise de l'ilménite, les besoins seraient de l'ordre de 35.000 t de ce minerai.

f) *Utilisation de la magnétite titanifère de l'Angola*  
(composition : 26 % TiO<sub>2</sub> et 52 % Fe).

La fabrication de 10.000 tonnes de titane exigerait la mise en œuvre d'environ 65.000 t de ce minerai. Sa réduction au four électrique produirait environ 30.000 t de fonte et 24.000 t de laitier à 70 % TiO<sub>2</sub>.

La consommation d'un four électrique marchant pour fonte est, au plus, de 3 kWh par kg de fonte.

\* \* \*

## VII. MANGANÈSE

### PRODUCTION DE FERRO-MANGANÈSE.

Le manganèse est vendu principalement en alliage ferro. L'alliage type est à 85 % de Mn. Ces alliages sont utilisés en sidérurgie en quantités importantes.

D'autre part, le manganèse très pur se fabrique aujourd'hui en vue de son utilisation dans la fabrication des alliages non ferreux.

En 1951, la production de ferro-manganèse aux États-Unis était de 791.10<sup>3</sup> short tons à 76 % de manganèse, exigeant l'emploi de 1.416.000 sht de minerai, soit 1,9 t de minerai par tonne de ferro.

Le minerai de manganèse de la Société BÉCÉKA-MANGANÈSE (Kisenge) contient :

|                        |         |                    |               |
|------------------------|---------|--------------------|---------------|
| Manganèse .....        | 50 %    | Phosphore .....    | 0,10 à 0,15 % |
| Fer .....              | 2 à 3 % | Zinc et Plomb .... | traces        |
| Silice + alumine ..... | ± 10 %  |                    |               |

Le prix du minerai était aux États-Unis, en février 1956, de 1,16 dollars l'unité long ton, soit pour du minerai congolais à 50 % Mn, 2.850 F c.i.f. New-York (par tonne métrique).

Le prix du ferro à 75 % de Mn était à la même époque d'environ 205 dollars par short ton, soit 11.290 F par t métrique.

On pourrait envisager une production de 200.000 t de ferro <sup>(1)</sup>. Cette fabrication se fait au four électrique et demande 3.200 kWh par t, soit pour 200.000 t :  $6,4 \times 10^8$  kWh par an.

Il y a une consommation d'environ 600 kg de coke par tonne d'alliage et 75 lb de carbone d'électrode. Le coke peut être remplacé par du charbon de bois.

#### PRODUCTION DE MANGANÈSE PUR.

Cette production se fait par électrolyse. Le seul producteur américain est actuellement l'*El. Manganese Corp.*

(1) Cette production se justifie par le fait que l'estuaire du Congo se trouve à bonne portée de transport de gisements très importants, comme il est montré dans la première partie. Rappelons que la production de BÉCÉKA-MANGANÈSE a été de 290.000 t en 1955.

à Knoxville. La valeur du métal pur était de 31,5 cents /lb en 1953.

Pour faire cette électrolyse, on attaque le minerai, après grillage réducteur, par une solution de sulfate ammonique acide. On obtient ainsi du  $\text{SO}_4\text{Mn}$ , on neutralise au  $\text{pH} = 6,5$ , puis on précipite par  $\text{H}_2\text{S}$  les cations gênants : As, Cn, Zn, Pb, Ni, Co, Mo. On peut ainsi, en utilisant une solution très pure, arriver à un métal à 99,9 %.

Cette électrolyse exige 8,5 kWh par kg de métal produit.

Comme indiqué dans la première partie, le minerai congolais de Kisenge (*Bécéka-Manganèse*), sortant par Lobito, pourrait être traité avantageusement dans l'estuaire du fleuve, y compris les minerais « pauvres » ou pulvérulents actuellement inutilisés. Sa faible teneur en fer le rend particulièrement intéressant pour la fabrication des ferros à haute teneur en manganèse, qui ont le plus de valeur à l'unité de manganèse.

\* \* \*

## VIII. BÉRYLLIUM

Le béryllium est utilisé en alliage et à l'état pur.

Le minerai utilisé est le béryl ( $\text{Be}_3\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{18}$ ), qui est un métasilicate d'aluminium et de béryllium.

Poids spécifique : 2,66.

La production mondiale en concentrés de béryl (10 %  $\text{BeO}$ ) était en 1951 de 5.750 t. En 1954, elle a été du même ordre de grandeur. En janvier 1956, le béryl 10 % c.i.f. New-York, valait 20.400 F la tonne.

Les réserves mondiales connues à l'heure actuelle, en exceptant celles de l'U.R.S.S., ont été estimées à 227.000 t.

Rappelons que, parmi les principaux producteurs de béryl, figurent la Rhodésie du Sud et l'Afrique du Sud-Ouest (voir première partie).



## UTILISATIONS.

Les usages classiques du béryllium comportent la fabrication d'une série d'alliages :

- 4 % de béryllium dans le cuivre ;
- 5 % de béryllium dans l'aluminium ;
- 2,7 % de béryllium dans le nickel.

L'alliage de cuivre qui renferme 4 % de béryllium est appelé *master alloy*. Sa fabrication se fait par réduction de BeO en présence de cuivre. L'opération s'effectue au four électrique et la consommation d'énergie électrique est d'environ 2,75 kWh par kg d'alliage à 4 %.

Cet alliage trouve son application grâce à sa haute conductibilité électrique et thermique, ainsi qu'à sa bonne résistance à la fatigue à haute température. Il s'emploie notamment dans la fabrication d'instruments de précision et de moules pour l'industrie plastique.

## BÉRYLLIUM MÉTAL.

Le prix du béryllium est aux États-Unis :

1<sup>ère</sup> qualité : 104 \$ par lb ;

Qualité technique : 56 à 71 \$ par lb.

Poids spécifique du béryllium : 1,816 ; température de fusion : 1.285°

C'est un métal léger qui est utilisé comme dans la production d'énergie nucléaire, où il intervient comme source de neutrons. Il peut aussi être utilisé comme retardateur de la vitesse des neutrons, cela sans grande perte d'énergie, grâce à la « transparence » du métal vis-à-vis du rayonnement neutronique.

Les besoins de l'*U.S. Atomic Energy Commission* sont de l'ordre de 100.000 lbs par an.

*Fabrication du béryllium*

L'un des procédés utilisés met en œuvre la désagrégation des cristaux de béryl par le carbonate de soude, — l'autre par la fusion du minerai.

De toute manière, le produit désagrégé est attaqué par l'acide sulfurique et l'hydrate de béryllium est précipité par l'ammoniaque. On obtient un oxyde après calcination.

L'oxyde BeO est chloruré par la méthode classique, en présence de carbone, à 1.000°. Le BeCl<sub>2</sub> est électrolysé à 730°, la tension aux bornes étant de 5 V.

L'élaboration du béryllium exige donc un apport de chlore, d'ammoniaque et d'acide sulfurique, produits dont on disposerait en abondance si l'on crée les industries de l'aluminium et de l'ammoniaque.

\* \* \*

**IX. CARBURE DE SILICIUM ET ALUMINE**

*1° Carbure de Silicium.*

La production en 1951 était pour les États-Unis et le Canada de 100.000 short tons. Le prix était d'environ 110 \$ par sht.

Le tableau ci-dessous indique les matières premières et l'énergie électrique requises pour la fabrication de ce matériau abrasif.

|                    | Pour 1.000 kg | Pour 5.000 t             |
|--------------------|---------------|--------------------------|
| Sable              | 2.100 kg      | 10.500 t                 |
| Coke               | 1.400 kg      | 7.000 t                  |
| Énergie électrique | 9.500 kWh     | 47,5.10 <sup>6</sup> kWh |

*2° Alumine.*

En 1951, on a produit aux États-Unis et au Canada environ 216.000 sht d'alumine surcuit pour servir comme abrasif. Le prix était de 100 \$ par sht.

L'énergie électrique consommée pour cette fabrication étant d'environ 3.500 kWh par tonne, une fabrication de 10.000 tonnes entraînerait une consommation de  $3,5 \cdot 10^7$  kWh.

\* \* \*

## X. GRAPHITE ARTIFICIEL

En dehors de la fabrication des électrodes en carbone que nécessite le fonctionnement des fours électriques pour la production des ferro-alliages <sup>(1)</sup>, on peut envisager la fabrication de graphite artificiel pour d'autres usages, ainsi que celle du graphite nucléairement pur.

### 1° *Graphite industriel.*

Cette fabrication se fait au départ de coke de pétrole et de brai et consomme :

1 kWh par lb pour la première cuisson ;

4 kWh par lb pour la graphitisation proprement dite.

Cette dernière consommation peut être réduite à 2 à 3 kWh pour les fours de très grande capacité.

Admettons que la consommation soit de 10 kWh par kg au total.

Si l'on admet d'autre part une production d'environ 3.000 t par an, la consommation en énergie électrique sera de  $30 \cdot 10^6$  kWh.

### 2° *Graphite nucléairement pur.*

Dans l'état actuel de la technique de production d'énergie des piles atomiques, il faut prévoir parallèlement à l'emploi de l'eau lourde, celui du graphite nucléairement pur, comme modérateur dans les piles.

Pour la production du carbone lui-même, il faut pré-

(1) Une étude plus complète devrait inclure cette fabrication.



voir une consommation supplémentaire d'environ 6 kWh.

La production de 1.000 t par an de graphite nucléairement pur entraînerait la consommation totale de 16.10<sup>6</sup> kWh an.

Il est à noter toutefois que, dans le procédé mis au point dans les laboratoires de chimie industrielle de l'Université de Bruxelles, qui a fait l'objet d'une prise de brevet, la matière première (coke de gaz) est produite par cracking de butane et propane, résidus des raffineries de pétrole.

Ce cracking pourrait probablement s'effectuer à la raffinerie qui sera établie à Loanda (voir p. 33). D'ailleurs, il serait toujours possible de faire cette opération en Belgique et la graphitisation au Congo.

## XI. SILICIUM ET ALLIAGES

En 1951, on a produit aux États-Unis environ 740.000 t de ferro-silicium. En dehors du ferro-silicium à diverses teneurs, on produit aussi du silico-manganèse et du silicium pur.

Le silicium pur est utilisé dans les alliages non ferreux et actuellement aussi dans les « Cermets » (1). On a fait en 1952 environ 8.000 t de silicium pur aux États-Unis, par réduction de silice très pure.

Il est utilisé notamment pour faire des silico-manganèses à 35 % Si, 50 % Mn et 13 % Si, 65 à 70 % Mn.

La consommation d'énergie électrique varie avec la teneur en Si de l'alliage et avec la capacité du four.

Dans le commerce, on trouve trois types d'alliage ferro. Nous donnons ci-après, une évaluation, d'après K. ARNDT (2), de la consommation d'énergie électrique correspondant à chacune de ces qualités, pour des fours à grosse production (environ 10.000 kW).

(1) Produits réfractaires spéciaux obtenus par réaction en poudre entre un métal et une matière céramique.

(2) ARNDT, K., Technische Elektrochemie (Stuttgart, 1929), p. 120.

Pour l'alliage à 45 % environ 5.000 kWh par t d'alliage ;  
 »   »   75 %   »   10.000 kWh   »   »   » ;  
 »   »   90-97 %   »   15.000 kWh   »   »   » ;

Ne disposant pas de chiffres pour la consommation d'énergie de la production de Si pur, nous admettons, pour les besoins de cette étude, qu'elle s'élèverait à environ 20.000 kWh/t.

Nous estimons, pour une production de 100.000 t de ferro-silicium, la consommation d'énergie à environ 10<sup>9</sup> kWh.

Pour 5.000 t de silicium pur, on consommera environ 10<sup>8</sup> kWh.

\* \* \*

## XII. MAGNÉSIUM

Dans une note spéciale consacrée à la fabrication du magnésium, l'un de nous a montré l'intérêt qu'il y aurait à envisager la production de ce métal au Katanga (1).

Certes, la fabrication du magnésium est grosse consommatrice d'énergie électrique, mais on ne peut envisager cette fabrication à très grande échelle.

La production mondiale en 1954 n'a pas dépassé 125.000 t.

D'autre part, on peut trouver au Katanga les matières premières, qui sont pondéreuses (giobertites). Le prix du métal est suffisamment élevé pour qu'il puisse être grevé des frais de transports du Katanga à la mer.

Le magnésium peut aussi être extrait de l'eau de mer, mais si l'on envisageait sa fabrication dans le Bas-Congo, il ne faudrait pas perdre de vue que les eaux douces du fleuve Congo lui-même s'étendent très loin en plein océan.

\* \* \*

(1) W. L. DE KEYSER, Possibilités de fabrication de magnésium au Katanga (*Bull. des Séances de l'Acad. R. Sc. Col.*, 1956, N. S. II, fasc. 2).

XIII. URANIUM MÉTAL  $U_{235}$ 

Le minerai se trouve au Katanga. L'uranium n'est pas un métal dont la fabrication mette en œuvre de très gros tonnages et ne s'impose pas au Bas-Congo.

Certes, la production de l'isotope  $U_{235}$  serait grosse consommatrice d'énergie électrique. Mais la question de la production de l' $U_{235}$  nous paraît beaucoup trop mouvante pour que l'on puisse faire à ce sujet des prévisions raisonnables basées sur les techniques actuelles.

\* \* \*

## TABLEAU RÉCAPITULATIF

Les données de la présente étude permettent, sous réserve des remarques faites dans l'avertissement, de faire un calcul approximatif de l'énergie électrique consommée et de la puissance installée suivant diverses hypothèses de production.

1<sup>ère</sup> Hypothèse.

|                      | Production<br>en t annuelle | Énergie consommée<br>en kWh | Remarques   |
|----------------------|-----------------------------|-----------------------------|---|
| Aluminium            | 500.000 t                   | 12,33.10 <sup>9</sup>       | L'énergie englobe les installations annexes (C, NaOH).              |
| NH <sub>3</sub>      | 13.900 t                    | 0,0188.10 <sup>9</sup>      | Utilisat. H <sub>2</sub> sous-produit de la fabrication de la soude |
| Titane               | 10.000 t                    | 0,35.10 <sup>9</sup>        |   |
| Ferro-Mn             | 200.000 t                   | 0,64.10 <sup>9</sup>        |   |
| Mn pur (électrolyse) | 1.000 t                     | 0,0085.10 <sup>9</sup>      |   |
| Ferro-silicium       | 100.000 t                   | 1.10 <sup>9</sup>           |   |
| Silicium pur         | 5.000 t                     | 0,1.10 <sup>9</sup>         |   |



|                           |              |                               |
|---------------------------|--------------|-------------------------------|
| Graphite industriel       | 3.000 t      | 0,03.10 <sup>9</sup>          |
| Graphite nucléaire        | 1.000 t      | 0,016.10 <sup>9</sup>         |
| Acide phosphorique (85 %) | 150.000 t    | 0,57.10 <sup>9</sup>          |
| Carbure de silicium       | 5.000 t      | 0,047.10 <sup>9</sup>         |
| Alumine (abrasif)         | 10.000 t     | 0,035.10 <sup>9</sup>         |
|                           | <i>Total</i> | <u>15,1453.10<sup>9</sup></u> |

Soit  $\frac{15,15 \cdot 10^9}{300 \times 24} = 2,10 \cdot 10^6$  kW de puissance moyenne utile.

### 2<sup>ème</sup> Hypothèse.

|                                      |             |                            |
|--------------------------------------|-------------|----------------------------|
| Aluminium                            | 1.000.000 t | 24,66.10 <sup>9</sup> kWh  |
| NH <sub>3</sub> (sous-produit Na OH) | 27.800 t    | 0,0376.10 <sup>9</sup> kWh |

Autres productions de même qu'au (1<sup>o</sup>)

|                           |                            |
|---------------------------|----------------------------|
| Consommation totale :     | 27,505.10 <sup>9</sup> kWh |
| Puissance moyenne utile : | 3,82.10 <sup>6</sup> kW    |

### 3<sup>ème</sup> Hypothèse.

|   |             |                            |
|---|-------------|----------------------------|
| Aluminium                                 | 1.000.000 t | 24,66.10 <sup>9</sup> kWh  |
| NH <sub>3</sub> (sous-produit NaOH)       | 27.800 t    | 0,0376.10 <sup>9</sup> kWh |
| NH <sub>3</sub> (sous-produit eau lourde) | 300.000 t   | 0,404.10 <sup>9</sup> kWh  |
| Eau lourde                                | 50 t        | 3,5.10 <sup>9</sup> kWh    |

Autres productions de même qu'au (1<sup>o</sup>) :

|                           |                            |
|---------------------------|----------------------------|
| Consommation totale :     | 31,409.10 <sup>9</sup> kWh |
| Puissance moyenne utile : | 4,36.10 <sup>6</sup> kW    |

## Conclusions.

Pour les seules fabrications envisagées, les tableaux récapitulatifs arrivent pour les puissances moyennes utiles à :

|                           |                     |
|---------------------------|---------------------|
| 1 <sup>re</sup> hypothèse | 2,1 millions de kW  |
| 2 <sup>e</sup> hypothèse  | 3,82 millions de kW |
| 3 <sup>e</sup> hypothèse  | 4,36 millions de kW |

Nous sommes, bien entendu, encore loin de l'utilisation industrielle des 20 millions de kW disponibles à Inga. Il paraît d'ailleurs impossible de faire d'emblée d'aussi importantes installations.

Toutefois, tenant compte de ce que nous avons dit des consommations croissantes d'énergie, tout doit être prévu dès le début pour ne pas rendre impossible dans la suite l'utilisation de l'ensemble de l'énergie disponible. Il ne faudrait pas compromettre l'avenir pour réaliser des économies au départ.

L'étude de l'emploi de l'énergie hydraulique du Bas-Congo s'impose à nous impérieusement, car nous n'en sommes plus, comme en 1928, à n'envisager ce problème que sous le seul angle de la rentabilité immédiate.

Nous avons d'ailleurs montré par des exemples que l'utilisation de 4 à 5 millions de kW dans un avenir prévisible, n'est pas du domaine de la mégalomanie.

La consommation mondiale d'énergie monte en flèche. D'ici peu, que nous le voulions ou non, l'utilisation de l'énorme réservoir d'énergie que constitue le fleuve Congo sera une nécessité à l'échelle mondiale.

Certaines industries grandes consommatrices d'énergie devront logiquement se déplacer vers les sources non utilisées, où elles ne seront pas en compétition avec de nombreux autres consommateurs.

Dans ces conditions, la seule politique valable est de nous mettre immédiatement à l'ouvrage, faute de quoi, dans 10 ans, nous en serons encore comme aujourd'hui à rechercher les moyens financiers. Mais d'ici là nous ne trouverons pas en Belgique tous les techniciens nécessaires pour collaborer efficacement à cette vaste entreprise, qui risquera, alors, de nous échapper complètement.

Les études économiques et industrielles à elles seules constituent une tâche gigantesque. Notre modeste travail ne fait qu'esquisser bien incomplètement quelques-unes des données de ces vastes problèmes.

Pour chacune des industries que nous avons passées en revue, l'étude approfondie devrait être confiée à des spécialistes et sans doute, devra-t-on, dans plusieurs domaines, avoir recours à des étrangers.

Mais nous estimons que, dès le début, de jeunes ingénieurs belges devraient être appelés à participer directement à ces études, afin de s'initier à des industries inexistantes en Belgique. Il y a donc un intérêt national à se préoccuper dès maintenant de la formation des cadres techniques.

En nous en tenant strictement au côté économique et industriel auquel se limite le présent mémoire, — lequel, répétons-le, n'a envisagé ni les caractéristiques propres du site d'Inga, ni les modalités de son équipement hydroélectrique —, nous croyons pouvoir conclure en soulignant l'urgence des études à entreprendre.

Cette tâche ne peut être menée à bien que si l'État et les grandes sociétés coloniales et métropolitaines s'associent pour la création d'un vaste organisme d'étu-



des et de recherches, où de jeunes techniciens, sous la conduite d'hommes expérimentés, étudieront de façon approfondie les aspects économiques et industriels de problèmes qui n'ont pu être qu'abordés dans ce travail.

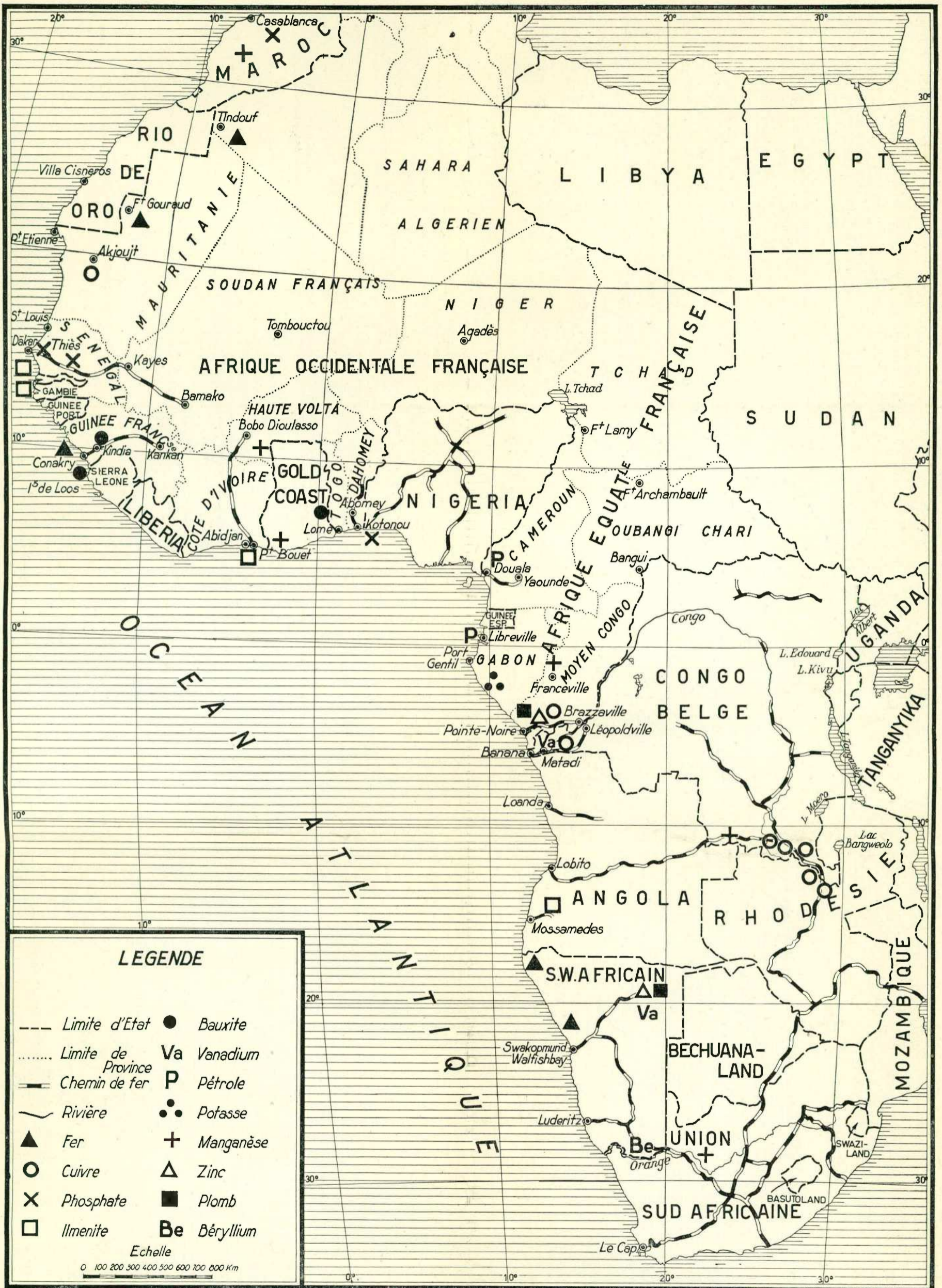
Bruxelles, le 15 mars 1956.

## TABLE DES MATIÈRES

|  |    |
|--|----|
| INTRODUCTION .....   | 3  |
| 1 <sup>re</sup> partie. RESSOURCES MINIÈRES .....  | 7  |
| I. Aluminium .....   | 8  |
| II. Fer .....  | 11 |
| III. Manganèse .....   | 13 |
| IV. Phosphates .....   | 15 |
| V. Sel gemme et sel marin .....  | 16 |
| VI. Potasse .....  | 17 |
| VII. Ilménite, rutile et magnétite titanifère .....  | 18 |
| VIII. Minerais de Pb, Zn et Cu .....   | 20 |
| IX. Pyrite et soufre .....   | 22 |
| X. Lithium .....   | 23 |
| XI. Calcaire et gypse .....  | 24 |
| XII. Magnésium et magnésie .....   | 25 |
| XIII. Vanadium .....   | 25 |
| XIV. Chromite .....  | 26 |
| XV. Béryllium .....  | 26 |
| XVI. Fluorine .....  | 27 |
| Conclusions .....  | 27 |
| 2 <sup>e</sup> partie. FABRICATIONS ÉLECTROCHIMIQUES ET ÉLECTROMÉTAL-<br>LURGIQUES. FABRICATIONS ANNEXES ..... | 30 |
| Avertissement .....  | 30 |
| I. Aluminium .....   | 30 |
| II. Eau lourde .....   | 37 |
| III. Ammoniac synthétique .....  | 39 |
| Fabrications utilisant l'ammoniac .....  | 41 |
| IV. Cyanamide calcique .....   | 43 |
| V. Acide phosphorique, et phosphates .....   | 44 |

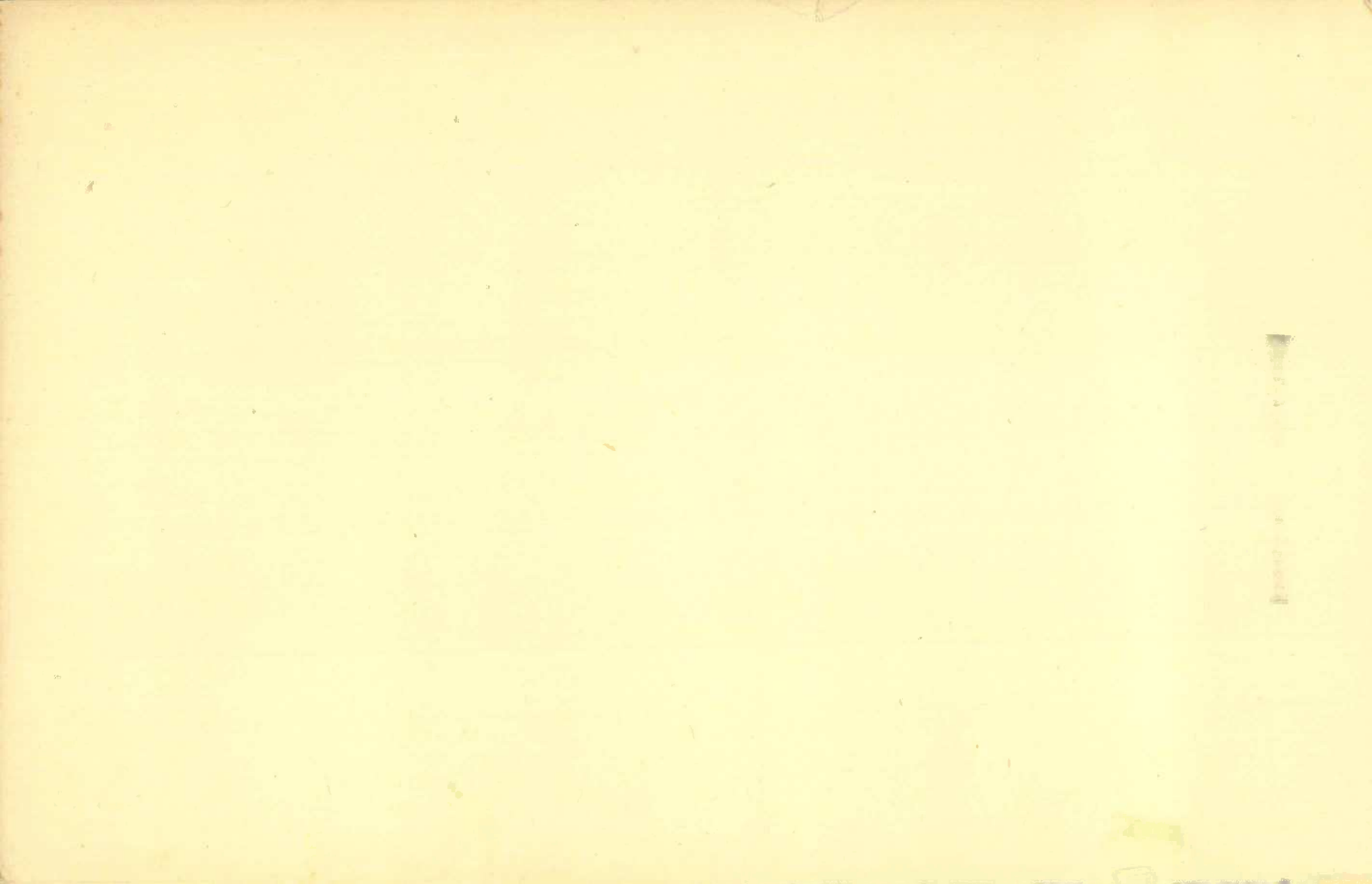
|  |                |
|--|----------------|
| VI. Titane .....                         | 45             |
| VII. Manganèse .....                     | 49             |
| VIII. Béryllium .....                    | 51             |
| IX. Carbure de silicium et alumine ..... | 53             |
| X. Graphite artificiel .....             | 54             |
| XI. Silicium et alliages .....           | 55             |
| XII. Magnésium .....                     | 56             |
| XIII. Uranium métal $U_{235}$ .....      | 57             |
| Tableau récapitulatif .....              | 57             |
| CONCLUSIONS .....                        | 59             |
| CARTE .....                              | <i>in fine</i> |





Ressources minérales de l'Afrique occidentale.





---

ÉDITIONS J. DUCLOUX, S. A., GEMBLOUX (BELGIQUE).