

Académie royale
des
Sciences d'Outre-Mer

CLASSE
DES SCIENCES TECHNIQUES

Mémoires in-8°. Nouvelle série.
Tome XII, fasc. 2 et dernier.

Koninklijke Academie
voor
Overzeese Wetenschappen

KLASSE
VOOR TECHNISCHE WETENSCHAPPEN

Verhandelingen in-8°. Nieuwe reeks.
Boek XII, aflev. 2 en laatste.

Le développement énergétique du Congo belge et du Ruanda-Urundi

PAR

Albert CLERFAÏT

INGÉNIEUR CIVIL DES MINES A. I. Ms
DIRECTEUR À LA RÉGIE DE DISTRIBUTION D'EAU ET D'ÉLECTRICITÉ
DU CONGO BELGE ET DU RUANDA-URUNDI
VICE-PRÉSIDENT DE L'ASSOCIATION NATIONALE
DES SERVICES D'EAU



Rue de Livourne, 80A,
BRUXELLES 5

Livornostraat, 80A,
BRUSSEL 5

1960

PRIX : F 400
PRIJS:



ACADÉMIE ROYALE DES SCIENCES D'OUTRE-MER

MÉMOIRES

KONINKLIJKE ACADEMIE VOOR OVERZEESE
WETENSCHAPPEN

VERHANDELINGEN

CLASSE DES SCIENCES TECHNIQUES
KLASSE VOOR TECHNISCHE WETENSCHAPPEN

TABLE DES MÉMOIRES
CONTENUS DANS LE TOME XII

VERHANDELINGEN BEGREPEN IN BOEK XII

1. Annuaire météorologique du Congo belge et du Ruanda-Urundi pour 1960 (159 pages, 1 carte hors-texte, 1959) ; élaboré principalement par G. DU SOLEIL sous la direction de N. VANDER ELST.
 2. Le développement énergétique du Congo belge et du Ruanda-Urundi (437 pages, 11 figures, 1 carte hors-texte, 1960) par A. CLERFAÏT.
-

ACADÉMIE ROYALE DES SCIENCES D'OUTRE-MER

Classe des Sciences techniques

MÉMOIRES

KONINKLIJKE ACADEMIE VOOR OVERZEESE
WETENSCHAPPEN

Klasse voor Technische Wetenschappen

VERHANDELINGEN

Nouvelle série — Nieuwe reeks

In-8° — XII — 1959-1960

Rue de Livourne, 80A,
BRUXELLES 5

Livornostraat, 80A,
BRUSSEL 5

1960

IMPRIMERIE J. DUCULOT

S. A.

GEMBLoux

Le développement énergétique du Congo belge et du Ruanda-Urundi

PAR

Albert CLERFAÏT

INGÉNIEUR CIVIL DES MINES A. I. Ms
DIRECTEUR À LA RÉGIE DE DISTRIBUTION D'EAU ET D'ÉLECTRICITÉ
DU CONGO BELGE ET DU RUANDA-URUNDI
VICE-PRÉSIDENT DE L'ASSOCIATION NATIONALE
DES SERVICES D'EAU

Présenté à la séance du 27 février 1959.

Rapporteurs : MM. E. MERTENS DE WILMARS et R. VANDERLINDEN

Le développement énergétique du Congo belge et du Ruanda-Urundi (*)

PREMIÈRE PARTIE

ASPECT TECHNIQUE DU DÉVELOPPEMENT

ÉVOLUTION DES MODES DE PRODUCTION DE L'ÉNERGIE

en fonction des ressources disponibles

LES PRÉMICES

La genèse et le développement de la structure énergétique des territoires belges d'outre-mer se sont accordés au rythme de leur progrès économique et social. Une relation d'interdépendance obligée associe les deux aspects de l'expansion : énoncer le synchronisme entre l'essor d'un pays et sa production d'énergie est devenu un postulat prenant figure de poncif pour l'observateur le moins averti.

Au Congo, cette double évolution, d'une envergure prodigieuse à l'échelle de l'espace et du temps, s'est accomplie en une suite d'étapes dont le processus reflète dans ses grands traits celui de l'équipement des pays de haute technique. Mais les voies du progrès ont été plus directes.

(*) Mémoire présenté à la Conférence mondiale de l'Énergie à Belgrade (2-12 juin 1957).

A l'origine, les échanges étaient presque inexistants. Seule la région du Bas-Congo, voisine de l'estuaire du fleuve, entretenait un faible courant commercial avec le monde extérieur. En dehors de cette zone restreinte, l'économie du Centre africain ne dépassait pas le cadre interne du stade de simple subsistance.

Jusqu'à la pénétration belge et par delà les prémices mêmes de la mise en valeur du territoire, l'exploitation des ressources naturelles s'est circonscrite à l'intervention de l'unique énergie humaine, sous une forme rudimentaire et localisée.

Dans les pays parvenus à un stade d'industrialisation avancé, cette contribution de l'effort physique est tombée de cent vers un centième : mais ce résultat marque le terme d'une évolution lente, étalée sur des millénaires.

Si l'élan du progrès technique s'est brusquement accéléré au cours des dernières décades, ce fut grâce à la conversion en force motrice de l'énergie emmagasinée dans les combustibles minéraux ou soustraite aux rivières. Cependant, un siècle et demi s'est écoulé depuis la diffusion de la force motrice à vapeur, avant d'atteindre au stade actuel de productivité. Même à ce jour la contribution de l'électricité, forme transcendante de l'énergie, ne dépasse pas 22 % de la production énergétique mondiale [46].

En Afrique belge, l'ampleur, la diversité des ressources agricoles et minières, dont la nature a doté le pays avec une profusion sans pareille, appelaient de manière impérieuse la substitution des formes mécaniques ou électriques de l'énergie au travail manuel. La création prompte de l'outil énergétique de base et son adaptation progressive aux exigences de l'économie ont été des moteurs essentiels du rayonnement atteint par nos territoires d'outre-mer.

Avant l'arrivée des Belges en terre africaine, l'industrie

autochtone s'était confinée dans des activités restreintes telles la construction de ponts en lianes et de pirogues, la fabrication de mobilier et d'instruments de musique sommaires, la vannerie, la métallurgie primitive du fer et du cuivre pour la confection d'un outillage rustique.

1. LE BOIS, PREMIÈRE SOURCE D'APPROVISIONNEMENT

L'utilisation de la vapeur vint « littéralement » ouvrir la voie à l'expansion civilisatrice, par le lancement des premiers bateaux sur le fleuve Congo en 1879. Il s'agissait de modestes steamers à roues latérales d'une puissance unitaire de... 6 ch !, construits aux chantiers belges de COCKERILL.

Deux années plus tard l'illustre STANLEY érigeait le premier chantier naval, équipé d'une ancienne machine marine : ce fut le jalon initial d'une industrialisation de forme européenne.

A cette époque l'unique source d'énergie mécanique était le bois, prélevé dans la forêt primaire, dont les denses frondaisons côtoient les rives des cours d'eau.

La reprise, en 1908, du Congo par la Belgique, vint marquer une étape décisive dans l'essor économique de ce jeune État. Comme dans tous les pays neufs, le problème des transports, extrêmement ardu, fut le premier à se poser et à trouver une solution naturelle dans les voies d'eau : il conditionnait de manière impérative la mise en valeur de régions faiblement peuplées, dont l'énorme étendue représentait la plus dure entrave à la pénétration du progrès.

Si le fleuve et son réseau de puissants tributaires déployés en éventail vers le bassin congolais, forment un précieux réseau de voies d'accès, directes et navigables sur de longs parcours, ils sont barrés à leur traversée des bourrelets périphériques de la cuvette par de puissants seuils rocheux : de Matadi au Stanley-Pool, à 600 km de

la côte, s'étagent une série impressionnante de cataractes où déferlent avec impétuosité les énormes masses écumantes du fleuve. C'est le premier obstacle, mais il est gigantesque, et n'avait cessé depuis les temps géologiques de s'opposer à toute entreprise de pénétration [22].

Il s'imposait d'établir d'emblée une ligne de chemin de fer dans le Bas-Congo afin de doubler cette succession de chutes infranchissables dont la barrière verrouillait le couloir d'accès. Ainsi la continuité du bief inférieur pourrait être assurée jusqu'à l'exutoire vers l'océan.

Dans la suite, d'autres voies ferrées s'articulant sur l'énorme bassin fluvial du Congo, vinrent relier par des axes de grande communication les zones vierges de l'intérieur avec les ports maritimes.

Les premières locomotives à vapeur sont mises sur rail en 1889 ; et c'est encore au bois qu'il est fait appel pour leur chauffage et pour celui des chaudières en service sur les quelque 40 bateaux sillonnant le réseau fluvial à cette époque [65].

L'utilisation du bois comme source primaire et primitive d'énergie, ne constituait qu'un moyen d'attente, une solution de facilité. Le recours à ce combustible, spécifiquement local, n'en trouvait pas moins sa justification durant la phase préliminaire de la mise en valeur du Congo, pays neuf richement nanti de rivières navigables. Dans la cuvette congolaise les massifs épais de la forêt vierge, et les sinuosités des galeries forestières, cernant d'une frange étroite d'innombrables cours d'eau, formaient la ressource indiquée de par son abondance et son immédiate accessibilité. Aussi le recours au bois, comme premier aliment de force motrice, s'est-il maintenu durant plusieurs décades en raison de ses avantages d'économie et de commodité d'approvisionnement local en pays forestier.

La grande sylve d'ailleurs n'était-elle pas de temps immémorial la source première de subsistance du noir ?

Il s'y procurait de quoi s'alimenter et même se guérir ; il y trouvait les matériaux ligneux pour s'abriter sous la case, former des litières pour son bétail, subvenir aux besoins de ses industries sommaires. Les naturels y prélevaient aussi le bois dont ils avaient besoin pour leurs feux ouverts ou leurs fours primitifs. Lorsque les pionniers blancs, à leur suite, prirent contact avec la forêt ils trouvèrent d'emblée, dans la cueillette indigène du bois, le moyen de s'assurer à profusion le combustible pour les machines ainsi que pour les foyers domestiques.

Effets de déboisement.

Mais la naissance d'un déboisement intensif n'a pas tardé de se manifester en peu d'années, surtout dans les savanes boisées dont la flore est pauvre. L'éloignement des aires de récolte ou d'abattage, les charges croissantes de coupe et de distribution, la répugnance des aborigènes pour les corvées d'approvisionnement finirent par enlever au bois ses avantages originels. La coupe de bois vert, le ramassage et le transport occupaient un nombre excessif d'indigènes pour un rendement restreint.

En raison des difficultés de pénétration dans l'inextricable fouillis de la forêt centrale, seules étaient mises à fruit les zones périphériques au voisinage des centres ou en bordure des voies de communication. D'autre part l'acheminement sur de longues distances de ce matériau pondéreux, peu marchand qu'est le bois, s'avérait impraticable parce que grevé de frais excessifs.

Pour ces motifs, l'exploitation s'est immuablement concentrée aux abords des aires d'utilisation, ce qui n'a pas manqué de provoquer une dénudation de plus en plus étendue des superficies boisées.

Ainsi allait, au fil des ans, se poser le grave problème de la conservation des sols atteints par la déforestation. Avant l'intervention des Européens, certaines contrées du Kasai, du Katanga, du Kivu et du Ruanda-Urundi

avaient eu à pâtir des coupes inconsidérées faites par les autochtones : les ravages ont affecté, suivant la morphologie végétale les arbres isolés de la savane clairsemée, ou les îlots et lambeaux épars formant des extensions de la forêt primaire. Outre les besoins domestiques de chauffage et de cuisson, les cultures itinérantes d'après un mode d'exploitation agricole méconnaissant tout principe d'assolement ou de rotation, ont grignoté sans relâche les ressources sylvestres ; ce gaspillage s'est poursuivi jusqu'à leur complet anéantissement.

A leur tour les Européens sont venus entamer profondément certains gîtes forestiers pour couvrir la demande sans cesse grandissante des machines fixes ou semi-fixes de l'industrie, ainsi que des engins mobiles de la locomotion sur rail et par eau. Les besoins de bois d'œuvre pour la charpente et le mobilier, ceux de grumes pour l'exportation ont eu pour effet d'accroître les dégâts, d'autant plus qu'ils donnaient lieu au gaspillage effréné d'un cube considérable par l'écrasement sur place de jeunes essences, par l'ébranchage et les chutes en scierie.

A l'instar d'un processus observé sous d'autres latitudes, l'extirpation du couvert végétal, méfait de l'imprévoyance humaine, a été génératrice d'une érosion rapide, et en étroite connexité, d'une évaporation intensive, perturbant le cycle hydrologique. A mesure que le manteau arborescent est entaillé de proche en proche par ces assauts destructifs, l'action érosive s'amplifie et s'accompagne d'un inexorable déclin du niveau hydrostatique. Les sites aquifères étant atteints au cœur par la dégradation superficielle, la navigabilité même des rivières et la productivité des régions agricoles peuvent s'en trouver compromises : il y a destruction de l'équilibre biologique inhérent aux associations végétales natives [16].

Ce phénomène d'appauvrissement des sols d'Afrique centrale est d'une telle généralité qu'il appelle un bref commentaire. Il sévit dans toute intensité aux en-

droits où les tribus indigènes continuent à pratiquer leurs méthodes de culture primitive sur des aires cependant limitées aux besoins d'alimentation et de chauffage. Après avoir jeté à terre les arbres de la forêt, ils les incinèrent sur place au cours de la saison sèche, ou les brûlent pour se chauffer et cuire leur nourriture ; ensuite ils se mettent à planter dès l'apparition des premières pluies. Mais le sol peu à peu s'épuise par l'exportation de ses éléments fertilisants, dont des minéraux essentiels (Ca, K, P) sont en teneur à peine suffisante. En outre, les souches des arbres abattus, rejetant de toutes parts, envahissent la plantation. Selon l'éternelle loi de lutte pour la vie, ce sont les bois de croissance rapide qui tendent à dominer, étouffant leurs commensaux sans merci. Ainsi l'indigène est-il contraint, après trois ou quatre années, de se transporter à un autre emplacement où il fera une nouvelle coupe. Ces pratiques d'agriculture transhumante sont à l'origine de la régression des forêts dans toute l'Afrique intertropicale.

De proche en proche, des étendues considérables sont dégradées par ces cycles cultureux. Le phénomène est encore aggravé dans les contrées à forte densité de population, telles le Ruanda et l'Urundi, où par la nature des choses, ce semi-nomadisme rencontre des entraves. C'est là que l'érosion se manifeste dans toute sa nuisance. Sans l'intervention des agronomes belges pour éclairer le Congolais par voie de persuasion, sinon d'autorité, il ne peut être mis fin à ces funestes pratiques culturelles.

Peu à peu le fléau de l'assèchement finit par stériliser des régions verdoyantes et par les convertir en zones arides à l'image d'autres terres fertiles du Nord Africain, d'Asie Mineure, des États-Unis, inexorablement muées en désert.

Dans les conditions actuelles, il faudrait se garder toutefois de noircir à l'excès le tableau des méfaits du déboisement, sauf dans certaines zones. Ailleurs, il borne

ses atteintes aux lisières de la forêt vierge dont le manteau, d'une immense étendue, recouvre d'une riche végétation les dépôts tabulaires du bassin congolais. Cette réserve naturelle paraît quasiment inépuisable.

Répartition spatiale et composition des forêts congolaises.

La luxuriance de la végétation boisée constitue un caractère commun à toutes les régions de climat inter-tropical : les ardeurs solaires y conjuguent leur effet stimulant à ceux de précipitations copieuses et d'un état permanent d'humidité qui confine à la saturation.

La vision aérienne nous montre la sylve grandiose sous l'aspect d'un monotone tapis de verdure aux tonalités roussâtres déployé à perte de vue sur la plate-forme centrale. Nulle trouée ne se découvre dans cette aire immense, hormis de menues clairières où se blotissent des villages indigènes adossés aux capricieux replis d'un sous-bois couleur de terre d'ombre. Au cœur de la cuvette, la forêt équatoriale forme un massif oblong à cheval sur le bief moyen du fleuve. Sur les pourtours de cet océan de flore roussie, qui constitue une formation végétale à feuilles pérennes, très dense et par endroits marécageuse, l'observateur voit se développer en dégradés étendus la vaste ceinture de la « forêt-parc » moins touffue. A cette formation intermédiaire succèdent les « savanes boisées » et « arbustives », à végétation moins vigoureuse, d'allure de plus en plus clairsemée, à feuillages caduques. Elles deviennent « xéromorphiques » dans les régions sèches. L'auréole de ces extensions de la forêt primitive déborde sur l'étendue de plusieurs parallèles au Nord comme au Sud de l'équateur, et se prolonge au delà des frontières du Congo. C'est la zone de transition correspondant au climat subéquatorial ou « soudanien », caractérisé par l'alternance des deux saisons, sèche-pluvieuse, et marquant le passage à la zone moins chaude et plus sèche du climat « sénégalien ».

Cette variété des paysages botaniques est en rapport avec la diversification des conditions d'habitat qu'implique l'immensité du territoire.

L'ensemble du domaine forestier de l'Afrique belge, d'une superficie atteignant 122 millions d'hectares, peut se comparer aux énormes réservoirs de masses ligneuses constitués par les formations boisées d'A. E. F. et d'A. O. F. L'aire totale d'extension du manteau végétal, éternellement feuillu, est estimée entre 48 et 54 % du territoire de toute l'Afrique belge. Cette proportion d'aire boisée, si elle reste très en deçà de l'étendue attribuée initialement à la forêt congolaise, n'en apparaît pas moins considérable, si on la rapproche de celles relatives :

- à l'ensemble du continent africain : 28 % d'étendue forestière ;
- à l'ensemble du globe : 27 % d'étendue forestière.

L'aire de distribution des grandes formations arborescentes du Congo comprend selon leurs caractères physiognomiques :

- 1.015.000 km² de forêts du type équatorial ou dense ;
- 8.000 km² de forêts-galeries ou forêts claires ;
- 95.000 km² de savane boisée ;
- 100.000 km² de savane xéromorphique [60].

Favorisée par un *climax* particulièrement propice, nulle autre flore forestière dans le monde n'atteint à la richesse de ce couvert boisé ni à sa diversité de constituants. En A. O. F., des recensements indiquent bien une densité considérable, puisque les évaluations portent sur une concentration moyenne de 200 tonnes de masse végétale par hectare. Mais ces chiffres semblent dépassés par les rendements de certains massifs congolais en matériel ligneux. Dans la zone orientale, leur production atteint au *summum* 400 mètres cubes de bois sur pied par

hectare ; elle peut s'élever jusqu'à 500 et 600 m³ /ha dans la forêt sèche à l'abri des inondations. Le couvert forestier est constitué à raison de 99 % de zones productives. Les massifs de la forêt équatoriale se composent de hautes futaies à grand développement qui abritent un sous-bois d'une extraordinaire compacité.

Il convient toutefois de ne pas s'abuser au sujet de cette exubérance apparente des peuplements intertropicaux, car ils sont loin de présenter, dans l'ensemble une constante uniformité. Des savanes ou de la brousse interrompent par des clairières la continuité du couvert forestier de la cuvette congolaise. Ou bien il s'agit, fréquemment, de formations secondaires dites « anthropogènes », substituées à la forêt primitive par suite de cultures nomades des autochtones ; elles se sont peuplées d'essences héliophiles, à croissance rapide et bois tendre, dont les sujets sont plus épars que ceux de la riche forêt vierge. Parfois ce ne sont que de simples lambeaux étirés en galeries à peuplement pauvre, comme l'est celui de la savane (10 à 50 m³ /ha) [26].

Aussi se conçoit-il que le rendement de formations si diversifiées accuse des écarts extrêmes, du simple au décuple par unité de superficie.

Dans cet inventaire des ressources végétales du Congo, il convient donc d'établir une distinction entre les peuplements feuillus de la forêt primaire, dense, mais d'une hétérogénéité anarchique et ceux des forêts-parcs, moins touffues, en évolution vers la savane boisée. Au sein de la forêt primaire équatoriale, dont l'assise est fréquemment submergée, croissent et s'entremêlent pied-à-pied des centaines d'essences les plus diverses et de toutes les tailles. D'ordinaire, il est possible de discerner, dans cet amas de végétation ligneuse, trois étages :

- 1) Les fûts géants de 30 à 50 m à cime puissante et fortement charpentée ; c'est la taille la plus courante ;
- 2) Les fûts moyens de 20 à 25 m ;

3) Les arbustes baliveaux et leurs lianes entrelacées s'épanouissant sous le sombre dôme de verdure en un fourré inextricable où abondent les associations végétales en symbiose.

Dans la forêt secondaire, la hauteur des fûts décline vers une vingtaine de m ou moins et l'évolution physiognomique marque la dégradation progressive de la végétation, sous l'effet des cultures notamment.

La différenciation des espèces ligneuses s'observe aussi entre formations voisines... Cette incroyable complexité des mélanges naturels de végétations primitives rend malaisée une exploitation rationnelle et normale des massifs vierges. D'autres impédimenta naturels ressortissant au climat, à la topographie, à la main-d'œuvre, etc., ajoutent leurs entraves à la valorisation de la forêt primitive.

Par contre, les peuplements des forêts secondaires ou des massifs périphériques se trouvent dans un état d'homogénéité plus ou moins uniforme, mais à prédominance d'essences les plus tendres.

Au point de vue anatomique, les bois tropicaux, à croissance pérenne, exempte de repos hivernal, présentent moins de variabilité de texture que ne le laisserait supposer la grande diversité des groupes forestiers.

Au total, la réserve potentielle de la forêt congolaise doit atteindre plusieurs milliards de tonnes de bois brut, chiffre à rapprocher d'une consommation annuelle limitée vers 3 à 4 millions de tonnes. Si cette richesse ligneuse n'est pas inépuisable, il s'en faut qu'elle soit consommée de si tôt...

En toute hypothèse, un reboisement méthodique, permettant au couvert ligneux de se reconstituer en proportion de l'abattage, garantirait une compensation suffisante à tous égards. C'est un grand et indéniable avantage du bois commun d'ailleurs à tous les combustibles végétaux, de constituer une source d'énergie nationale d'un renouvellement indéfini.

Le problème du tribut payé au déboisement est autre : c'est sous l'angle de l'économie et de la productivité qu'il faut considérer le problème dans son optique d'ensemble : en cette époque de transports massifs, de mécanisation intensive, conséquence de la pénurie de main-d'œuvre, l'usage du bois même en régions sous-développées implique un « suremploi » de personnel abusif : chaque tonne de grume abattue représente une dissipation de deux journées de travail. Il faut y ajouter les heures consacrées au dessouchage et au reboisement des aires dégarnies.

D'autre part, le bois, combustible pauvre, brûlé avec le plus faible rendement, ne demeure avantageux qu'à condition d'être utilisable à proximité immédiate des lieux de ramassage ou de coupe. Sinon, l'éloignement des chantiers d'abattage par rapport aux lieux d'utilisation entraîne un renchérissement rapide de ce moyen énergétique. Lorsque l'installation de force motrice prend quelque ampleur et avec elle les exigences de quantité comme de qualité du combustible ligneux, il faut recourir à des engins mécaniques de débitage : le ramassage en forêt ne procure qu'un bois tout-venant, dont le pouvoir calorifique est faible. Il devient nécessaire, en conséquence, d'installer des scies et autres appareils de découpage, etc. S'outiller mécaniquement c'est alourdir les prix de revient du combustible. L'usage du bois, dans ces conditions, tend vers une limite de prix de revient revêtant un caractère marginal.

2. LES DÉCHETS FIBREUX

La récupération de déchets végétaux, dans l'éventualité où ils se trouvent en suffisance à la disposition de l'exploitant, s'indique d'office comme ressource gratuite pour la production de vapeur. Au Congo, le cas se présente, entre autres, dans les huileries, secteur d'industrie

où le besoin de vapeur est permanent pour le processus de fabrication ; leurs déchets d'extraction peuvent être brûlés sous forme de coques, rafles et pulpes (très abondantes s'il s'agit du traitement des fruits indigènes). Ces déchets fibreux, dont l'huile a été exprimée presque en totalité, ne présentent qu'un faible pouvoir calorifique résiduel ; de plus, dans les huileries modernes, traitant des fruits sélectionnés de plantation, et bien desservies en moyens d'évacuation de leurs produits, le volume de déchets disponibles se réduit sensiblement. Tel n'était pas le cas des anciennes usines approvisionnées en fruits de récolte indigène.

Les coques d'arachides, très volumineuses, leur densité ne dépassant pas 250 kg/m^3 , sont riches en matières volatiles ($\pm 70 \%$ du poids) et très inflammables, à cause de leur faible pourcentage d'huile résiduel. Elles ont un pouvoir calorifique de $\pm 200 \text{ kcal/kg}$, un peu supérieur à celui du bois sec, mais très inférieur à celui du charbon de bois. A l'expérience il a été constaté que la fusibilité de leurs cendres pouvait occasionner l'attaque des revêtements réfractaires de générateurs.

Les noix palmistes donnent, après extraction, environ 56% de pulpes et 14% de coques et noyaux, d'un p.c.i. moyen de 4.300 kcal .

Dans les scieries et industries de bois de construction ou d'ébénisterie — dont les pertes sont élevées — l'exploitant dispose d'une ample quantité de sciure de bois, chutes, écorces ; tous ces déchets, plus ou moins humides, plus pauvres encore que ceux des huileries, requièrent l'usage de foyers de grandes dimensions (pratiquement doubles de celles des foyers au charbon minéral) avec grilles de grande surface permettant d'y brûler les déchets minces (d'épaisseur $10\text{-}15 \text{ cm}$ contre $40\text{-}50 \text{ cm}$ pour le bois). Une dessiccation préalable peut s'imposer le cas échéant.

Les centres d'égrenage de coton dispersés le long des

voies ferrées, recueillent des graines envoyées aux huileries à vapeur ; les cosses ou téguments séparés des amandes par décorticage, sont incinérés dans les chaudières ; il s'agit également d'un combustible dont le pouvoir calorifique est médiocre. Par contre, les graines de coton, riches en huiles, présentent une puissance calorifique relativement élevée : p.c.i. \pm 5.000 kcal/kg.

Le conditionnement du café laisse, pour résidus, des parches et pulpes d'un p.c.i. légèrement moindre : \pm 4.200 kcal/kg.

Dans les rizeries, les balles en provenance de la manipulation, contenant moins de matières volatiles (\pm 50 %) n'ont qu'un faible pouvoir calorifique : 2.700 à 3.600 kcal/kg.

Quant aux sucreries, elles utilisent, pour la chauffe, leurs volumineux résidus de broyage et d'extraction, produits à raison de 300 kg par tonne de cannes traitées. Ces bagasses, d'une densité faible (175 kg par m³), mais fort chargées d'humidité (\pm 50 % d'eau), comptent parmi les plus pauvres des combustibles fibreux : leur p.c.i. ne dépasse pas 1.700 à 2.000 kcal/kg.

D'autres entreprises de caractère agricole (plantations de cacao, de thé, etc.) sont aussi à mentionner. Il n'existe pas encore de papeteries, mais des avant-projets d'installation sont à l'étude.

La contribution de ces différentes sources d'approvisionnement de carbone végétal apparaît localisée et d'un rendement restreint. Dans leur état naturel, sans conversion chimique, ces sources non commerciales d'énergie n'ont qu'un faible rayon d'action.

Intervention des combustibles minéraux.

Les graves inconvénients du bois comme moyen de production énergétique, rudimentaire dans son essence, devaient provoquer graduellement l'éviction de ce combustible indigène au profit d'autres plus évolués, sous

la pression des besoins de l'industrialisation naissante. A une économie primitivement édifiée sur le bois et la vapeur, s'en substitue une nouvelle, puisant ses ressources énergétiques dans l'électricité, le charbon et les carburants, moyens infiniment plus maniables, souples et concentrés. Le bois n'en a pas moins maintenu sa position d'opportunité durant des années, même dans le grand complexe minier du Katanga.

L'essor économique du Congo et son accession au stade de l'économie de marché ont entraîné, par un corollaire normal, l'établissement d'industries transformatrices ou d'autres en marge des activités agricoles et minières : ateliers d'entretien, fabrication d'outillage et de pièces détachées.

Au cours des deux derniers conflits mondiaux, l'interruption des courants d'échange traditionnels et les exigences de l'effort de guerre ont eu pour résultat d'accélérer le développement de ces industries secondaires au Congo. L'expansion des manufactures textiles, entr'autres, est très significative ; de même la fabrication d'objets de remplacements les plus divers... jusqu'aux embarcations ; parmi ces activités, seules celles reconnues économiquement viables parvinrent à subsister après le retour de l'état normal de paix : construction navale, filatures et tissages, savonneries, etc. [65].

A toutes ces industries, prenant naissance ou en cours d'expansion, il fallait — condition *sine qua non* de vie ou de survie — une source d'énergie abondante et d'un prix assez bas. En disant « énergie », nous entendons donner à cette expression son sens le plus large : aux besoins de force motrice pour la commande des machines de tout genre, se superposent ceux d'énergie sous forme calorifique dont les plus usuels sont la soudure et l'oxycoupage, le chauffage en fours électriques, etc. ; outre l'électrolyse dont les industries minières font un usage si important. On en conclut à l'intervention obligée de

l'électricité dans ces différents secteurs d'utilisations finales de l'énergie.

Pour répondre à ces divers objectifs, la génération au moyen de machines thermiques chauffées au bois cessait d'être économiquement acceptable ; elle devait faire promptement place à l'intervention des sources d'énergie « de qualité ».

3. LA HOUILLE FOSSILE

Déjà nous voyons le charbon minéral faire son apparition, mais en provenance d'Europe via Matadi, peu d'années après la mise en service du Chemin de Fer du Bas-Congo, fin du siècle dernier.

En 1910 était découvert à Greinerville, dans le Katanga nord, le bassin houiller de la Lukuga sur la rive gauche de cet émissaire du lac Tanganyika. Dès 1914 commençait dans la même province l'exploitation du petit gisement lenticulaire de la Luena, au sud de Bukama, le long de la voie ferrée d'Élisabethville à Port-Francqui. Outre ces dépôts, il en existe deux autres d'ordre secondaire, l'un sur le lac Tanga, l'autre sur le haut Lualaba. Ils sont tous localisés stratigraphiquement dans l'étage supérieur de la série de la Lukuga, d'âge permien, appartenant aux assises inférieures du système continental du Lualaba-Lubilash, assimilé par les géologues à la formation sud-africaine du Karroo [53].

L'origine fluvio-lacustre de ces dépôts se manifeste de façon apparente dans les couches de la Luena, distribuées sous forme d'une succession de petites lentilles carbonifères ; ce sont les vestiges du remplissage de poches lacustres correspondant aux apports deltaïques de petits affluents d'un thalweg tectonique.

A la Lukuga, l'on se trouve en présence d'un véritable bassin sédimentaire, à l'emplacement d'un ancien lac étendu et tranquille, dans la zone d'effondrement connue

sous le nom de « Graben central Africain ». Les couches s'y développent en un faisceau de 5 veines affleurant à Greinerville — localité proche d'Albertville — et déclivent vers l'Est avec une pente de 7 à 8°. Cette différenciation morphologique éclaire celle de la composition des gisements et nous en exposerons plus loin la portée.

Le gisement se présente donc en structure régulière et d'une certaine étendue : au charbonnage de Greinerville l'exploration partielle des polygones houillers développée par sondages, a permis de reconnaître une réserve actuellement « prouvée » de 50 millions de tonnes. Cette estimation se limite à une partie assez restreinte du bassin, constitué du faisceau susdit des 5 couches dans une assise houillère de 100 m d'épaisseur totale.

Le charbon de Greinerville, malheureusement, n'a pas donné de bons résultats aux essais de chauffe des locomotives en raison de sa forte teneur en cendres.

A la Luena, nous rencontrons un gîte de structure irrégulière et en voie de prompt épuisement. Les réserves encore disponibles n'excèdent pas 3 à 4 millions de tonnes. La production est absorbée depuis 1924 par les usines de l'Union minière du Haut-Katanga, par la cimenterie de Lubudi et par les locomotives du Chemin de Fer du B. C. K. Cette compagnie électrifie ses voies à un rythme rapide en perspective de l'épuisement prochain de ce gisement mineur. L'Union minière, dans la période qui préluait à ses ménagements hydrauliques, fit une heureuse utilisation de ces charbons katangais sous forme de pulvérisé dans ses centrales thermoélectriques.

La composition chimique de ces houilles permienues, à grand pourcentage de durain (houille mate), ou « charbons à cutine » est reproduite au *tableau 1*.

Tableau 1. — Composition des houilles du Katanga.

Origines	Humidité %	Cen- dres %	Matières volatiles %	Carbone fixe %	Produits et résidus de distillation
Lukuga	5,5 à 6,9	15,4 à 19,4	31 à 31,6	43,4 à 46,9	pas de coke, résidu pulvérulent.
Luena	5,5	20,5	33,6	40,4	résidu pulvérulent.

Remarques :

1° Il s'agit de teneurs moyennes.

2° Ces charbons, riches en soufre, sont sujets à inflammation spontanée.

Le pouvoir calorifique des charbons bruts avec 25 % de cendres et une forte proportion d'eau de carrière, atteint 4.500 à 5.000 calories ; ramené à 15 % de cendres et séché : 5.800 à 6.100 calories [13].

Nonobstant la médiocrité de ces produits très cendreux, leur apport n'en a pas moins été providentiel pour l'économie du Katanga dans son stade de première croissance. La mise en exploitation, vers 1906, des gîtes métallifères, dont les riches formations s'égrènent du nord jusqu'au sud du bourrelet oriental, ne pouvait s'accommoder du recours au bois comme source d'énergie d'une régularité suffisante : les besoins à satisfaire devenaient énormes et du bois, du moins dans le Katanga, aurait dû être pratiqué sur des distances excessives depuis la forêt équatoriale. D'autres raisons, ressortissant à la métallurgie des métaux non ferreux, ont fait aussi obstacle à l'usage du bois comme du charbon katangais ; l'importation des houilles de Rhodésie permet de subvenir à ces besoins.

Actuellement, les houilles et cokes de provenances étrangères (E. U. — Mozambique — Belgique — R. U. etc.) représentent un tonnage importé dépassant de plus

de 50 % la production indigène qui atteint environ 480.000 tonnes. De la consommation globale du Congo belge, soit 740.000 tonnes, environ 80 % sont absorbés par le Katanga à raison d'1/3 pour les mines et d'1/5 pour les cimenteries, le solde se partageant entre transports et industries locales.

Cet état de subordination relative à l'égard des marchés extérieurs est imputable à la mauvaise qualité des charbons locaux et à la concentration des gisements sur une aire géographique restreinte. Il est de notoriété d'ailleurs que le continent africain est pauvre en ressources charbonnières, celles-ci ne dépassant pas 3 % de l'ensemble des réserves mondiales, et le Congo intervenant pour 1 % au plus dans les réserves de l'Afrique.

4. LES PRODUITS PÉTROLIERS D'IMPORTATION.

Au charbon de terre vinrent peu à peu suppléer les produits pétroliers comme moyen également classique — mais subsidiaire — pour résoudre sans délai l'angoissant problème de l'énergie. Ce fut un revirement, de portée majeure, dans l'expansion énergétique du Congo belge.

Après le premier conflit mondial, les véhicules à moteur dont les armées venaient de faire un usage intensif, ont pris un développement énorme. Le Congo n'y demeura point étranger. Stimulée par la création d'un vaste de routes, qui totalise à ce jour 148.000 km, la constitution d'un parc important de véhicules motorisés a donné une vive impulsion aux demandes de combustibles liquides et de lubrifiants pour les besoins du charroi. De même, l'usage des locotracteurs agricoles en culture extensive et des engins mécaniques de chantier équipés de moteurs semi-fixes, éléments précieux d'autonomie : c'est le domaine d'élection du moteur à essence, qu'avantagent sa légèreté, sa maniabilité.

L'essor de la motorisation, activé par le perfection-

nement des méthodes de culture, s'est aussi intensifié à la mesure d'un élargissement continu de l'éventail de production.

Il fut épaulé avec vigueur au cours des dix dernières années par la politique générale de relèvement des salaires indigènes.

Progrès de la dieselisation (1).

La « dieselisation », dont la vogue croît sans cesse, est venue révolutionner tous les transports : fluviaux, ferroviaires, routiers ; et parallèlement les centrales thermoélectriques. Elle a contribué dans une large mesure à la relance des activités de paix succédant aux dernières hostilités. Cette diffusion spectaculaire dont le moteur à huile lourde jouit surtout dans le domaine des transports, comme dans celui des petites centrales, trouve sa justification dans divers avantages :

1) D'importantes économies sur les prix et sur les consommations spécifiques des carburants ainsi que sur l'effectif de personnel préposé au service ; ces gains assurent en quelques années la récupération du supplément de prix des moteurs ;

2) L'augmentation du trafic (en tonnes kilométriques) par unité motorisée, dont résulte l'accélération considérable de la rotation du matériel, parc ou flotilles.

(Ces facteurs de développement sont reconsidérés en détail dans une rubrique suivante, consacrée à l'évolution de la technique des centrales en pays neuf).

L'on reconnaîtra aux chiffres ci-dessous la faveur croissante réservée à l'utilisation des diesels en traction sur rail et par eau dans le cadre d'une politique de modernisation des moyens de transport au Congo belge.

(1) Nous usons du néologisme « dieselisation », car ce vocable s'est généralisé.

L'évolution est des plus marquantes dans le secteur ferroviaire, comme en attestent les chiffres suivants :

Tableau 2. — Effectifs des motrices des chemins de fer exploités par l'Otraco
(Ch. de F. Matadi-Léo, C. F. du Mayumbe, C. F. du Kivu).

Années	Locomotives Diesel	Locomotives à vapeur	Total	Proportion d'unités Diesel %
1949	7	62	69	10,1
1957	68	77	145	46,9
1958/59	84	mise au parc	—	100% d'unités Diesel <i>en service</i>

Remarques :

1) Les locomotives Diesel affectées au service de ligne sont des deux types, électrique et hydraulique ; celles de manœuvre sont du type mécanique.

2) Depuis 1958, la traction sur les lignes Otraco est en totalité assurée par des locomotives Diesel. Les engins à vapeur sont en partie mis à la mitraille (les plus anciens), partie mis sur parc pour vente ou comme réserve en prévision des pointes de trafic.

La même tendance vers une dieselisation intégrale se manifeste pour les réseaux de Vicicongo et de la Cie des Chemins de Fer du Congo Supérieur aux Grands Lacs. Quant à la Cie du Bas-Congo — Katanga, elle substitue aux locomotives à vapeur des unités électriques par prépondance, outre quelques Diesels.

Cette évolution se dégage d'emblée du tableau suivant qui donne le recensement arrêté fin 1958 pour l'ensemble des réseaux ferroviaires du Congo.

Tableau 3. — Importance du moteur Diesel dans la traction ferroviaire congolaise.

Années	Locomotives Diesel	Locomotives électriques	Locomotives à vapeur	Total	Proportion %	
					d'unités Diesel en service	d'unités électriques en service
1950	28	4	334	366	7,7	1,1
1956	90	27	357	474	19	5,7
1958	129	31	267	427	30,1	7,26

L'introduction de la première motrice Diesel sur la ligne du Bas-Congo au Katanga date seulement de 1948.

D'autres faits saillants sont à relever de même source :

1) L'essor de la dieselisation procède, dans son ensemble, de deux causes déjà évoquées :

a) La pénurie croissante et le renchérissement du bois de chauffage dans le rayon d'approvisionnement des lignes ; outre le désir de récupérer l'abondance de main-d'œuvre immobilisée à cette fin ;

b) Le souci d'accélérer l'allure moyenne des convois et par suite la rotation du matériel roulant.

2) Parallèlement à la dieselisation des autres lignes, l'électrification du chemin de fer Bas-Congo-Katanga a été amorcée dès 1952. Elle intéresse déjà 450 km de voies (soit 13 % de la longueur totale) et ne cesse de se développer. Elle est favorisée par la présence d'un important complexe de centrales hydro-électriques et par l'intensité du trafic marchandises, surtout des produits pondéreux. Les difficultés de ravitaillement des machines en combustible solide et la cherté du combustible liquide (dieseloil) ont pu de la sorte être éliminées.

3) Les matériels de traction électrique et diesel ont acquis une importance croissante ; ils interviennent pour 21 % de l'effectif et pour 30 % de la puissance disponible.

4) L'effort de traction moyen par unité s'est accru à un rythme accéléré, soit de 68,8 % entre 1950 et 1957, tandis que l'effectif augmentait seulement de 39 %.

Les réseaux congolais l'emportent sur les autres du Centre africain, quant au nombre des locomotives ; ils se caractérisent par la prépondérance du trafic marchandises.

Dans le domaine de la batellerie intérieure, la dieselisation a débuté en 1912 déjà et s'est développée pour les raisons exposées plus loin. Les chiffres ci-dessous en font foi :

Tableau 4. — Puissances des unités de la flotte fluviale Otraco.

Années	Puissance Diesel en ch.	Puissance totale en ch.	Proportion d'unités Diesel %
1939	1.980	16.000	12,4
1949	10.720	32.433	33,1
1950	36.630	57.365	63,9
1957	43.830	62.690	69,9
1958/9	46.270	70.775	65,4

Pour le transport lacustre, à l'instar du transport fluvial, l'on observe une substitution progressive de la traction des bateaux par Diesels à celle par engins à vapeur. Ainsi pour la flotille de la Compagnie des Chemins de Fer des Grands Lacs la puissance de propulsion diesel des motor-boats représentait, fin 1958, environ 48 % de la puissance totale du matériel flottant.

Sous une optique plus étendue, celle de la motorisation en général, les données relatives à la *traction routière* n'en apparaissent pas moins impressionnantes. Il suffit de comparer, à 10 années d'intervalle, les chiffres des recensements du parc de véhicules routiers à moteur.

Tableau 5. — Composition du parc des véhicules routiers (soumis à la taxe de circulation).

	1948	1955	1956	1957	1958	Indice d'accrois. en 10 ans. Base : 1948 = 100
1) Voitures	6.796	24.085	29.073	33.829	37.841	556,8
2) Autobus	—	328	388	402	494	—
3) Camionnettes et camions	10.089	19.179	20.991	22.285	23.715	235,1
4) Tracteurs	206	443	543	584	644	312,6
5) Remorques	146	—	—	—	44	-30,1
6) Motos	1.612	1.900	2.412	2.915	3.722	230,9
7) Vélos	102.446	704.789	730.914	774.249	783.575	764,9
8) Divers	—	36	75	92	—	—
Totaux généraux	121.295	750.760	784.396	834.356	850.035	700,8

Ces résultats énoncent une augmentation presque quadruple pour l'effectif des véhicules routiers à moteur, dans leur majorité d'âge récent.

Remarque : Il s'agit d'inventaires limités aux seuls véhicules imposables par le fisc, à l'exclusion de ceux utilisés dans les multiples services publics ou assimilés (tels les centres extra-coutumiers, les circonscriptions indigènes, les organismes parastataux, etc.), outre ceux exempts de l'imposition dans les agences consulaires, dans les institutions philanthropiques et religieuses, etc. L'effectif complet du matériel routier, après recensement exhaustif, devrait subir une majoration appréciable pour tenir compte des véhicules exonérés.

Suggestif aussi s'avère le rapprochement entre l'évolution du parc de véhicules à moteurs et l'extension du réseau routier dans le même laps de temps.

Tableau 6. — Développement de l'infrastructure routière.

Éléments de comparaison	1948	1958	Rapport d'accroissement
Développement du réseau en km	100.524	148.000	148 %
Nombre d'unités par 1.000 km de route (selon recensement fiscal)	145	406	280 %

Il est visible que le développement du charroi automobile a été deux fois plus rapide que celui du réseau routier de l'Afrique belge : ce dernier n'en reste pas moins le plus étendu de tous ceux desservant l'Afrique centrale. Et la densité de circulation par kilomètre s'y accroît chaque année, en même temps que l'importance proportionnelle des véhicules de grande capacité. La diesélisation du trafic lourd routier progresse à un rythme continu ; elle atteint près de 40 % chez certains transporteurs, tels les Chemins de fer vicinaux du Congo.

Dans le *Secteur des transports aériens*, nous assistons à un essor non moins remarquable et parallèle à celui de l'économie de l'Afrique belge. Le Congo peut s'enorgueillir d'avoir créé en 1920 la première des lignes coloniales de transports aériens. Aujourd'hui, son réseau du Centre africain est dans ce genre non seulement le plus ancien, mais le plus important du globe.

L'aire d'opération n'a cessé de s'élargir à l'intérieur du Congo et dans les autres parties du Continent noir avec la même régularité de progression que celle du pont aérien le reliant à la Belgique. Outre qu'il réalise (en 16 heures) cette liaison (L. B. C.), le réseau actuel des ailes belges dessert 46 centres importants d'Afrique (L. B. A.). Des lignes régulières assurent l'interconnexion et l'approvisionnement des principales localités des territoires belges d'outre-mer.

Par l'établissement de circulations rapides des personnes et des marchandises, ces liaisons apportent une

contribution importante au progrès économique de ces territoires dont la superficie est 81 fois celle de la Belgique avec des communications de surface demeurées difficiles. A brève échéance, ces lignes entreront dans l'ère de la réaction, par la mise en service de quadroréacteurs Boeing 707 : les aménagements d'infrastructure réalisés en application du Plan Décennal ont doté l'aéroport de N'Djili à Léopoldville — de la classe 1 « tous avions » — d'une piste de 4.700 m, la plus longue des pistes civiles du monde. Celui de Stanleyville sera également ouvert aux quadriréacteurs.

Pour concrétiser davantage l'ampleur de l'évolution du transport aérien au Congo, il s'indiquait de comparer les parcs de matériel volant à 10 années de distance. Mais les avions longs-courriers de la flotte SABENA sont utilisés indifféremment sur ses diverses lignes intercontinentales, de sorte qu'une discrimination n'est pas possible.

1) Pour l'Europe et le Congo belge, cette flotte se compose de 21 quadrimoteurs Douglas, dont 9 DC7 de 13.790 ch, 12 DC6B (cargos) chacun de 10.140 ch, outre les deux DC4 de 5.880 ch de SOBELAIR. La ventilation entre les utilisations annuelles donnant une moyenne de 31,33 % pour la liaison Belgique-Congo, via SABENA, la puissance totale « présumée » serait de 94.000 ch.

2) Pour le réseau intérieur : 10 quadrimoteurs Douglas DC4 de 5.880 ch et 16 bimoteurs DC3 de 2.435 ch, desservant les grands axes et lignes secondaires ; outre 3 taxis aériens bimoteurs Cessna de SOBELAIR + 1 hélicoptère + les petits avions du service Air Brousse ; au total : environ 63.000 ch.

Comme pour tous les autres transports congolais, le progrès est à la fois numérique (augmentation du nombre d'appareils), et qualitatif (accroissements des vitesses et

des capacités unitaires), au bénéfice de l'accélération du trafic. La rotation plus rapide du parc d'avions a permis d'importantes économies sur la réserve.

Les consommations de carburant pour avion ont augmenté à la mesure de la progression des trafics passagers et fret. En 3 ans, soit de 1955 à 1958, elles se sont enflées de 23 millions à 30 millions et demi de litres pour la liaison L. B. C. et pour le service intérieur du Congo, soit une majoration au multiplicateur 1,3.

Rôle prépondérant des transports.

Le système des transports, pivot de toute armature économique, acquiert en pays neuf une importance prépondérante. On se doit d'évoquer à ce sujet la formule lapidaire de STANLEY, « Sans chemin de fer le Congo ne vaudrait pas un penny. » Mais cette citation, devenue classique, peut être étendue à toutes les autres formes de transport : fluvial, routier, aérien. Aucune activité productrice ne saurait être viable sans cet équipement de base, lui-même incapable de s'étendre et de subsister si ce n'est en conjonction avec un équipement énergétique suffisamment développé. A son tour, ce dernier n'atteindra son maximum de rendement qu'à partir d'un degré adéquat d'évolution des structures économiques et sociales [36]. Dans les pays sous-développés, la méconnaissance de ces notions essentielles peut devenir le germe de graves déboires.

Problèmes de distribution.

L'intervention sans cesse croissante de la motorisation, en particulier sous forme de dieselisation des unités, dans le système des transports sur terre et par eau, a provoqué le gonflement spectaculaire des consommations de produits pétroliers. C'est la conséquence des efforts soutenus de renouvellement et de modernisation des parcs de

matériel à l'occasion de leur renforcement de capacité. Cette expansion est illustrée par le relevé statistique des importations de carburants dans les territoires belges d'outre-mer reproduit à l'*annexe 1*, surtout si l'on prend l'année 1945 comme point de départ de l'évolution.

L'accroissement général du tonnage, enregistré fin 1958, (environ 452.000 tonnes), atteint près de 18 fois le total de 1940 !

A l'examen de ces résultats l'on peut se représenter l'importance toujours grandissante des hydrocarbures comme produits énergétiques dans l'économie du Congo belge. La statistique montre aussi une extension parallèle pour chacune des catégories de dérivés du pétrole : gasoil et fuel-oil, essence, kérosène.

Dès 1911, un premier pipe-line (4" ϕ — 400 km de longueur) avait été posé au départ du port des inflammables d'Ango-Ango en amont de Matadi avec terminus au port intérieur de Léopoldville : sa capacité de refoulement des produits débarqués en vrac a été progressivement portée à 300.000 /l/24 h avec l'aide de sous-stations de pompage.

Afin de répondre à des nécessités croissantes, un second pipe-line (de 6" ϕ — 347 km de longueur), d'une plus grande capacité (débit 1.500 m³/24 h — contenance 7.000 m³) a été construit en 1952 et mis en service dès 1953. Comme le premier, datant de 1911, il est desservi par plusieurs relais de pompage. En outre ont été installés deux dépôts centraux, l'un de 55.000 m³ à Ango-Ango, l'autre de 28.000 m³ à Léopoldville, ainsi que plusieurs entrepôts dans des centres et ports fluviaux de l'intérieur (têtes de ligne de Stanleyville, Port-Francqui...).

Sur ce système d'entreposage des carburants, se greffe un réseau de distribution étendu. L'acheminement des gasoils et essences s'effectue d'après destination en vrac ou en barils ; pour les lubrifiants toujours en barils. La mise en circulation de camions-citernes vient de débiter.

Comme dans le secteur de l'électrification, se pose un problème de financement des réseaux de distribution des hydrocarbures : pour répondre aux exigences d'un service *up to date* il faudrait moderniser et renforcer constamment les réseaux ; mais d'autre part la dispersion des centres de ravitaillement et leur faible demande individuelle sont de nature à freiner l'équipement.

L'usage des fûts, loin de constituer une solution idéale, représente une source de frais et d'inconvénients pour les sociétés distributrices comme pour les exploitations de leur clientèle.

Pour lever partiellement les difficultés, nos centrales disposent en général d'une installation de stockage souterrain en vrac et de refoulement du gasoil ; elle comprend une citerne simple ou multiple, surplombée d'un double plan incliné facilitant le vidage des barils ; une pompe de reprise renvoie le combustible dans un tank sur pylône ou dans des nourrices surélevées qui alimentent les moteurs Diesels par un dispositif de pompes, filtres, manomètres et compteurs. Ces réservoirs souterrains et aériens sont du type métallique et démontable, en panneaux emboutis et boulonnés de format standard ; système économique et de montage assez facile avec des moyens locaux.

Mais la solution optimum — n'était son coût élevé de premier établissement — serait l'acheminement des produits pétroliers par pipe-line de la côte vers l'intérieur. Le transport par pipe-line (en comparaison des autres moyens terrestres) conjugue des avantages inégalés d'économie et de capacité d'acheminement, avec des pertes minimales de transmission. [4] La liaison, par ce moyen, du port des inflammables de Matadi avec les entrepôts de Léopoldville a contribué pour une part au développement du marché congolais des produits pétroliers.

L'importance restreinte et l'actuel état de dispersion

des centres consommateurs ne se prêtent pas à l'établissement de nouveaux pipe-lines dans les zones de l'intérieur. A terme proche de la distribution sera résolu par le vrac dans des conditions marquant déjà un progrès substantiel sur la fourniture en conditionné : bateaux-tankers, wagons et camions-citernes bientôt viendront répartir les précieux carburants jusqu'aux confins des régions l'Est, déshéritées au point de vue accès. De la sorte, il sera mis fin aux inconvénients du transport par fûts. Il en résultera une baisse appréciable du prix de fourniture à destination et une nouvelle expansion de la demande.

Facteurs d'expansion des besoins de carburant.

Le succès grandissant des huiles de pétrole procède de causes générales et particulières. Ne les voyons-nous point favorisées sous toutes les latitudes en raison de l'alourdissement continu des charges d'exploitation des mines où doivent œuvrer de nombreux travailleurs dans des conditions très dures. Aussi n'est-il pas surprenant de voir la calorie charbon s'effacer peu à peu devant la calorie pétrole. La contribution des carburants dans la consommation d'énergie primaire s'accélère suivant un rythme exponentiel. Les dernières statistiques de l'O. E. C. E. nous apportent des chiffres significatifs : le charbon y apparaît en perte de vitesse ; pour les pays membres, la proportion d'énergie utilisée sous cette forme, toujours importante cependant, a décliné entre 1948 et 1955 de 79 à 70 %, l'influence relative du pétrole poursuit au contraire son ascension, soit de 10 % à plus de 17 % ; aux E. U. 44 % (contre 43 % pour la houille) [47]. La vie moderne est devenue impensable sans le concours du pétrole : en pays sous-développé, c'est une source commerciale d'énergie d'un transport et d'une utilisation commode.

Le groupe d'experts, qui s'est penché sur le problème majeur des besoins énergétiques, prévoit vers 1975 une

production quadruplée de l'Europe occidentale en produits pétroliers. A taux composé, l'augmentation annuelle atteint 15 %. La moyenne de croissance, telle que dénoncée par ces statistiques, vraisemblablement n'est pas inférieure, compte tenu des apports de l'hydroélectricité, pour les pays neufs où le charbon ne peut être considéré comme source traditionnelle d'énergie.

Pour les territoires belges d'outre-mer, le rythme de progression est illustré par le rapprochement des chiffres de 1940 et 1958 : en cette dernière année la consommation s'est élevée allègrement au-delà de 18 fois le niveau d'avant-guerre.

Le tableau suivant démontre avec netteté la tendance ascensionnelle de la demande de carburants au Congo.

Le Congo en est toujours réduit à l'importation de produits pétroliers sous forme raffinée : gasoil, essence, lubrifiants.

Une cause intrinsèque du succès des huiles minérales combustibles y trouve son origine dans l'incidence des frais de transport, réductibles à l'avantage de ces carburants du fait d'un pouvoir calorifique plus élevé, soit 10 à 10.500 kcal/kg pour le gasoil et 10.800 kcal/kg pour l'essence, contre 7.000 à 8.000 kcal/kg de p.c.i. pour du charbon minéral de bonne qualité et 2.500 à 3.000 kcal/kg maximum pour le bois. Ainsi, c'est sur des économies de 30 % et 80 % respectivement par rapport au charbon et au bois (à \pm 350 — 400 kg/stère) qu'il est permis de compter en faveur des huiles de pétrole lourdes ou légères ; leur supériorité s'accuse aussi dans l'effet utile développé au cours de leur combustion par rapport au pouvoir calorifique théorique. Autrement dit, le rendement d'utilisation est plus élevé.

Dans le cadre d'une judicieuse politique de valorisation de la main-d'œuvre indigène au profit de l'agriculture, et sur les instances des autorités gouvernementales, les organismes de transport et diverses sociétés

Tableau 7. — Importation de combustibles et de carburants dans les territoires d'outre-mer
(en tonnes métriques).

	1920	1930	1940	1945	1950	1955	1956	1957	1958
<i>Houilles et dérivés.</i>									
a) Charbons, anthracites et agglomérés de houille	49.720	327.570	23.490	155.000	150.900	196.750	129.560	137.455	152.202
b) Coke et semi-coke	65.300	75.320	58.380	81.300	57.560	65.970	107.240	110.720	78.121
c) Ensemble	115.020	402.890	81.870	236.300	208.460	262.720	236.800	248.175	230.323
<i>Produits pétroliers.</i>									
a) Essence	544	21.270	15.030	34.130	127.900	198.940	206.000	223.529	217.367
b) Gasoil et fuel-oil	—	10.450	6.250	5.620	31.530	140.710	163.990	177.488	194.603
c) Pétrole lampant	1.120	1.820	4.880	4.770	11.220	25.610	41.650	33.792	39.492
d) Ensemble	1.664	33.540	26.160	44.520	170.650	365.260	410.650	434.809	451.462

ont procédé par étapes à l'abandon du bois en faveur des huiles de pétrole ; elles n'ont eu d'ailleurs qu'à se féliciter de cette évolution dans leur mode d'approvisionnement, nouveau motif d'accroissement des livraisons de combustibles liquides.

Tandis qu'il y a dix ans ou plus, le bois de chauffe constituait la majeure partie du combustible utilisé par les chemins de fer et par la navigation intérieure, la situation s'est totalement modifiée à ce jour. D'autre part, le développement accéléré des transports automobiles après guerre est un phénomène observé au Congo comme partout. C'est par excellence, la sphère d'utilisation traditionnelle des carburants pétroliers. Comme sous d'autres cieux, le marché du gasoil en particulier jouit d'une extension croissante pour un double motif : augmentation du pourcentage des « poids lourds » dans le trafic automobile d'Afrique centrale et importance de leur consommation unitaire de carburant comparée à celle des véhicules égers. Mais le gonflement de la demande en huiles minérales lourdes procède encore, pour une certaine part, de la mécanisation croissante des chantiers, déjà évoquée, et de la multiplication des Diesels stationnaires pour la fourniture de courant.

Mise en œuvre des combustibles solides et liquides.

Parallèle entre les moteurs à huile lourde et les machines à vapeur.

Il convient de scruter les motifs de cette promotion du moteur à combustion interne en pays neufs, au dépens de la machine à vapeur alternative, en comparant les qualités économiques et génériques de ces deux moyens de production de la force motrice. Dans ce rapprochement, nous excluons d'emblée le moteur à explosion et les turbines à vapeur ou à gaz de faible puissance, eu égard à la cherté de ces moyens pour une production de base.

Outre les facultés d'approvisionnement sur place, le prix de l'unité calorifique du combustible joue un rôle décisif dans l'élaboration d'un projet de centrale thermique. Mais le prix réel d'utilisation est à charger, en toute hypothèse, des frais parasites d'acheminement.

A ce point de vue de l'alimentation en combustible, la solution, qu'a priori, l'on serait enclin à retenir — du moins pour des installations de rang modeste — paraît être le maintien du bois de chauffage dans les endroits isolés et jouxtant une formation forestière. Mais, nous l'avons dit, le déboisement est obéré de sujétions sans cesse aggravées et dont la moindre n'est pas le renchérissement rapide du combustible végétal par suite de sa raréfaction dans le centre producteur ; à ces suites d'un recul du gîte forestier, s'ajoutent celles d'un pillage du sous-bois et parfois d'une destruction barbare d'essences de qualité.

Hormis le cas de petites installations de force motrice pour scieries et industries similaires implantées en forêt ou dans des centres reculés, le bois cesse rapidement de devenir compétitif avec le gasoil, auquel son riche pouvoir calorifique, insistons-y, confère un avantage évident. Pour la motorisation, comme pour le chauffage la calorie « pétrole » l'emporte sur les « calories carbone » du bois et du charbon au triple point de vue rendement, facilité et prix même. Il faut, sous ce rapport, tenir compte de la pauvreté et de la variabilité affectant la composition de beaucoup d'essences tropicales, dont la teneur en humidité atteint 30 à 50 %, voire davantage. Le bois est souvent chargé de poussières, vermoulu, attaqué par les termites ou autres insectes, infesté par des organismes fongibles (faux bois) etc. La consommation de ce combustible par chh utile, s'élève en moyenne (suivant puissance, pression et autres caractéristiques des engins) à 4-5 kg de bois sec (à 25 % d'eau) pour les machines à surchauffe, 5 — 6 kg pour celles à vapeur saturée ; s'il s'agit de

petites turbines à vapeur les consommations spécifiques grimpent vers 5 et 8 kg ; elles correspondent à une production de vapeur de 1 kg pour 1,25 à 1,5 kg de combustible ligneux.

Dans les chiffres précités sont incluses les dépenses supplémentaires correspondant aux mises à feu, bois en combustion ou braises abandonnées dans la grille à la fin de la journée, et pertes à la cheminée durant les heures d'arrêt des installations. Ces consommations représentent des minima car elles peuvent, à faible charge, monter jusqu'au triple pour les machines sans condensation.

C'est à ce point qu'en navigation intérieure, sur les lignes principales du moins, l'usage du bois est à présent délaissé pour la propulsion des bateaux à cause de l'énorme encombrement des cales. Par exemple, pour un remorqueur à vapeur de 1.000 ch — le plus puissant d'ailleurs au Congo — le volume à charger journellement n'atteint pas moins de 140 stères de bois [19]. Tout bateau, quelle qu'en soit l'importance, chauffé avec ce combustible, est astreint à stopper chaque soir au poste à bois, où s'alignent, le long des rives, les bûches de 70 cm stockées entre piquets pour le contrôle. Ces chargements nocturnes, pour l'approvisionnement de la ration journalière allongent la durée des parcours. C'est là un inconvénient, le plus grave de tous pour l'économie de l'exploitation fluviale ; c'en est un aussi pour les passagers qu'incommodent au surplus les suies et fumées vomies par les chaudières.

La substitution du gasoil au bois comme source de force motrice sur les bateaux, conjointement à l'installation du balisage lumineux et du radar, autorisant la navigation de nuit, permettent à présent d'accomplir les parcours de manière ininterrompue. Il en est résulté un gain de 40 % sur la durée de navigation des bateaux. Outre les *integrated tow boats*, les *sternwheelers* et chaloupes de gros tonnage, les petites embarcations, baleinières et vedettes sont, sans exception, propulsées au diesel-oil ou à l'es-

sence. La célérité de rotation des flotilles a entraîné une économie sur le coût de la tonne kilométrique ; il est malaisé de la chiffrer à cause de l'interférence de facteurs divers, dont la hausse des salaires indigènes. L'examen des possibilités comparées du bois et du gasoil induit à des conclusions semblables pour les transports par chemin de fer où l'introduction du diesel a augmenté de beaucoup la souplesse d'exploitation des lignes, en particulier dans la traction sur rampe. Et l'usage d'automotrices Diesels, pour les services omnibus, présente un intérêt flagrant. Avec les anciennes locomotives chauffées au bois, le volant de vapeur s'épuisait à l'approche d'une crête, et l'injection d'un appoint d'eau refroidissant le foyer, la machine à bout de souffle devait redescendre ; ou bien il fallait réduire la charge du convoi.

En traction automobile, l'usage du moteur à gasoil n'a cessé aussi de s'étendre pour l'équipement des véhicules lourds.

Sous le rapport de l'encombrement il faut tenir compte, en outre, du grand volume requis par les foyers chauffés au bois, afin de leur conserver un rendement acceptable, compte tenu de la mauvaise qualité du tout-venant.

Même d'importantes sociétés cotonnières en sont venues à délaisser le bois comme complément de leurs déchets végétaux en raison des difficultés de surveillance, de coupe, d'acheminement aussi, créant un état de pénurie et de cherté qui vont crescendo avec l'incidence aggravante du relèvement des salaires dont la poussée est une loi inexorable de progrès social. Et cependant l'espace forestier couvre 50 % du territoire congolais d'associations végétales les plus impressionnantes.

Dans certaines régions du Congo, disposant en abondance de déchets fibreux ou de bois, ces combustibles végétaux restent néanmoins en faveur, d'autant plus que le chauffage par ces moyens ne requiert pas de chauffeurs expérimentés.

La fidélité de certains exploitants à l'usage du bois comme source d'énergie a été inspirée aussi par la préoccupation de s'assurer en toutes circonstances le maintien de leur approvisionnement de combustible, du moins dans les postes d'importance vitale.

Quoi qu'il en soit, le prix de revient du kWh produit par les machines à vapeur doit être grevé de frais considérables de main-d'œuvre s'il s'agit de la chauffe au bois ; il faut en effet tenir compte du gros volume de bois abattu, débité et manutentionné, outre l'entreposage qui comporte des risques évidents d'incendie et de vol, ce dernier constituant une cause appréciable de perte. Et ce coût ne cesse de renchérir.

Le prix des huiles minérales, par contre, demeure stationnaire sauf circonstances tout à fait exceptionnelles.

Quoique présentant certains avantages techniques (régularité de combustion, absence de cendres, etc.), l'utilisation du pétrole brut (*crude-oil*) ou du mazout (*fuel-oil*) dans les brûleurs de chaudières est à exclure en toute hypothèse, cette forme de consommation calorifique étant grevée d'un prix de revient prohibitif. Malgré le haut rendement de la combustion dans les générateurs, comparé au rendement énergétique du Diesel, la consommation d'huile lourde de pétrole brûlée sous cette forme, pour la production de vapeur, peut atteindre le triple de celle afférente à l'injection dans les cylindres de moteurs à combustion interne. Quelques bateaux et locomotives furent équipés pour la chauffe au mazout avant 1914 sur les lignes du Bas-Congo. Mais cette initiative ne tarda pas à se révéler prématurée et désavantageuse au point de vue prix de revient.

Pour l'alimentation des Diesels, les gasoils ou diesel-oils, et à la rigueur les fuel-oils légers, sont, sans conteste, les carburants liquides les plus indiqués.

Prédominance des centrales Diesels en pays tropicaux.

Des avantages tangibles et d'incidence majeure ont apporté une justification concluante à l'emploi du Diesel dans les centrales autonomes à moteur, petites ou moyennes, de régions sous-développées. La plupart en sont familiers aux initiés :

1° SIMPLIFICATION NOTOIRE DES INSTALLATIONS DE FORCE MOTRICE AU GASOIL : elle résulte de l'élimination du complexe des batteries de chaudières avec leurs multiples canalisations et des auxiliaires thermiques : éventuels condenseurs ; pompes, réfrigérants, épurateurs d'eau etc., d'où par un corollaire obligé :

2° ABAISSEMENT DU COÛT DES IMMOBILISATIONS des centrales Diesels par kilowatt installé. Il faut toutefois convenir d'un taux d'amortissement supérieur de 30 % et davantage pour les moteurs à gasoil par rapport aux machines à vapeur, surtout les locomobiles, très rustiques et dont certains modèles en Afrique comptent impunément près de 30 ans d'usage ; mais le correctif s'applique sur des investissements bien moindres pour une station génératrice Diesel ;

3° RÉDUCTION CONSIDÉRABLE DU PERSONNEL affecté à la conduite des installations Diesels pour des centrales de puissance faible ou moyenne (jusque 2 ou 3.000 kW) ; l'effectif de main-d'œuvre spécialisée se limite à un seul mécanicien (européen) pour assurer la surveillance générale et l'entretien de 4 groupes électrogènes Diesels jusqu'à concurrence d'une puissance totale en fonctionnement d'environ 1.000 kW ; avec plus de 4 groupes, un second technicien est nécessaire ; quant à la main-d'œuvre indigène il faut compter 2 travailleurs occupés aux travaux pour un servant ou travailleur organique, mais eu égard à sa meilleure qualification, le coût de ce

personnel organique excède d'environ 50 % le coût moyen de l'ensemble de la main-d'œuvre autochtone. Dans le cas de microcentrales, d'une puissance limitée en dessous de la centaine de ch, le personnel indigène peut suffire à la tâche, moyennant inspection périodique par un agent technique européen.

Les chiffres qui précèdent acquièrent une éloquence probante lorsqu'on les rapproche de ceux relatifs aux installations à vapeur dont le personnel apparaît pléthorique : 1 technicien et jusqu'à 10-12 indigènes attachés à l'usine pour une puissance installée ne dépassant pas 250 kW. C'est qu'en particulier avec le chauffage au bois, des équipes en effectif imposant sont nécessaires en plus du personnel de chauffe pour les corvées de récolte, portage, mise en dépôt, évacuation des cendres... En outre, l'entretien du générateur représente une tâche aussi absorbante, sinon davantage, que pour un moteur à combustion interne ;

4° ATTÉNUATION DE L'ENTRETIEN ET DE CERTAINS RISQUES D'INCIDENTS TECHNIQUES. Un moteur Diesel largement calculé, avec une faible pression moyenne, donc une grande cylindrée, tournant à régime lent ou intentionnellement réduit, peut au besoin fonctionner durant des semaines sans interruption. Des preuves incontestables nous en ont été données au cours de la dernière guerre : sous l'empire des nécessités dues aux circonstances, certains de nos moteurs ont travaillé sans défaillance durant cinq à six mille heures d'affilée. Cette épreuve d'endurance constitue une attestation de qualité à l'actif de la construction belge. Aussi bien, ces cas de service intensif sinon de surmenage des moteurs sont-ils fréquents dans un autre domaine d'application du Diesel moyen : celui de la pêche maritime.

L'expérience comparée de nos exploitations d'Afrique,

par contre, n'a pas été favorable aux centrales à vapeur conduites par du personnel recruté localement. Outre la nécessité d'un entretien suivi (nettoyages périodiques, remplacement de bourrages des vannes et tubes), les charges de réparation de nos machines semi-fixes se sont avérées onéreuses. Le chauffage au bois, spécialement, éreintait les tubes de fumée et foyers par de violentes flambées dues aux à-coups de chargement. Si des fuites, toujours à craindre en circuits de vapeur, ou des avaries graves surviennent, elles ont pour effet d'immobiliser l'une ou l'autre partie de l'installation thermique avec leur cortège de fâcheuses séquelles : pertes de recettes, prestations épuisantes du personnel européen et indigène, charges de réparation et de renouvellement parfois très lourdes.

Celles-ci sont spécialement sensibles s'il s'agit de certaines machines semi-fixes, par suite des dilatations mal réparties et se propageant du foyer jusqu'à la partie mécanique, cylindres et tiroirs de distribution : il en résultait un dérèglement de ces organes, outre des fatigues exagérées. Ces engins qui constituent assurément des mécanismes ingénieux, ont des allures trop rapides et des jeux trop serrés ; ils paraissent trop délicats en exploitation de pays sous-développés.

Dans une installation à vapeur, le manque d'entretien des chaudières peut tourner en désastre ; des explosions avec suites mortelles se sont produites dans certaines exploitations (étrangères à nos activités), pour des causes diverses mais qui relevaient invariablement d'inadvertance ou d'incurie des préposés, entre autres : l'état défectueux des soupapes ou des fusibles de sûreté, des indicateurs de niveau d'eau, etc. On ne saurait le perdre de vue, surtout dans les débuts d'une exploitation en pays initialement arriéré, il est fort difficile de combattre le penchant à l'accoutumance et même la simple méconnaissance du risque par certains natifs d'une mentalité fruste ou insuffisamment évoluée.

Il faut encore tenir compte des immobilisations périodiques de générateurs pour les indispensables travaux de débouage ou désincrustation. Les eaux congolaises, étant dans leur majorité douces et acides, ne sont pas incrustantes ; celle du fleuve ou de ses affluents contiennent des acides humiques et oxycarbonés se décomposant par la chaleur et, de ce fait, ne sont que modérément agressives dans cet état. Mais la corrosion est fréquente. C'est pourquoi, à défaut d'une correction pratiquée par certaines sociétés, le nettoyage régulier des chaudières (au moyen de lessive alcaline) au moins une fois par mois, combiné avec une évacuation journalière des boues, suffit à garantir la bonne conservation des appareils. De toute manière ces opérations d'entretien ont pour résultat un sensible allongement des temps morts.

Assurément, le service d'un moteur à huile n'exclut pas, lui aussi, certaines sujétions dispendieuses : vu l'éloignement de la métropole, un important stock de pièces de rechange, autant que possible standardisées, constitue une mesure d'élémentaire prudence ; de plus, dans l'état de continuelle évolution technique qui a prévalu ces dernières années, la prévision, faute d'expérience suffisamment prolongée, risque de s'avérer trop large : le déclassement des moteurs survenant, une fraction plus ou moins importante de pièces détachées finit par connaître le sort de la mitraille. Mais les réparations ou renouvellements se limitent de toute manière à la machine motrice et non pas à tout un complexe d'installation thermique.

D'autre part, s'il est possible de s'en remettre à un indigène bien stylé pour la conduite courante des moteurs à injection, il faut prévoir au-delà d'une puissance unitaire de 100 ch, des visites et d'éventuelles révisions par un véritable mécanicien dieseliste tous les 15 jours au moins. Toutefois, pour un nombre suffisant d'unités, d'une certaine puissance (100-150 ch) groupées dans une même centrale ou réparties entre plusieurs services, il devient

possible d'établir une organisation méthodique avec un mécanicien d'entretien ayant son point d'attache au centre principal et itinérant dans un certain rayon. En pareil cas, la formation d'un personnel indigène spécialisé devient rationnelle, mais elle requiert un certain délai.

Cette obligation ne peut d'ailleurs être éludée non plus pour les groupes à vapeur. Néanmoins, s'il est fait choix pour une installation fixe de moteurs Diesels à 4 temps, d'une construction robuste, et suffisamment simplifiée, à faible vitesse et grosses cylindrées, toutes exigences vitales en service d'outremer, les opérations resteront limitées à des substitutions directes d'organes complets ou de pièces de réserve avec un minimum de personnel expérimenté. De sérieux incidents techniques ne seront pas plus à craindre qu'avec des engins simples comme les locomobiles à vapeur ;

5° DIMINUTION DE POIDS ET D'ENCOMBREMENT des installations Diesels. Une tendance soutenue vers l'allègement des moteurs c. i. a eu les plus heureux effets ; elle a débuté avec l'adoption universelle de l'injection mécanique et celle, assez fréquente, de la suralimentation. Les récentes acquisitions de la métallurgie y ont contribué dans une large mesure. Il en résulte d'importantes économies sur les frais de transport et de montage, comme sur les coûts des pièces détachées à pied d'œuvre ; de même sur les dépenses de génie civil ; et les possibilités d'extension future en bénéficient par surcroît. Or le coût d'investissement s'élève vite en fonction des poids et des dimensions d'encombrement du matériel en raison inverse du nombre de tours. Ces avantages, d'une évidence flagrante, n'appellent pas de commentaires.

6° SOUPLESSE ET COMMODITÉ D'EXPLOITATION DES CENTRALES DIESELS : c'est un facteur de portée décisive surtout pour de petites installations autonomes en pays sous-développé, caractérisées par un diagramme de charge

extrêmement irrégulier. Le démarrage et la mise en charge d'un moteur à injection sont presque instantanés ; la desserte par un unique wattman suffit. Et le moteur donne toujours sa pleine puissance de façon régulière. Dans le cas d'une machine à vapeur, fixe ou mobile, la puissance fournie sera généralement inférieure à la valeur nominale parce que tributaire de la conduite plus ou moins bonne du foyer, de l'état d'encrassement du générateur, des fuites aux bourrages, de l'humidité et de la richesse calorifique du bois ou autre combustible brûlé...

S'il fallait convenir, il y a quelques années, d'une plus grande aisance dans la synchronisation des turbo-alternateurs — dont l'emploi est du reste réservé aux grandes centrales — ce n'est plus aujourd'hui un élément de supériorité : en effet, les groupes électrogènes diesels verticaux de construction polycylindrique, bien balancée, comportant pour l'équilibrage des forces d'inertie au moins 6 cylindres et munis d'un volant lourd, donc d'un PD^2 satisfaisant, d'un bon coefficient d'irrégularité ainsi que d'un faible écart angulaire électrique, se prêtent de façon impeccable à l'association en parallèle ; pareillement au maintien du couplage sans risque de résonance entre les impulsions du moteur et les oscillations pendulaires de la génératrice, dont résulteraient des vibrations torsionnelles.

Avec un nombre suffisant d'unités coopérantes, de puissance judicieusement choisie, pour éviter une insuffisance ou un excès de travail unitaire, il n'y a nulle difficulté de faire face à des fluctuations de charge soudaines et de grande amplitude.

Un cas typique, rencontré au stade initial d'exploitation dans plusieurs centrales de la Régie, est celui du service portuaire : pour des raisons d'insuffisance de la consommation urbaine, il était nécessaire d'affecter individuellement un groupe Diesel à l'alimentation des grues, mâts de charge et docks flottants de la Section des

Voies navigables. Le fonctionnement des groupes en parallèle étant exclu, le régime de marche de l'unité génératrice autonome en devenait instable à l'extrême, néanmoins le Diesel parvenait à s'accommoder de vifs et continuels à-coups.

Aussi bien, certains autoproducteurs au Congo font usage, dans leurs centrales, de moteurs à combustion interne comme unités d'appoint, pour faire face à des poidtes de toutes durées ou comme engins de secours ; dans certaines applications, le démarrage est rendu automatique. Rappelons qu'en navigation fluviale, le Diesel a supplanté sans conteste la machine à vapeur pour les bateaux à hélice.

Les Diesels, certes, présentent quelque délicatesse de fonctionnement ; les grosses unités surtout demandent, de ce fait, une conduite surveillée. L'inaptitude à soutenir des surcharges importantes ou prolongées au-delà de la puissance nominale reste un facteur bien connu de vulnérabilité du Diesel. Comme un moteur fonctionnant sans cesse à pleine charge est inévitablement exposé à travailler en surcharge, il importe de se parer contre le danger d'avarie qui guette ce genre de machine, en s'imposant la charge par unité entre les $3/4$ et les $4/5$ de la puissance nominale. A ces allures, le moteur fonctionne du reste dans la zone des consommations unitaires les plus économiques. La puissance doit être diminuée aussi des pertes inhérentes à l'ambiance tropicale comme à l'altitude. Dans le même but, il existe des limiteurs de charge du type mécanique ou hydraulique (convertisseur de couple), mais ce sont des complications superflues. Certaines avaries paraissent avoir pour origine le maintien d'un régime de charge trop élevé. En conséquence, il faut prévoir dans l'installation d'une centrale Diesel une puissance totale installée pour le moins équivalente au maximum de pointe prévisible.

Dans le cas de groupes à vapeur, outre le sérieux

appoint du volant thermique disponible à la chaudière, véritable accumulateur de calorique, l'aptitude à la surcharge continue reste considérable : jusqu'à 50 % en machines alternatives, et jusqu'à 100 % en turbine. Sous ce rapport, certaines machines à vapeur d'allure très lente, simples et de grande robustesse, témoignent d'une remarquable capacité de supporter les pires à-coups, bien que leur service soit confié à une main-d'œuvre exclusivement indigène recrutée sur place.

Assurément une machine à vapeur, même très usée ou négligée indûment, affectée de jeux excessifs et devenue bruyante, pourra, en raison de sa simplicité organique, s'accomoder des pires avatars et continuer encore à fonctionner ; peut-être de façon défectueuse, voire à l'envers (comme le cas s'est produit ailleurs) mais sans refuser absolument tout service. Cependant pour des centrales thermiques, surtout celles de distribution publique en Afrique centrale, l'exploitant ne saurait éluder l'obligation d'installer également un ou plusieurs groupes à vapeur de réserve.

Pour conclure : il est licite d'affirmer, à la lumière des résultats d'exploitation, que la sécurité de fonctionnement des Diesels modernes reste assurée même en exploitation de pays sous-développés. Mais c'est à condition de choisir des machines de construction éprouvée, simple et robuste, d'un nombre de cylindres et d'un régime de vitesse modérés ; et de les immuniser contre les éventualités d'accidents par une limitation suffisante de charge. Il faut, en outre, les nantir sur place d'un stock important de pièces de rechange et disposer d'ateliers de réparation convenables.

Une fois mené à bien l'apprentissage des servants indigènes, les Diesels sont assurés de tourner régulièrement et de fournir d'excellentes prestations. Sous ce rapport, comme sous celui de l'entretien, ils ne le cèdent nullement aux unités à vapeur.

Une solution de sécurité qui demeure défendable pour le service électrogène stationnaire de petits centres du Congo, reste celle de l'ancien Diesel horizontal — dérivé du moteur à gaz — monocylindrique, à faible vitesse, d'exécution peu compliquée et d'une très longue durée de service, exempte d'incidents techniques ; mais ce n'est concevable que pour des installations sans perspective de développement, car ce type d'engin encombrant, très lourd, d'une régularité électrique médiocre, ne se prête guère à la mise en parallèle avec d'autres groupes, ni au transfert dans quelque nouvelle exploitation ; de plus le coût d'installation en est élevé. Il en est de même du moteur vertical, lent, attaquant une génératrice rapide par courroie trapézoïdale ; ce type de machine motrice est assuré aussi d'une longévité élevée, avec possibilité de récupération ultérieure ; mais l'intervention d'une transmission flexible, introduisant une inconnue dans le calcul du PD² peut, de nouveau, rendre la synchronisation aléatoire.

Considérons à présent un point essentiel :

7^o LES CONSOMMATIONS SPÉCIFIQUES COMPARÉES pour les machines à vapeur et pour les moteurs à gasoil.

Le très haut rendement thermique, résultat du taux élevé de compression, la stabilité de l'effet utile en charge qui constituent l'apanage des moteurs à combustion interne et subséquemment la faculté de brûler des combustibles lourds d'un bas prix, apportent une justification décisive sous l'angle économique ; là gît la raison déterminante de suprématie de ces machines : pour des moteurs à régime modéré du type en usage dans nos installations fixes, le rendement effectif s'élève couramment à 36 % entre 3/4 et 4/4 charge ; il est ramené à 32 % pour les moteurs à régime moyen, 28 % dans ceux du type rapide. Ces chiffres sont à confronter avec ceux

très bas des machines à vapeur alternatives : avec surchauffe 14 %, sans surchauffe 10 % (en fait le rendement global tombe à 5 % dans une locomotive à vapeur). rendement thermique, produit de plusieurs rendements, est amputé considérablement par une cascade de pertes qui se conjuguent.

Pour un moteur Diesel, au gain résultant de la suppression des multiples déperditions calorifiques, inévitables dans les chaudières, condenseurs et circuits de vapeur, vient s'ajouter celui résultant de la cessation immédiate de toutes consommations de gasoil, d'huile lubrifiante et d'eau de circulation dès la mise à l'arrêt du Diesel, comme avant la mise en marche ; il n'y a de consommation de carburant que pour un travail effectif de la machine. Au contraire, avec le groupe thermique chaudière-machine à vapeur les dépenses de combustibles perdurent et une mise en veilleuse des générateurs est difficilement évitable au cours des heures creuses.

C'est encore le haut rendement du moteur Diesel qui justifie sa faveur croissante dans les transports routiers de gros tonnage et dans la motorisation agricole où il tend à ravir la palme au moteur à essence.

Néanmoins, il faut tenir compte de la cherté des huiles combustibles de pétrole, naturellement croissante à la mesure de l'éloignement du centre desservi, dans les régions de l'intérieur, hors d'atteinte des ports de débarquement.

En dernière analyse, il se dégage de l'expérimentation acquise par des entreprises privées et par nos propres services qu'il y a, dans l'ensemble, sensiblement équivalence des frais directs de production de l'énergie, dans l'une ou l'autre solution.

La stabilité des chiffres de consommation effective enregistrée dans la pratique d'une exploitation prolongée reste, en fin de compte, un élément d'appréciation militant à l'actif des moteurs Diesels. Quel que soit le degré d'usure

de ces machines en exploitation, la dépense de carburant augmente peu ; celle de lubrifiant risque de s'élever davantage si l'exploitant n'y prend garde par un renouvellement préventif des segments et des fourreaux de cylindres ; ce sont là conditions normales d'un bon entretien, et celui-ci reste aisément vérifiable par le contrôle des températures et colorations des gaz d'échappement. Il faut se remémorer encore la stabilité relative de consommation du Diesel entre $3/4$ et pleine charge. L'écart des consommations effectives de gasoil, par rapport aux valeurs garanties contractuellement selon la charge, est minime (inférieur à 5 %). Dans nos exploitations congolaises les consommations pratiques atteignent par ch/h effectif sur l'arbre moteur : de 173 g à 200 g pour les unités puissantes ou moyennes selon charges et de 270 g à 356 g par kWh livré aux barres, toutes pertes incluses, comme indiqué aux *tableaux 38 et 38 bis* en annexe ; les écarts, évidemment, évoluent en fonction de l'importance des installations, de leur caractéristique de charge, ainsi que du pouvoir calorifique du combustible. Dans le cas de groupes à vapeur, chaudières et machines alternatives ou turbines, l'accroissement de consommation spécifique peut devenir considérable : des machines à vapeur se muent avec l'usage, en énormes consommateurs, parfois à l'insu de l'exploitant. Les raisons de cette infériorité, par rapport au moteur à combustion interne, résident entr'autres dans la complexité plus grande d'installation dont résulte une moindre facilité d'entretien organique. Avec le Diesel, toutes anomalies ou défauts de fonctionnement peuvent être localisées et corrigées sans désespérer.

Il faut, enfin, relever comme avantages d'ordre mineur, au bénéfice des moteurs à huile combustible :

8° LA COMMODITÉ DE STOCKAGE SUR PLACE DE L'HUILE COMBUSTIBLE sous un volume réduit en raison de sa

haute capacité calorifique. L'intérêt de cette considération devient appréciable si, en raison de circonstances imprévisibles (telle l'interruption d'un transport fluvial par suite d'une baisse anormale des eaux) surviennent des arrêts ou retards dans les approvisionnements. La fluidité naturelle du gasoil présente des avantages notoires de facilités dans le transport et dans la manipulation qui en ont largement favorisé l'usage.

9° LA MODICITÉ DE LA CONSOMMATION D'EAU (± 10 30 l/ch) pour le refroidissement des moteurs Diesels en comparaison des énormes quantités (200 à 300 l/ch) exigées par les engins à vapeur, surtout ceux à condensation, n'est pas à perdre de vue. Cet aspect du problème pourrait s'aggraver en cas de difficultés pour l'approvisionnement d'eau *in situ*.

Entre autres avantages secondaires, il faut rappeler la suppression des disgracieuses cheminées à vapeur qui déparent le cadre local et répandent aux alentours leurs poussières, leurs fumées malodorantes, incommodant beaucoup les résidents, surtout en ville. Avec une installation Diesel, la propreté et l'esthétique du voisinage sont sauvegardées.

* * *

Choix du type de moteur.

Ayant opté pour le Diesel, notre préférence s'est portée sans hésitation sur *le type à quatre temps* : la justification en est conforme à la pratique courante du service des petites centrales Diesels en pays sous-développés. Les motifs de supériorité vis-à-vis du cycle 2 temps pour ces destinations sont multiples : ils résident en ordre principal dans une augmentation de la puissance spécifique (au kg) en rapport avec une pression moyenne effective accrue (vu le remplissage plus complet du cycle et pour raison constructive) ; également — dans nos

gamme de puissance moyennes utilisées au Congo — une plus grande simplicité de l'exécution ; signalons aussi une meilleure souplesse de marche aux diverses allures et une aptitude renforcée aux surcharges ; enfin le gain de rendement (10 %) dont découle une économie de combustible et de lubrifiant (par élimination de la soufflante de balayage). La sécurité de fonctionnement et le coût s'équivalent pour les 2 types de moteurs. Le problème d'évacuation des calories trouve une solution plus aisée dans le système 4 temps, par suite de la réduction du nombre d'explosions dans le tour. L'augmentation de puissance massique se prête à une réduction des nombres de cylindres, pompes à gasoil et injecteurs.

Dans le 2 temps la nécessité de dimensionner plus largement le moteur, l'intervention d'une pompe de balayage dont la complexité annihile l'effet de suppression des soupapes, l'allongement de la course pour le balayage, les pertes d'air frais par l'échappement des gaz brûlés dont l'avance obligée se fait au dépens de la détente, enfin le mélange de l'air carburant avec les fumées freinant la combustion... toutes ces causes viennent rogner le rendement du Diesel.

Des essais de fonctionnement de ce moteur à l'huile végétale ont mis en évidence des pressions moyennes réduites de moitié dans le moteur à 2 temps et, par suite, une réduction sensible de l'effet utile pour des causes diverses : mauvais rendement du balayage dû à différentes imperfections (inertie des clapets, freinage par le silencieux, etc.), chute de rendement thermique due à une insuffisance de compression, mauvaise combustion en surcharge, complication de réglage d'injection, déperdition d'huile lubrifiante par l'air de balayage, etc...

Le Diesel 2 temps ne retrouve la prépondérance que pour les puissantes cylindrées ; ou en très petites unités dont il faut citer le type ingénieux mais désuet, à balayage par carter ; il bénéficie d'un coût de construction

réduit (d'env. 10 %) grâce à un certain allègement (d'env. 1/5 l) et à la simplification résultant de l'absence d'un mécanisme de distribution: arbre à cames et réducteur, poussoirs, soupapes. Pour les grandes puissances la suppression des soupapes d'échappement, organes vulnérables, et des perforations correspondantes de la culasse, permet de rehausser la pression moyenne et d'atteindre, du coup, de fortes puissances unitaires. De même l'accroissement de régularité cyclique (à la mesure de la fréquence des explosions par tour) autorise un allègement des volants et coudés, outre un régime de puissance stable par réduction du remplissage des cylindres avec l'augmentation d'allure. Comme l'on sait le cycle 2 temps demeure réservé aux unités marines de grande puissance à pompes de balayage.

L'adoption générale de *l'injection mécanique* sur les moteurs à combustion interne relève de notions si bien ancrées dans l'esprit de tout technicien qu'il est superflu de s'y attarder. Son mérite le plus évident ressort de la suppression de l'archaïque compresseur, auxiliaire encombrant et coûteux en raison de la multiplicité d'étages imposée par le haut degré de compression (± 70 kg), source de complication de service et d'entretien, comme de perte (10 %) de puissance dont était affligée l'injection pneumatique du Diesel pur; (ainsi qualifié par discrimination avec le système de moteur à pulvérisation mécanique solide dénommé initialement « super Diesel », vocable abandonné). Le seul intérêt de l'insufflation d'air résidait dans une pulvérisation meilleure du gasoil et un accroissement du taux de compression, d'où léger gain (10 %) du rendement thermique [20]. Mais le haut degré de perfection des Diesels modernes, à injection mécanique, a permis de rattraper l'écart.

La *suralimentation* a été appliquée sur un tiers des groupes électrogènes Diesels de nos centrales d'Afrique; nous en avons équipé 16 moteurs de 700 ch et de 1300 ch,

soit un total de 9.000 kW de puissance installée. Les résultats, après 4 à 5 années d'exploitation, restent des meilleurs, sans l'ombre de pannes ou incidents.

Faut-il rappeler l'intérêt de la surcompression dont l'usage ne cesse de se développer en Diesel 4 temps ? Il est notoire qu'à égalité de vitesse et de pression en fin de la phase de compression, elle permet, sans risque de cognage, d'augmenter de 50 % (en pratique 40 % par sécurité) la puissance soutenue sans limitation de durée ; cela résulte de l'accroissement de surface du diagramme en cycle diesel : à égalité de puissance totale développée cela signifie encore réduction finale de poids, d'encombrement et de prix, malgré l'adjonction d'une soufflante. L'effet bénéfique correspond au supplément de gasoil injecté, donc de pression moyenne ; il se répercute sur le rendement volumétrique au prorata de la quantité d'air admise, et par suite, sur la puissance unitaire (au litre de cylindrée) ; gain aussi sur le rendement thermique (grâce à la récupération des pertes à l'échappement) ; en conséquence, la consommation spécifique diminue ; enfin, le fonctionnement est plus souple. Les travaux de l'américain HARTE-COOKE ont mis en évidence un profit supérieur à celui dû au simple accroissement de la pression d'admission, donc de compression et ce grâce à l'abrégement du délai d'allumage, ce qui réduit la pression de combustion maximum. Ce résultat s'obtient malgré une augmentation de 5 % de la pression moyenne et comme la durée de pointe s'étale, les à-coups sont relativement atténués car ils s'exercent en obliquité sur le vilebrequin. Grâce au balayage il y a légère diminution des températures de combustion et d'échappement, les chambres et fonds de cylindres étant mieux refroidis. L'accroissement de la pression de pointe et des charges sur paliers reste tolérable ; de même celui des contraintes thermiques sollicitant les pistons, soupapes et segments.

Cependant, il y a, en principe, quelques ombres au tableau. En premier lieu, une augmentation de fatigue

des organes, mais elle est éludée par une légère réduction du taux volumétrique de compression et par un réglage croisé des soupapes [20]. Nous devons aussi mentionner un certain accroissement des écarts de température au dépens de l'entretien et de la durabilité ; il faut prévoir une rechute de puissance en cas de panne de la soufflante avec perte de compression gênant le démarrage ; nécessité de modifications d'organes ; contrepressions accrues sur les soupapes ; échauffements. La turbine, spécialement sollicitée en raison de sa vitesse de rotation (25.000 tr/min, et de la température des gaz moteurs (à 450° C) exige des soins d'usinage et d'équilibrage coûteux. Sa construction ne souffre pas la médiocrité.

C'est pourquoi cette solution n'a pu être retenue pour nos moteurs de faible ou moyenne puissance, car elle entraînerait la complication d'organes supplémentaires exigus, donc de rendement médiocre, et un relèvement de prix difficile à récupérer en gain de puissance ou de poids. La version suralimentée est à réserver aux unités puissantes ou spécialement exposées à la surcharge. Les appropriations nécessaires sont limitées aux collecteurs d'échappement et d'admission d'air, avec montage de la turbosoufflante en bout, le réglage des cames de distribution pour modifier l'ouverture des soupapes, et celui du plongeur de la pompe à combustible ; également les encoches des fonds de piston. Les turbosoufflantes adoptées, du type Büschi bien connu, récupèrent la force vive des gaz d'échappement : solution élégante car elle améliore le bilan thermique du moteur. Un effet de balayage, donc de refroidissement énergique s'obtient à la faveur de fortes variations de pression dans le système d'échappement, par léger chevauchement des soupapes (réglage « croisé »). La contrepression est atténuée par subdivision en 2 circuits du collecteur d'échappement de façon à éviter un engorgement par admission concomitante à la turbine du flux des gaz brûlés de multiples cylindres. La

turbine est munie d'un double circuit d'eau de refroidissement et d'un double graissage à bain d'huile (turbine-compresseur). Par refroidissement de l'air il devient possible de porter la capacité de surcharge au double, mais cette performance nécessite un renforcement de l'arbre coudé.

Dans les régions montagneuses du Congo oriental et du Ruanda-Urundi, la suralimentation a eu pour objectif de suppléer au déficit de puissance résultant de l'altitude (soit 1 % de perte par 100 mètres d'élévation). En pratique cette solution nous permet d'atteindre une puissance continue dépassant de dix pour cent la garantie nominale. D'autre part une économie de 2 à 3 % sur la consommation d'huile combustible a été enregistrée dans les exploitations. Pour le Bas-Congo, quelques unités de 800 kW ont été dotées de la suralimentation, mais avec renforcement du vilebrequin, car du point de vue organique, la puissance nominale ne pourrait être dépassée dans ces régions à basse altitude.

Sous l'angle de l'économie, l'opération s'avère incontestablement bénéficiaire : pour réaliser une augmentation de puissance de 100 kW le supplément de prix consécutif à la transformation s'élevait à 500.000 F. Comme la dépense totale d'installation atteint en moyenne 10.000 F/kW, il en résulte que le coût de chaque kilowatt supplémentaire procuré par suralimentation revient à 50 % seulement du prix du kilowatt installé.

Nous mentionnerons simplement pour mémoire *les moteurs à tête chaude improprement qualifiés semi-Diesels* dont le déclassement est devenu général. Nos premières exploitations d'Afrique en ont éprouvé les inconvénients congénitaux dont la démonstration n'est plus à faire.

Le Diesel évite ces graves ennuis et les améliorations dans la technique de construction moderne ont définitivement porté remède à l'unique élément d'infériorité vis-à-vis de l'antique semi-Diesel, à savoir des pressions

de travail plus élevées engendrant une fatigue accrue des organes mécaniques.

Les moteurs polycarburants.

Ces juniors dans la lignée des moteurs à combustion interne, ont vu le jour au cours du dernier lustre, sous l'empire de préoccupations d'ordre militaire. L'objectif visé est d'assurer l'autonomie d'exploitation lors d'un conflit armé en se dégageant de toute servitude d'importation des carburants spécifiques. Le même souci de parer à une pénurie générale ou occasionnelle est à l'origine, comme nous le verrons, de diverses tentatives de produire des combustibles de remplacement à partir des ressources minérales et végétales dont le Congo est richement nanti.

Certains moteurs, dans les versions récentes, s'accommodent de l'emploi de 7 à 8 carburants distincts.

En territoires d'outre-mer, l'intérêt de cette considération se renforce de possibilités multiples [52] :

1° Facilité de ravitaillement accrue en raison de la faculté de s'approvisionner d'un seul carburant, le plus rustique et le moins cher ;

2° Limitation du stockage à ce carburant commun, avec les commodités de service et la réduction des risques qui en découlent ;

3° Indépendance d'alimentation assurée par une complète latitude de substitution au combustible d'origine ;

4° Accessoirement, de meilleures conditions de fonctionnement : gain sur la consommation d'hydrocarbure, souplesse de marche et stabilité aux bas régimes, atténuation du cognage et des fumées, accroissement de puissance.

Ces résultats peuvent être acquis par le truchement de divers artifices portant soit sur une appropriation de la

chambre de combustion et de son arrivée d'air ainsi que sur la distribution de combustible (système allemand MAN), soit sur le cycle d'injection que l'on fait chevaucher sur les fins de périodes d'échappement et de compression (système VIGOM).

Nouvelles venues à l'équipement collectif, les régions sous-développées sont en mesure d'outiller au mieux leurs services publics avec le bénéfice d'installations ultra-modernes.

Et sous ce rapport des perspectives prometteuses paraissent assurées aux moteurs polycarburants.

Références d'installations à vapeur (à pistons).

Malgré l'énumération des avantages spécifiques du Diesel sur lesquels nous avons cru opportun de nous étendre, ce serait manquer à un souci d'élémentaire objectivité que de clore cette rubrique sans mettre en balance des appréciations différentes, mais de poids, émanant de sources spécialement autorisées. Faut-il rappeler les éminents services rendus, pendant les trois premières décennies de ce siècle, par les installations à vapeur, alimentées initialement au bois, ensuite au charbon là où il devenait disponible. Pour n'en citer qu'un exemple : les multiples centrales de l'Union minière au Katanga ont fonctionné de la sorte jusqu'à l'entrée en activité dès 1930 de la première centrale hydroélectrique. Ensuite elles ont été « dieselisées » en partie.

Bien que perdant chaque jour du terrain, la machine à vapeur, il faut en convenir, garde encore quelques partisans au Congo, pour des installations de force motrice isolées. Au nombre de ses applications préférentielles, nous relevons des entreprises diamantifères dont l'exploitation s'étend sur une multiplicité de petits gisements et chantiers disséminés ; des entreprises agricoles, surtout celles brûlant des résidus végétaux ; plusieurs sections de

lignes fluviales qui desservent des affluents du fleuve par des bateaux à roues auxquels s'adaptent bien les machines à vapeur horizontales. Sur le fleuve même subsistent encore des remorqueurs à roues latérales dont l'un le *Kalina*, avec chauffage au bois, ne développe pas moins de 1.000 ch.

Citons aussi un réseau de traction du Katanga sur les tronçons de voie non encore électrifiées. Comme dans les pays évolués, la locomotion au charbon minéral tend d'ailleurs à disparaître. Et sur le fleuve des unités à moteur de plus en plus puissantes se multiplient (remorqueurs à hélice et bateaux à passagers de 2×500 ch ou plus). Pour des unités de puissance unitaire n'excédant pas 150 à 200 ch, la préférence des exploitants restés fidèles à la vapeur se porte sur des machines à piston de construction la plus simplifiée, souvent horizontales et monocylindriques, sans *compoundage*, à échappement libre, à vapeur saturée ou avec surchauffe (celle-ci pouvant d'ailleurs être éliminée en cas d'avarie). Malgré l'énorme augmentation de rendement qu'elle procure (près du double, à basse pression surtout), la condensation est incriminée, par l'unanimité des exploitants de petites centrales, comme une complication à exclure pour plusieurs motifs : difficulté et charges d'entretien, amortissement des condenseurs et des circuits d'eau de réfrigération, besoins d'eau énormes qui peuvent nécessiter de coûteux et complexes aménagements hydrauliques absorbant tout le bénéfice escompté, surtout s'il faut parer à quelque tarissement des eaux en saison sèche. Par contre, la pratique du réchauffage des eaux alimentaires au moyen de vapeur de décharge semble intéressante : dans certains cas elle assure un gain de 15 % sur la consommation. De toute manière, la simplicité demeure une exigence capitale à respecter en raison de la hauteur du coût des rémunérations du personnel spécialisé pour l'entretien et pour la surveillance générale ; par suite, la

considération d'une économie de combustible passe à l'arrière-plan.

Dans les débuts du développement industriel du Congo, les machines thermiques, chauffées au bois, étaient exclusivement du type à vapeur saturée. Mais au fur et à mesure de l'expansion des activités, minières entre autres, les entreprises se sont enhardies et ont adopté, avec complet succès, des groupes à vapeur surchauffée modérément (vers 290-300°C); en fait, il s'agissait plutôt d'un séchage que d'une surchauffe du fluide moteur. A l'opposé du condenseur dont l'usage est à exclure radicalement au Congo pour de petites installations génératrices, le surchauffeur constitue un accessoire fort apprécié : pour un supplément peu sensible de prix et d'entretien il procure un gain substantiel sur la dépense de combustible, soit de 25 % ou davantage [10].

La Société de Plantations et Cultures dans ses huileries — dont les plus modernes sont électrifiées — fait exclusivement usage de machines à vapeur : grosses unités horizontales de 360 ch d'excellente fabrication belge et de nombreuses unités verticales d'une marque anglaise réputée. C'est d'ailleurs le cas général des huileries, car les besoins de vapeur pour le traitement des fruits excèdent ceux correspondant à la production de force motrice.

Dans certaines entreprises minières et agricoles, l'ancêtre locomobile à vapeur n'est pas totalement détrônée, il s'en faut. De nombreux exemplaires subsistent dans les exploitations locales de diamant de la Sté Forminière au Kasai. C'est que cette machine continue à rendre des services appréciables en pays tropicaux, dans un champ d'application dont les limites de puissance n'excèdent pas 80 à 100 ch. Au-delà, l'engin devient trop lourd et peu mobile ; or la maniabilité restera immuablement une condition essentielle de rigueur sur les chantiers en brousse. La locomobile jouit de certains avantages

éprouvés : constitution robuste, simplification des circuits de vapeur, vitesse de rotation faible, haute aptitude à la surcharge (jusqu'à 50 %), facilité relative d'entretien, mise de fonds restreinte, longévité considérable. La consommation spécifique a pu être notablement abaissée : selon puissances et caractéristiques, de 12-14 kg/ch dans les anciens modèles à vapeur saturée et à marche lente (125/150 tr/min), elle est ramenée à 9-10 kg/ch dans les machines modernes à surchauffe (légère $\pm 320^{\circ}$ C) à pression de ± 12 kg/cm² et même tombe vers 7-8 kg/ch pour les nouvelles locomobiles, dont le régime devient de plus en plus rapide (porté successivement à 200, 250, puis 300 tr/min).

Dans plusieurs de nos exploitations ont fonctionné, dans les débuts, des machines à piston verticales alimentées par générateurs également verticaux, indépendants, à faisceaux tubulaires entrecroisés. Ces groupes donnaient satisfaction sous le rapport de la souplesse de marche (facilité de vaporisation) et de la durabilité, mais leur consommation de combustible était élevée, les machines échappant d'ailleurs à l'air libre.

Pour les installations stationnaires, la machine semi-fixe a connu autrefois une certaine vogue, pour raisons de haut rendement, de compacité et de faible immobilisation entre autres. Nous avons mis l'accent sur les dérangements mécaniques et avaries dues aux contraintes thermiques sollicitant ce genre de machine. Il tend aujourd'hui à céder la place, dans les stations d'une puissance d'au moins 150 ch, aux groupes à vapeur du type à chaudière indépendante, munie d'un avant-foyer pour un motif de robustesse déjà exposé. Observons d'ailleurs que pour des centrales mineures, une puissance unitaire de 200/250 ch semble représenter la limite d'utilisation des machines à vapeur alternatives.

Quant à *la turbine à vapeur*, dont les incomparables performances ont assuré la souveraineté sans partage

dans le service des grandes centrales, elle ne saurait convenir aucunement pour les installations de faible ou moyenne importance au Congo. Malgré un encombrement restreint, une apparente simplicité organique et la réduction des effets d'inertie à la faveur de la suppression des organes de conversion cinématique, malgré aussi le degré de perfectionnement des réducteurs à bain d'huile et engrenages taillés à la machine, les turbines modernes constituent des engins d'un fonctionnement délicat ; leur service ne peut être confié qu'à du personnel de très haute qualification. Il est aisé d'en justifier pour des raisons d'ordre constructif : les efforts incessants vers l'atteinte d'un rendement optimum ont suscité l'adoption des hyperpressions (60-100 atm) et des hautes surchauffes (550° ou plus) avec régimes de rotation considérables (3.000 tr/min). Les résultats de cette évolution bien connue se traduisent par des contraintes mécaniques et thermiques sollicitant à l'extrême les roues avec leurs aubes délicats, les portées multiples aux jeux radiaux très réduits ; d'où une certaine vulnérabilité aux vibrations et des sujétions sévères d'équilibrage dynamique.

Seules de puissantes entreprises minières au Congo ont pu exploiter avec profit les énormes aptitudes énergétiques et économiques des groupes turbo-vapeur ; plus récemment, une grande sucrerie, mettant à profit ses déchets de broyage des cannes. Les mécaniciens d'élite et aussi les quantités d'eau abondantes dont ces grandes installations sont tenues de disposer, motivent ici l'adoption du condenseur, auxiliaire obligé de la turbine pour raison de rendement thermique.

En petites unités à bas régime de pression et de température les turbo-machines à vapeur sont handicapées par leurs consommations excessives (des plus gênantes en navigation). D'autre part, elles ne présentent aucun avantage qui les distingue des machines alternatives considérées précédemment.

En dernière analyse, il est visible que malgré la fidélité témoignée par quelques exploitants du Congo envers l'antique machine à vapeur alternative, si accommodante dans les prestations que l'on en exige, la propension à l'emploi des Diesels ne cesse de s'accroître. La statistique nous en apporte des preuves concluantes ; en 1955, les importations de machines motrices se répartissaient comme suit : 1 locomobile — 14 machines à piston alternatives à vapeur et plus de 1.200 moteurs à combustion interne, outre de nombreux moteurs à essence.

Les turbines à gaz.

Pour clore cet examen des machines à combustion, nous passerons en revue succinctement les possibilités d'emploi des turbines à gaz.

Nous n'insisterons pas sur la diversité des combinaisons réalisées ou en projet pour les groupes fonctionnant à l'échelon industriel : circuits à combustion interne ou externe, simples ou complexes, avec étages intermédiaires de réfrigération et de réchauffage, avec une ou plusieurs lignes d'arbres, jusqu'aux circuits combinés vapeur-gaz. Les caractéristiques de ces circuits sont passées au crible d'une analyse fouillée dans une étude récente du groupe de travail belge constitué à l'initiative de la F. I. P. A. C. E. dès 1955 pour l'application des turbines à gaz à l'autoproduction d'électricité (*).

Pour faire le point de l'état d'évolution générale de cette nouvelle technique, signalons qu'en fin 1957, selon l'étude précitée, le nombre total de machines en service dans les installations stationnaires de caractère industriel, s'élevait dans le monde à 317 unités. Elles totalisaient une puissance de 1911 MW, soit 5 fois plus qu'en l'année 1952.

La place grandissante que prend la turbine à gaz dans

(*) Rapport sur les applications de la Turbine à gaz — plus spécialement chez les producteurs autoconsommateurs (*L'Énergie*, Bruxelles, 1958-59).

les divers secteurs de l'industrie, en particulier ceux de la production et de la distribution d'électricité, ressort de ces chiffres. Ils attestent que ce genre de machine motrice a franchi le cap de la phase expérimentale.

Comparée aux types usuels de moteurs thermiques, la turbine à gaz présente un ensemble de caractéristiques d'exploitation dont la mise en balance lui fait assigner un rôle non de substitution mais de complément, et même dans certaines applications, l'exclusivité.

Parallèle avec le Diesel.

Le cas d'installations équipées de turbines à vapeur étant exceptionnel au Congo belge, nous ne nous y attarderons pas, limitant la comparaison avec le moteur Diesel. Dans les pays hautement industrialisés le groupe turbovapeur de grande puissance, d'une marche extra-économique, est loin d'être détrôné au stade actuel. Il l'emporte de loin sur la turbine à gaz dans les régions dotées de gisements d'hydrocarbure gazeux.

Par rapport au Diesel, la turbine à gaz présente certains avantages :

1° Simplification et allègement de la *construction de la machine* par suppression des organes à mouvement alternatif, embiellages et coudés, ainsi que des soupapes ; par suite :

2° *Souplesse de marche* par élimination des à-coups d'inertie dans le tour et des vibrations subséquentes d'où aisance relative d'équilibrage ;

3° *Réduction considérable du personnel et des charges fixes d'exploitation* au prorata de l'utilisation et des frais d'entretien, les renouvellements de pièces étant faciles et limités aux premiers ailetages (en moyenne 5 à 6.000 heures de marche) ;

4° *Disponibilité élevée* (95 à 100 %) sous réserve qu'il s'agisse d'une fabrication éprouvée, de premier ordre ;

5° *Diminution importante du prix d'achat et du coût total d'installation*, celui-ci sujet à varier de 4.000 F à 10.000 F par kW, selon le système de cycle adopté et suivant le lieu d'installation ;

6° *Réduction de l'encombrement et allègement des fondations de la machine* pour les raisons précitées ;

7° *Commodité relative de changement de combustibles et de marche mixte* (Diesel-oil, gaz) ;

8° *Faculté de fonctionner sans eau de réfrigération et d'éliminer un traitement de l'eau* ;

9° *Consommation quasi nulle d'huile de graissage.*

A l'énumération de ces qualités intrinsèques, il faudrait ajouter celles communes aux machines à combustion interne :

10° *Suppression des chaudières encombrantes et réduction du nombre d'auxiliaires* ;

11° *Simplicité des manœuvres* ;

12° *Extrême célérité du démarrage et des prises de charge.*

Les inconvénients reconnus sont :

1° *Infériorité nette de rendement* : il n'excède pas 20 à 24 % en cycle ouvert, 30 % avec complexe de récupération ; bien qu'en théorie la haute température du gaz (plus de 700° C) doive favoriser le rendement thermique du cycle. Il semble que ce rendement reste assez stable à toutes charges. Il y a possibilité d'améliorer le bilan thermique par recours à diverses combinaisons, précédemment évoquées, permettant d'épuiser l'énergie en cascade. Mais c'est au prix de sérieuses complications.

De cette médiocrité du rendement découle *ipso facto* :

2° *Forte consommation spécifique d'hydrocarbures*, l'emploi du charbon demeurant exclu. A titre d'exemple : une turbine à gaz d'un rendement de 24 % — maximum

atteint en circuit simple — alimentée en fuel-oil à 10.000 kcal consommera 360 g par kWh, soit l'équivalent de 3.600 kcal par kWh.

3° *Exigences spéciales de composition du combustible liquide*: d'après l'étude citée en référence, seuls les produits légers (gasoil, Dieseloil) sont utilisables sans inconvénient jusqu'aux plus hautes températures (750° C) atteintes dans les premiers étages de la machine.

Mieux justifié économiquement, l'emploi de fuels lourds provoque des encrassements d'ailetage, et des corrosions éventuelles dues à la présence d'oxydes de vanadium et de sodium dans les cendres. Les produits résiduels du genre fuel Bunker ne peuvent être employés que moyennant certaines précautions (choix d'aciers spéciaux, limitation de température sous 650°, lavages ou désincrustations périodiques). L'incorporation d'additifs inhibiteurs ne paraît pas concluant, d'après l'étude de la F.I.P.A.C.E.

Utilisations.

La consommation élevée en combustibles chers réduit les possibilités d'emploi des turbines à gaz dans les pays dont l'économie énergétique reste centrée sur la production houillère, tels ceux de l'Europe occidentale. Il en est de même au Congo belge, en l'absence d'exploitation pétrolière, les applications devant se limiter à des faibles utilisations annuelles, (moins de 1000 à 2000 heures). La turbine à vapeur, avec ses excellentes caractéristiques thermiques actuelles, et le moteur Diesel surclassent la turbine à gaz par leur économie de fonctionnement pour la production d'énergie de base en raison de leur supériorité de rendement (35 à 38 %) et de leur surpuissance. A cet égard il y a un minimum de puissance des turbines à gaz compatible avec un rendement acceptable (groupes de 0,6 à 0,8 MW) et avec l'abaissement du prix de fabrication ; le maximum se situe entre 15 MW et 30 MW selon

le genre de circuit ouvert (simple, complexe) fixé par les dimensions limites du premier étage.

Une utilisation très indiquée de la turbine à gaz est la production d'électricité à partir du gaz naturel, principalement constitué de méthane, d'un haut pouvoir calorifique (env. 9.000 à 9.500 kcal/Nm³).

Il en existe une vaste réserve de provenance biochimique dans l'est du Congo, au sein des eaux du lac Kivu (voir p. 161). Pour ce genre d'application l'économie sur la consommation de carburant ne joue plus et le handicap d'une utilisation réduite disparaît. Du point de vue technique le fonctionnement de la turbine à gaz ne pose pas de problème en cas d'alimentation au combustible gazeux, la température maximum atteinte ne mettant pas en cause la résistance du métal des rotors et des ailettes. La combustion ne donne pas lieu à formation de dépôts sur les aubages, à corrosion ni autres incidents ou aléa. Les problèmes technologiques semblent résolus, entre celui de la mise au point d'aciers indemnes de fluage et aptes à résister aux régimes de températures élevées imposés par la considération de rendement.

L'on assiste à une diffusion croissante des turbines à gaz pour assurer la production de base des centrales électriques ou le refoulement de gaz et de produits pétroliers par pipe-lines dans les pays gratifiées de gisements d'hydrocarbures, gaz naturel ou pétrole.

Le cas se rencontre en Amérique du Nord et du Centre, au Moyen-Orient, en Italie du Nord et Sicile, où des stations de compression fonctionnent sans incidents et avec plus d'économie que celles équipées de Diesels. Les champs de gaz naturel constituent par excellence le domaine d'utilisation des turbines à gaz. Un exemple remarquable est la centrale de compression de 130 MW du lac Maracaïbo au nord du Vénézuéla.

Les grands centres sidérurgiques participent amplement à cet essor, les turbines étant alimentées en gaz pauvre de hauts fourneaux pour assurer l'autoproduction.

Dans les pays couvrant leurs besoins d'énergie en majorité par des ensembles hydrauliques, l'extension des emplois de la turbine à gaz se limite à la production de pointe : la considération d'économie s'efface en regard des avantages évoqués de rapidité de démarrage et de montée en puissance.

Ces conditions sont celles qui prévalent dans le Bas-Congo. La Société des Forces hydroélectriques a mis au point le projet d'installation d'une centrale de pointe et de réserve équipée d'une turbine à gaz de 10.000 kW. A l'origine ce projet prévoyait une puissance de 30.000 kW destinée à suppléer la production de base de la centrale hydroélectrique Zongo I, desservant Léopoldville et les centres voisins, jusqu'à l'érection d'une nouvelle centrale Zongo II en aval sur l'Inkisi.

L'appoint de cette usine auxiliaire devra permettre conjointement de soulager le service de la centrale principale, à l'occasion de travaux d'entretien sur les lignes, etc. Dans l'entre-temps un premier appoint d'énergie est procuré par les fournitures de la centrale Djoué de l'E. D. F. et par un renforcement de la retenue d'eau de Zongo I.

Pour ce genre d'application, la turbine à gaz convient spécialement parce qu'elle est d'installation facile et, ne devant assurer qu'au service de pointe, peut être amortie en un délai de quelques années. Malgré l'obligation de s'approvisionner en fuel oil importé, le facteur consommation de carburant ne joue guère, l'utilisation annuelle étant réduite par destination. Il semble préférable de s'en tenir au concept simple du cycle ouvert, en sacrifiant sur le rendement thermique.

Dans le secteur du transport fluvial en T. B. O. M., signalons les études entreprises par l'Office des Transports Coloniaux (OTRACO) en vue de l'équipement de ses lignes de navigation intérieures. Il a été renoncé, en dernier examen, à l'adoption de turbines à gaz, les conditions d'exploitation n'étant pas propices. Le maximum de

puissance admis pour les groupes de propulsion des bateaux ne dépasse pas 500 ch par hélice, chiffre inférieur à la limite d'utilisation économique.

Pour le transport ferroviaire, les conditions ne semblent pas meilleures, d'autant plus que les trajets des locomotives sont entrecoupés de nombreux arrêts faisant prévoir des excédents de consommation à vide ou à faible charge.

Le système Pescara.

Une solution plus indiquée serait d'utiliser des groupes turbine à gaz-générateurs à pistons libres, système Pescara, dont le principe a vu le jour il y a une quinzaine d'années. Leur mise au point est récente et a bénéficié de la collaboration avisée de l'E. D. F. qui a équipé plusieurs centrales de pointe avec des groupes de l'espèce. La plus puissante, celle de Cherbourg, entrée en service fin 1955, comprend un groupe de 6000 kW avec alternateur-compensateur synchrone de 10.000 kVAR de puissance réactive, utilisable pour la production d'énergie active durant les pointes d'hiver. Ce groupe électrogène comporte une turbine à gaz alimentée par 8 générateurs Pescara. Leur puissance massique a pu être accrue de 15 % par réglage de la longueur de la tubulure d'aspiration pour l'accorder à une fréquence de pression double de celle des générateurs à gaz et, par la suppression résultante, obtenir un gavage des cylindres compresseurs.

D'autres applications intéressantes sont déjà connues en marine sur des dragueurs de mines français, en traction ferroviaire et pour le pompage (station de Suresnes).

Ces générateurs étant standardisés, pour l'économie de fabrication, en unités de 1000 ch utiles par arbre, n'ont pu encore trouver d'application au Congo pour les unités de l'OTRACO.

Le système Pescara fonctionnant selon le cycle du Diesel 2 temps suralimenté, bénéficie à la fois de son

haut rendement thermique — jusque 36 % — et des avantages précédemment énumérés de la turbine à gaz. Il peut s'accommoder avec plus d'aisance qu'un Diesel des qualités inférieures de combustibles, comme les fuels lourds Bunker - C.

En comparaison de la turbine à gaz normale, le groupe Pescara prime par un gain d'environ 50 % sur la consommation de carburant avec un chiffre de 185 g/ch tangent à la moyenne des Diesels. Le rendement thermique global est d'ailleurs équivalent pour les 2 types de machines : à Reims et à Cherbourg il atteint environ 36 %. Ceci s'explique par les niveaux élevés de température (env. 1600° C) et de pression (120 kg/cm²) de combustion. Ces hautes caractéristiques thermiques permettraient de faire fonctionner le groupe Pescara comme machine de base ou à grande utilisation annuelle. Son démarrage et sa prise de charge sont extrêmement rapides (5 à 7 min). Le fonctionnement présente beaucoup de souplesse grâce au nombre élevé de générateurs à gaz.

Un autre avantage est d'ordre technologique : l'admission du mélange gaz brûlé — air de balayage refoulé des générateurs dans la turbine a lieu vers 450° C ; cette température se compare avantageusement à celle de travail des ailettes des turbines à vapeur modernes. Il n'y a donc plus de problème métallurgique.

C'est du côté de l'exploitation qu'il faudrait appréhender des difficultés en cas de variation de charge de la turbine à gaz dont l'alimentation par le générateur ne semble pas facile à régler. Cependant, à Cherbourg, la régulation a pu être mise au point sans phénomène de pompage et s'effectue avec aisance.

Un autre grief qui ne semble pas dénué de consistance, réside dans l'encombrement du groupe Pescara, comparé à celui du Diesel. La juxtaposition des multiples générateurs à gaz, raccordés à la turbine par un volumineux collecteur de profil télescopique, exige une grande super-

ficie de bâtiment soit 25 m × 13 m pour le groupe de 6000 kW de Cherbourg.

Avec un groupe Diesel de même puissance l'encombrement a lieu dans le sens vertical : la construction qui l'abrite doit être étagée en raison de la hauteur assez imposante de la machine et du dégagement requis pour la manutention par pont-roulant monté en surplomb. Il faut tenir compte, en sus, du coût élevé de la fondation du moteur, sensiblement égal à celui du bâtiment.

En revanche, le groupe Pescara s'accommode d'un allègement de la fondation grâce à l'équilibrage des masses en mouvement : les deux pistons libres se déplacent en sens inverse dans le cylindre moteur et à égale distance du centre du générateur ; de sorte qu'il y a compensation des effets d'inertie.

Si l'on met ces différents points en balance, il y a lieu d'admettre que les dépenses de premier établissement s'équivalent pour les 2 types de moteur thermique.

Dans la marine, nous trouvons des références d'application dès 1955 sur des caboteurs français dont les appareils propulsifs sont constitués de groupes Pescara. Malgré l'obligation d'atteler sur un réducteur commun deux turbines à gaz de puissance trop grande, par suite du faible tonnage des navires, les résultats se sont traduits par un gain de couple et de port en lourd par comparaison avec un troisième bâtiment équipé en Diesel. L'encombrement n'a pas constitué un obstacle dirimant.

La REGIDESO tient en réserve des projets de remplacement de groupes traditionnels Diesels par des groupes Pescara dans ses principales centrales thermiques du Bas-Congo, à Matadi et à Boma. L'installation de ces nouveaux groupes permettrait de libérer des Diesels pour transfert à d'autres exploitations du Congo et de réaliser une économie intéressante dans l'approvisionnement d'huile combustible, par substitution du fuel-oil Bunker-C au Diesel-oil.

Au point de vue dépense d'acquisition, le groupe Pescara est devenu compétitif et peut entrer aujourd'hui en lice dans une étude comparative pour des installations stationnaires jusqu'à 10.000 ch de puissance.

Les centrales mobiles.

Cet aperçu serait incomplet sans une référence aux centrales électriques mobiles équipées de turbines à gaz. Une application a été réalisée par la marine des États-Unis pour un service de secours sur rail dans un entrepôt militaire. L'absence d'alimentation en eau figurant au nombre des conditions de marche prescrites a entraîné l'emploi de la turbine à gaz. L'installation se compose d'une turbine motrice de 5500 kW du type usuel à circuit ouvert, avec turbine auxiliaire entraînant le compresseur, l'ensemble monté sur châssis à boggies.

Il n'est pas exclu d'envisager des applications de ce genre pour le Congo.

La REGIDESO est entrée dans une voie similaire par l'acquisition de 6 groupes Diesels mobiles à 4 temps de 100 ch à 1000 tr/min montés sur remorque routière. Destinés dans l'immédiat au dépannage urgent de la centrale de Matadi, ils jouent le rôle d'unités d'appoint pour une centrale stationnaire dont la capacité devient insuffisante ou est affectée par quelque défaillance imprévue. En alternative, l'usage de ces groupes électrogènes standards peut constituer une solution d'attente pour assurer sans délai le démarrage de l'exploitation dans un centre de l'intérieur dont les besoins n'ont pu être supportés avec une approximation suffisante.

Le refroidissement par air de ces engins leur assure l'indépendance d'alimentation en eau comme du degré d'ambiance ; outre les avantages connus de simplicité du service et de l'entretien, réduit par une résistance éprouvée à l'usure. Ces groupes sont pourvus d'une armoire de distribution et d'un habillage en tôles à pan-

neaux relevables sur le côté ; leur montage rigide sur châssis est des plus simple. L'ensemble de la conception répond aux impératifs usuels de robustesse et de simplification.

5. LA FORCE MOTRICE AU GAZ PAUVRE.

Revenant aux moteurs à combustion interne, nous devons réserver dans cette étude quelques développements à l'utilisation du gaz pauvre produit par des gazogènes, fixes (ou mobiles), à partir de charbon végétal ou de bois comme variante de source d'énergie mécanique. Ces moteurs s'y prêtent le mieux en raison de leur rapport volumétrique élevé, garantie de bon rendement thermique. D'autre part, comme moyen de chauffage le gaz pauvre peut procurer la calorie à bon compte ; et c'est une source d'énergie thermique dont l'industrie use largement. Sur le plan de l'économie collective, le facteur principal d'intérêt du combustible gazeux réside dans la libération d'un tonnage équivalent de produits pétroliers à importer.

Conditions d'approvisionnement du combustible brut.

Pour la production de ce carburant élémentaire, le combustible mis en œuvre peut être le bois ou le charbon de bois préparé à partir de bois sains mais impropres à la construction ou à l'ébénisterie : sciures de bois, déchets de rabotage et de déroulage des grumes, tournures, chutes, écorces...

Sous réserve d'une saine politique de conservation sauvegardant les réserves ligneuses du territoire, le bois à l'état naturel et le bois conditionné sous forme de charbon végétal représentent des sources énergétiques de pérennité garantie.

Conditionnement et fabrication.

Nonobstant l'immensité de la richesse potentielle constituée par la forêt de la cuvette centrale, la nécessité d'une exploitation économique ne saurait être sous-estimée ; elle impose de toujours circonscrire l'aire de récolte ou de coupe aux parages des centres de consommation du bois : chantier de carbonisation, usine de force à poste fixe, chaudières à vapeur des locomotives et bateaux. C'est là une condition impérative de sauvegarde du domaine forestier et aussi de régularité dans les approvisionnements destinés à des groupes de force motrice d'une certaine puissance.

L'installation de meules ou de fours à carboniser permettra de valoriser avec profit le bois brut par conversion en un produit énergétique plus évolué : en particulier comme annexe d'une scierie pour transformer les copieux déchets de débitage sous forme d'un combustible léger, d'une capacité énergétique supérieure (par unité de poids) ; le poids à transporter en est réduit vers le $1/4$ ou le $1/3$ du bois tout-venant. Moyennant « simple ensachage » le charbon de bois peut être expédié aisément à destination de consommateurs privés ou industriels industriels des centres agglomérés : petites centrales à gazogènes, forges, briqueteries, tuileries et autres applications techniques de chauffe, foyers domestiques, métallurgie (réduction)...

Sous l'angle d'une économie strictement locale, cette bonification du bois primaire peut revêtir un intérêt comme source de revenu pour des producteurs indigènes : mais c'est à condition de ne pas distraire une main-d'œuvre généralement rare ni de rencontrer quelque obstacle de marché.

A ce jour, la production totale de charbon de bois du Congo ne doit guère dépasser 8.000 tonnes par an.

Considérons à présent les opérations préliminaires au traitement du bois brut :

Des soins de préparation minutieux doivent présider à la mise en œuvre du combustible forestier.

Tout un cycle de conditionnement s'impose. De prime abord, il semble que pour tirer parti des ressources ligneuses disponibles à profusion au Congo, il soit infiniment préférable de brûler le combustible tout-venant dans les foyers des groupes à vapeur traditionnels qui ont fait leurs preuves. Si le gazogène a pu garder des applications comme générateur de carburant fluide malgré une déperdition d'un tiers des calories du combustible végétal pour la gazéification, c'est grâce à l'énorme supériorité de rendement du moteur à gaz (dans un rapport de 4 à 5 vis-à-vis de la machine à vapeur).

Le conditionnement du bois n'est pas seul à envisager, mais celui du charbon produit et sa qualité, exercent une influence capitale dans le fonctionnement du moteur au gaz pauvre.

Si la qualité du charbon de bois est susceptible de varier en fonction surtout du degré de cuisson et de siccité, les ressources offertes localement par la gamme des essences forestières et même leurs conditions de croissance exercent une influence sensible. Et cette constatation suffit à motiver bien des disparités d'appréciation des résultats.

La nature des essences a parfois été tenue pour indifférente parce que considérée à l'échelon local d'une formation forestière peu différenciée. En Afrique noire règne la plus grande diversité. Bien des essences ne conviennent pas à la combustion ; et il arrive que les indigènes, non conscients de ces exigences, mélangent des bois de différentes sortes donnant un produit hétérogène et déficient.

Les mêmes motifs incitent à reviser une opinion aussi peu fondée, à savoir que le pouvoir calorifique est immuable et la composition chimique peu sujette à variation dans ses effets.

L'appréciation des combustibles pour gazogènes a d'ailleurs fait l'objet de multiples recherches ; entre autres travaux récents, citons ceux de ROUYER en France. A chaque essence tropicale correspond un produit de caractéristiques nettement différenciées : densité, consistance, pouvoir calorifique, réactivité, richesse en goudrons et en pyroligneux, formation de mâchefers, pourcentage et fusibilité des cendres. Les peuplements de la cuvette congolaise, comme ceux d'Afrique centrale, sont constitués uniformément d'essences feuillues ; mais toutes sont loin de convenir au même titre pour la carbonisation ; la qualité doit s'en ressentir, mais surtout le rendement quantitatif. En général, les essences d'Afrique tropicale se caractérisent par un très fort pourcentage d'humidité : de 35-40 % dans les feuillus à bois dur à 50-55 % dans ceux à bois tendre, voire 60 % dans certains bois verts. La teneur de ces bois en goudrons solubles est considérable et représentative d'un risque de colmatage des filtres en cas d'insuffisance de cuisson.

Malgré leur infime proportion (± 1 à 2 % en poids du combustible) les cendres peuvent être responsables de sérieuses perturbations dans le fonctionnement des gazogènes. Moins le combustible sera cendreux et meilleur sera son comportement. D'où l'utilité d'un écorçage préparatoire. Il est connu que dans les générateurs marchant à des allures poussées peuvent s'observer des agglutinations cendreuses avec formation de cheminées : ce sont autant de passages privilégiés ou court-circuits dans la masse, siège d'une carbonisation incomplète, au dépens de la réduction endothermique de CO^2 .

Comme exemple de l'effet de la composition du bois équatorial sur le comportement des gazogènes, nous mentionnerons le cas de la Société des Mines de Kilo-Moto astreinte à rechercher des revêtements réfractaires capables de résister aux réactions, violentes à l'extrême, du charbon produit sur place [58].

Plusieurs essences congolaises, spécialement celles de régions calcareuses, engendrent un volumineux mâchefer dégradant aussi les garnitures de foyer et entravant le tirage des fumées.

Un autre cas de détérioration des garnitures réfractaires a été signalé avec accompagnement de destruction des organes en fonte de moteurs sur des camions à gazogènes ; il fut attribué à la présence de composés alcalins (Na, K) dans le charbon de bois. Un lessivage sur place du combustible traité sous un courant d'eau permettait d'extraire les sels nocifs, mais au prix d'un supplément de manipulation et de coût [60]. Les charbons de bois congolais présentent des réactions très différentes de celles observées en Belgique par exemple, et généralement acides.

La conduite de la carbonisation elle-même s'avère une opération assez délicate.

En définitive, la valeur utilitaire du combustible ligneux dépend des méthodes et des soins dans la préparation, le façonnage, la carbonisation. Le fonctionnement correct du générateur de gaz sera subordonné au bon conditionnement, au degré de siccité et aux aptitudes à gazéifier du charbon végétal.

Le disparate dans la qualité du combustible forestier disponible pour l'alimentation des gazogènes n'est pas le moindre de ses inconvénients technologiques : la force motrice au gaz pauvre, solution hybride, a ses exigences et nombreuses [55] :

1° Inflammabilité du bois ou du charbon végétal, conditionnant l'aisance des mises en marche et des reprises, soit vers $\pm 300^{\circ}$ à 400° C ;

2° Réactivité ou pouvoir de réduction du CO_2 en CO au sein du gazogène, accrue par la cuisson comme le point d'inflammabilité ;

3° Combustibilité (en CO_2) dont dépendra cette action réductrice, soit 35 à 50 kg /hM² de grille ;

- 4° Porosité influençant les propriétés précédentes ;
- 5° Teneur en cendres dont les effets sont si funestes ;
- 6° Consommation spécifique, très variable : de 450 à 700 g chh, selon la qualité des bois indigènes.

En atmosphère tropicale, le charbon de bois est prompt à s'humidifier, ce qui amplifie les difficultés de carburation dues principalement à sa friabilité.

Non moins préjudiciables à la régularité de marche sont les vices de conception ou les défauts dans la construction des gazogènes.

Conditions de fonctionnement.

Malgré les efforts de certains constructeurs dans le sens d'une simplification et d'un allègement des gazogènes à destination du Congo, ou peut être à cause de ces tentatives, les résultats pratiques sont loin d'être toujours encourageants.

Pour la production de force motrice fixe au gaz pauvre plusieurs problèmes d'ordre constructif et fonctionnel attendent encore une mise au point : théoriquement, le moteur Diesel-gaz représenterait une solution optimum, car il dispense d'une appropriation coûteuse de la machine en prévision de la marche au gaz avec allumage électrique. En pratique, le réglage demeure intrinsèquement délicat, parce qu'à la merci d'éventuelles irrégularités de composition et de teneurs en eau, suivant le choix des essences.

Des essais ont été entrepris pour des exploitations de la REGIDESO. Cette expérimentation confirmant celles de très importants organismes de transport, l'OTRACO et VICICONGO, ainsi que de plusieurs sociétés congolaises, ne s'est pas révélée heureuse. Nous avons adopté le système mixte d'alimentation gaz-gasoil : dans ce procédé l'inflammation du mélange air-gaz pauvre, aspiré par le

moteur qui fonctionne en cycle Diesel, est amorcée au démarrage puis entretenue au moyen d'une injection directe de gasoil dit «pilote» dans la chambre de combustion. Le rôle de ce carburant liquide d'appoint est de corriger la lenteur spécifique d'inflammation du gaz pauvre et d'enrichir le mélange.

Mais en exploitation, les dispositifs appliqués n'ont pas permis d'assurer un service régulier. Outre des encrassements des cylindres, surgissent des difficultés de réglage de l'alimentation du moteur en mixte pour réaliser une carburation homogène; le passage à la marche au gaz pauvre donne lieu à des troubles consécutifs aux variations incontrôlables de composition du gaz, trop pauvre par moments.

A ces sujétions, il faut ajouter la complexité, le poids et l'encombrement d'une installation gazogène avec ses inévitables auxiliaires: four carbonisateur, appareil générateur de gaz, dispositif de surchauffeur et de dépoussiérage, séparateur d'eau...; tout cet enchevêtrement d'appareils signifie *ipso facto* des servitudes de conduite et d'entretien, dégrèvement des épurateurs, etc., une bonne épuration constituant une exigence essentielle.

Comme générateur fixe de puissance pour centrales, le gazogène doit être, si l'on peut dire, « surdimensionné », calculé avec un très large recouvrement, pour être à même de débiter sa puissance nominale de manière continue: la célérité et la souplesse de production représentent des conditions *sine qua non* en exploitation de service public; la régularité de marche doit se maintenir endéans des limites assez stables, nonobstant les fortes variations de charge inhérentes à l'alimentation d'un réseau; *a fortiori* pour une petite ou moyenne exploitation en pays neuf présentant, par essence, un médiocre coefficient de diversité.

Considérons à présent la gazéification directe au bois.

Si, au lieu de mettre en œuvre du charbon de bois, il est fait usage de bois brut de débris de bois ou autres déchets végétaux, la gazéification directe du combustible ligneux bénéficie du triple avantage d'une préparation ordinairement simple, d'un coût nettement inférieur et d'une utilisation intégrale des calories contenues dans le bois : théoriquement il serait permis d'obtenir du gaz au bois, selon SERRUYS, un équivalent énergétique, de 1,09 ch/h par kilo de bois au lieu de 0,54 ch/h par kg de charbon de bois, la carbonisation donnant lieu à un déchet de 50 % des calories latentes (avec une machine à vapeur ces chiffres tombent à 0,20 ch/h par kg de bois) [27]. Il faut, sous ce rapport, tabler sur des p.c.i. de ± 1400 kilocalories par m³ de gaz au bois et ± 1050 à 1100 pour le gaz au charbon de bois (à 7.000 — 8.000 kcal/kg) sur la base d'une production de 5,4 m³ de gaz pauvre par kg de charbon de bois traité au gazogène. L'adjonction d'un vaporisateur d'eau fait remonter ce pouvoir calorifique à ± 1.450 kcal/kg. Bien entendu, il s'agit toujours du pouvoir calorifique inférieur : c'est le seul à considérer pour l'usage dans les moteurs à combustion interne, puisque les gaz brûlés s'en échappent à une température excluant toute condensation d'eau.

En pratique, il résulte d'études faites avant guerre pour nos exploitations congolaises, qu'en tenant compte d'un rapport de 1 à 5 pour les poids respectifs de charbon de bois et de bois mis en œuvre, la calorie bois revenait au 1/3 et le prix de revient du ch/h à 30 % des valeurs correspondantes pour la charbon de bois, avec une consommation cependant double de ce dernier. Les rendements sont les meilleurs avec le bois séché (vers 100° C) et davantage le bois torréfié (vers 280° C), mais à condition d'y adapter le gazogène.

D'autres calculs donnent comme équivalences pour la production d'énergie : 10 kg de bois = 4,6 kg de charbon

de bois = 3,12 kg de Diesel-oil = 2,8 kg d'essence. Il y a pratiquement égalité approximative de potentiel énergétique entre 1 kg de charbon de bois et 1 litre de gasoil ou d'essence.

A l'actif du bois carburant jouent encore sa pureté de composition et sa porosité de texture, propices à une gazéification régulière ; sa manipulation facile et propre ; sa haute résistance mécanique, comparée à la friabilité du charbon de bois. Mais pour de petites puissances, c'est-à-dire pour des consommations peu importantes, le générateur au bois appelé parfois « *gazogène à carbonisation* » devient d'une construction et d'un fonctionnement délicats, vu les dimensions réduites ; le générateur ordinaire au charbon de bois ou autre combustible carbonisé que l'on distingue sous le nom de « *gazogène à calcination* » est plus robuste et d'un coût de construction moins élevé.

Le conditionnement du bois nécessite l'intervention d'un matériel mécanique de sciage et de débitage coûteux, non disponible partout. Le charbon de bois, il est vrai, n'échappe pas à la nécessité d'une préparation onéreuse et son prix de revient peut être estimé à 1,5 fois le prix du bois brut.

Autres causes de gêne, du moins en traction routière : le générateur doit être capable d'assimiler indifféremment tous les bois à l'état cru qu'on lui présente et dont la teneur en eau est éminemment variable ; la charge de combustible est à renouveler fréquemment pour un véhicule à rayon d'action toujours limité. Dans une installation fixe, ces désavantages peuvent être surmontés aisément ou présenter moins de gravité.

Les premières installations de gazogènes au Congo — vers 1925 — n'ont pas utilisé le bois tout-venant mais le charbon de bois, pour raison d'insuffisance dans la mise au point du procédé gaz au bois. S'il est de science obvie que le gazogène au bois, assez prisé en Allemagne et dans

les pays nordiques, a été, ces dernières années, porté à un grand degré de perfectionnement, ce moyen de gazéification n'en demeure pas moins affecté par des inconvénients sérieux :

Comme combustible, le bois non carbonisé est fort encombrant et plus hygroscopique que le charbon de bois. De par son origine végétale, le bois présente les inconvénients des combustibles pauvres :

- 1^o Un bas pouvoir calorifique ;
- 2^o Une faible densité ;
- 3^o Une forte teneur en eau.

L'influence dégradante de l'humidité ressort de la comparaison des p.c.i. Pour le bois à 100 % sec : 4150 kcal / kg ; bois à 22 % d'eau ; 3200 kcal / kg ; bois vert, fraîchement coupé à 50 % d'eau : 1800 kcal / kg. L'action des cendres est imprévisible, parce que très sujette à varier au Congo, non seulement d'après l'espèce de bois approvisionné, mais selon le lieu de sa croissance, la composition du stère débité (branchages, aubier, écorces, etc.). La densité aussi variera notablement suivant les dimensions des bois empilés (rondins, etc.) et le degré de dureté des essences mises en œuvre ; soit de 250 à 450 kg par stère ; en conséquence, la vitesse de carbonisation est sujette à se modifier.

Faisons observer incidemment que la sciure de bois serait impropre par sa compacité, dont résulte un pourcentage d'humidité excessif et une carbonisation difficile ; ni davantage les copeaux, pour un motif inverse : tendance à combustion accélérée.

Au point de vue constructif, l'utilisation du gaz au bois dont la composition n'est pas simple, nécessite, pour avoir l'assurance d'une épuration suffisante mais nécessaire, une filtration très poussée.

Enfin, la rapidité des départs est moindre qu'avec ce combustible déjà dans un état de *cracking* préalable, la

durée d'une remise en marche atteignant une dizaine de minutes au bois (2 minutes au charbon de bois). La réactivité du charbon de bois — c'est un fait connu — est d'ailleurs élevée en raison de sa structure impliquant une grande surface d'échange. Or si le combustible est moins réactif il y a tendance à l'appauvrissement du gaz en CO lorsque l'allure se ralentit.

Tout bien considéré, la complication de l'agencement et les aléas d'une mise au point souvent laborieuse font écarter l'utilisation du gazogène au bois en exploitation congolaise.

De toute manière il faut compter dans le fonctionnement au gaz sur une perte de puissance variant de 20 % pour un Diesel normal, à 10 % pour un Diesel-gaz avec injection de gasoil, spécialement approprié (sous le rapport injection et turbulence dans la chambre de combustion). Pour un moteur à explosion la perte atteint 40 %, réductible à 25 % par renforcement du taux de compression.

En toute hypothèse, le rendement économique du Diesel, moteur coûteux par construction, se trouve diminué. Son comportement mécanique laisse aussi à désirer dans la marche en mixte. Et sous le rapport de la sécurité le recours au gazogène est un handicap non moins dirimant.

Enfin, pour permettre l'entretien des gazogènes sans interrompre la continuité du service, il faut affecter à chaque Diesel un groupe de deux générateurs capables de débiter individuellement, et, au besoin, en parallèle. Normalement l'un reste en service et peut être rechargé durant l'arrêt de l'autre pour nettoyage ou révision.

Sur ces aperçus liminaires se greffe la considération des résultats enregistrés dans des exploitations congolaises étrangères à notre domaine d'activité. Toutefois la relation de cette enquête nous entraînerait à des développements que ne justifie pas une technique dépassée.

Les transports lourds sur routes continuent de s'effectuer pour la presque totalité par véhicules automoteurs fonctionnant à essence ou au gasoil. La plupart des entreprises congolaises ont renoncé à l'emploi du gazogène pour la motorisation mobile ou fixe.

Il convient d'analyser les raisons du discrédit relatif du gazogène de puissance au Congo belge, tandis qu'ailleurs nous le voyons garder une position assez confortable. Les conditions qui prévalent en territoires belges d'outre-mer ne sont guère propices, effectivement, à la diffusion de ce moyen énergétique.

Critique des résultats.

Si les aspects techniques du problème font ressortir des divergences de résultats d'enquêtes — pour la plupart désavantageux — ce n'est cependant pas de ce côté qu'il faut rechercher les principales entraves au développement de groupes gazogène-moteur. Les échecs essayés procédaient d'insuffisances dans la mise au point, de défauts divers de construction ou d'usage d'un mauvais combustible : à toutes ces causes, il y a possibilité de trouver le remède ; c'est question de temps et de moyens pécuniaires. Nous n'en voulons pour preuve que la remarquable réussite de la Société des Mines d'Or de Kilo-Moto vers 1925-1930, au terme de recherches menées avec une persévérance tenace durant plusieurs années consécutives.

C'est dans des contingences d'ordre économique que gît l'écueil et il apparaît insurmontable présentement.

La cherté croissante du charbon de bois se révèle comme la cause première de sa défaveur. Il y a un quart de siècle, les prix des produits pétroliers au Congo se situaient à des taux excessifs : le litre d'essence coûtait de 10 à 12 F dans le nord-est et le kilo de charbon de bois de 30 à 40 centimes. Dans l'entre-temps le coût des carbures de pétrole n'a pas suivi la forte progression des prix

de gros ni de détail au Congo ; d'autre part, l'organisation des services de distribution des carburants n'a cessé de progresser. En conséquence, l'ordre des rapports d'échange s'est totalement interverti. Essence et gasoil sont devenus d'un prix intéressant, bois et charbon végétal d'un coût inabordable. Économiquement le gazogène a perdu tout intérêt.

Les difficultés de recrutement de la main-d'œuvre pesant de tout leur poids sur les possibilités d'approvisionnement de combustible ne sont pas étrangères à cette évolution.

Pour la carbonisation du bois, il a été reconnu que l'acquisition d'une routine convenable par les autochtones est œuvre de longue haleine et immobilise également du personnel à l'excès. Assurément, il ne serait pas sans utilité de se réserver des moyens de production énergétique aptes à suppléer les combustibles liquides en prévision d'événements que personne ne souhaite. Aussi pourrait-il être opportun de monter un petit chantier expérimental de carbonisation dans un double but :

1° S'assurer des possibilités d'une fabrication satisfaisante à partir des essences locales ;

2° Former une équipe de moniteurs rompus à la pratique de ces opérations et dûment stylés pour l'apprentissage d'autres artisans.

Les exigences du reboisement accaparent aussi un grand nombre de travailleurs. Cette accumulation de causes engendre la montée ininterrompue des prix du combustible forestier.

Sous l'angle économique et d'une manière générale, le rendement thermique final de la double conversion bois-charbon-gaz pauvre reste médiocre : en combustible, la consommation de bois carburant est quadruple de celle du gasoil.

D'autres considérations interviennent : La formation forestière où s'approvisionne l'usine de force doit présenter une population suffisante en sujets de taille faible ou moyenne (soit des diamètres de troncs entre 5 et 20 cm), sous peine d'atteindre vite l'épuisement de la zone accessible du gîte forestier : au delà d'un rayon d'acheminement de 15 à 30 km le renchérissement du bois devient prohibitif.

Si le bois est partout en recul très net, les huiles de pétrole en revanche ne cessent d'étendre leur champ d'application. Et pour de petites puissances, inférieures à 100 ch, s'observe une propension à l'emploi, sur les chantiers miniers, de petits groupes mobiles à moteur Diesel, d'une construction simple avec refroidissement par air.

Dans une exploitation stationnaire, l'alimentation du Diesel en gaz pauvre ou en mixte est affectée par des difficultés d'allumage, des sauts intempestifs d'allure, une marche chaotique, irrégulière. Et pour peu que l'entretien du gazogène de puissance s'avère difficile, le service sera négligé (ce le serait davantage en traction). Le moteur, à son tour, sera le siège d'une usure prématurée et incriminé erronément.

Il s'impose de procéder à une complète éducation des mécaniciens à poste fixe (ou des chauffeurs indigènes de camions) sous peine d'échec certain.

Les gazogènes pour centrales devraient être améliorés sérieusement, les progrès portant sur la purification des gaz et sur la réduction de l'entretien. D'autre part, la construction des moteurs serait aussi à modifier. Sous ce rapport une étroite collaboration entre le constructeur de Diesels et celui du gazogène accouplé se révèle d'une flagrante nécessité.

Pour ces divers motifs, la combinaison gazogène — moteur à combustion interne ne semble toujours pas assez évoluée ni en mesure de soutenir la concurrence des Diesels alimentés directement au gasoil ; moins encore celle des

machines à vapeur dont la résistance est sans pareille et qui tournent avec une régularité d'horloge. Ne serait-ce pas aller précisément à l'encontre de l'immuable objectif de simplicité et de robustesse, règle d'or des exploitations en pays sous-développés ?

L'utilisation du carburant gazeux a connu un regain de faveur au Congo belge, comme en maintes régions d'Afrique et d'Europe, au cours de la période précaire des hostilités. Des transporteurs dont les véhicules étaient exclusivement équipés de moteurs à explosion y ont eu recours comme succédané de l'essence. De même, et dans une large mesure, certaines exploitations minières pour pallier le manque de carburants. Mais dans leur ensemble, au Congo, ces initiatives sont demeurées sans suite après la reprise des relations commerciales avec les pays importateurs.

Il nous reste à signaler l'utilisation du gazogène comme générateur non plus de carburant mais de calorique pour la chauffe de groupes thermiques à vapeur, afin d'éviter les inconvénients du chauffage au bois. Cette solution qui introduit dans le cycle un intermédiaire complexe, n'a pas — à notre connaissance — reçu d'application au Congo.

Les centrales forestières à Diesels-gaz.

Il est bien établi que le problème de fond reste celui d'une carbonisation convenable du bois, technique en retard sur celle du gazogène. En dépit de sa simplicité apparente il se complique par l'intervention de différents facteurs : volume de production, main-d'œuvre, structure et densité forestières.

Aux méthodes artisanales de carbonisation en forêt par meules mobiles en tôle, s'opposent la méthode semi-industrielle (à raison de 10-20 t/j) ou, selon l'échelle de capacité productive, la carbonisation industrielle en usine fixe à récupération de sous-produits. Cette solution, étudiée à différentes reprises, n'a pas connu de réalisation jusqu'à

ce jour en raison des aléas pesant sur la rentabilité des capitaux considérables à investir sans certitude de débouché suffisant.

Nous mentionnerons dans ce domaine d'utilisation des combustibles ligneux, une alternative d'emploi du Diesel-gaz, mais à titre documentaire, car elle n'a pu encore être appliquée au Congo belge : Il s'agit de l'exploitation d'une centrale électrique diesel associée à une usine fixe de distillation sèche du bois. C'est un système énergétique en cycle fermé : le Diesel étant alimenté en gaz pauvre, produit à partir de charbon de bois dans un gazogène ordinaire, envoie ses gaz chauds d'échappement dans un appareil de distillation sèche : les calories ainsi récupérées par une carbonisation à haut rendement permettent d'obtenir, en sus du charbon de bois, différents sous-produits de distillation pyroligneux (acide acétique, alcool méthylique, goudron...).

D'autre part, le traitement du distillat pyroligneux exige la production de vapeur (à raison d'env. 2 kg /par kg de produit de distillation) au moyen d'une chaudière brûlant aussi du bois avec appoint éventuel de gaz combustibles provenant des fours et du gazogène.

Seuls conviendraient des fours modernes de carbonisation continue et à contrecourant, soigneusement calorifugés. Ces fours opèrent par combustion sélective et sont aptes à fournir le charbon de qualité régulière, indispensable au bon fonctionnement des moteurs. De toute évidence le rendement de gazéification, garanti à 90 %, doit être de loin supérieur à celui de la carbonisation en chantiers par de petits fours à combustion partielle dont le rendement thermique ne dépasse pas 40 %.

Une première approche économique du problème implique l'étude comparative de 3 types d'installations :

1° Entreprise de carbonisation forestière autonome ;

2° Entreprise de distillation de bois autonome ;

3^o Entreprise de distillation de bois annexée à une centrale électrique Diesel-gaz.

Les progrès acquis depuis la dernière guerre dans les méthodes d'épuration chimique, concentration et rectification des distillats pyroligneux, autorisent à présent la fourniture de sous-produits dont la pureté et le prix de vente seraient en mesure de soutenir la concurrence des composés de synthèse. La récupération peut en être très étendue.

Par ailleurs, les difficultés du début, imputables à une insuffisance de carbonisation du bois sous température trop basse des gaz d'échappement, ont été neutralisées grâce au relèvement du taux de compression des moteurs fonctionnant sur le cycle diesel avec injection de gasoil-pilote. En conséquence, la corrosion des organes sous l'effet des acides engendrés par le « charbon roux » n'est plus à craindre.

Les progrès de la purification, garantissant un dégoudronnage intensif, ont permis d'améliorer de beaucoup la qualité du combustible par rapport à celui obtenu dans la carbonisation en forêt. Une forme plus pratique a été donnée au carburant solide à l'état d'agglomérés dont l'emploi conjugue des avantages d'homogénéité, de densité et consistance accrues, d'encombrement et d'hygroscopicité moindres. Grâce à cette adaptation du carburant forestier sous forme de comprimés uniformes et homogènes, les moteurs sont assurés d'une marche plus régulière.

D'autre part, le rendement de la distillation elle-même a été rendu acceptable. Le conditionnement chimique des produits pyroligneux a bénéficié aussi de sérieuses améliorations, et a été mis à la portée d'un personnel dont la spécialisation ne soit pas trop poussée.

Tous ces perfectionnements profitent à l'économie générale du cycle, attendu que le rendement global

couvre le travail en cascade des différentes transformations.

Néanmoins, les griefs précédemment articulés contre l'utilisation du bois indigène comme source d'énergie, gardent toute leur consistance dans le cas d'une centrale fonctionnant au gaz des forêts.

Le problème de l'approvisionnement reste entier, car pour alimenter la capacité nominale d'une installation de l'importance modique considérée, il ne faut pas moins de 14 à 15.000 tonnes de bois annuellement. Chaque kilo de charbon exige 4 ou 5 fois autant de bois vert. D'importantes dépenses de reboisement s'imposent donc si l'on veut éviter le pillage des formations forestières et ses conséquences néfastes.

Un projet mis à l'étude pour desservir un centre secondaire de la région équatoriale N. E. du Congo a dû être abandonné en raison de la nécessité d'approvisionner le bois dans un rayon d'une quinzaine de km. Or, le prix de coupe reste assujéti aux moyens de communication (établissement de chemins forestiers, etc.) et aux disponibilités de main-d'œuvre pour l'abattage, le tronçonnage...

Au surplus, la carbonisation du bois dans des fours à récupération et la gazéification du combustible à l'échelon industriel exigeraient un complexe étendu d'installations mécaniques et chimiques.

C'est dire qu'il s'agit d'une véritable usine connexe de la centrale électrique et dont le service présuppose l'intervention d'un personnel relativement nombreux, de qualification suffisante, malgré de nouvelles améliorations visant à une semi-automatisme. L'exploitation en devient étrangère à la mission normalement dévolue à un organisme de distribution publique d'électricité ; elle devrait être confiée à une entreprise distincte, d'autant plus qu'elle soulève des problèmes de marché pour les produits de la distillation. Ceux-ci, il est vrai, pourraient être

considérés comme assurant une base économique plus stable en s'intégrant à la production d'énergie, au bénéfice, théoriquement, de la rentabilité d'exploitation. Ce n'est toutefois qu'une vue de l'esprit. En pratique, aucun débouché actuel n'existe au Congo belge pour les sous-produits de la carbonisation, à l'exception du goudron de bois, assuré de trouver des possibilités d'utilisation multiples. Reste à voir si cet appoint serait assez payant pour couvrir les charges d'une exploitation importante. La fabrication de carburant forestier par les moyens envisagés représente, en effet, une formule grevée d'une organisation industrielle apparemment complexe et des investissements d'une certaine ampleur. Il y faut ajouter les dépenses d'un reboisement conduit selon les règles classiques de l'économie forestière pour reconstituer le milieu d'origine.

Les capitaux à engager dans une centrale forestière dépassent de plus du double ceux correspondant à une centrale Diesel-oil et même pour une centrale à vapeur. En conséquence, le prix de revient du kWh, toutes charges annuelles incluses, paraît se situer à mi-niveau entre les prix afférents à une centrale Diesel-oil (max.) et à une centrale vapeur simplifiée (min.) Toutefois, il serait permis d'escompter, en fin d'amortissement, une valeur de remploi plus élevée de l'équipement pour la centrale forestière.

Pour conclure : il s'agit, en l'espèce, d'un système énergétique à l'échelle industrielle, imposant des contraintes à plusieurs degrés dans les moyens d'approvisionnement de combustible, comme dans les immobilisations.

L'abaissement du prix de revient est assujéti à une production de masse, mais les difficultés d'évacuation et de vente des sous-produits rendent problématique l'exploitabilité des importantes mises de fond à entrevoir.

Peut-être la solution serait-elle réductible à un con-

cept plus modeste d'installation, également fixe avec fours continus du type mixte à double chauffe inter-externe, et s'accommodant d'une conduite par du personnel dépourvu de toute qualification technique.

6. LA TOURBE.

Localisation des gisements.

Dans l'est du Congo, M. G. BORGNEZ, Ingénieur Géologue, a reconnu l'existence de gisements de tourbe nombreux et d'une grande extension dans les régions hautes du Kivu et celles contigües du Ruanda-Urundi. Ces tourbières d'une puissance de ± 10 mètres, se trouvent en relation avec les plaines d'alluvionnement très larges de certains cours d'eau, perchées à des altitudes d'environ 1500 mètres. Entre Bukavu et Sake, région de champs de lave, la tourbe se trouve mélangée par endroits à des fines poussières volcaniques lui conférant le rôle d'engrais de choix plutôt que de combustible.

Dans l'énorme manteau des sédiments de la cuvette centrale, la présence de tourbe n'est qu'exceptionnellement observée.

Les gisements de tourbe censés exploitables se localisent aux confins des provinces de l'Est. On les dénombre en quantité dans les zones d'effondrement ainsi que dans les terrasses des étages moyens et supérieurs des massifs montagneux dont les cimes surplombent la cuvette congolaise du Nord au Sud, tout le long de la frontière orientale. La région du Kivu semble la plus riche : des petites tourbières de vallées s'y rencontrent dans des fonds constitués d'expansions marécageuses de cours d'eau qui débouchent de ravines latérales d'érosion et viennent déposer les débris entraînés par le charriage. Il s'y forme, par sédimentation au fond de l'eau stagnante, des amas de tourbes humiques. Ces strates tourbeuses à découvert mais submergées par

l'eau, sont d'accès souvent difficile ; leurs étendues et puissances varient beaucoup ; la sonde s'y enfonce parfois à des dizaines de mètres. On les rencontre nombreuses dans les parages du lac Kivu. D'autres dépôts de pentes sont visibles sur les coteaux et, par place, forment barrage en travers du lit d'un torrent.

Certains dépôts de plateaux constituent des gisements dont l'importance est représentative d'une réserve énergétique considérable. Un recensement et une prospection étendus à l'ensemble du Ruanda-Urundi sont en cours.

Variable comme la structure des gîtes, est la composition des tourbes et boues organiques rencontrées au Kivu. Tantôt mousseuse ou fibreuse, légère, de teinte brunâtre, formée de végétaux plus ou moins décomposés en surface, tantôt devenue compacte, sous la pression des couches supérieures ; de couleur foncée ou noire, dans un état de carbonisation se développant vers la profondeur ; souvent des boues et limons s'y trouvent mélangés. Dans un stade intermédiaire, la structure apparaît confuse, assez feuilletée. Tous les états d'évolution se présentent, selon le degré de décomposition anaérobie au sein de marais, des sphaignes ou autres genres de végétaux aquatiques, joncs, graminées, etc.

Ces manifestations visibles du processus de formation, dans ses diverses étapes, des tourbes du Congo donne, pensons-nous, le pourquoi de leur localisation sur les flancs des montagnes et de leur absence dans la cuvette centrale. C'est qu'il faut, à la dégradation charbonneuse des espèces végétales donnant naissance au combustible, une atmosphère suffisamment tempérée, et des eaux très limpides ; en zone tropicale, la conjonction de ces facteurs de développement ne peut se trouver qu'à de hautes altitudes.

Les utilisations.

Les tourbes congolaises sont-elles propres aux usages énergétiques ? Ces végétaux passés à la forme statique, plus ou moins carbonisée, peuvent-ils relayer le bois ou autres productions du règne vivant ?

Ce qui vient d'être dit de leur variabilité de texture et de composition selon l'état de maturité et la situation du dépôt donne à penser qu'il faut admettre des puretés et par suite des combustibilités différant beaucoup d'une tourbe à l'autre ; certaines sont chargées à l'extrême d'eau et de terre.

En général, et c'est heureux, les tourbes ne contiennent pas de soufre, sauf mauvaise qualité du gisement. La tourbe noire, de fond, est naturellement la plus riche, bien que la plus minéralisée le cas échéant.

Comme combustible, la tourbe, en usage de tout temps, facilement inflammable, ne présente qu'une puissance thermique fort réduite à cause de son pourcentage excessif d'eaux d'imbibition et de composition, dont est saturé ce combustible colloïdal : les teneurs cumulées atteignent de 80 à 90 % ; un autre effet inhibiteur résulte parfois de la souillure par des cendres d'une proportion variable soit de 2 à 30 % et même 60 % selon la provenance ; certaines minéralisations sont surtout alcalino-terreuses (Ca, Mg). Le p.c.i. décroît en proportion directe du quantum d'humidité incluse dans le combustible instable, soit de 5.000 Kcal/kg pour l'état anhydre à 400 Kcal/kg pour 80 % d'eau ; le poids du stère de tourbe séchée à l'air variant de 330 à 400 kg.

Par carbonisation, la tourbe peut fournir en moyenne $\pm 200 \text{ m}^3$ de gaz à $\pm 1500 \text{ Kcal/m}^3$ par le fait du cracking de son goudron, et environ 300 kg de coke par tonne de matière à 20 % d'eau. Ce coke jouit d'une propriété intéressante, surtout pour gazogène de traction : il est très dense (450 kg/m³ contre 250 pour le coke de houille) [9].

Le bas pourcentage d'humidité de la tourbe enrichie présuppose une dessiccation : la plus simple restant celle réalisée par exposition de la pulpe sur une aire d'éten-dage fort développée, au soleil et à l'air vif. Il ne faut pas escompter, cependant, une extraction intégrale de l'eau de la substance spongieuse, même par déshydratation artificielle dans un four. Signalons à ce sujet un cas intéressant de dessiccation naturelle par drainage d'un petit dépôt à flanc de colline (près de Bukavu) ; le soutirage d'eau par le fond a provoqué une dénivellation de 3 à 4 m en surface.

Il existe des techniques d'un degré de perfectionnement avancé pour le séchage des mottes de tourbe : expulsion de l'eau par pression ou essorage ; ainsi que pour l'extraction, la mise en œuvre et les manipulations des briquettes de tourbe, de préférence moulée (*moulded peat*) ; celle-ci est plus cohérente et moins chargée d'eau, donc plus riche que la tourbe simplement découpée au louchet à même son logement, moyen trop rudimentaire.

Rappelons l'usage, en Scandinavie et au Canada, d'excavatrices ou dragues et de convoyeurs avec caterpillars pour l'extraction de la tourbe du gîte marécageux, ainsi que de triturateurs pour son homogénéisation [9].

Sous cette forme, il s'agit d'une exploitation à échelle complètement industrialisée et trop complexe, apparemment, pour une application au Congo.

Le séchage thermique serait coûteux, d'un médiocre rendement, soit 60 %, en raison de la mauvaise conductibilité de la tourbe et d'une certaine perte de matières volatiles, au dépens de la puissance calorifique ; ce procédé ne conviendrait plus à des teneurs dépassant 60 % d'eau.

Par voie physico-chimique, on parvient à flocculer ce combustible, ou par incorporation de poussier de tourbe séché, à rompre plus ou moins son état colloïdal, impossible à maîtriser par simple compression : c'est le procédé

MADRUCH. La présence de l'hydrocellulose formant gel entre les mailles de la tourbe s'oppose en effet à l'expulsion de l'eau, comme l'a lumineusement expliqué M. BERTHELOT.

En combinant les diverses techniques : floculation, séchages mécanique et thermique, auto-agglomération à la presse, l'on obtiendrait des briquettes convenant bien comme carburant pour l'alimentation des gazogènes en lieu et place du charbon de bois.

Mais l'on se heurte alors au double écueil d'une complexité et d'une majoration du coût de traitement (main-d'œuvre, calorique, force motrice et matériel), en vue de l'élimination de l'hydrocellulose.

En Allemagne a vu le jour, depuis peu, une méthode de traitement à l'eau chaude sous pression. Comme les précédentes, elle paraît perfectible mais assurerait déjà de bons résultats techniques.

Le coke produit au cours de la carbonisation de la tourbe peut, à son tour, servir en mélange à la matière de départ pour la fabrication d'agglomérés combustibles.

Nous ne connaissons pas d'utilisations, au Congo, de la tourbe à des fins énergétiques. La production autonome d'énergie n'intéresse guère les colons qui estiment plus avantageux de se raccorder à la distribution publique d'électricité que d'installer une centrale. Sans doute doit-il exister des possibilités dans cette voie, à l'exemple de réalisations, mais d'une grande envergure, des centrales d'U. R. S. S. alimentées par tourbières.

Comme entreprises privées utilisant la tourbe en guise de combustible, il faut mentionner des briqueteries du Kivu ; l'exploitation d'une importante tourbière, proche d'Usumbura, est réservée en vue de l'approvisionnement éventuel de la Cimenterie de Katana pour le chauffage des fours.

Dans le Kivu, où la houille manque et le bois reste d'approvisionnement difficile, parce que confiné sur les

crêtes, l'usage de la tourbe comme combustible domestique se défend d'autant mieux qu'à défaut de valorisation il n'est guère transportable.

Le remède à la pauvreté de ces tourbes humides et de ces humites plus ou moins fossilisés consisterait à les transformer en combustible déshydraté, enrichi par l'un ou l'autre des moyens précédemment décrits ; en les expurgeant de leur excès d'eau on permettrait le transport dans les conditions favorables. Le bilan économique de la conversion est-il assuré ? Un bureau d'études techniques installé à Bukavu, ville riveraine du Lac, se livre à des recherches pour la valorisation des tourbes du Kivu.

7. LES LIGNITES

Dans ce groupe de transition du carbone végétal vers l'état de houille, les lignites représentent une forme plus évoluée et de meilleure qualité énergétique. Au Congo, ils font totalement défaut.

8. CONCLUSIONS GÉNÉRALES POUR ORIENTER LE CHOIX DE LA FORCE MOTRICE THERMIQUE

Après avoir fait le tour du problème dans ses divers aspects, il convient, pour la clarté d'une vision d'ensemble, de concrétiser quelques enseignements qui s'en dégagent :

La machine à vapeur alternative, malgré l'éloquent palmarès de ses états de service en Afrique, voit son domaine s'amenuiser de jour en jour dans les exploitations congolaises, stationnaires et de traction. C'est une évolution incoercible dont les manifestations se retrouvent en d'autres pays et dans des domaines d'applications importants, les transports ferroviaires et maritimes entre autres.

Au crédit de la machine à vapeur, il faut rappeler sa sim-

plicité organique, son incomparable robustesse de construction, sa grande longévité, ses aptitudes à soutenir des conditions de travail très dures et à s'accomoder avec souplesse d'un service rustique, d'un entretien sommaire. Ce sont des atouts de valeur indéniable.

Le recours à la vapeur reste passible de justification au Congo dans certains cas bien définis :

1^o Disponibilité permanente de déchets végétaux ;

2^o Besoin de vapeur imposé par le conditionnement de produits textiles ou agricoles (extraction, séchage, cuisson, apprêts..) et dans une proportion supérieure à la consommation requise pour la fourniture de force motrice ;

3^o Abondance de bois de chauffage disponible avec pérennité et à bas prix sur le lieu d'utilisation (contingence de plus en plus exceptionnelle).

Le moteur Diesel, à injection mécanique et à 4 temps, jouit actuellement d'une cote de prédilection au Congo. Il s'y est acquis droit de cité en raison des perfectionnements dont n'a cessé de bénéficier ce type de machine au cours des dernières décennies et dont l'étape la plus marquante date de la seconde guerre mondiale. Ces progrès confèrent à présent au moteur à combustion interne un haut degré de sécurité joint à un actif de performances qui dictent en sa faveur le choix des exploitants. Les effets de ces améliorations organiques, s'alliant à une initiation satisfaisante des mécaniciens indigènes, font inverser les conclusions antérieurement propices à la machine à vapeur. Lorsqu'il est de haut standing constructif, de marque éprouvée, sûre, le Diesel est devenu un moteur économique, d'un haut rendement utilitaire, d'une robustesse assurée, tenant ses consommations garanties sans déficience, suffisamment facile à conduire et à entretenir, capable de supporter toutes oscillations

de charge, apte à endurer les dures sujétions d'un service en pays sous-développé. Même au prix d'un certain sacrifice sur le coût de production du kW/h, dans les centres où le gasoil est le plus cher, la tendance générale est d'opter en faveur du Diesel. Car il est des avantages précieux échappant au jaugeage en termes concerts. C'est le genre de moteur permettant de résoudre avec aisance tous les problèmes de force motrice, fixe ou mobile.

Les turbo-machines, désavantagées par leurs consommations unitaires et leur vulnérabilité relative, n'offrent à l'utilisateur aucun élément de supériorité décisif par rapport aux machines à piston classiques ; au Congo, le champ d'application en demeure fort restreint.

Les groupes moteur Diesel-gazogène sont affectés de certains inconvénients majeurs : complexité d'installation, déchets de 30 à 50 % sur la puissance ; difficultés de réglage ; manque d'aptitude à soutenir les brusques et amples variations de charge, inévitables en service de centrale publique ; altération des performances et usure du Diesel ; sujétions d'entretien du gazogène et du moteur ; outre les multiples servitudes d'approvisionnement, de mise en œuvre et de manutention du combustible forestier.

Nonobstant une éventuelle prééminence économique de la force motrice au gaz pauvre et certains avantages communs à celle produite par Diesels, l'utilisation du gazogène dans les exploitations congolaises soulève des problèmes dont la solution n'est pas satisfaisante.

* * *

Fermant la parenthèse sur cet aperçu comparatif des instruments de production thermique utilisables au Congo, nous rentrons dans le vif du sujet, en poursuivant

l'étude des combustibles auxiliaires : sources d'énergie dont l'intérêt pourrait s'affirmer à sa pleine valeur dans l'avenir, ou dans des moments difficiles.

9. LES COMBUSTIBLES OLÉAGINEUX

Pour satisfaire aux besoins croissants de la motorisation des véhicules sur route et sur rail, comme à ceux de la navigation et de l'agriculture, les combustibles liquides, qu'ils soient indigènes ou importés jouissent d'une supériorité incontestée. Et cette primauté, comme nous en avons administré la preuve, leur reste acquise au titre de source d'énergie mécanique à poste fixe dans les centrales moyennes, ou mobile dans les chantiers. Aussi bien, toute solution de mise, au point de vue des applications automotrices, profitera *mutatis mutandis* aux installations stationnaires.

Propriétés des huiles végétales.

Au nombre des sources d'énergie indigènes et indéfiniment renouvelables dont il convient d'envisager l'emploi futur pour les centrales Diesels et pour les transports terrestres, *l'huile de palme* figure avec rang prioritaire : c'est, en effet, la plus commune et par moments la moins chère des substances oléagineuses ; techniquement l'utilisation de ce combustible organique serait préférable à celle du charbon de bois. L'un et l'autre de ces composés carbonés empruntent leur réserve énergétique aux ardeurs du soleil tropical. Des applications assez nombreuses de l'huile de palme pour l'alimentation de Diesels actionnant des autocamions sont signalées en Afrique du Nord.

Le moteur à combustion interne, grâce à son haut redement thermodynamique, peut être qualifié de « polycarburant » dans de larges limites. Il s'accommode de l'alimentation en combustibles liquides fort divers, même des produits bruts et lourds, tels les huiles végétales

brutes de pression, dont le point de volatilisation élevé serait incompatible avec l'emploi dans les moteurs à carburateur. Les essais d'utilisation directe des huiles végétales (et animales) dans les Diesels remontent d'ailleurs au début de ce siècle.

La condition essentielle à exiger d'un carburant, comme générateur de travail, est de posséder un pouvoir calorifique suffisant. Tel est le cas des huiles végétales produites par l'*Elaeis* ou ses congénères tropicaux et dont les autres caractéristiques, hormis la viscosité, sont également convenables sans atteindre à l'excellence de celles des carbures pétroliers.

L'huile de coton, en provenance du pressage des graines, avantagée par une plus grande fluidité à la température ordinaire, pourrait dispenser d'un réchauffement avant injection ; néanmoins elle semble peu recommandable pour la combustion dans les moteurs à cause d'un excès d'acidité. La VICICONGO, entre autres, nous a signalé des cas de piqûres constatées dans les cylindres, injecteurs et soupapes de moteurs de 100 ch alimentés à l'huile de coton, devenue acide par vieillissement. A part ce vice rédhibitoire le fonctionnement des moteurs ne laissait en rien à désirer...

Des essais effectués en 1936 par le Royal Automobile Club de Belgique, sur moteurs de camions, ont été satisfaisants, sauf sous le rapport de la mise en marche à froid, moins rapide qu'avec le gasoil, mais que favoriserait le relèvement de la température d'ambiance.

Étant donné l'importance de la production cotonnière du Congo il paraissait expédient d'engager de nouvelles recherches. Elles furent entreprises en 1938 à la diligence du Ministère du Congo et du Ruanda-Urundi, avec la collaboration de la Compagnie Cotonnière Congolaise, le plus important producteur de fibres textiles, et la Société des Vicinaux du Congo utilisant des Diesels pour les transports automobiles. Les conclusions rejoignent celles

des essais précédents [28]. Mais le prix de l'huile reste cher au Congo, par suite de la dissémination des cultures et des centres d'égrenage, qui occasionne des frais de collecte et d'acheminement excessifs.

L'huile de ricin, dont la combustibilité est bonne, manque normalement de fluidité. Elle paraît mieux convenir, après traitement par effluves, au graissage des machines motrices qu'à la carburation. Bien que le ricin croisse à l'état naturel sous les tropiques et se développe même à foison comme du chiendent, cette euphorbiacée n'a pas encore fait l'objet de cultures étendues au Congo belge. Mêmes remarques pour *le sésame*.

Il en est autrement pour *l'arachide* dont l'huile possède, comme les précédentes, des caractéristiques chimiques et physiques comparables à celles de l'huile de palme : équivalences de densité, de point d'éclair, de pouvoir calorifique, pureté même supérieure. Elle fut utilisée avec succès sur des camions en A. O. F. durant la guerre. Mais actuellement sa haute valeur alimentaire et marchande en ferait un produit trop noble pour le dissiper en production de force motrice.

La remarque, d'ailleurs, vaut pour tous les oléagineux : si leur utilisation à cette fin apparaît, de prime abord, comme une voie indiquée et maintes fois suivie, nous l'avons vu, elle irait à l'encontre des nécessités du ravitaillement humain en lipides, dans une période de pénurie affectant surtout les populations métropolitaines.

De divers oléagineux, l'huile de palme, disponible en plus grande quantité, à moindre prix, conviendrait le mieux à la combustion dans les moteurs Diesels, moyennant purification au degré d'une huile de table.

Du point de vue comportement chimique, l'acidification inhérente au vieillissement des huiles végétales et génératrice de corrosion a été souvent objectée comme une

entrave à leur utilisation directe dans les moteurs à combustion interne. La teneur de ces produits en acides gras libres est réductible en raison de l'abrégement du délai qui sépare la récolte des régimes et le traitement à la presse. Le degré d'épuration n'en est pas moins important : quels que soient les soins apportés dans ces opérations et nonobstant les remarquables progrès de l'extraction et du raffinage atteints dans les huileries les plus modernes du Congo, des minimales pourcentages d'acidité libre et d'humidité résiduelle ne peuvent être évités. Il en est résulté, dans les machines à vapeur (saturée ou peu surchauffée) en usage au Congo, des usures précoces de cylindres imputées au rancissement de graisses végétales ; il y a formation d'acroléine agressive par décomposition incomplète du lubrifiant. Dans un Diesel la combustion des huiles végétales est censée s'effectuer à un niveau de température assez élevé pour la rendre intégrale en fonctionnement normal du moteur ; le phénomène susdit peut néanmoins se manifester lors du démarrage à froid, s'accompagnant de l'odeur âcre si caractéristique et du noircissement des fumées. Des indices d'attaque des organes ont été relevés sur des Diesel brûlant de l'huile de coton.

Un certain effet corrosif peut, si l'on n'y prend garde, s'exercer sur les injecteurs, et l'humidité de l'ambiance tropicale risque de catalyser l'attaque du métal, sauf à prévoir des nuances spéciales d'acier inox. Par contre la présence de soufre, si gênante dans les gasoils, n'est pas à redouter avec les huiles végétales. Celles-ci doivent, de toute manière, être neutralisées et raffinées au dernier degré, exemptes de mucilages et — c'est évident — de tous débris ou résidus végétaux.

Résultats d'essais.

Toujours orientés vers la recherche de solutions d'économie, des essais avaient été entrepris au Congo, il y a

de nombreuses années, mais au moyen d'huile de palme brute de pression, non traitée, simplement filtrée, avec un appoint momentané de gasoil.

L'huile brute, vu sa consistance naturelle, devait non seulement être fluidifiée avant injection mais enflammée complètement avant d'atteindre les parois du cylindre moteur ; sinon il y avait formation de sous-produits d'une acidité excessive accentuée par l'insuffisance de pureté de l'huile. Un défaut éventuel de pulvérisation des injecteurs laissait subsister sur les parois métalliques des particules solides échappant à la combustion ; dans ce cas, un dépôt de carbone se formait rapidement.

La consommation, comme il fallait le présumer, s'est avérée supérieure de $\pm 20\%$ à celle de l'huile de pétrole, au prorata de l'abaissement du pouvoir calorifique (± 8.000 à 8.500 kcal). La nécessité d'un « préchauffage » et celle d'injections alternées de gasoil introduisaient des complications supplémentaires. Des difficultés affectant le nettoyage des vaporisateurs des anciens moteurs semi-diesels et le réglage de l'injection d'huile ont été constatées également.

Carburants d'oléagineux valorisés.

Ces désavantages d'ordre physique et chimique affectant l'emploi des huiles brutes de pression dans les moteurs ont suscité de multiples recherches pour les convertir en carburants comparables à ceux extraits des pétroles.

Aucune solution ne s'est encore imposée de manière péremptoire : la technique de la production par voie chimique des carburants d'oléagineux en est toujours à chercher sa voie.

Parmi les plus importants produits de conversion, il faut considérer :

L'huile de palme éthanolysée.

Dans le but de promouvoir le recours, en période critique, à des combustibles liquides extraits de produits locaux, une Commission des Carburants a été instituée en 1935 par le Ministère du Congo belge et du Ruanda-Urundi. La nécessité a été reconnue de porter remède aux inconvénients consécutifs à l'acidité des huiles indigènes et à la hauteur de leur point de fusion sous ambiance normale [28]. Il faut tenir compte, à ce point de vue, de l'exiguïté des sections de passage dans les organes d'injection (pompe à combustible, conduits et injecteurs) des Diesels modernes à régime rapide, machines dont l'usage tend à envahir la traction terrestre, domaine longtemps privilégié du moteur à essence et de la locomotive à vapeur. La remarque vaut également pour les moteurs Diesels de petite puissance des centrales secondaires.

Entre les différentes huiles végétales, seule l'huile de palme reste celle dont l'emploi est retenu pour les raisons indiquées : mais il devrait être subordonné à un traitement chimique dans le but de convertir le produit naturel en un carburant fluide à 100 % et assimilable aux diesels quant aux différents critères de qualité [42].

Pour atteindre cet objectif, le choix de la commission s'est porté sur l'alcoolyse de l'huile de palme au moyen d'alcool éthylique absolu (de faible poids moléculaire), en présence d'un peu d'acide sulfurique comme accélérateur et déshydratant (2 à 3 % du poids d'huile). Le procédé est dû à feu M. le Professeur CHAVANNES, de l'Université de Bruxelles. L'opération a lieu en autoclave vers 100° C, dure environ 5 heures et produit un carburant formé par le mélange de molécules plus légères et utilisable directement dans le Diesel, comme un gasoil quelconque.

Sous l'action de l'éthanol anhydre, les molécules de glycérides gras (surtout palmitique ou oléique), constituants essentiels de l'huile de palme, se désintègrent en

molécules plus simples, avec transformation en leurs esters éthyliques et libération de glycérine. L'allègement (d'environ 30 %) du poids moléculaire, a pour effet d'abaisser (environ au 1/4) le point de figement du produit végétal, d'en augmenter la volatilité et la fluidité au niveau de celles du gasoil ; l'élimination de la glycérine est également bénéfique pour la combustion dans les Diesels, car ce composé engendrait, par pyrogénéation et polymérisation, l'acroléine avec ses dérivés occasionnant de la corrosion et du gommage. La dépense effective d'alcool, après récupération par voie de distillations répétées atteint environ 20 % du poids de carburant. A condition de faire réagir une très forte quantité d'alcool (5 fois celle fixée par la théorie) l'on obtient un rendement de conversion en carburant sec, limpide, pouvant atteindre 100 % de l'huile de palme mise en œuvre, avec en sous-produit 10 % de glycérine ; c'est un produit de valeur appréciée en temps de guerre, mais d'un écoulement difficile en période normale, vu l'éloignement des territoires congolais. Il est aisé de récupérer l'excédent d'alcool après réaction.

L'usine de fabrication du « gasoil végétal » doit être jumelée avec une distillerie pour la production d'alcool absolu industriel. L'apport calorifique nécessaire au traitement de l'huile et pour les besoins accessoires est assuré par la combustion des résidus d'extraction de la pulpe, avec complément de bois. Spécifions bien qu'il s'agit seulement comme matière première pour carburant lourd, de l'huile exprimée des fruits de palme, à l'exclusion des noix palmistes (en proportion moyenne de 1/10^{me}) lesquelles ne conviennent pas pour l'éthanolysé.

Propriétés — performances.

Il faut relever que si l'huile de palme éthanolysée peut intégralement remplacer le carburant minéral dans les moteurs à combustion interne, elle n'est pas utilisable

dans les moteurs à carburateur ; et d'ailleurs l'huile dans son état naturel leur conviendrait moins encore, faute de volatilité, même à température élevée.

L'utilisation, dans les moteurs à combustion interne, du nouveau carburant lourd produit par éthanolyse, constituerait une solution évoluée, permettant d'éluder certaines sujétions reprochées à l'injection de l'huile brute et d'améliorer au surplus les performances mécaniques. Le principal mérite de l'éthanolyse, comme l'a souligné M. le Professeur COPPENS, est de transformer l'huile de palme, naturellement à l'état concret, en un carburant tout à fait fluide, doué au surplus d'une excellente inflammabilité et d'une interchangeabilité totale avec le gasoil. Ces résultats sont conformes aux spéculations scientifiques, car il est possible, d'après une brillante démonstration du professeur MAILHE (de Paris), de reproduire synthétiquement à partir des huiles végétales comme matières premières, les mélanges de carbures liquides dont se composent les pétroles naturels. Le traitement de *cracking* serait d'ailleurs praticable de manière directe sur les graines oléagineuses. Cette solution, selon M. MENSIER, permettrait de renoncer à l'extraction coûteuse des huiles, en consentant à la perte de la glycérine récupérable dans leur conversion. Le mérite du procédé mis au point en Belgique est de réaliser la transformation en carburant selon un concept très simple, aisément applicable au Congo.

Conditions spécifiques de production.

En ce qui concerne effectivement la fabrication, des essais à échelle semi-industrielle (sur une dizaine de tonnes), ont été effectués déjà en 1937 par M. le Professeur MERTENS de WILMARS à l'Université de Louvain [40]. Ils ont permis de disposer d'une quantité convenable de carburant pour les essais et fourni la preuve que ce serait

une technique simple, d'application facile, n'exigeant pas un matériel complexe ou délicat.

Cette nécessité d'une fabrication subsidiaire d'alcool éthylique est précisément objectée contre le procédé de l'éthanolise [19] : elle y introduit, c'est indiscutable, un élément de complication mais qui ne dépasse pas celui d'autres techniques. Des griefs peu consistants ont été articulés à l'égard de cette formule de valorisation, dont la nécessité de disposer d'huile neutre. C'est perdre de vue que les huileries européennes de quelque importance, établies au Congo, sont dotées des derniers perfectionnements et livrent aux grands marchés internationaux des produits d'une pureté et d'une neutralité sans pareilles.

Il est encore excipé du besoin, pour la catalyse, d'acide sulfurique concentré. En ce domaine aussi, le Congo n'a rien à prévoir : la matière existe, et même surabondante, pour les modestes exigences de l'éthanolise, car une importante entreprise chimique en fournit chaque jour de gros tonnages pour l'enrichissement des minerais de cuivre par flottation.

Les trois matières de base indispensables pour l'éthanolise seraient donc disponibles au Congo : huile de palme, alcool éthylique et acide sulfurique concentré. La transposition du procédé de traitement, mis au point en Belgique, n'y soulèverait pas de difficulté sous ce rapport.

Sur le plan technique, aucune objection irréductible ne paraît, en définitive, s'opposer à l'emploi de l'huile de palme convertie en carburant lourd pour les Diesels. S'il existe un problème, ce ne peut être que sous l'angle économique.

Les initiatives d'avant-guerre, nous l'avons dit, n'ont pas connu de lendemain, en raison surtout de la hausse vertigineuse du prix des huiles végétales. Conséquence de l'état généralisé de pénurie, dont fut marqué le dénouement des hostilités. Le coût des produits pétroliers, au

contraire, se maintenait à une cote modérée. S'il est vrai qu'en l'état actuel du marché des oléagineux, l'huile de palme reste un produit de trop haute valeur commerciale, son utilité pourrait revêtir un caractère impératif dans le cas de cessation des approvisionnements d'hydrocarbures, et peut-être en période de grande crise économique. Dans de si redoutables éventualités il importe de s'assurer la libre disposition des quantités de carburants locaux indispensables pour éviter la paralysie des activités économiques.

Nos territoires d'outremer possèdent une ample variété de plantes alcooligènes.

Au point de vue de la rentabilité de ces productions, il est plausible d'admettre un abaissement des prix par une mise en exploitation sur grande échelle, en collaboration avec l'Institut National pour l'Étude Agronomique du Congo (I. N. E. A. C.) : élimination sélective des essences ou variétés pour en accroître le rendement à l'hectare, les immuniser contre les parasites, remplacer les stériles et autres mesures *ad hoc*. Dans le même sens, il faut considérer que le coût de la tonne d'huile de palme (ou d'alcool) sur le lieu de production est sensiblement inférieur au prix des mercuriales de l'hémisphère Nord : il est allégé des charges d'emballage et de transport jusqu'aux pays consommateurs.

En raison de l'énormité du territoire congolais et de la diversité de son développement économique, donc routier, l'on ne saurait rien inférer quant aux perspectives actuelles des combustibles de remplacement, en rapport avec le prix du gasoil, sinon que sur un plan régional. Leurs positions relatives peuvent évoluer dans le temps.

Comme l'a souligné opportunément M. Marcel VAN DEN ABEELE, Administrateur-Général du Congo belge et du Ruanda-Urundi [62], dont les travaux sur les problèmes congolais jouissent d'une audience internationale, dans le nord-est du Congo se rencontrent des conditions

propices entre toutes à la production et à l'utilisation des carburants végétaux : éloignement des ports maritimes grevant à la fois les importations de produits pétroliers et les exportations de produits agricoles, haut degré d'expansion des cultures et de l'industrie dans cette zone, densité des voies de communication et intensité du trafic routier motorisé ; étendue et haut rendement des palmeraies (2 à 3 t d'huile à l'ha en pleine production — vers la 10^{me} année). Les plantations de manioc ou de cannes, si elles n'existent, sont faciles à établir dans le voisinage de façon à concentrer autour des installations d'éthanolysé les deux sortes de productions végétales indispensables à leur activité. Attendu que l'incidence du coût de l'alcool est décisive comme composante du prix de revient de l'huile traitée, sa production doit être pratiquée par grands tonnages, condition première d'un bas prix de revient. Comme l'alcool, à la rigueur, pourrait servir seul ou en appoint de l'essence (moyennant certains artifices pour l'alimentation des moteurs à carburateur), cet élargissement de débouché contribuerait à l'abaissement graduel des prix.

Bien entendu, l'emplacement à réserver pour un centre de production d'huile alcoolysée doit lui-même faire l'objet d'un choix rationnel : facilité de transports (terrain non déclive) et d'évacuation des divers produits (par voie d'eau).

Ces diverses conditions de base se trouvant réunies, permettraient d'entrevoir une solution éventuellement viable pour approvisionner en carburants de substitution les zones déshéritées par suite de leur isolement intérieur. Le gasoil végétal aurait chance d'y trouver un débouché rémunérateur comme agent de force motrice dans un large champ d'applications tant individuelles que collectives, rurales, de formes stationnaire ou propulsive (traction mécanique).

Sous l'angle de l'économie générale, des objections

ont encore été formulées — et l'objectivité prescrit de les relever — notamment par M. BEELAERTS, contre cette solution du problème des carburants de remplacement : elles visent l'opportunité même de la conversion alcoolique de l'huile de palme, la nécessité d'un dédoublement de l'usine d'éthanolise par une autre, nécessaire pour la production d'alcool et pour sa rectification, au dépens de l'économie et de la simplicité des installations, grief déjà signalé ; enfin l'adjonction aux palmeraies des cultures de manioc.

L'huile méthanolysée.

Les griefs d'ordre économique ou technique élevés, avec plus ou moins de pertinence, contre la mise en fabrication d'huile éthanolysée, ont incité à lui substituer un autre procédé de traitement, à partir du méthanol, un des sous-produits de la carbonisation du bois.

Le mobile dont s'inspire cette alternative de transformation de l'huile de palme en carburant lourd est de faire appel, comme matière de base, non plus à un produit raffiné au maximum, mais à des huiles brutes de pression d'un taux d'acidité considérable (30 — 40 %) telles que fournies par les huileries indigènes traitant de façon rudimentaire (*hard oil process*). L'acidification pourrait même être accélérée par un appoint d'acide acétique. De plus, l'alcool éthylique de fermentation serait remplacé par l'alcool méthylique, productible soit par synthèse, soit à partir de bois quelconque, par carbonisation ou hydrolyse et présentant, paraît-il, une plus grande réactivité. Pour le même motif, l'acide sulfurique ferait place à l'acide chlorhydrique fabriqué par électrolyse d'une saumure de sel marin [37].

Ce procédé paraît bénéficier des avantages mis en avant par M. LOURY : extrême simplification de l'équipement et des manipulations, d'où une économie substantielle et facilité d'opérer sur gros tonnages.

La consommation de bois correspondant à la production de méthanol implique néanmoins le remplacement annuel des essences abattues, en conformité avec les prescriptions réglementaires. D'autre part, la fabrication d'acide chlorhydrique devrait être mise sur pied, car à notre connaissance ce réactif n'est pas disponible au Congo.

Il a été fait état de la possibilité d'offrir un débouché immédiat aux huiles acides de fabrication indigène, dont l'écoulement demeure malaisé, parce qu'elles sont impropres à la consommation domestique ; les autochtones y trouveraient encouragement à leur production artisanale. A notre avis, ce serait faire fausse route : il faut, au contraire, les inciter à l'abandon de méthodes d'extraction rustiques, désuètes et nuisibles à la réputation des produits congolais, comme à leur juste valorisation ; des campagnes de dénigrement intéressées ont autrefois tendu à les déprécier sous couleur de défauts dans la préparation.

Quant aux possibilités techniques de la méthanolyse, il faudrait, pour se prononcer par un verdict autorisé, attendre la consécration industrielle de cet ingénieux procédé. Les protocoles d'essais de l'huile de palme méthanolysée font apparaître une similitude de ses propriétés avec celles de l'huile traitée à l'éthanol.

Les conditions formulées précédemment pour l'implantation au Congo de l'éthanolysé des huiles de palme seraient aussi de rigueur pour cette variante de production d'un carburant lourd. Un spécialiste des problèmes de traction au Congo, M. COMHAIRE, considérant la nécessité d'une production supplémentaire d'alcool éthylique par gros tonnages pour en réduire le coût, avait émis des réserves semblables à celles déjà considérées au sujet de ce dédoublement des fabrications. Son objection vaut pour l'alcool méthylique. Il serait plus indiqué, opinait-il, de se limiter à la fourniture exclusive d'alcools de

carburant, réservant à l'huile de palme les possibilités d'emploi, alimentaires et autres, dont elle est plus justifiable. Mieux vaudrait, en conséquence, renoncer à produire du gasoil végétal.

Nous ne saurions souscrire sans réserve à cette objection : il faut tenir compte de la diversité des besoins en combustibles liquides. L'usage des alcools, carburants légers, se heurte à une limitation évidente : ils ne peuvent convenir qu'aux moteurs à explosion.

Variantes de traitement chimique des oléagineux.

Outre la carbonisation simple en four fixe ou mobile, une intéressante valorisation du carbone végétal des oléagineux peut être obtenue par différentes techniques visant à la fourniture de carburant pour moteurs à combustibles liquides : carbonisation des fruits, noix ou graines oléagineuses, hydrolyse, *cracking* ou distillation des huiles.

Rappelons des essais entrepris au Soudan par M. FRANÇOIS : le traitement par carbonisation de plusieurs sortes de graines, coques ou déchets oléagineux a donné des résultats fort variables en huiles et semi-coke avec un maximum de rendement d'huiles pour le ricin et le coton, les palmistes et arachides suivant de loin.

D'autres recherches ont été menées récemment par M. MIGEON dans la voie d'une simplification technique en vue de mettre la conduite de l'installation à la portée d'un surveillant non technicien. Son procédé consiste à carboniser les graines oléagineuses avec production d'huile brute, coke et gaz ; l'huile de carbonisation est ensuite fractionnée pour en extraire l'eau, isoler le carbone et les brais. Signalons à titre documentaire d'autres essais de gazéification analogues sur herbes de brousse (*matete*), selon un cycle déjà complexe de récupération [43].

En ce qui concerne le Congo belge, dont la production cotonnière se développe sans cesse, des essais de carboni-

sation des graines ont eu lieu avant guerre sur intervention du Ministère du Congo belge et du Ruanda-Urundi, avec le concours d'une société de plantation congolaise et d'une firme belge spécialisée en construction d'appareils pour industries alimentaires.

La carbonisation produisait du gaz, du goudron et un résidu carboné assimilable au charbon de bois. Le goudron végétal soumis à distillation se fractionne de la même manière que des huiles minérales en une gamme de combustibles liquides dont la densité s'étage des produits légers aux plus lourds, suivant la montée du point d'ébullition [28].

L'obligation de parfaire les traitements de base par un raffinage, dans le but d'obtenir des carburants purs, neutres et stables, fait présager d'une perte de produits et d'un alourdissement du coût de fabrication de ces huiles combustibles.

L'aisance actuelle du ravitaillement en produits pétroliers au Congo enlève à ces méthodes de conversion leur intérêt pratique. Les projets antérieurs ont été classés sans suite.

10. LES ALCOOLS CARBURANTS

Nous avons souligné les riches ressources des territoires belges d'outremer en plantes alcooligènes. Parmi celles-ci, le manioc retient spécialement l'attention, eu égard à l'extension de sa culture (la plus répandue), la rapidité de sa croissance et son rendement élevé (10 à 15 t/ha à la 2^e année). Il faut tabler sur une consommation de 2 1/2 kg de manioc frais par kg d'huile à traiter. Le sorgho ordinaire (non sucrier) a, lui aussi, fait l'objet de recherches fructueuses ; les rendements moyens à escompter s'élèvent à 20-22 quintaux de graines et 300-350 quintaux de cannes effeuillées par hectare, soit un rendement moyen de 40 hl d'alcool à l'hectare. Les tubercules

de patates douces sont une source d'alcool amylique industriel. La canne à sucre, prospère dans le Bas-Congo, serait apte également à procurer un alcool éthylique de prix abordable pour incorporation à l'huile de palme éthanolysée, voire à l'essence de pétrole. Le bananier, et le palmier dont l'aire de dispersion s'étend à toute l'Afrique noire, offrent aussi des possibilités. Il faudrait mentionner encore les brisures de riz, à traiter par fermentation alcoolique ; mais la production de cette céréale secondaire alcooligène est déjà insuffisante au Congo et son inestimable valeur alimentaire en fait proscrire l'emploi pour la carburation.

Outre la production à partir des sucres végétaux en milieu fermenté, une autre ressource assurant la production d'alcool à bas prix serait l'hydrolyse de la cellulose de bois ou d'autres plantes ligneuses, telles le sisal, engendrant des sucres qui sont fermentescibles avec production d'alcool éthylique ou de carburant cétonique et de sous-produits divers. Plus encore que la gazéification du combustible forestier, source de l'ancien « esprit de bois », son hydrolyse semble au point de vue énergétique une solution rationnelle ; en effet, le bois peut fournir, selon SERRUYS, 1,20 chh par kg si on le convertit en alcool carburant [54]. Certaines essences des familles tropicales sont d'une haute richesse en cellulose, prometteuse de rendements favorables en combustibles liquides oxygénés. De prime abord, cela serait une forme économiquement intéressante des abondants déchets ligneux. Le problème mérite examen. Les estimations de rendement dans le procédé BERGIUS, par exemple, sont de 300 l d'alcool éthylique de cellulose par tonne de bois conditionné, sec. Concurremment une autre technique de production, le procédé MELLE-BOINOT, aurait fait ses preuves en Indochine [10]. Ces 2 méthodes tombent sous le reproche d'être d'une application délicate dans les régions chaudes d'Afrique centrale où l'élaboration des jus sucrés

fermentescibles est difficile à contrôler ; de plus, pour en éliminer la grande masse d'eau de dilution, il faut procéder à une concentration exigeant une dépense de combustible et un appareillage important.

Propriétés des carburants oxygénés.

L'alcool éthylique pur et déshydraté à 99,9 %, possède un p.c.i. de 4.500 kcal/l soit 6.000 kcal/kg. Sa chaleur de carburation ne dépasse pas 4.000 kcal/l (obtenue en multipliant par le coefficient d'expansion moléculaire la somme du pouvoir calorifique inférieur et de la chaleur latente de vaporisation). Ce carburant peut être utilisé dans les moteurs à explosion, mais comme accompagnateur de l'essence de pétrole, c'est-à-dire en mélange binaire. La proportion usuelle varie de 10 à 30 %.

Des recherches effectuées à l'Institut thermotechnique de Louvain ont permis d'augmenter ce pourcentage, moyennant adaptation du carburateur dont la section de passage du gicleur est augmentée ; conjointement, l'avance à l'allumage peut aussi être accrue et sans risque de cognement, en mettant à profit le pouvoir antidétonant élevé de l'alcool éthylique ; cette propriété notoire des carburants oxygénés se prêterait aussi à un accroissement du taux de compression pour améliorer couple et puissance. Sans recourir à ce dernier moyen, les autres suffisent à procurer un léger gain (2 à 3 %) par rapport à la marche à l'essence pure. Les proportions réalisant le mélange optimum au point de vue des performances mécaniques, sont sujettes à varier d'après le type de moteur expérimenté : l'agencement de ses dispositifs d'aspiration et de carburation entre autres [28].

L'emploi de l'alcool éthylique pour carburer l'air aspiré dans un moteur à combustion interne permet de renforcer pareillement la puissance à la faveur de l'excès d'air (20 %) requis pour assurer la combustion du supplément de gasoil injecté en régime de surcharge.

Dans ce groupe des carburants oxygénés, le *méthanol* a fait l'objet de nombreuses investigations, en France surtout. Il peut être produit par distillation directe du bois ou par simple catalyse, en phase gazeuse sous pression, d'un mélange $\text{CO} + \text{H}_2$ produit dans un gazogène au bois. Cette méthode de synthèse, actuellement éprouvée, serait applicable sur place à partir de toutes essences ligneuses et sans nécessiter un équipement considérable. M. LOURY la considère comme préférable à celle de l'alcool éthylique. Cependant la méthanolyse est de réalisation plus difficile que l'éthanololyse.

L'alcool méthylique produit, aux essais, certaines performances intéressantes : à égalité de rapport volumétrique il procure, en comparaison du gasoil, un accroissement de pression moyenne et de rendement économique (d'1/10^e) grâce à sa plus forte chaleur latente de vaporisation, double de celle de l'éthanol et 8 fois celle de l'essence dans les mélanges carburés ; à égalité d'endurance il y a augmentation de la puissance développée [51]. Ce carburant est aussi doué d'un indice d'octane extrêmement élevé, pour le même motif. Contrairement à l'alcool éthylique, il ne paraît pas corrosif pour les organes des moteurs. Par contre son pouvoir calorifique est très bas (3.600 kcal/litre) soit presque la moitié de celui des essences de pétrole (7.700 kcal/litre). De plus, il présente un grave danger d'intoxication tandis que l'ingestion d'alcool éthylique n'expose qu'au risque d'ivresse.

Il vient naturellement à l'esprit d'envisager, de prime abord, l'utilisation des carburants alcooliques, du moins à l'échelle locale, et en période d'hostilités pour se prémunir contre les bouleversements que la privation de combustibles d'origine étrangère ne manquerait pas de provoquer au Congo.

Critique des résultats.

Divers inconvénients d'ordre technique se sont opposés jusqu'à ce jour à une diffusion intensive de l'usage des

alcools et font comprendre pourquoi aucune tentative sérieuse de distribution n'a encore été entreprise en Afrique belge : les initiatives dans des pays largement évolués ont, en général, connu des résultats assez décevants. En France, certes, l'alcool éthylique trouve un débouché pour la carburation, mais c'est grâce à un régime de protection légale, appelé dans l'avenir à se modifier. L'usage de ce carburant alcoolique pour l'alimentation des moteurs n'est praticable qu'en mélange à l'essence de pétrole : faut-il y voir une preuve de supériorité ? L'on n'y saurait sérieusement prétendre.

Il y a lieu de se remémorer à ce sujet l'infériorité du pouvoir calorifique des carburants oxygénés — éthylique et méthylique — par rapport aux huiles minérales combustibles et même aux huiles végétales, dont l'injection en diesel serait autrement avantageuse : le rendement thermique de ce moteur, en effet, reste indépendant, toutes autres conditions égales, de la nature du combustible. L'augmentation du calibre des gicleurs, et de l'avance à l'allumage, le relèvement du taux de compression, le réchauffage de la tubulure d'aspiration du mélange carburé, tous ces adjuvants déjà cités ne constituent que des artifices plus ou moins complexes pour atténuer le déchet de rendement thermique ; la consommation spécifique demeure élevée, en comparaison de celle du gasoil à 10.500 kcal/kilo.

Pareillement, dans un moteur à carburateur, le supplément de consommation imputable à l'alcool n'est guère réductible en dessous de $1/5^e$ par rapport à l'essence de pétrole d'un p.c.i. de 11.000 kcal/kilo.

Des prohibitions à caractère technique font exclure l'emploi des alcools dans les moteurs à combustion interne de type normal, et seuls les moteurs à explosion pourraient s'en accommoder, en particulier les moteurs spéciaux des camions de gros tonnage et ceux appelés à circuler en terrain accidenté. Mais cette voie même n'est

pas libre d'écueils et leur neutralisation est loin d'être commode : avec l'alcool éthylique, la difficulté de démarrage à froid, la nécessité d'un réchauffage préalable (au carburateur et à la pipe d'admission) ainsi que le risque des retours de flamme, le remplissage défectueux des cylindres, autant de servitudes ou d'inconvénients qui rendent l'usage des alcools si peu pratique. Ils procèdent des propriétés spécifiques de cet alcool carburant, désavantagé vis-à-vis de l'essence de pétrole dans le rapport du simple au quadruple quant à la tension de vapeur et en sens inverse pour le chaleur de vaporisation (très élevée) [61]. Un premier remède consistait à carburer l'alcool par addition d'essence assurant la régularité de marche. Par cette association, l'on conjugue la richesse calorifique de l'essence avec la résistance de l'alcool à l'auto-allumage. Mais pour séduisante qu'elle paraisse, cette solution s'est avérée être une erreur de base en raison du défaut d'homogénéité d'un tel mélange, prompt à se scinder en ses deux constituants lors des manipulations. Même l'appoint d'unisseurs ou tiers solvants (du groupe phénolique par exemple) de façon à former un carburant ternaire, n'a pu donner satisfaction sous ce rapport. Par contre l'addition de 10 à 20 % de benzol, pour enrichir le carburant, a permis d'améliorer les performances et rendements thermiques au-delà de ceux propres à l'essence ; c'est qu'en effet l'alcool éthylique jouit de cette propriété bien connue d'accélérer la vitesse de combustion au prix d'un faible accroissement du taux de compression, d'autant mieux tolérable que ce combustible est anti-détonant. Par ailleurs il offre, comme le méthanol, l'avantage d'être dépourvu de toute agressivité vis-à-vis des organes du moteur.

D'après les recherches faites à l'Institut thermotechnique de Louvain, l'emploi, comme carburant, d'alcool pur (ou anhydre à 99,9 %), nécessite, soit une appropriation du carburant par le renforcement du gicleur, soit

l'appel à l'essence pour le démarrage suivi de marche normale à l'alcool. De notables progrès ont cependant été acquis au cours des dernières années, surtout sous la pression des contraintes de belligérance, et la carburation à l'alcool de benzolé semble devenir une solution plus défendable. Selon des essais de MM. LAURENT et PETIT [51], le fonctionnement du moteur à explosion est satisfaisant, même plus souple et silencieux qu'à l'essence ; il y aurait léger gain de puissance (4-5 %), atténuation des risques d'encrassement, des charges de réparation et des dangers d'incendie. D'autres expériences ont même été entamées sur des moteurs à combustion interne pour renforcer leur puissance par carburation à l'alcool de l'excès d'air requis par le fonctionnement au gasoil (voir ci-devant).

L'enrichissement de l'alcool végétal par incorporation du benzol extrait du goudron de houille n'apporte cependant qu'une solution incomplète au problème des carburants liquides de substitution : ce produit adjuvant devrait, comme l'essence, être importé au Congo en toute éventualité.

D'autres artifices devraient être mis à l'examen, dans le but d'améliorer la carburation à l'alcool éthylique : du point de vue organique, une solution séduisante et dont l'avenir semble prometteur consisterait en un système d'injection directe, similaire à celui du Diesel, mais monté sur un moteur à explosion spécial et combiné avec un dispositif d'allumage électrique suivant la proposition de M. CARBONARO ; elle réaliserait un moyen terme entre les cycles du moteur à carburateur et du moteur à combustion interne. Cette combinaison a déjà reçu des applications connues dans les techniques de l'aviation et de l'automobile. Elle substituerait au Diesel, moteur tout de même assez délicat et coûteux, un concept de machine motrice mieux adapté : ce système, en quelque sorte polyvalent, s'apparenterait de près au classique moteur à essence, tout en étant plus souple

et bénéficiant à la fois d'une surpuissance (de 1/5^e) ainsi que d'une consommation réduite (d'1/4). Il permettrait de supprimer les troubles dus au givrage et les difficultés de démarrage à froid des moteurs à carburation. Un dispositif similaire construit par R. RETEL a fait l'objet d'essais probants [51].

En ce qui concerne l'alcool méthylique, bien qu'il soit déclaré par M. DURAND-GASELIN le « carburant liquide de synthèse dont la calorie est la plus économique à produire » (et c'est tout à fait exact au point de vue bilan thermique de la synthèse axée sur le charbon), il s'en faut que son utilisation soit idéale dans les moteurs à carburateur de type courant.

Vis-à-vis de l'essence ordinaire, le méthanol apparaît plus désavantagé encore pour la carburation que l'alcool éthylique par l'infériorité de son pouvoir calorifique et par son absence totale de miscibilité avec l'essence ; le recours — avec éventuel appoint (d'1/10^e) d'éthanol — à des tiers solvants (importés) n'est pas une solution. La chaleur de carburation de l'alcool méthylique est reconnue également médiocre. Par contre, son indice d'octane est exceptionnellement élevé : soit 135 contre 110 pour l'alcool éthylique, donc bien supérieur à celui des essences ordinaires. Celles-ci pourraient, en conséquence, être bonifiées par coupage de méthanol pour relever leur pouvoir antidétonant, mais à condition de corriger le défaut de miscibilité par une addition de benzène ou autre tiers solvant incorporé au mélange. Un tel débouché n'offre guère de perspectives.

Les difficultés trop notoires occasionnées par l'emploi de l'alcool éthylique dans les moteurs à explosion (difficultés de démarrage, excès de consommation) se reproduisent — c'est admis sans conteste — avec l'alcool méthylique ; si le départ semble légèrement facilité, à rebours la consommation est accrue davantage par rapport à l'essence. Le méthanol a été mis à l'épreuve durant

la guerre, mais les inconvénients en ont fait délaissier l'emploi après rétablissement de la paix. Les essais de réalisation des moteurs à injection d'alcool ne sont pas encore au point, en dépit de certaines performances intéressantes. Actons-le sans ambages : là où l'utilisation des alcools n'est pas régie par de draconiennes contraintes législatives, elle ne connaît pas le moindre succès. Peut-être faut-il aussi imputer en partie cette carence à la cherté de l'alcool en temps normal ou à une insuffisance de son approvisionnement ?

Sous l'angle des applications dans les pays sous-développés, subsisteraient en toute hypothèse d'autres objections de poids : la manipulation des alcools éthylique et méthylique par les indigènes n'est pas exempte de dangers ; leur dénaturation pour éviter le vol requiert un mélange soit à des carburants étrangers — essence ou benzol — soit à des produits nocifs pour le moteur. D'ailleurs, la fabrication d'alcools (comme celle de boissons alcooliques) par distillation, reste interdite au Congo, sauf dénaturation, en vertu de l'Ordonnance-Loi du 26.12.1942.

Pour clore cette revue des carburants indigènes, il nous faut insister sur cette opinion qu'il ne semble pas rationnel *a priori* de multiplier sur place les fabrications de combustibles liquides d'origine végétale. Elles nécessitent une organisation générale de la production et soulèvent des problèmes d'approvisionnement comme de mise en œuvre. Sur la base de ce postulat, deux conceptions opposées s'affrontent : selon les uns il serait préférable de s'en tenir à la production d'huile de palme, susceptible de la plus grande extension et d'un abatement consécutif du prix de revient ; mais cette formule prête le flanc à la critique si l'on admet la nécessité de faire subir à l'huile brute la transformation d'éthanololyse. Les protagonistes de l'autre solution, arguant du besoin des grands tonnages d'alcool requis de toute manière pour une telle

conversion, préconisent l'exclusivité de fabrication de ce carburant ; l'huile de palme devrait être réservée à d'autres usages plus nobles que la combustion dans les moteurs. En Indochine, où l'institution du régime de l'alcool carburant avait pris force de loi durant la seconde guerre, comme en plusieurs territoires de l'Afrique française, l'usage de l'alcool se maintient pour les transports lourds sur les itinéraires difficiles en région montagneuse.

* * *

Comme épilogue de cette rubrique des carburants de substitution congolais quelques indications valent d'être consacrées à un sujet connexe :

Les lubrifiants d'appoint ou de remplacement.

Toutes les huiles végétales sont lubrifiantes par nature. Mais plus aucune n'est utilisée au graissage des machines modernes. Elles ont pu jouir d'une certaine faveur en des temps révolus, parce que les anciens mécanismes à vitesse lente pouvaient s'en accommoder sans trop de mal ; plus récemment, il s'agissait de moteurs d'avions ou d'engins de course pour lesquels la vidange du carter était de règle sitôt le parcours terminé. L'huile de ricin entre autres a été utilisée aux premiers temps de l'aviation pour les moteurs en étoile (Gnôme et Rhône, etc.), mais n'a pu maintenir sa vogue parce que dépourvue de stabilité et sujette à s'acidifier. Même inconvénient, à un degré plus grave, pour l'huile d'arachide. L'huile de palme n'y échappe point.

Il en est autrement de l'huile éthanolysée, mais les transformations chimiques dont elle a fait l'objet, l'apparentent plus à un carburant qu'à un produit de graissage. Elle n'en constitue pas moins un très bon lubrifiant pour les cylindres de moteurs et offre le précieux avantage de rester exempte d'acidité. Gardant son état

neutre, elle protège le métal en le recouvrant d'un *épilamen* de forte adhérence. La preuve en a été acquise lors des essais déjà relatés sur le circuit d'autobus Bruxelles-Louvain : les cylindres des moteurs lubrifiés à l'huile de palme ont résisté le mieux aux effets de corrosion. Reste à voir si ce produit sera d'un prix abordable.

En notre siècle des grandes vitesses, l'utilisation des huiles végétales naturelles (non converties) n'est plus de mise, même si elles ont subi un conditionnement préliminaire de filtrage et de neutralisation. Ces moyens ne suffisent pas à empêcher un processus ultérieur d'oxydation, dont résulte une recrudescence très rapide de l'acidité. Il se produit des phénomènes de polymérisation, générateurs de dépôts et cambouis, altérant les propriétés originelles. Sous l'action oxygénante de l'ambiance accélérée par les hautes allures de fonctionnement, l'acidification provoque un déplorable épaissement de l'huile. Même aux régimes censés lents de 300 tr/min de nos gros Diesels, ce risque est à redouter. Il subsiste toujours la possibilité de pratiquer des vidanges répétées à un rythme suivi, de manière à minimiser les inconvénients. Mais ce n'est plus une solution, du moins économique.

En bref, l'usage des huiles végétales serait dangereux et à exclure pour le service de durée normalement requis en exploitation industrielle ou de service public.

Des essais d'appropriation des huiles de provenance tropicale ont été amorcés en France vers 1942, pour la préparation d'huiles *compounds*, associant aux dérivés du ricin, formant base visqueuse, ceux de l'arachide comme base fluide ; ce coupage était suivi de polymérisation à chaud et dans le vide ; les produits ainsi obtenus, moyennant mélange en proportions adéquates, auraient procuré une gamme étendue de lubrifiants pour les diverses utilisations de force motrice : machines à vapeur, Diesels, moteurs à explosion [10]. Il est permis de manifester quelques scepticisme au sujet de la résistance en service de ces huiles *compounds*.

En alternative, une autre technique, également mise à l'étude en France, à la même époque de restriction obligée, consisterait à fabriquer des lubrifiants au départ de certains alcools lourds tels le butanol : cet alcool peut être obtenu par fermentation acétono-butylique de certaines substances végétales des tropiques, dont le riz ; il serait convertible en propylène par déshydratation, suivie de polymérisation catalytique, donnant naissance à la formation d'une série d'huiles de graissage ; les caractéristiques de ces huiles pourraient, est-il affirmé, se comparer à celles des meilleures huiles minérales [10]. Pareillement l'hydrogénation d'acétone, obtenu à partir d'alcool, peut produire du propylène condensable à l'état d'huiles en présence de chlorure d'alumine. Peut-être seraient-ce des possibilités à retenir... Mais tant d'autres s'offrent au choix : la synthèse chimique, si fertile en ressources, laisse le champ libre à de multiples produits également remarquables, mais auxquels il ne manque que les sanctions, si nécessaires, de la pratique et de la libre concurrence.

Les mérites des méthodes de traitement mentionnées n'ont pu se concrétiser dans des applications subséquentes, attendu qu'elles n'ont généralement pas franchi le seuil du laboratoire ni ne sont parvenues au stade de réalisations industrielles. Leur application en pays tropicaux appelle donc des réserves.

Des matières extractibles du sol congolais, à l'exception de l'huile de palme éthanolysée, seules les huiles minérales naturelles, en provenance des schistes, ou de synthèse à partir du charbon, demeurent en lice pour les nécessités du graissage. L'huile dégagée, comme nous allons l'exposer, par chauffage en cornues du schiste de Stanleyville, permet d'obtenir différentes fractions d'une composition assez semblable à celles tirées de la distillation du pétrole, et permettant de fabriquer des huiles de graissage. La production d'huile diélectriques pour transformateurs

peut être envisagée par raffinage au furfurool d'un certain distillat de *fuel-oil* produit par *topping* (distillation primaire) du brut ; ou encore par hydrogénation (à 200 atm. et 375° C), d'une huile de distillation de pétrole et traitement consécutif à l'acide. En Suède, on aurait obtenu des huiles d'excellente qualité [37]. Pour les transformateurs encore les huiles chlorées de synthèse, et les huiles de silicone pour le graissage ont été étudiées en Belgique dans les laboratoires de la SOFINA ; elles se sont révélées excellentes. Mais ce sont toujours des produits à importer au Congo.

N'importe quelle fabrication de carburants, y compris la synthèse gazeuse dont il sera traité plus loin, est apte à procurer une certaine quantité d'huiles lubrifiantes, en faibles proportions sans doute, mais les besoins du graissage n'atteignent jamais une ampleur. Tout un arsenal d'expédients peut d'ailleurs être mis à contribution dans les périodes critiques pour l'approvisionnement du pays en produits de graissage. Une latitude dont on dispose, par exemple, est d'améliorer la qualité des huiles au raffinage sur place, par incorporation d'additifs afin de corriger une fabrication douteuse. Des huiles végétales peuvent être ajoutées à des huiles minérales et le mélange soumis à un traitement électrique par effluves, suivant une méthode de fabrication belge dont les produits conquirent certain succès auprès de l'aviation des États-Unis.

En cas de pénurie, il ne faudrait plus négliger, d'autre part, les possibilités très appréciables, offertes par la régénération des huiles usagées. Le traitement sur terres absorbantes est une correction éprouvée de longue date ; sans être en mesure de revenir à la qualité de départ l'on parvient cependant à restituer un produit de propriétés assez rapprochées des valeurs originelles ; et l'emploi d'additifs — de provenance extérieure malheureusement — permettrait d'améliorer la situation comme ce

fut de pratique courante durant la guerre. Nombre d'ingénieurs répugnent à l'application de ces moyens pour des motifs purement subjectifs, relevant d'une certaine méfiance à l'égard de procédés inconnus. Un contrôle assez minutieux s'impose sans nul doute : mais il n'y faut consacrer qu'un minimum d'appareillage et de connaissances.

11. LES HUILES DE SCHISTE

Gisements.

Le sous-sol du Congo belge, nanti à foison de richesses variées, recèle des formations de roches bitumineuses d'origine sapropélieenne. Elles sont surtout nombreuses et développées dans la région équatoriale nord-est, précisément la moins accessible aux carburants d'importation. Du point de vue économique, cette localisation leur confère un intérêt particulier.

En 1909 déjà, ont été découverts dans la rivière Ussengwe, les premiers affleurements de schistes bitumineux et d'argilite disposés comme l'auréole d'un vaste dépôt d'âge mésozoïque, sis au bord de la cuvette centrale dans le quadrilatère Stanleyville-Bafwaboli au Nord, Ponhierville-Lubutu au Sud ; il chevauche sur le bassin fluvial du Lualaba et les cours inférieurs de ses affluents Lubutu et Aruwimi.

D'autres dépôts, rattachés au précédents, sont identifiés plus au Sud, en direction du centre de la cuvette, entre le Lualaba et le bas Lomami, ainsi qu'au nord de Stanleyville, entre les basses Tshopo et Lindi. Dans cette région, les prospections ont également révélé la présence de schistes bitumineux, au Sud de Buta, en bordure de l'Itimbiri [13]. Dans l'échelle stratigraphique, toutes ces formations de roches bitumineuses actuellement sont rattachées aux séries jurassique triasique inférieure du système continental du Lualaba-Lubilash, équivalent

du Karroo sud-africain ; elles forment le manteau supérieur du bassin congolais et correspondent encore aux couches subhorizontales des étages de Beaufort et Stomberg du Karroo.

Enfin au Bas-Congo, existe à Mavuma, dans la région dite du Mayumbe, une formation de sables bitumineux et de calcaires asphaltiques (c'est-à-dire imprégnés de bitume) appartenant à l'étage inférieur albien du crétacé. Ce dépôt se rattache au grand gisement de la côte occidentale du Centre africain, avec ses prolongements au Nord dans le Gabon, au Sud dans l'Angola ; son développement total n'atteint pas moins de 800 km. L'Angola possède les dépôts les plus productifs et contenant, outre les calcaires et grès bitumineux, une sorte de charbon asphaltique appelée « libolite » ; ce combustible très riche en matières volatiles (plus de 50 %) et imprégné de bitume en excès fait malheureusement défaut dans le Bas-Congo.

Pour la production d'huiles combustibles, le gisement des schistes bitumineux de Stanleyville présente un intérêt économique à la mesure de leur énorme superficie : d'après les plus récentes estimations, il s'étendrait sur 200 km en direction Nord-Sud et 100 km en direction Est-Ouest, soit 2.000.000 d'hectares. Entre Stanleyville et Ponthierville ont été inventoriées non moins de onze couches bitumineuses d'extensions, d'épaisseurs, de composition lithologique et de richesse variables.

La genèse de ces formations est indubitablement de caractère sapropélien : le dépôt est constitué par une accumulation, selon M. MERTENS de WILMARS d'animalcules, de microflore et de macroflore en état de décomposition intermédiaire, au stade de transition vers la formation du bitume vrai ; le processus définitif nécessiterait un niveau de température assez élevé (500 à 550° C) pour permettre le *cracking* des matières organiques, végétales ou minérales. Au lieu de bitume, il s'est formé

du kérogène, substance insoluble dans la benzine à l'opposé des bitumes, mais décomposable en fractions huileuses sous l'action de la chaleur. L'appellation de schistes « bitumineux » est donc impropre. Dans la libolite angolaise il s'agirait, au contraire, de bitume vrai saturant la roche et provenant d'une migration du pétrole des couches profondes venu au jour en s'y oxydant.

Essais et déterminations analytiques.

Des échantillons extraits du gisement dans la couche Minzaro-Kewe ont, d'après M. PASSAU [49], produit aux premières analyses sur le terrain (en 1911) des rendements de 80 à 120 l d'huile brute par tonne ; et aux essais semi-industriels 85 l/t. de goudron brut, soit 60 kg de goudron anhydre (ou 6 % en poids).

Au raffinage, ces huiles dégagent des crésols et sont exemptes de phénols.

Si les premières déterminations ne connurent pas de suites, le motif en tient exclusivement à l'insuffisance de débouchés locaux : à cette époque les besoins d'hydrocarbures étaient loin d'atteindre les niveaux élevés où ils se situent aujourd'hui. L'exploitabilité du gisement n'était pas en cause.

Dans la suite, une série de nouvelles expériences a été entreprise en 1936 et 1939 sous les auspices de la Commission des Carburants [28].

Les laboratoires de l'Université de Louvain et de la Faculté Polytechnique du Hainaut ont expérimenté des échantillons en provenance d'une extension du gisement, riveraine du Lualaba, sise au Sud-Ouest de Stanleyville et propriété de la Compagnie Minière du Congo belge.

La distillation des schistes a produit par tonne traitée : 11,5 m³ de gaz riche et 35/47 kg de goudron, dont le fractionnement par chauffage en four rotatif FISCHER donne en % :

huiles légères	(température de distillation inférieure à 200°C) :	24
huiles moyennes (» » » entre 200° et 300°C) :	30
huiles visqueuses (» » » supérieure à 200°C) :	36,5
brai dur		: 8,5

Les distillats huileux, instables, s'altérant à l'air et malodorants, devraient faire l'objet d'un raffinage au détriment de l'économie et du rendement de distillation.

Les résultats relatifs aux échantillons de la dernière provenance n'étant pas des plus brillants, vu la faible teneur en goudron brut (moyenne de 60/70 kg/t) et la mauvaise qualité des huiles de distillation, la Commission des Carburants a décidé de reprendre les essais suspendus au cours de la guerre et de les faire porter sur un plus grand nombre de nouveaux échantillons.

Des expériences récentes de distillation à caractère industriel ont eu lieu dans l'usine scandinave de Kvarntorp sur un lot de 200 t de schistes congolais. La Suède est abondamment pourvue de réserves de schistes bitumineux, mais d'une teneur (± 65 l/t) moindre que ceux de Stanleyville. Les techniciens suédois ont su tirer un excellent parti de ces ressources pour suppléer au manque de charbon. Aux États-Unis, le traitement des roches bitumineuses a fait également l'objet de recherches très poussées.

Traitement.

Le processus de traitement dont l'application est envisagée pour le Congo belge, comporterait une distillation dans des cornues verticales du système KVARNTORP, version nouvelle de la cornue BERGH et favorite des techniciens suédois.

Le chauffage du schiste bitumineux de Stanleyville en cornue KVARNTORP, a produit en premier lieu des gaz principalement composés d'hydrocarbures inférieurs du groupe acyclique saturé (ou paraffinique) : méthane, butane, propane. Le haut pouvoir calorifique (plus de

10.000 kcal/kg) de ces produits gazeux, correspond à une basse température de distillation avec, en revanche, une moindre quantité de gaz, vu l'absence de *cracking*. Secondement, l'on recueille un mélange d'hydrocarbures, constituant l'huile brute destinée à subir une nouvelle distillation. Suit enfin un résidu qualifié du nom impropre de « coke » ; en cet état la roche non fondue a gardé sa forme, mais est noircie par un dépôt charbonneux.

Le gaz de distillation est capté et comprimé pour livraison en bonbonnes aux fins de vente, comme pour le butane et le propane extraits du pétrole. Sous cette présentation, il jouit en Suède d'un marché lucratif en raison de la rareté des usines à gaz et de la dissémination des fermes ou des groupements agricoles.

Le rendement opératoire de la distillation du schiste congolais atteint en moyenne 100 l d'huile par tonne. Le traitement ne soulèverait plus de difficultés. Il est réalisable, comme l'a démontré M. le Professeur MERTENS, avec fermeture du bilan thermique au moyen du résidu solide obtenu [41].

La récupération de calories est tout à fait remarquable : le schiste introduit à la température extérieure sort du four à l'état de cendres également froides. La vapeur d'eau produite dans le faisceau de tubes régulateurs LA MONT de la batterie de cornues alimente la force motrice de l'usine dont les besoins s'élèvent à 1 t de vapeur à 30 Ata par tonne de schiste traité.

Propriétés — performances.

Les produits obtenus à partir des schistes bitumineux de Stanleyville offrent une remarquable similitude avec ceux fournis par distillation et raffinage des pétroles bruts. Ils sont exempts de phénols, ce qui représente une facilité au point de vue de l'épuration, mais contiennent des crésols également utilisables, en principe, pour la fabrication de résines genre bakélite ; mais cette application n'est pas prévue en l'occurrence.

Remarque digne d'intérêt : l'essence obtenue par distillation d'huile de schiste est utilisable en coupage : une expérimentation couronnée de succès a été entreprise durant la guerre à Madagascar, pour confectionner un carburant de remplacement par mélange avec l'alcool végétal.

A l'appui de ces résultats remarquables, le dernier rapport (novembre 1956) de la Commission des Carburants [42], a fait état de la possibilité de recueillir par simple distillation, outre du kérosène et du *fuel*, les deux fractions de carburant requises :

1° Pour moteurs à explosion : benzine utilisable d'emblée sans antidétonant ;

2° Pour moteurs à combustion interne : *Diesel-oil* de bonne qualité.

Bien que les hydrocarbures recueillis appartiennent surtout au groupe paraffinique, l'indice d'octane reste moyennement élevé parce que fonction, non seulement de la longueur, mais de la nature de la chaîne carbonée dans la molécule organique. Il peut d'ailleurs être relevé par appoint de P. T. E. Certes, il n'y a pas de perspective d'en obtenir un supercarburant, mais là n'est pas le problème : il s'agit de disposer d'un produit de remplacement d'efficacité garantie.

En France, on est parvenu à augmenter la proportion et la qualité des distillats de schistes (d'Autun) par voie d'hydrogénation catalytique, éliminant du même coup le soufre, si néfaste par ses effets corrosifs sur les organes des moteurs [38].

Le *cracking* permettrait en tout cas de relever le pourcentage de benzine de 15 % de l'huile brute jusque 40 %. Les indices octane et cétane des benzine et gasoil ainsi obtenus, s'avèrent comparables à ceux des produits dérivés du pétrole. Il ne s'agit donc plus de substitution, mais d'équivalence en carburant de qualité.

Perspectives.

Jusqu'à échéance de 10 à 20 ans au moins, nous demeurons dans l'ère des machines motrices à combustion interne-Diesels et turbines à gaz. Il est permis d'en induire que l'érection d'une unité-pilote serait opportune afin de s'assurer d'une éventuelle rentabilité du système : pour une capacité de production journalière de 10 m³ d'huile, le coût en est estimé par la Commission entre 25 et 30 millions de francs. Aux États-Unis, où le coût de l'essence de schiste s'est longtemps maintenu à près du double de celui de l'essence de pétrole, nous voyons néanmoins se développer la contribution des huiles de schistes dans le bilan énergétique des États-Unis, terre de prédilection des ressources pétrolières ; il en est de même dans d'autres contrées du globe.

Au Congo, une première tranche d'usine, établie sur la base de données d'exploitations existantes, pourrait constituer le noyau d'une industrie peut être appelée à prendre rang parmi les grandes activités industrielles du pays. Ce serait un premier pas dans la voie de la valorisation des schistes bitumineux, minéraux précieux comme ressources indigènes en combustible liquide. A l'opposé des huiles végétales, dont le conditionnement serait moins avantageux sans doute et complexe, les distillats de schiste constitueraient des carburants de choix, interchangeables avec ceux du pétrole, et non des succédanés plus ou moins appropriés aux exigences de la motorisation.

C'est une raison de plus de lui réserver la faveur, même à titre temporaire, de simple combustible de remplacement. Aussi, corroborant ce point de vue, la Commission des Carburants vient-elle de se prononcer par un verdict décidé en faveur de la valorisation des schistes bitumineux, considérés comme la meilleure source indigène de carburants liquides. L'huile de palme reste handicapée par sa cherté actuelle et demande une appro-

priation. Au contraire, l'huile de schiste est intrinsèquement dotée des propriétés voulues pour les applications des moteurs dans la technique coloniale. Elle remplit au mieux les conditions énoncées pour un carburant de remplacement par les experts de la Commission.

Une dernière condition, mais non limitative, serait de sacrifier à l'urgence d'un moyen de secours temporaire, les mobiles d'économie d'une période normale. En conséquence le fardeau des frais d'étude et d'investissement pourrait licitement être mis à charge de la collectivité, afin de remplacer ou de suppléer l'initiative privée. Mais l'extraction de l'huile de schiste libérerait peut-être l'économie congolaise de cette hypothèse : car sous toutes les réserves d'usage concernant les hausses de salaires, les taux d'intérêt, etc., une certaine rentabilité ne doit pas être exclue. Mais toute médaille a son revers et il faut raisonnablement convenir sous ce rapport de la nécessité d'immobilisations considérables pour l'implantation à l'équateur d'une industrie de traitement des schistes. L'élaboration de l'huile combustible en cycle hydrogénéant est fort onéreuse et le rendement à l'extraction reste faible. Ces diverses incidences surchargeront le prix de revient. En conséquence, le problème sera de déterminer si le juste prix de vente pourra s'établir à parité avec celui des carburants d'importation.

12. LES HYDROCARBURES DE SYNTHÈSE

Objectifs visés.

Un nouveau conflit mondial, ou toute cause importante de pénurie, aurait pour conséquence immédiate au Congo belge, ainsi qu'en d'autres régions du monde, la mutation des carburants liquides importés au profit de ceux de remplacement. Comme source de force motrice susceptible d'assurer la relève en pareille éventualité, les

hydrocarbures synthétiques ont donné en Europe la preuve de leur importance. Même en période normale, toute possibilité de substitution de carburants minéraux indigènes aux produits pétroliers de provenance étrangère revêt, pour l'économie congolaise, un éminent intérêt. Les importations de *gasoil* et d'essence amputent, par des sorties de devises, le solde actif de sa balance commerciale.

C'est sous l'empire de nécessités autarciques et de préoccupations stratégiques imputables à l'absence de ressources pétrolifères, que l'industrie des carburants de synthèse a été conçue et développée en Allemagne dès 1926. Les États-Unis ont suivi la voie pour d'autres mobiles d'ordre national : l'épuisement graduel de leurs ressources pétrolières, et la valorisation de leurs gisements charbonniers afin de faire face à la concurrence des combustibles liquides.

Si, au Congo, l'emploi de l'huile de schiste — réserve faite d'une rentabilité restant à démontrer, — semble justifiable par des arguments propres à emporter l'adhésion, il ne faut pas se désintéresser davantage des combustibles artificiels productibles sur place. Sous la condition *sine qua non* de s'avérer exploitables économiquement, trop de ressources naturelles ne sauraient être mises à contribution pour maintenir et renforcer le potentiel producteur.

Or, le minerai de carbone est devenu, par voie de gazéification, la base d'un potentiel très important par lui-même, celui de la valorisation chimique. Les récentes acquisitions de la chimie des synthèses catalysantes, ont permis d'édifier des centrales de carbonisation sur lesquelles s'articulent, en une vaste chaîne productive, les cycles complexes de reproduction des divers constituants et dérivés du pétrole. Les prodiges sans nombre de la pétrochimie sont réalisables à partir d'une seule matière première : le charbon, avec deux autres éléments de base

simples et communs : l'air et l'eau. Aussi n'est-il pas surprenant de voir les dérivés organiques retenir de plus en plus l'attention des gouvernements avisés. Ils sont devenus des instruments d'autarcie des nations.

Pour de telles fins, le potentiel productif de la carbochimie l'emporte sur celui de la pétrochimie. Aux dérivés de synthèse produits à partir des gaz de pétrole ou de complexes liquides, la chimie du charbon vient ajouter une chaîne impressionnante d'autres fabrications variées : outre les produits pétrolifères de synthèse (déjà au nombre de 2.000), y figurent les composés ammoniacaux (engrais azotés, explosifs, plastiques, etc.), les dérivés oxydés (série des alcools), et toute la gamme offerte par la chimie additive des hydrocarbures complexes (matières plastiques, caoutchoucs synthétiques, etc.) [35].

Un système économique basé sur le charbon, présente également une efficacité supérieure à celle d'un système tirant ses ressources de la houille blanche : car il procure une double disponibilité de gaz hydrogène et d'hydrocarbures, tandis que la décomposition électrolytique de l'eau peut seulement livrer de l'hydrogène, et ce, au prix d'une dépense énergétique de 10 à 12 fois supérieure (± 6 kWh/m³). Ceci dit sans préjudice de l'intérêt de semblable ressource naturelle, là où elle abonde.

De telles possibilités à l'actif du carbone minéral comme produit de départ, ne manquent pas d'apparaître séduisantes. Et l'on voudrait se donner l'assurance d'être en mesure de les matérialiser dans nos territoires d'outre-mer.

Conditions de départ.

A Greinerville, aux abords de la profonde dépression formée par le lac Tanganyika, le bassin houiller se développe sur plusieurs centaines de km² de part et d'autre de la Lukuga, émissaire du lac. Dans notre brève description précédente, nous avons souligné les caractères de ce

gisement à le fois deltaïque dans ses contours irréguliers, et juvénile dans sa formation par subsidence.

Ces particularités géologiques nous font saisir le pourquoi de la composition non cokéfiante du charbon de Greinerville, avec des teneurs de $\pm 30\%$ en matières volatiles, et de $\pm 30\%$ en cendres très fusibles. Le combustible, d'âge permien-triasique, serait assimilable plutôt à un lignite qu'à une véritable houille, comme celle des anciennes assises primaires de notre Carbonifère d'Europe occidentale. La composition d'une houille conditionne ses propriétés : le pouvoir calorifique est faible (P. C. I. = 4.700 kcal/kg), en raison de l'abondance des cendres ; et celles-ci avec leur fusibilité élevée s'opposent à la cokéfaction du combustible ; de même à la combustion sur grille, par suite d'une formation de mâchefer. Il serait malaisé, eu égard à la nature de telles cendres, d'épurer le charbon par voie de traitement sous liqueur dense et autres procédés mécaniques ou pneumatiques. Par contre, la réactivité du charbon de Greinerville, et par suite sa combustibilité sous forme pulvérisée, ainsi que son aptitude à la gazéification, sont parmi les meilleures. La démonstration en est d'ailleurs fournie en permanence à la Cimenterie d'Albertville dont les fours rotatifs parviennent à brûler ce charbon avec d'autant plus d'efficacité qu'il procure, par ses cendres, un apport d'alcalins bénéfique pour la composition du ciment.

Aussi bien ces raisons ont-elles motivé la réouverture du charbonnage. Le gisement, quoique découvert en 1911, ne fut mis à fruit qu'en 1924 par le concessionnaire, la GÉOMINES, mais fermé à plusieurs reprises pour diverses raisons : la composition cendreuse du charbon le rendant impropre à de nombreux usages, l'insuffisance de débouchés locaux, et la charge prohibitive d'un transport vers les centres de consommation éloignés.

Une perspective de valorisation de cette réserve charbonnière par le truchement d'une production d'éner-

gie électrique, n'a pas été retenue par le Gouvernement du Congo belge ; la préférence s'étant portée sur l'érection d'une centrale hydroélectrique au fil de la Kiyambi pour alimenter la région d'Albertville et le Ruanda-Urundi.

Dans le but d'éviter l'abandon définitif de cette richesse naturelle, un Syndicat d'études de la Lukuga a été mis sur pied en janvier 1952 avec mission de rechercher les possibilités de valoriser le charbon par voie de synthèse des carburants liquides : à défaut de production, la plus rationnelle, d'énergie électrique, la seule issue possible restait la conversion en énergie noble sous forme gazeuse à des fins chimiques. Bien que la convenance des houilles de compositions peu variées du gisement de Greinerville ait soulevé quelques doutes, des spécialistes la tiennent pour acquise. Des essais de gazéification, effectués en Europe sur un lot de plusieurs centaines de tonnes, ont prouvé qu'elles conviennent pour la production du gaz de synthèse. Intrinsèquement, ce combustible présente des propriétés le rendant apte à une valorisation chimique : grande capacité réactionnelle, teneur élevée en matières volatiles et en goudrons, et néanmoins absence de pouvoir agglutinant.

Quant aux disponibilités, elles s'avèrent amplement suffisantes : la délimitation des réserves totales du gisement reste à faire ; une petite partie seulement a été prospectée avec précision et chiffrée à ± 50 millions de t ; mais les géologues ont estimé les réserves probables à plusieurs centaines de millions de t. Deux ou trois des cinq couches reconnues se présentent dans des conditions favorables d'exploitation : grande ouverture (en moyenne ± 2 m et 1 m,20), pendage faible (7 à 8°), autorisant la mise en œuvre de moyens d'extraction modernes.

Débouchés.

En conclusion de ses études, le Syndicat a proposé d'opter pour l'installation d'un complexe chimique, axé

en ordre principal, sur la production de carburants liquides : essence, *gasoil*, huiles ; à titre subsidiaire sur des fabrications d'engrais azotés, de goudron pour revêtement de route, et de divers composés chimiques.

Quelles sont les perspectives offertes à ces produits ? Elles semblent les meilleures pour les carburants de synthèse dont les territoires d'outremer ont un besoin croissant. Un débouché d'environ 40 % de leurs besoins totaux en carburants liquides serait acquis dans les seules régions de l'est, formant la zone d'influence normale. Les probabilités d'exportation sont à exclure en raison de l'éloignement des côtes. La situation d'Albertville comme nœud de lignes ferroviaires, est un facteur d'intérêt certain. Les engrais azotés seraient de la plus haute utilité pour le bilan agricole moyennant mélange à d'autres principes fertilisants (Ca, K, P...), dont les sols du centre africain sont quasiment dépourvus. L'écoulement de ces produits sur le marché congolais n'est réalisable graduellement, qu'à condition d'obtenir des prix compétitifs et d'orienter le paysannat indigène vers l'utilisation des fumures minérales pour son meilleur profit et pour celui de l'économie du pays : la « loi du minimum », axiome premier de l'agronomie, exige, pour la vitalité des plantes, des teneurs limites de chaque minéral Ca, K, P, N...

Au goudron routier, s'il n'est pas trop cher, est réservé un vaste champ « d'épandage ». Un débouché restreint s'offre encore à quelques sous-produits intéressants de la transformation synthétique du charbon : solvants et peintures, dérivés des goudrons, produits d'imprégnation des bois, insecticides..., dont la production serait assurée par de petites industries locales, gravitant autour du complexe de carbonisation-synthèse.

Rentabilité.

Après s'être penché sur le problème primordial du débouché, il faut aborder deux autres problèmes-clés dont la solution conditionne l'avenir du projet :

1° La détermination d'un prix de revient-limite du charbon ;

2° Le choix du procédé de synthèse.

Sur le premier point, il y a unanimité d'accord entre les spécialistes intéressés, pour exiger un prix de revient inférieur à 100 F par tonne de charbon ; il faudrait même comprimer ce coût au voisinage de 75 F, afin de garantir un prix de vente compétitif pour l'essence artificielle.

Où les divergences s'accusent, c'est quant à la possibilité d'atteindre pareil niveau. Sous toutes les latitudes, des charges de plus en plus accablantes ne cessent de s'appesantir sur l'extraction charbonnière. Le recrutement d'une main-d'œuvre astreinte au labeur si pénible de la mine, postule l'octroi de substantiels et justes avantages sociaux, outre l'intensification de la salubrité et de la mécanisation du travail.

La référence des houillères d'Afrique du Sud a été invoquée : le prix courant du charbon brut vers 1951-1952 n'y excédait pas 50 F la tonne, et des chiffres très inférieurs ont été mis en avant. Des coûts aussi bas ne peuvent être obtenus qu'à la faveur d'une mécanisation intensifiée au dernier degré. Au charbonnage de la société sud-africaine CLYDESDALE COLLIERIES, l'ouverture des couches atteint 3 m et a permis dans cet important bassin l'application de procédés ultra-modernes : le havage, l'abattage à l'explosif, le chargement et le transport sont mécanisés à cent pour cent ; l'eau et le grisou, ennemis traditionnels de nos mineurs, n'y sont jamais à redouter. Ces conditions se situant à l'antipode de celles imposées par la nature à nos anciennes mines du bassin de Wallonie, ont permis d'abaisser le coût de la tonne de houille vers 25 F.

Néanmoins, le puissant complexe synthétique de la SASOL, alias COAL OIL AND GAZ CORPORATION LTD, édifié à Sasolburg, près de Johannesburg, et entré vers 1952 en

activité, n'a pu encore atteindre le *break-even point*, c'est-à-dire un état normal d'équilibre financier.

Ces installations construites avec l'appui pécuniaire du Gouvernement d'Afrique du Sud, et la collaboration de puissants groupes des États-Unis, ont coûté jusqu'à ce jour 50 millions de £, soit environ 7 milliards de F B. Elles sont destinées à pourvoir aux besoins de l'Union Sud-Africaine, à concurrence de 20 % de leur consommation en dérivés pétroliers, outre une gamme étendue de produits chimiques. Les calculs de rentabilité portaient sur des prévisions de production annuelle de 150.000 t en carburants.

Choix d'une technique.

En ce qui concerne le choix du procédé de synthèse, à la SASOL, deux techniques de fabrication sont appliquées parallèlement, toutes deux dérivées d'ailleurs du processus de synthèse catalysante en phase gazeuse, universellement connu sous le nom de procédé FISCHER-TROPSCH.

En l'occurrence, les spécialistes n'ont pas retenu le procédé BERGIUS — le premier en date, — réalisant l'hydrogénation catalytique des houilles et goudrons par l'hydrogène moléculaire. Cette méthode de synthèse reste affectée de sévères difficultés technologiques : il faut opérer sous des pressions et températures fort élevées (jusqu'à 480° C et 700 atm.); en outre, il est difficile d'évacuer, des réacteurs, les matières non liquéfiables (cendres, asphalte, catalyseur) et de récupérer l'huile combustible dont elles sont imprégnées [56]. Cette technique reconnue la plus coûteuse semble n'avoir pas d'avenir.

La synthèse FISHER-TROPSCH procède par des voies fondamentalement opposées : les hydrocarbures ne sont plus produits par une hydrogénation désintégrant des composés organiques à haut poids moléculaire, tel le

charbon, le goudron, etc., mais à partir de la recombinaison de molécules simples : hydrogène et oxyde de carbone ; leur mélange appelé gaz de synthèse est converti, en présence de catalyseurs de haute activité, à l'état de carbures d'hydrogène, avec production résiduelle d'eau et d'acide carbonique. Les conditions de pression et de température sont modérées (350° et 25 atm. au maximum).

La synthèse directe, à partir de mélange gazeux, se caractérise par une extrême souplesse et se prête à la production d'une gamme très diversifiée de carburants, alcools et lubrifiants. L'opération s'effectue directement sur un mélange gazeux 50 % H — 50 % CO, dont la génération à l'état de haute pureté nécessaire pour la catalyse, est réalisée par un procédé autothermique et continu.

Observons incidemment que, dans l'éventualité d'une telle installation à Greinerville, la fabrication de gaz à l'eau devrait être exclue : la houille du bassin de la Lukuga, rappelons-le, n'est pas apte à la cokéfaction, en raison de la fluidité de ses cendres, outre leur teneur élevée dont ne pourrait en tout cas résulter qu'un coke de mauvaise qualité. Or, le choix du procédé de gazéification doit être adapté aux caractéristiques du charbon disponible.

Une autre technique, dont l'application se situerait en dehors des voies normales, consisterait dans une *gazéification souterraine* pratiquée à même le gisement. Le charbon de la Lukuga présente des caractéristiques très propices parce que cendreux, riche en produits volatils et non cokéfiant. Ce procédé de valorisation de gisements médiocres dont l'illustre MENDÉLÉEF fut le promoteur et RAMSAY un non moins éminent protagoniste, a connu d'intéressantes applications en U. R. S. S. où, en 1933 déjà, des essais étaient entamés à Gorlovka. D'autres références sont à citer : les charbonnages de Missouri

et ceux de l'Alabama Power à Gorgas, aux États-Unis ; Chesterfield, en Grande-Bretagne ; de même en Italie, au Maroc ; et en Belgique, avant 1940, au siège de Bois-la-Dame près de Liège.

Divers procédés de gazéification *in situ* ont fait l'objet de recherches suivies ; et pour enrichir le gaz, la substitution à l'air d'un courant d'oxygène additionné ou non de vapeur d'eau, a procuré des résultats effectifs. Les dernières méthodes procèdent par sondages d'entrée et de retour de l'air, avec allumage électrique par résistances descendues au fond des trous forés.

Le gaz produit par la mine gazogène s'avère trop pauvre. Le pouvoir calorifique d'ordinaire ne dépasse pas 800 à 1.000 calories par m³ et peut tomber vers 400 calories, bien qu'en U. R. S. S. le chiffre de 3.000 calories ait été atteint.

D'autres fois les gaz combustibles, issus des parois en ignition, prennent feu au contact de l'air en excès, à leur approche du trou de sonde et sont dès lors perdus pour la captation. L'affaissement du toit et le bombage du mur peuvent contrarier l'action de l'air, asservie du reste à l'influence d'autres facteurs multiples : structure du gisement disposition des couches, profondeur, résistance des terrains encaissants, nature du charbon, etc.

Le gaz recueilli peut présenter des différences de composition selon développement des processus très complexes, soit de gazéification totale, soit de carbonisation ou semi-carbonisation avec toutes les phases intermédiaires.

En résumé, malgré d'indéniables réalisations, trop d'inconnues continuent à entacher les résultats des expériences en cours. Le rendement opératoire serait trop sujet à caution pour l'objectif visé. Il s'agit d'une jeune technique, encore à la recherche d'une voie sûre ; il a été jugé expédient de ne pas s'y aventurer avant d'avoir affermi une expérimentation qui n'a pas reçu la sanction suffisante du temps.

Variantes.

Revenant à la synthèse gazeuse, nous observerons qu'elle a fait l'objet depuis son invention par FISCHER et TROPSCH en Allemagne, d'une refonte quasi totale de ses concepts opératoires : la rénovation s'étend de la gazéification du combustible même au graitement des produits finis. Les moyens constructifs se sont aussi améliorés. Par suite, une multiplicité de variantes s'offre au choix des intéressés et le champ reste ouvert à la controverse.

La gazéification selon divers procédés (LURGI, KOPPERS...), au moyen de vapeur et d'oxygène, a été rendue praticable même pour des charbons de qualité inférieure, tels ceux du bassin de Greinerville à traiter sous forme de fines. De plus, le coût de l'oxygène, élément important du prix de revient, a été réduit dans une forte mesure par l'application du cycle LINDE en basse pression (6 atm.) suivant le procédé FRANKL [56]. Or, l'économie de la synthèse FISCHER-TROPSCH dépend, à concurrence de 60-70 % du prix de revient, d'un abaissement des coûts de gazéification et d'épuration.

Pour la synthèse proprement dite, c'est-à-dire la production de carburants liquides par catalyse des gaz, deux techniques modernes s'affrontent, l'une et l'autre appliquées dans les installations de la SASOL.

D'une part, le procédé allemand, classique, de catalyse « en lit fixe » ; d'autre part, nous rencontrons la technique, nouvelle, de catalyse « en lit fluide » dérivée de l'industrie pétrolière.

Il faudrait encore signaler une troisième méthode, celle de catalyse « en phase liquide » (un bain d'huile contenant le catalyseur et où viennent barboter les gaz) ; elle n'a pas été adoptée au Transvaal : très simple et se prêtant le mieux au transfert de calorique et à son contrôle, elle est, par contre, d'une efficacité moindre [56].

Bien que livrant une forte proportion de gaz/diesels-oils, le procédé allemand permet d'obtenir par *cracking* de paraffines lourdes et par polymérisation, un supplément d'essences légères et d'élargir la gamme de dérivés ; pratiquement, il est possible d'en obtenir toute la série des produits du pétrole.

Le procédé américain ne s'y prêterait pas ; il fournit principalement des essences. La valorisation en essence ou en gaz/diesels-oils reste fonction de l'économie du procédé.

Agissant comme pionnier en quelque sorte, et sous l'influence aussi de mobiles autarciques, l'on s'est efforcé de réaliser les conditions économiques les plus avantageuses. Mais admettre un dualisme des systèmes de synthèse, c'était s'exposer au dédoublement des risques et des mises au point de deux techniques différentes. Les résultats de cette expérimentation comparative sont suivis, avec une attention soutenue, par les techniciens belges, car leur confrontation ultérieure sera pleine d'enseignements : elle permettra de décider laquelle des deux techniques prévaut.

Perspectives.

Sans préjuger de cette sélection à plus ou moins longue échéance, il faut, dans l'immédiat, considérer le problème de viabilité de l'industrie des carburants synthétiques comme dominé par le coût de la matière de base : à raison de 3,5 dollars la tonne aux États-Unis, le charbon intervenait pour 30 % environ dans le prix de l'essence FISCHER-TROPSCH. L'incidence de ce prix de revient sur la rentabilité résulte de la proportion importante de charbon requise, compte tenu de la production de vapeur et d'énergie pour les besoins de synthèse ; à présent, elle atteint encore neuf fois la quantité d'essence et de sous-produits à obtenir en partant d'une qualité de charbon (± 4.700 kcal/kg) telle que disponible à Greinerville. Ce

chiffre est à rapprocher du rapport normal 6 correspondant à un charbon moyen de p.c.i. égal à 6.500 kcal/kg. Les spécialistes sud-africains, consultés par le Syndicat congolais de la Lukuga, concluent, de leur expertise, à un prix de revient prévisionnel de 60-75 F/t. Mais cette limite, qui a rendu possible la réalisation sud-africaine avec l'apport de perfectionnements, peut s'avérer fort douteuse dans les conditions rencontrées à Greinerville.

Les nécessités d'une production de masse pour l'approvisionnement du complexe de synthèse à édifier sur le charbon de Greinerville, entraîneraient l'introduction au Congo de méthodes d'extraction en couches épaisses au moyen d'outillages mécaniques perfectionnés, tels qu'utilisés aux États-Unis et en Afrique du Sud. L'expérience ferait défaut sur place pour l'application de ces techniques à grande productivité. Le gisement de la Lukuga est désavantagé pour diverses causes : déclivité des couches, dérangements dûs aux accidents de terrains, venues d'eau... L'exploitation s'y présente aussi dans des conditions moins favorables qu'à Sasolburg, sous le rapport du recrutement d'une main-d'œuvre qualifiée autochtone et de la cherté du personnel européen. Le problème salarial s'y présente sous un jour différent.

Si, à l'importance près, il existe une profonde similitude entre le programme d'érection à Greinerville d'un centre carbochimique et celui appliqué à SASOL, l'assimilation complète des moyens de production risquerait néanmoins de fausser l'optique du projet.

Assurément les possibilités des fabrications de synthèse centrées sur la chimie du charbon sont-elles illimitées, et leurs perspectives économiques semblent devenir meilleures. Mais l'abondance de sous-produits peut signifier une perte de rendement, si leur valorisation postule l'établissement d'industries connexes. C'est le cas des divers dérivés oxygénés (alcools, aldéhydes, cétones, acides ; outre des hydrocarbures supérieurs : paraffines,

propylène...). En Afrique centrale, un problème de la valorisation à grande échelle est justement de trouver un exutoire pour les sous-produits obtenus, dont les composés oxygénés (principalement l'alcool éthylique) en proportion de 6 à 12 %, suivant le procédé mis en œuvre. Une industrie chimique de transformation, greffée sur celle des carburants de synthèse, est nécessaire pour extraire de ces sous-produits différents dérivés commerciaux.

Pour placer le problème dans ses perspectives exactes, il s'agit encore de définir, en toute certitude, les conditions rendant viable une industrie des combustibles liquides de synthèse, et c'est l'autre aspect du diptyque : s'assurer la disponibilité de matières idoines en quantité suffisante, et — critère crucial — d'un prix acceptable.

En dépit de sérieux perfectionnements intervenus dans la fabrication des carburants synthétiques les rendements de conversion demeurent assez faibles : 260 g d'hydrocarbures par m³ de gaz. Près des 2/3 de l'énergie totale des matières élaborées se dissipent en cours de fabrications. Il ne faut pas perdre de vue que le prix de l'essence synthétique s'est toujours maintenu à un niveau non compétitif vis-à-vis du coût de l'essence naturelle ; il ne sera en mesure d'y accéder qu'à la suite d'une augmentation du rendement à la conversion et de progrès techniques. Même aux États-Unis, l'intérêt d'une production de carburants artificiels demeure commercialement douteuse, malgré l'échelle de traitement expérimentée. Or, un potentiel élevé de production est une exigence fondamentale. Dans l'avenir, cependant, les perspectives de marché s'élargiront au bénéfice des combustibles de synthèse au fur et à mesure de l'épuisement des ressources pétrolifères et de l'aggravation des frais de sondages.

Un autre point auquel il faut prendre garde c'est que la technique de la carbochimie demeure en constante

évolution. Un nouvel examen du problème pour le Congo est entrepris par la Société des Charbons de la Lukuga qui a succédé au Syndicat d'études déjà cité. Cette société, créée au capital de 42 millions de francs, bénéficie de l'aide gouvernementale ; elle groupe aussi des entreprises et organismes importants du Congo et de la Métropole.

D'autre part, la Commission des Carburants du Ministère du Congo belge et du Ruanda-Urundi continue de s'intéresser à la question. Dans ses conclusions rendues publiques par une récente plaquette, elle admet l'adoption de l'une ou l'autre des méthodes de synthèse en phase gazeuse appliquées à Sasolburg, mais en témoignant d'une sagace réserve. Les immobilisations à prévoir pour l'édification d'un vaste appareil technique de synthèse apparaissent considérables.

L'industrie des hydrocarbures synthétiques est avant tout une industrie de capitaux et requiert une cadence d'amortissement rapide. Comme en Afrique du Sud, l'intervention du gouvernement serait requise, et justifiable d'ailleurs par diverses considérations d'intérêt national. Suivant une remarque pertinente de la Commission, le planning pour la simple extension d'une première usine-pilote, et a fortiori, pour l'édification d'un complexe de synthèse, implique des délais inadmissibles pour un remplacement d'urgence des hydrocarbures d'importation.

Le coût de la matière première reste encore et toujours un facteur essentiel, comme celui des investissements, plus onéreux au Congo. Cette lourde inconnue domine ici tout le problème ; quel sera le prix de revient effectif du charbon de Greinerville en production courante ? Pour l'établir sur des bases économiques, il faudrait exploiter le gisement selon une technique rationalisée de production massive. Mais le manque actuel de débouchés et les difficultés de transport rendent le charbon invendable.

En définitive, il a été convenu de surseoir à toute déci-

sion dans l'attente des résultats couvrant une durée d'exploitation suffisante des usines de la SASOL.

Dans une voie ardue et parsemée d'embûches, la circonspection est de mise...

Considérations générales au sujet des carburants locaux.

Importance du problème.

Les territoires belges d'outre-mer ne produisent, jusqu'à ce jour, aucun carburant liquide ni lubrifiant et sont astreints, en conséquence, à d'onéreuses importations. Ils demeurent assujettis aux menaces de troubles extérieurs susceptibles de communiquer un aspect aigu et périlleux à cet état de carence permanent. L'étendue des routes maritimes de ravitaillement représente un facteur d'aggravation des risques et, aussi, de surcharge des sorties de devises.

Des événements de fraîche date sont venus conférer un regain d'actualité à ces préoccupations. L'on ne saurait perdre de vue l'intervention obligée et croissante des transports routiers dans les circuits intérieurs d'approvisionnement du Centre-africain ; il en résulte un état d'asservissement vis-à-vis des importations de carburants minéraux, dont la répercussion atteint par une corrélation immédiate les autres formes de transport motorisées, les centrales diesels et les chantiers mécanisés. La consommation des produits pétroliers devient de jour en jour plus intensive. A l'ancien slogan « le charbon est le pain de l'industrie », s'en est substitué un autre, plus général, « le pétrole est le sang de l'organisme économique, animant toutes les formes d'activité : industrie, agriculture, transport » [48]. Comme en Europe, une suspension quelque peu prolongée dans l'acheminement des carbures pétroliers aurait tôt fait d'engendrer l'asphyxie de ces activités vitales, tant économiques que stratégiques. Un chômage étendu ne tarderait pas à s'en suivre.

Et ce serait se méprendre singulièrement à ce sujet de supposer le Congo belge favorisé du point de vue géographique pour les arrivages de produits pétroliers en provenance du Moyen-Orient. Étant donné l'absence actuelle de raffineries dans l'Afrique centrale, ces produits doivent être importés en majeure partie d'Europe méridionale, et pour le reliquat, des Antilles ; à titre exceptionnel d'Aden ou d'Abadan. Sous ce rapport, le détour par le Cap situe Matadi plus loin que les ports d'Europe Occidentale. Or, c'est d'une lumineuse évidence, l'économie des frets conditionne l'orientation des courants de trafic.

Le maintien en état d'activité des services internes de transport constitue donc une exigence prioritaire entre toutes. Cela signifie, en termes concrets, l'obligation absolue de s'affranchir des suites désastreuses d'un ralentissement ou d'un arrêt dans les apports extérieurs de carburants par une prompte intervention des produits de remplacement, pour la traction routière en particulier. Des plans doivent être établis pour assurer par anticipation la disponibilité d'un tonnage représentant le minimum vital requis pour garantir le maintien des diverses activités en période critique de façon à libérer le Congo des importations d'hydrocarbures. Dans les temps de paix, la considération de l'économie prime ; les transports doivent s'effectuer au plus bas prix.

Possibilités locales.

Nous venons de passer en revue, dans le détail, les principales réserves énergétiques du Congo aptes à garantir la satisfaction de ses besoins vitaux en combustibles liquides. Résumons en quelques traits la situation.

Pour la fourniture des carburants de sécurité, certaines perspectives s'offrent à la valorisation des ressources végétales. Parmi celles-ci, le charbon de bois, source d'énergie précaire, tend à être délaissé en période de

quiétude politique pour des raisons d'inconfort ou de renchérissement progressif. Mais aux yeux de certains spécialistes il offrirait de réels mérites justifiant son adoption, dans certaines situations particulières ; du moins un retour à ce moyen de fortune dans les temps difficiles marqués de bouleversements mondiaux comme nous en avons connus. Le gaz pauvre offre cet avantage de procurer une autonomie totale et d'être immédiatement disponible pour relayer l'essence défaillante. Grâce au carburant solide, l'A. O. F., pour ne citer qu'un exemple, parvint à s'éviter les effets calamiteux d'une sclérose de ses transports : des chantiers de carbonisation alimentaient des postes de ravitaillement répartis le long des routes à intervalles de 200 km. Leur gestion était assurée à bon compte par les soins de coopératives indigènes, comme il en existe au Congo dans d'autres domaines d'activité. Une situation analogue s'observe en Indochine [10].

S'il n'est pas recommandable de faire appel aux réserves de la flore forestière du bassin congolais pour des raisons longuement développées, il ne faut préjuger de rien ; en temps de crise, le recours à des moyens extrêmes ne peut pas toujours être frappé d'exclusion : nécessité fait loi. Et la diffusion du patrimoine forestier à la portée de tous dans la plus grande partie du territoire congolais est un facteur susceptible de jouer au profit du gazogène.

Pour satisfaire les besoins additionnels normalement couverts par le pétrole d'importation, il resterait encore la ressource de s'adresser aux produits de plantations indigènes (cultures annuelles ou multiannuelles). Mais l'on ne saurait se dissimuler la nuisance de l'accaparement d'une main-d'œuvre, déjà rare, au détriment des cultures vivrières.

A l'exception des fibres dont la cellulose est convertible en carburants alcooliques, les autres productions

végétales représentent un potentiel diététique de très haute valeur pour l'alimentation humaine qui devrait être sacrifié à la production de force motrice. Sous ce rapport les carburants oléagineux d'ailleurs handicapés par leur assez faible rendement énergétique ; les combustibles ligneux et notamment le bois, prévaudraient de loin sur les huiles indigènes, à en juger par les chiffres suivants avancés par M. BOINVILLERS [10] pour la production en chh par homme et par jour : maïs 4, arachide 7, manioc 27, bois 50 (carbonisé sans récupération). L'huile de palme manque malheureusement à cette comparaison ; or nous en avons représenté la haute valeur technique autant qu'énergétique, sous forme alcoolysée surtout. Le *gasoil* végétal s'est révélé un outil de travail efficient. Il reste toutefois à mettre au point, à concrétiser dans la pratique, les modalités de son utilisation courante ; et... surseoir jusqu'à une chute sensible des prix, nullement souhaitable par ailleurs pour la stabilité de l'économie congolaise. Le prix plafond de l'huile végétale est fixé par le coefficient de perte de puissance correspondante et doit, par conséquent, demeurer inférieur de 80 % à celui de l'huile lourde minérale. Dans les conditions actuelles de marché, le prix de l'huile de palme se maintient à des niveaux inaccessibles. Les grandes huileries elles-mêmes n'en ont jamais pu faire usage pour la production de force motrice, même aux plus sombres périodes de crise. Elles disposent d'ailleurs de déchets combustibles à suffisance.

Les latitudes d'emploi de l'un ou l'autre carburant végétal indigène comme source d'énergie sont circonscrites à un secteur d'application étroitement défini. Assurément, les productions végétales susceptibles de mise en valeur comme matériaux de base pour la fabrication des carburants alcooliques ou alcoolisés, pullulent en Afrique équatoriale : elles recèlent un indéniable potentiel productif. Mais chacune d'elles ne saurait apporter qu'une

solution fragmentaire au problème des carburants : dans leur état naturel, les huiles végétales ne sont utilisables que dans les moteurs à injection et moyennant dispositifs appropriés de fluidification et de filtrage. Les carburants lourds, obtenus par alcoolise de ces huiles à l'éthanol ou au méthanol, conviennent d'emblée pour l'alimentation des Diesels, d'autant plus que les régimes de ces moteurs ne cessent de s'accélérer, grâce aux progrès de la technique. Toutefois, la rentabilité de semblables fabrications en Afrique noire paraît des plus douteuses.

Les carburants légers que constituent les divers alcools, par contre, ne conviennent pas aux moteurs de série, à l'opposé des produits de l'alcoolisation des oléagineux. Ce seraient au pis aller, de médiocres « doublures ». Leur haute volatilité soulève d'ailleurs quelque doute quant à une parfaite convenance pour la carburation sous climat tropical. Un brillant avenir, selon d'éminents spécialistes, serait réservé à l'emploi des alcools de synthèse dans les moteurs à injection. Comme pour les méthodes d'utilisation directe ou d'appropriation des huiles végétales, il faut cependant convenir d'une insuffisance d'éléments d'appréciation motivés ; l'expérimentation acquise demeure sommaire ; trop de points sont encore obscurs : difficultés techniques et rendement des opérations, délimitation des composantes du prix de revient, etc.

En ce qui concerne les carbures liquides de synthèse, leur production, dans les conditions rencontrées au Katanga, appelle d'expresses réserves en raison de la hauteur probable du prix de revient, de la complexité des manipulations et d'une éventuelle nécessité de corriger l'essence obtenue. Au stade d'étude actuel, les avant-projets de fabrication ne semblent pas suffisamment mûrs et il sied de les tenir en suspens jusqu'à plus ample information au sujet des résultats définitifs de l'expérience SASOL, poursuivie en Union Sud-Africaine.

L'huile de schiste retient davantage l'intérêt, comme source de carburant, ne serait-ce qu'en guise de substituant provisoire pour ravitailler les camions automobiles à partir d'une usine extensible dans une période troublée. En raison de l'abondance de ses réserves, de la similitude des caractéristiques de ses produits avec ceux du pétrole, et de leur diversité, cette huile minérale semble appelée à prendre rang prioritaire dans l'arsenal des moyens de secours. Les carbures liquides, tirés du fractionnement, forment une gamme différenciée suivant convenances et permettant de garantir l'alimentation des moteurs diesels comme celle des moteurs à explosion. L'huile de schiste est, sans contredit, la matière de base dont les dérivés présentent des propriétés les plus tenantes à celles des produits du pétrole et peuvent se moduler sur toutes les évolutions de leur technique (relèvement du chiffre d'octane, etc.). Dans l'échelle des valeurs ce produit de substitution intervient en ordre avantageux. Mais son exploitation postule un examen serré des prix afin de définir si elle est compatible avec les possibilités financières du moment. Des premiers calculs d'approche conduisent à une production-plancher de 1.000 t/jour pour couvrir tous les frais de fabrication en période normale.

Dans le Centre africain, un inconvénient commun aux carburants liquides de toute nature, indigènes ou importés, est la nécessité d'un transport en fûts — grevant la calorie « liquide » d'une surtaxe coûteuse — à défaut de distribution en vrac, par pipe-line ou tankers. Mais leur prédominance s'affirme de manière décisive dans les commodités qu'ils procurent à l'utilisateur, leur légèreté, leur facilité de stockage et de manipulation.

Éléments d'appréciation.

Les considérations précédentes mettent en lumière l'opportunité d'une mise en observation systématique et

comparée des différentes techniques de production de carburants liquides de provenance indigène que l'on se propose de mettre à l'épreuve au Congo. Dans ce but, le Gouvernement n'a pas hésité à promouvoir ou seconder diverses initiatives. Aussi bien, les études et essais en vue de l'utilisation des carburants indigènes ne datent pas d'hier ; ils ont débuté après la première guerre mondiale. Cela donne à penser qu'il s'agit d'un problème ardu.

Ce problème offrant plusieurs variantes, se présente synthétiquement sous un double aspect : problème de choix et problème de production, de manière à réaliser en tout cas une exploitation économe et ordonnée des ressources. Les possibilités techniques des énergies de remplacement sont certaines. Mais départager les mérites respectifs des différents carburants liquides : forestiers, alcooliques, oléagineux, minéraux et de synthèse, n'est pas une tâche des plus aisée — les bases de comparaison font encore défaut ou pèchent par insuffisance de précision et la disparité de solutions épousant la multitude des cas rencontrés ne facilite pas leur réduction à un commun dénominateur.

Plusieurs éléments doivent être pris en considération : il s'agit de délimiter le domaine d'élection de chacune des énergies de remplacement ou d'appoint ; d'éviter un suréquipement des nouvelles productions ; de prévenir aussi une interférence des projets convenant à la couverture des mêmes besoins.

Qu'il s'agisse de moyens de secours en période de crise aiguë ou de moyens additionnels dans le présent, plusieurs sources énergétiques autochtones semblent appelées à se partager les tâches. Leur intervention est sous la dépendance de facteurs économiques, techniques et géographiques.

Les ressources naturelles du Congo, végétales et minérales, se prêteront le mieux à une élaboration dans la mesure où elles seront assurées d'une production de

carburants liquides de synthèse, capable de couvrir les diverses nécessités, facile, abondante, et d'un prix de revient admissible en cas de suspension des arrivages étrangers.

Au point de vue de l'utilisateur, il est de première nécessité de disposer d'un carburant dont l'injection dans les Diesels ou les moteurs à explosion ne requiert pas de lourdes dépenses pour l'appropriation du matériel. En ce qui concerne le producteur, la nature de la matière de base, sa richesse, la facilité d'accès, l'ampleur et l'exploitabilité de ses ressources jouent un rôle évident. De même, les disponibilités locales de main-d'œuvre. Mais il est aussi visible que les qualités spécifiques, les aptitudes potentielles du carburant produit en vue de l'emploi dans les moteurs à huile lourde ou à essence ne seront pas moins déterminantes. Il ne saurait davantage être fait abstraction des conditions locales de marché et de la délimitation des zones d'influence ; chacune de celles-ci est définie par la position géographique du centre producteur et ses liaisons économiques par fer ou par eau avec les zones consommatrices. Ces relations intéressent au premier degré les productions d'appoint.

Reste encore le problème, toujours crucial, des investissements, car en pays d'outre-mer, les équipements sont plus onéreux. Il s'agit d'arrêter la limite de capacité productive à laquelle correspond le seuil de rentabilité des entreprises à créer. Le nœud du problème gît dans la recherche d'une solution de compromis, afin de maintenir la viabilité des installations par une capacité de production d'envergure suffisante, tout en assurant dans les périodes de paix l'écoulement des fabrications excédentaires. La création d'usines-pilotes extensibles, éventuellement appuyée sur l'action temporaire de subsides gouvernementaux, permettrait de lever la difficulté au mieux de l'intérêt général. Encore faut-il prendre garde de donner à ces subventions une incidence qui rendrait artifi-

cielle et normalement insoutenable, en dehors des conditions de pénurie, l'activité des entreprises abritées.

Le bilan des ressources réserve certaines possibilités. Les nouvelles techniques industrielles d'élaboration des hydrocarbures nous offrent, en toute éventualité, une gamme de produits assez ample pour suppléer au pétrole étranger, source précaire d'énergie.

Carburants de remplacement ou de complément ? Ce rôle peut être théoriquement dévolu à un même produit de la terre ou du sous-sol selon les contingences de temps et de lieu. En raison des contraintes économiques ou techniques qu'implique tout carburant de substitution, il faut tendre à des formes viables de carburant de complément et dont l'utilisateur accepte de s'accommoder en toute liberté d'appréciation.

C'est l'huile de schiste qui semble appelée aux meilleures perspectives comme carburant d'appoint pour relayer l'approvisionnement du Ruanda-Urundi et de l'est du Congo en combustibles liquides importés. Mais dans une période troublée, impliquant privation de ces derniers, elle se muerait d'office en carburant de substitution. Le glissement d'un état vers l'autre serait spontané. La prudence commande de préparer, dès à présent, les voies et techniques de transition.

13. LE PÉTROLE AU CONGO

Dans ce domaine des réserves du Congo en carburants minéraux, il reste à dresser l'inventaire des ressources prévisibles de pétrole.

Les indices pétroliers déjà repérés sont circonscrits à deux régions.

1° DANS L'EST

Des suintements de pétrole ou d'hydrocarbures visqueux ont été identifiés de longue date dans les forma-

tions continentales sur les rives des lacs égrenés en chapelet du Nord au Sud et dont le fond baigne le grand graben africain. Les affleurements d'hydrocarbures se rencontrent dans le quaternaire au sommet du remplissage cénozoïque des fosses tectoniques, qui caractérisent cette zone d'effondrement.

En particulier, ont fait l'objet de simples observations de surface : des traces de bitume au Nord du lac Tanganyika, des suintements de pétrole dans le voisinage du lac Édouard et en bordure du lac Albert. Des sondages ont été réalisés en Uganda, mais à but exclusivement stratigraphique. On retrouve d'ailleurs de nombreux indices dans les prolongements du grand arc plissé de la dorsale africaine du Mozambique jusqu'à l'Égypte. Mais dans la bordure orientale de la cuvette congolaise, zone de haut métamorphisme et disloquée par de violents cycles d'orogénèse, la découverte de structures pétrolières étendues apparaît d'une probabilité hypothétique.

A l'appui de ce jugement, il convient de signaler que, vers le nord de la dépression, les suintements découverts par les Belges affectent une formation peu importante : il s'agit d'un gîte d'une étendue de quelques dizaines de km, coincé entre deux failles tectoniques Est-Ouest.

2° DANS LE BAS-CONGO.

Des recherches, en vue de déceler des réserves d'huile, ont été entreprises dans une bande côtière située au Nord de l'estuaire du fleuve Congo. Géologiquement, la zone de prospection se localise dans la frange de terrains littoraux, formée de sédiments marins qu'ont déposés les mers crétacées et tertiaires. La dépression qu'ils occupent est bordée du Sud au Nord par le socle ancien. Sur ce substratum repose, en discordance, une assise de « grès sublittoraux » avec argilites, d'origine continentale. Suivant les données paléographiques recueillies, cette for-

mation a été recouverte par une série de dépôts d'âges albiens à miocène au cours de cycles de transgressions et de régressions alternées.

L'on sait que la source potentielle des hydrocarbures est constituée par des bassins sédimentaires, formés en général durant les ères mésozoïque et néozoïque, quoique de récentes découvertes aient aussi révélé la présence de gisements primaires dans le paléozoïque, parfois en rapport avec une dolomitisation conférant une structure spongieuse à la roche mère. Par exemple au Canada, dans les champs pétrolifères de l'Alberta, les structures les plus productives appartiennent au dévonien rendu poreux et perméable par dolomitisation et fissuration, avec présence de formations récifales jouant le rôle de pièges à pétrole du type stratigraphique.

Dans la zone côtière du Bas-Congo les sédiments reconnus se composent d'horizons de marnes sableuses, surmontées de calcaires gréseux et dolomitiques imprégnés de bitume. L'on y observe une prédominance d'étendue et de puissance des couches marines avec tectonique salifère sur tout le liseré occidental.

Les incidices pétrolifères, abondants par endroits, présentent des caractères variés : suintements, voire petits amas de bitume gisant au fond des cours d'eau, épanchements d'hydrocarbures visqueux le long des berges, ou imprégnations asphaltiques comme celles déjà signalées dans les couches albiennes de Mavuma au Mayumbe.

On les retrouve aux affleurements des couches marines ou lagunaires de la zone littorale sur une longue étendue de la côte occidentale d'Afrique, depuis l'Angola jusqu'à la Côte d'Ivoire.

Des bitumes pétrolifères se rencontrent au Congo français et la ville de « Pointe Noire » leur doit son nom. Un gisement productif de gaz et de pétrole y a été découvert en 1957.

Plusieurs autres structures ont été reconnues dans les plaines côtières de l'A. E. F. et de l'Angola, encadrant le Bas-Congo belge. Les gisements sont productifs et se situent : en Angola, dans les crétacés supérieur et inférieur ; au Congo français, dans le crétacé inférieur ; au Gabon — où de nombreux suintements de pétrole étaient connus de longue date, — c'est le crétacé supérieur et la base du tertiaire, l'éocène inférieur, qui hébergent un bassin sédimentaire.

Au Congo belge, les indices de Mavuma appartiennent à la même série de l'aptien. Le territoire du Mayumbe va faire l'objet d'une campagne de prospection sismique afin d'en déterminer l'intérêt pétrolier.

C'est sur la zone côtière que cet intérêt se concentre à présent. Il n'est pas exclu d'y retrouver l'extension des champs pétroliers de l'Angola, dont la reconnaissance par une société belge vient de s'avérer fructueuse. Les couches productives ont été recoupées en territoire portugais entre 1700 et 3000 m de profondeur, à une centaine de km au Sud-Ouest des affleurements du dépôt bitumeux de la côte atlantique. Au Bas-Congo, il s'agit de déceler, malgré l'apparence calme des sédiments, quelques pièges ou structures.

Dans le cadre de l'active croisade, menée de toutes parts pour la découverte du pétrole, les bassins côtiers sont explorés de préférence pour des raisons économiques. Néanmoins, deux sondages profonds ont été récemment effectués aux lisières de la cuvette centrale du Congo belge : l'un à Boende, près de l'équateur, l'autre à Dekese, le long de la rivière Lukenie. L'objectif visé consistait à scruter le recouvrement dont la nature constitue un élément d'appréciation essentiel en prospection pétrolifère. Les résultats de ces forages ont été négatifs. L'épaisseur du manteau sédimentaire, constitué de formations subhorizontales fossilifères d'origine continentale déposées sur le socle, dépasse toutes les prévisions ; elle se maintient entre 1500 et 2000 m.

Les recherches ont mis aussi en évidence de forts pendages des formations inférieures, comprenant des argilites du Crétacé inférieur, sans roche de couverture imperméable ni dépôt salin susceptibles d'assurer la protection du pétrole. Outre le caractère non salifère du grand bassin, la structure assez bouleversée et déformée de sa tectonique, constituent autant de facteurs défavorables à la formation de réservoirs pétroliers.

Dans ces conditions, il semble vain d'augurer de la présence de quelque riche structure pétrolifère à l'instar des gisements découverts au Sahara, et qui ont fait prendre rang assez honorable à ce pays, dans le classement pétrolier du Monde. M. R. BUTTIN y voit une conséquence de l'envergure « des domaines stratigraphiques et des mouvements structuraux », caractérisant cette région désertique.

Le Gouvernement du Congo belge se propose néanmoins de reprendre une nouvelle campagne d'exploration par la géophysique et de forages profonds. Ceux de Boende et de Dekese, non implantés sur des anticlinaux, ne présentent qu'un intérêt stratigraphique.

Pour conclure, au stade actuel des investigations, il n'est pas possible de conjecturer avec certitude de la présence du précieux « or noir » en Afrique belge.

Si le programme des travaux, mis sur le chantier, devait se solder par un échec, il subsisterait une lacune durement ressentie dans le potentiel énergétique du pays. Critère et facteur de civilisation essentiel, la production de pétrole présente plus de souplesse et de stabilité que celle d'autres matières premières. Aussi paraît-elle appelée davantage à promouvoir l'évolution économique et sociale des pays sous-développés.

14. LES GAZ DISSOUS DU LAC KIVU

Aux ressources de carburants liquides dont le Congo peut disposer, moyennant distillation ou conversion

chimique de plusieurs matières de base indigènes, vient s'ajouter une ressource naturelle de carburants gazeux dont la récente découverte revêt un prodigieux caractère d'unicité. Il s'agit des réserves de gaz combustibles dissous dans les eaux profondes du lac Kivu. Ce lac est situé à la frontière Nord-Est du Congo dans la zone affaissée du graben central.

D'une intéressante étude présentée en 1955 par MM. D. M. SCHMITZ et J. KUFFERATH [34], nous extrayons les données essentielles en les complétant d'autres informations, dont nous sommes redevables à l'obligeance de M. A. CAPART, Directeur de l'Institut Royal des Sciences Naturelles de Belgique. C'est à lui et à M. J. KUFFERATH que revient le mérite de la découverte en 1947 de cette accumulation de gaz sans équivalent dans le monde.

Tous les gisements connus de gaz combustibles sont constitués par des poches souterraines de méthane sous pression. Plus exactement, il s'agit de masses gazeuses formant chapeau au-dessus d'un amas de terrains d'origine sédimentaire, déposés dans une zone de subsidence : ce sont les séries marno-sableuses dont se composent les roches-mères ou les roches-magasins selon le cas, voire des roches plus compactes mais fissurées ou poreuses.

Au Kivu, ce n'est pas un terrain \pm perméable qui constitue le gîte du gaz naturel mais l'eau même du lac. Malgré une solubilité extrêmement faible du méthane composant, le mélange gazeux reste maintenu en dissolution dans l'eau lacustre, à partir d'une profondeur de 300 mètres, sous l'effet de la haute pression hydrostatique régnant à ce niveau. Une stratification permanente et particulièrement stable des eaux du lac Kivu, dont les berges plongent à pic dans les grandes profondeurs (300 à 350 m), s'oppose à la migration des gaz par des effets de convection ou de circulation générale. Elle fait obstacle aux pertes que provoquerait une diffusion rapide.

Par un dispositif très simple de pompage constitué de canalisations flexibles en polyéthylène, immergées à l'aide d'un remorqueur, MM. A. CAPART et J. KUFFERATH sont parvenus aisément à ramener en surface de l'eau soutirée des couches profondes : un film dont nous eûmes la primeur de vision, montrait l'effluent qui pétillait ou débouchait par saccades, laissant s'échapper à l'air libre le gaz dissous dans un dégagement de bulles et d'eau. Recueilli dans un appareil d'ORSAT, le gaz se révèle à l'analyse comme essentiellement constitué d'anhydride carbonique et de méthane accompagné d'un peu d'hydrogène sulfuré et d'autres éléments en proportion variable avec la profondeur. C'est une composition rappelant celle du gaz de marais. Il aurait été engendré par fermentation anaérobie des éléments résiduels du plancton.

Constitution du gisement.

Les réserves totales de ce gaz combustible, accumulées ausein du gisement lacustre, ne sont rien moins qu'extraordinaires, eu égard à leur situation ; le volume de méthane emmagasiné représente un stock disponible estimé à plus de 57 milliards de m³, dans les conditions moyennes d'ambiance (25° C et 640 mm Hg), soit 44 milliards en le ramenant aux conditions standard (Zéro absolu 273°C et press. barom. 760 mm) ; s'agissant de méthane d'un pouvoir calorifique inférieur de 8.560 kilocalories il correspond, d'après l'estimation des experts spécifiés, à un équivalent de 36 millions de tonnes de gasoil (ou d'essence).

L'exploration des couches profondes fut minutieusement conduite par M. CAPART, qui a dressé une nouvelle carte bathymétrique avec un appareil échosondeur.

Au fur et à mesure de l'accroissement de profondeur des couches sondées, la richesse en méthane du mélange gazeux diminue : de 26,2 % à 275 m jusqu'à 20,7 % à 425 m ; la fraction restante est constituée de CO₂ (72 à

78 %) et d'un minime pourcentage d'hydrogène sulfuré, d'azote, d'oxygène et d'argon.

Par contre, le volume de gaz désorbable à la pression atmosphérique augmente avec la profondeur de 1,62 litre de gaz par litre d'eau à 300 m, jusqu'à 2,32 l gaz /l eau à 425 m. A ces niveaux, les teneurs moyennes correspondantes de l'eau en méthane pur varient respectivement de 0,412 m³ à 0,480 m³ par m³ d'eau. La teneur en CH₄ demeure stable à chaque niveau d'absorption.

Au-dessus de 250 mètres, la fraction des gaz ayant diffusé depuis les couches sous-jacentes est finalement entraînée, à partir d'une centaine de mètres sous la surface, par les courants de circulation dus aux écarts thermiques de caractère saisonnier. Elle devient évanescence jusqu'à se dissiper en totalité au contact de l'air libre.

Du point de vue des possibilités d'exploitation industrielle, la présence de CO₂ en teneur élevée (3 volumes pour 1 de CH₄) peut, par un heureux hasard, être éliminée sans difficulté pour l'enrichissement du gaz à un taux acceptable.

Stratification.

Plusieurs particularités, intéressantes à l'extrême, méritent d'être signalées. Leur étude nous met sur la voie de la solution d'une énigme captivante : pourquoi le lac Kivu est-il le seul au monde à recéler une si formidable réserve de gaz naturel, inconnue dans tous les autres lacs, bien qu'en profondeur leurs eaux renferment aussi des boues organiques ?

C'est que ce lac présente un gradient de salinité absolument inconnu dans les autres grandes vasques de l'espèce.

Les couches lacustres sont, suivant une constatation générale, stratifiées par zones distinctes : la tranche inférieure constitue la zone, anaérobie, de stagnation

dite « hypolimnion » dont l'eau, bien qu'ici d'une température plus élevée (croissant d'environ 2 degrés C vers le bas), ne se mélange pas avec celle de la tranche supérieure, siège des phénomènes biologiques normaux.

Cela résulte d'une exceptionnelle augmentation du gradient de densité imputable à l'accroissement de la concentration saline (et accessoirement à la présence de CO_2).

Déjà dans la tranche entre 100 et 260 m la haute salure, 2 g/l, détermine, selon M. CAPART, une véritable barrière physico-chimique s'opposant au brassage des eaux ; la minéralisation continue à augmenter vers 3 puis 4 g/l en profondeur. Cet accroissement de concentration détermine la stabilité des couches profondes, en dépit de l'inversion thermique observée. La diffusion des gaz est, d'autre part, rendue impossible parce que, au niveau de 260 m, il existe une différence d'un degré de température sur 5 mètres constituant une barrière physique. Ainsi s'expliquerait le phénomène d'emménagement du gaz. Un apport ininterrompu du plancton se poursuit à travers les couches profondes, stratifiées.

La cause première de cette stabilisation stratigraphique reste à éclaircir.

La salinité très forte de l'eau du lac Kivu, à laquelle est liée la séquestration du méthane, pourrait avoir pour origine, d'après les inventeurs, un apport d'eaux minéralisées, cheminant au travers des tufs volcaniques qui garnissent le fond et les parois de la dépression.

Ces venues hypogènes seraient donc en relation directe avec le champ de fissures et d'éruption du puissant appareil volcanique des Virungas, dont les cimes surplombent le lac au Nord-Est. Il faut se rappeler l'abondance des sources hydrothermales dans toute la zone des grabens.

Il n'a été observé de circulation affective qu'en période de saison sèche lorsque se font sentir directement

les influences de surface : action du vent et de la radiation solaire, orientation générale du bassin, apports des affluents. Elles provoquent le phénomène connu de brassage dit *turn over*, propice à l'uniformisation des couches superficielles jusqu'à une centaine de mètres de profondeur. La diffusion normale du gaz au travers de cette tranche d'eau s'accompagne d'un double *mixing* de nuit et saisonnier.

Alors que les observations de MM. DEVROEY et VANDERLINDEN, antérieures à 1949, indiquaient pour la zone de circulation saisonnière une épaisseur de 70 m, les plus récentes lui attribuent une limite maximum de 270 m. Au sein de cette tranche se produit une sorte de houle engendrée par un effet de résonance dû aux vents qui agitent la surface du lac, mais rapidement atténué à mesure que l'on s'en éloigne. M. CAPART a effectivement constaté l'existence d'une circulation lente régie par un cycle annuel de longue périodicité. Cette couche critique est affectée de minimes oscillations, de vagues internes dont l'amplitude ne dépasse guère 4 à 5 mètres, en raison de la très forte densité de l'eau, cause de stabilité de la masse.

Origine du gaz.

C'est à la stratification immuable en profondeur des eaux du lac Kivu, qu'il faut attribuer le phénomène d'appauvrissement continu des couches superficielles en matières organiques. Et cette stabilisation n'est concevable qu'en zone tropicale. A l'opposé des lacs tropicaux à stratification directe, les lacs polaires présentent une stratification dite inverse, les couches chaudes étant sous-jacentes aux couches froides. Les lacs de zone tempérée se caractérisent par une alternance de stratification, directe en été, inverse en hiver. La rupture d'équilibre résulte du refroidissement, qui engendre la plongée des couches superficielles par le phénomène *turn over* déjà mentionné.

Par suite de ce brassage complet deux fois l'an aucune accumulation de gaz n'est possible dans de tels lacs, même à supposer l'eau saturée de méthane, car il serait promptement éliminé par dilution dans l'atmosphère.

Par quel processus biochimique le gaz s'est-il formé ? Plusieurs hypothèses ont été formulées à ce sujet. Une origine pétrolière a été initialement avancée, mais elle ne résiste pas à l'examen. Il est admis que le pétrole s'est formé dans des sédiments du sol. Ici nous sommes en présence d'un phénomène produit au sein des eaux. De prime abord il pouvait passer pour plausible qu'à la suite des mouvements orogéniques de grande puissance, spécifiques de la région des grabens du Kivu, se seraient produites, au fond du lac, des fissurations de voûtes comme sur l'anticlinal du gisement du Lacq, en Aquitaine. En pareil cas, le méthane devait être accompagné d'autres hydrocarbures inférieurs de la série à chaîne ouverte. Les premières déterminations chimiques n'en ont pas révélé. Dernièrement des analyses, de haute précision, à l'aide du spectographe ont confirmé l'absence totale de ces saturés inférieurs, apportant un démenti qui semble décisif à la thèse de l'atteinte d'un gisement pétrolifère par suite de bouleversement tectonique.

L'origine volcanique, autre supposition mise en avant, est aussi contredite par l'étude de la composition des fumeroles de la région : elles ne contiennent pas de méthane.

Une autre possibilité à envisager serait l'oxydation d'hydrocarbures, au fond du lac, sous l'action de bactéries oxydantes avec production de CH_4 et de CO_2 , ce dernier en quantités variables. Pareille hypothèse est ruinée à la base par l'absence d'oxygène en profondeur ; il ne saurait s'y trouver, hormis le cas d'une réduction des sulfates avec dégagement de H_2S ; mais ce dernier ne se trouve heureusement qu'en très petite quantité. D'ailleurs, il n'a pu être découvert d'hydrocarbures dans

la région ; des indices pétroliers n'ont été reconnus que vers le Nord du graben (lac Albert).

Ainsi le champ des hypothèses se rétrécit singulièrement. La seule qui cadre avec la réalité des faits reste celle formulée par MM. CAPART et KUFFERATH, d'une décomposition biochimique par les bactéries.

Sous l'ardent soleil des tropiques s'opère en surface une oxydation des matières organiques de toute nature. L'absence d'ammoniaque dans l'eau supérieure atteste de son caractère oxydant ; mais cette influence s'avère négligeable, sinon que pour aider au recyclage des substances nécessaires à la vie du plancton. Par contre le NH_3 se rencontre en quantité croissante dans la profondeur, au point d'atteindre une teneur record de 57 mg/l dans les couches du fond. Il faut y voir l'indice d'une décomposition bactérielle en milieu réducteur avec formation concomitante de CH_4 , constituant avec NH_3 et H_2S les produits usuels de réduction des matières organiques.

Les microorganismes, animalcules et végétaux morts, subissent, dès leur chute vers les profondeurs du lac, une désintégration lente sous l'action de « bactéries du méthane ». Ces débris du riche plancton, non ramenés au jour par des courants de circulation lacustre, puisqu'il n'y a pas d'agitation en profondeur, viennent peu à peu s'accumuler sur les bas-fonds en zone anaérobie. Les missions d'étude en ont extrait une grande quantité de vase noire, putride, déposée sur une épaisseur de plusieurs mètres.

Une brillante consécration de la thèse soutenue par les inventeurs, résulte de leurs essais sur cultures anaérobies aux laboratoires d'Usumbura et de Bruxelles. Des fermentations organiques ont été obtenues à partir de microbes isolés de la couche vaseuse du lac en présence du plancton prélevé dans ses eaux. Ces expériences de reproduction des phénomènes biologiques ont prouvé que les résidus organiques faisant retour dans l'abîme subis-

sent au sein du milieu réducteur des couches profondes, une décomposition en cycle anaérobie : la transformation donne lieu à dégagement continu de CH_4 et d' H_2S en conformité avec l'équation biochimique. Ainsi la fermentation méthanique des matières protéïques (du zooplancton) et des hydrates de carbone (du phyto-plancton), engendrerait le gaz retenu à l'état dissous, par suite de sa genèse molécule à molécule au sein de l'eau profonde.

Toutefois — et c'est une autre particularité du gisement — le gaz soutiré présente une surabondance d'acide carbonique, en contraste avec le classique gaz des marais formé presque en exclusivité de méthane. Il s'agit donc d'un mélange gazeux naturellement pauvre, dont la teneur en CO_2 dépasse de loin la valeur assignée par la théorie.

Cette anomalie pourrait être imputée, sans extrapolation trop hasardeuse, à une origine volcanique : le lac Kivu baigne le pied du Nyamlagongo dont le cratère demeure en pleine activité ; il y aurait intrusion de CO_2 , dont la prédominance dans les émanations volcaniques est un fait acquis. Ce CO_2 issu de l'appareil éruptif, s'ajouterait à celui engendré dans le processus normal de production biochimique du méthane. On en est réduit à des suppositions, faute de pouvoir recueillir des échantillons de l'eau de percolation des champs de lave en bordure du lac.

Une origine tellurique ne doit pas être exclue davantage. Le lac Kivu est alimenté en majeure partie par les précipitations météoriques chargées de CO_2 dissous, dont l'acidité trouve un terrain idéal d'attaque dans les cendres ténues, les roches neuves, friables et poreuses, des coulées volcaniques.

Les eaux issues de ce drainage, contenant beaucoup de carbonates et bicarbonates, sont dotées d'un haut pouvoir de dissolution du CO_2 .

Entre autres éléments analogiques à l'appui de ces vues, il faut signaler l'existence de nombreuses mofettes ou émanations carboniques dans les champs de lave au Nord du lac. On observe aussi un accroissement considérable de la salure passant de 1 g/l en surface à 5 g/l en profondeur.

Des recherches sont poursuivies, afin d'élucider la relation entre les coexistences de CO_2 et d'argon, reconnu radioactif, donc de provenance volcanique, et obtenir la solution définitive de l'équation chimique.

Au-delà de 250 mètres vers la surface, dans la zone de brassage, le gradient de concentration décline brusquement et s'annule. En sens inverse, à partir de 260 m, les teneurs continuent à s'accroître vu que l'équation de dissolution de gaz carbonique et de méthane ne conduit pas encore à l'état de saturation.

Certains ont mis en doute la possibilité d'un apport issu des volcans, du fait qu'il pourrait difficilement se localiser au sein du gisement lacustre ; mais la diffusion permanente à travers la surface permet de rendre compte des phénomènes.

Une deuxième particularité, remarquable au superlatif du processus hydro-biologique observé, c'est que le soutirage des masses gazeuses, pratiqué sans altérer la stabilité des couches aqueuses ne risque pas de compromettre la production de gaz.

Le gisement semble donc inépuisable à condition de ne pas l'exploiter à une cadence démesurée. Bien mieux, il serait possible d'augmenter la production de gaz et le stockage par l'effet des prélèvements dans les tranches profondes. Le gaz étant recueilli à la surface, les eaux résiduelles rejetées au lac y rapportent des éléments très nutritifs — ammoniacque, phosphates — dont le déversement donne lieu à prolifération d'algues et affluence de poissons.

Le cas pourrait se comparer à celui de l'exploitation

méthodique d'une forêt, mais avec cette différence que la flore bactérienne obéit à une loi de croissance fulgurante.

A l'opposé d'un gîte minéral, constituant une réserve, s'épuisant sous l'effet des ponctions en surface, le gisement lacustre du Kivu aurait tendance à s'accroître, réserve faite de la diffusion. La « reproduction » annuelle a été chiffrée en très grossière approximation vers un minimum de 35 millions de m³. Il s'agit donc pour l'exploitation ordonnée de ces gaz, de conserver un juste équilibre entre la production, les prélèvements et les pertes ; pour le motif précédemment exposé, la déperdition semble réduite.

Et c'est bien là une nouvelle manifestation des exceptionnels privilèges octroyés par la nature au gisement lacustre du Kivu. Il revêtirait un caractère essentiellement « dynamique » qui le différencie des gisements souterrains de gaz naturel : le processus biochimique de décomposition putride s'y poursuit au cours du temps et l'état de saturation — au stade actuel est loin d'être atteint. Plus on soutire de gaz et plus il s'en régénère !

Le problème de l'extraction.

Le captage a soulevé un problème neuf et ardu. Comment extraire le gaz des grandes profondeurs où il se cantonne, enseveli depuis des milliers d'années.

Il était acquis, sur la foi de travaux géologiques, qu'une puissante coulée de lave s'est épanchée des flancs du Nyamlagongo, dont le pied baigne dans le lac Kivu en obturant la dépression dans sa partie nord ; un lac de barrage s'est ainsi créé, puis sont apparues des trouées de débordement au sud. Les résultats de récentes études de la mission biologique (par le carbone radioactif 14) ont confirmé l'estimation de 20 milliers d'années pour l'ancienneté du phénomène.

Avant de passer aux expériences, la mission biologique s'est livrée à une campagne de sondages méthodique et

poussée dans toutes les directions. D'après les observations recueillies, l'extraction massive du gaz et son exploitation industrielle ne devraient pas se heurter à de sérieuses difficultés. Les conditions exceptionnelles de disposition du gisement lacustre postulent sans nul doute l'application de techniques hardies, mais il est permis d'augurer des résultats avec optimisme.

En raison de la nouveauté du problème, des essais d'orientation s'imposaient. Il s'agissait, entre autres questions-clefs, de décider si la conduite d'extraction devait être verticale ou oblique.

La première solution s'accommode d'une longueur minimum de tubes mais prête le flanc aux risques de dislocation ou d'arrachage sous l'action des vagues.

L'autre solution, consistant à prendre le départ de la rive par une tuyauterie qui plonge en biais, présente l'inconvénient d'une augmentation des pertes de charge au détriment du débit.

La première tentative d'immersion remonte à 1952. Une conduite flexible en polythène de 1 1/2 " a été descendue verticalement au large de Goma vers 400 m de profondeur. Le problème du soutirage a pu être résolu par un simple amorçage de la colonne ascensionnelle au moyen d'un petit groupe compresseur. Une insufflation d'air dans la canalisation suffit à provoquer une première remontée de l'eau et du gaz. L'autopompage s'est produit spontanément ; l'écoulement se poursuivait de lui-même sans intervention extérieure. C'est l'effet de la bouteille de soda dont l'ouverture libère l'acide carbonique. Tout se passe comme si l'on se trouvait en présence d'une vasque remplie d'eau gazeuse sous pression. Une fois la colonne amorcée par le dispositif d'éjection (*air-lift*), l'ascension du gaz entraîné artificiellement se maintient d'elle-même depuis les zones profondes jusqu'à la surface du lac.

Le mécanisme d'action de ce curieux phénomène a deux causes :

1° L'effet initial de « pompe à bulles », qui provoque un entraînement mécanique par simple friction.

2° Un effet conjugué d'expansion du mélange de fluides, eau et gaz de la colonne, moins dense que le milieu environnant : le volume double pour une remontée de 100 m par exemple. Cette propulsion, par la poussée hydrostatique, constitue une cause supplémentaire d'impulsion, quoique le seul amorçage par air-lift suffise à entretenir l'ascension des fluides.

C'est, en effet, l'application du procédé classique de relèvement d'eau des puits par émulseur : « mais, observe J. KUFFERATH, avec la particularité capitale que l'énergie motrice, au lieu de devoir être fournie extérieurement sous forme d'air comprimé, existe naturellement dans l'eau sous la forme de pression de dissolution du gaz ».

Cette faculté d'autopompage constitue l'une des remarquables caractéristiques du site gazogène. Le procédé fait honneur à ses inventeurs belges. Il doit, selon M. CAPART, « permettre d'utiliser avec un minimum de frais et sans dépense d'énergie les réserves de méthane et les sous-produits accumulés au-delà de 300 mètres ». Au cours des essais, l'étranglement du débit par une vanne immergée a permis de réduire le débit de gaz au dixième sans désamorçage du dispositif, ni interruption de l'écoulement.

L'alimentation de la prise suivant un plan de drainage horizontal reste assurée de haut en bas sans risque d'entraînement ou de mélange à travers les tranches supérieures dont la teneur en gaz est moindre.

Il faut se rappeler que les eaux du lac comprennent une couche superficielle de 270 m, perturbée par le brassage des courants et, sous-jacente à celle-ci, une zone stagnante formant le gîte de gaz ; la stratification en demeure stable, à l'abri de toute inversion du gradient de densité par effet de *turn over* dans les couches super-

posées, sauf cataclysme imprévisible renversant l'équilibre.

Vu la différence considérable de densités entre les eaux chargées de gaz en dissolution et celles n'en contenant pas, soit 0,999 pour les eaux de surface contre 1,001 pour l'eau de 350 m, les masses fluides ne sauraient se mélanger. Par mesure de précaution, la prise serait effectivement établie à plus de 300 m de profondeur, soit plus de 30 mètres sous la surface de démarcation de la zone des troubles superficiels.

Quant à une modification du gradient de densité sous l'effet des prélèvements, elle paraît négligeable en raison de l'immensité de la réserve d'eau représentée par le lac. D'ailleurs le retour en profondeur de l'eau dégazée constituerait un remède immédiat.

Le doute pourrait encore subsister quant au maintien de l'affluence du gaz dans le captage sans obligation de déplacer l'embouchure (de manière à balayer la zone drainée). La formidable charge statique régnant à ces grandes profondeurs assurera la migration spontanée et la remontée dans la conduite ascensionnelle, comme l'expérience l'a démontré.

Mesures de protection

Un autre sujet de crainte semble résider dans l'existence d'effets de houle, de vagues internes venant disjoindre les éléments de la colonne montante. Il a déjà été relevé que le lac Kivu n'est pas en profondeur le siège de véritables courants propices à la migration verticale du gaz emprisonné ; c'est ce dont attestent les analyses révélant une très minime importance quantitative de la déperdition gazeuse. Les ondulations profondes de houle restent, nous l'avons vu, d'amplitude réduite, de l'ordre de 5 mètres.

Mais l'on ne manquera pas d'objecter les effets destructeurs de l'inévitable agitation de surface, surtout à

l'approche des rives. Elle se manifeste dans toute son intensité durant la saison des pluies, lorsque surgissent brusquement vers la fin de l'après-midi des coups de vent qui balayent le lac avec violence.

La mission d'études en a éprouvé les sérieux inconvénients au cours de deux nouvelles expériences d'immersion avec des tubes de plus grand diamètre : de 2 1/2" en 1954, ensuite en 1957, pour constituer une installation de captage-pilote.

Il s'agissait d'expérimenter les conditions de pose et le comportement des tubes ainsi que de définir exactement le débit extractible. Des précautions se sont avérées nécessaires pour assurer la résistance mécanique aux efforts d'arrachement lors des trombes et tornades, dont le caractère impétueux s'explique dans les vasques fermées par l'effet de Coriolis dû à la rotation terrestre.

La colonne fut d'abord réalisée en tubes de P. V. C. rigide, d'une longueur limitée à 6 m (gabarit du chemin de fer) et assemblés en tronçon de 25 m. Il s'est produit des ruptures du plastique, sous l'effet de sollicitations latérales engendrant l'extension des parois.

Le choix s'est ensuite reporté sur des tubes en polythène, renforcés par une armature extérieure en fil d'acier, réalisant un frettage. Ces bagues circulaires noyées dans le plastique ont permis d'éviter l'ovalisation sous les contraintes résultant des hautes pressions du milieu environnant (10 atm. à 100 m de profondeur). Il fallait parer aussi à des éclatements de joints sous l'effet de la pression intérieure. (La différence des pressions atteignant 1 atm. entre 50 et 100 m). Plusieurs mois ont dû être consacrés à vaincre les difficultés techniques d'un genre nouveau inhérentes à la mise en place d'un tuyau de 20 cm d. i. long de 700 mètres. Du point de vue technologique, le polythène procurait le maximum de flexibilité, comme nous avons eu personnellement l'occasion de nous en rendre compte. Il suffit d'évoquer l'aisance des mani-

pulations de ce plastique léger qui pouvait être déroulé en très longs tronçons soudés bout à bout et transportés à dos d'homme, jusqu'au lac où ils flottaient librement.

Après essais de diverses fabrications, c'est le polythène noir, chargé d'un antioxydant — le *carbon black* — qui a retenu la préférence malgré son coût plus élevé mais l'emportant de loin sur le produit blanc pour raison de souplesse et de tenacité. La canalisation définitive a été constituée par assemblage de tuyaux d'une longueur de 6 m, soudés bout à bout ; seuls les derniers tubes étaient cerclés d'acier et assemblés par brides boulonnées. Des essais de traction sur les tronçons soudés ont été réalisés par halage au remorqueur d'un bout de tronçon amarré sur la rive par son autre extrémité. Ils ont permis de tester impunément la résistance des joints sous des efforts de 400 kg relevés au dynamomètre.

La confection des assemblages a été faite sur la rive par soudure à la flamme de butane avec baguette d'apport, selon une technique devenue courante mais délicate.

En raison de la cherté du polyéthylène et de la fragilité du P. V. C. rigide, il semble que la solution à retenir devrait être mixte ; la conduite se composerait de tronçons en P. V. C. avec interposition de tubes souples en polyéthylène formant pièces d'élasticité. Il s'indique également de retenir un emplacement propice, dépourvu de plage et où le flanc de la montagne riveraine s'enfonce par un abrupt.

L'immersion représente une manœuvre délicate dans le cas d'une station flottante avec plongée des tubes en verticale. Il suffit d'évoquer les déboires rencontrés par nos amis français au large d'Abidjan (Côte d'Ivoire), où des effets de houle ont causé la perte des colonnes immergées. C'est que le risque le plus redoutable réside dans les accélérations verticales, le charriage par des courants lacustres étant moins funeste.

Lors de la dernière expérience, l'immersion a été réalisée

au moyen d'un ponton à moteur et de caissons flottants. La canalisation dont le bout libre était obturé par un plateau d'acier boulonné, fut remorquée en surface en prenant soin de parer au risque de chute à l'aide de 2 câbles guides en nylon. A la suite d'éclatements dus à l'expansion brusque de l'air (cependant évacué par un purgeur sur le plateau terminal) il a fallu lester la conduite au moyen de gros cylindres de béton de façon à obtenir un enfoncement graduel et permettre à l'air de se dégager librement.

Une précaution essentielle est d'assurer l'ancrage rigide des derniers tronçons de tubes sur quelques dizaines de mètres ; en dessous de cette profondeur règne un calme absolu, même par les plus violentes bourrasques secouant la surface du lac. L'amarrage du dispositif d'immersion et de la colonne elle-même a pu être assuré avec efficacité à l'aide de câbles tendeurs en nylon d'une résistance à la traction de 5 t.

Pour une station de captage définitive, la préférence devrait être réservée à une installation fixe sur la berge d'où plongerait une canalisation en pente, dont seul le tronçon de tête serait ancré dans du béton ou protégé par une gaine en acier. Cette solution conjugue des avantages évidents d'économie et de sécurité. Elle évite aussi les entraves à la navigation et facilite le contrôle par les vannes. Mais l'amenée du gaz à la surface serait affectée d'une chute de débit, le rendement pouvant tomber à 70 % de celui atteint en succion verticale. Il faudra aussi prendre garde aux difficultés inhérentes à l'émulsion, car il s'agirait d'un éjecteur d'un genre particulier, l'eau entraînant le gaz à désorber : il importe donc d'éviter la formation d'un bouchon d'eau dans des points bas par suite d'accumulation locale du gaz.

Sur ce problème d'émulsion, se greffe une autre inconnue : le rendement effectif du système de captage. L'énergie motrice, cessant d'être fournie par l'air com-

primé, serait naturellement procurée par la tension de dissolution des gaz dans l'eau, comme l'a mis en évidence M. KUFFERATH. Dès que l'eau de profondeur atteint le niveau où la pression hydrostatique devient inférieure à cette pression de dissolution, commence la désorption du gaz et naît une force propulsive par différence de densité entre l'eau environnante et le mélange gaz-eau de la conduite. Mais est-il certain que cette seule énergie naturelle du gaz dissous suffirait à maintenir un débit convenable dans des conditions économiques d'amenée par une grosse canalisation de captage ? Il ne faut pas perdre de vue que le mélange gazeux entraîné par le liquide et dégorgé en tête de colonne ne contient qu' $1/4$ de méthane utilisable.

Pour améliorer l'efficacité du système il serait expédient de soutirer le gaz à l'état de méthane concentré, donc expurgé de l'encombrant CO_2 en le prélevant à une profondeur convenablement choisie : ce serait celle où peut débiter la libération du méthane (± 120 m) selon la quantité de cet hydrocarbure dissoute sous pression dans l'eau du lac. Pour le gaz carbonique dont la courbe de solubilité est bien définie, à l'opposé de celle du méthane, il est possible — conformément à la loi de HENRY, régissant la dissolution des gaz dans les liquides — de prévoir la profondeur (± 20 m) où commence le dégagement. Elle est bien moindre que celle à admettre pour le méthane eu égard à l'extrême solubilité du CO_2 .

Le phénomène doit se compliquer d'effets secondaires, tels que l'allègement de la colonne liquide par l'émulsion, de nature à provoquer la désorption du CO_2 à une profondeur plus grande que celle assignée par la théorie. En revanche, il ne sera guère possible d'empêcher une déperdition de CH_4 dans la zone intermédiaire entre 20-25 m et la surface de l'eau. L'importance de ces effets ne peut être prédéterminée, dans l'état d'ignorance où l'on se trouve quant à la loi de dissolution du méthane dans l'eau, la littérature technique étant muette à ce sujet.

Il reste à mentionner un dernier point, d'ordre technologique : la résistance à la corrosion. A ce point de vue, l'adoption du plastique ne saurait donner lieu à la moindre hésitation. Aucune conduite en métal usuel ne serait en mesure de résister longtemps aux courants galvaniques intérieurs engendrés par les énormes différences de potentiels électrochimiques sévissant au sein des eaux du lac Kivu. Le pH s'y relève depuis 4 dans le fond — milieu rendu hyperacide par la présence de CO_2 biologique et volcanique — jusqu'à 10,5 en surface. C'est ainsi qu'un câble d'amarrage en acier fut complètement rongé en l'espace de 3 jours par la corrosion électrolytique...

L'épuration du gaz s'est révélée, aux derniers essais, d'une extrême simplicité. Dans l'installation-pilote, un séparateur à colonnes coiffant la tête de la canalisation de captage a donné d'excellents résultats : le lavage s'opérait à contre-courant dans les deux éléments verticaux à chicanes, remplis d'anneaux KRAISCHIK : le mélange gazeux croisait l'eau ruisselante et l'évacuation de CO_2 s'effectuait par une tubulure au sommet de la tour de lavage. H_2S était instantanément oxydé grâce à la saturation de l'eau de surface en oxygène, le résidu réactionnel de soufre se déposant sous forme de fine fleur, en faible quantité. Circonstance heureuse, car elle intéresse la bonne conservation des tuyauteries et réservoirs métalliques ainsi que des cylindres de moteurs à gaz...

A Goma, le rendement d'épuration atteignait 80 %. L'enrichissement vers 90 % de CH_4 exigerait le recours à un lavage en cycle de solution alcaline. L'eau prélevée à la surface du lac Kivu est précisément d'une alcalinité exceptionnelle, propice au dégazage.

Il reste à vérifier, dans le cas d'une extraction de gaz à grande échelle, si les mêmes facilités d'élimination du CO_2 pourraient être maintenues.

Possibilités d'utilisation

Elles sont loin de faire défaut. La stabilité de composition du mélange gazeux et sa pureté représentent des avantages appréciables pour ses utilisations énergétiques ou thermiques. Au nombre de ces applications possibles, nous entrevoyons notamment :

1) FOURNITURE D'ÉLECTRICITÉ A LA RÉGION

La première utilisation à envisager, parce qu'immédiate et des plus avantageuse, serait de prime abord la production de force motrice pour suppléer la génération de courant à partir de *gasoil*. La substitution intégrale du gaz lacustre au carburant d'importation apparaît très indiquée : l'approvisionnement de la centrale thermique y gagnerait en sécurité dans les périodes critiques d'interruption des arrivages de produits pétroliers, et en économie dans tous les cas.

Mais l'édification récente d'une centrale hydro-électrique de 2×10.000 kW sur la Ruzizi, émissaire du lac Kivu, amenuise singulièrement les perspectives d'exploitation à grande échelle de cette source d'énergie, cependant extra-économique. Quelle que soit, en effet, la modération d'un tarif d'énergie hydraulique, il ne saurait rivaliser en l'occurrence avec le bas prix de revient du combustible produit par moteur à gaz : la source de carburant gazeux serait disponible aux moindres frais et à profusion, surtout à proximité du site de captage.

En vertu d'une convention intervenue avec le Gouvernement, un puissant consortium chimique de la Métropole, s'attachant à ce problème, a mis en service à titre expérimental une petite usine génératrice de 75 kW. Elle est installée à Keshero près de Goma en bordure du lac. Le moteur est du type Diesel-gaz. Le fonctionnement de tels moteurs expressément construits pour marche en

mixte, avec injection d'une minime quantité de gasoil-pilote, peut être garanti aujourd'hui en toute sécurité : ces machines « double service » du type semi-rapide sont devenues d'un usage courant dans les pays tels les États-Unis, l'Italie, la France, et autres, dotés d'amples gisements de gaz naturel dont l'emprise ne cesse de s'étendre de pair avec les hydrocarbures liquides. Le système Diesel-gaz jouit de la faveur quasi unanime des exploitants (90 % des cas) de préférence au procédé classique d'allumage électrique, parce qu'il réserve toute liberté d'utiliser ad libitum l'alimentation en carburant gazeux ou en combustible liquide.

En Belgique, des moteurs de ce type sont en construction sous licence américaine et des stations de compression gazières sont actionnées au moyen du grisou des mines (composé de méthane presque pur). Aux États-Unis de puissantes centrales marchent exclusivement au gaz de pétrole, également constitué de méthane en majeure partie (70 à 95 %), sans que le pouvoir détonant de ce gaz se soit avéré une source de danger quelconque. Par ailleurs, l'injection auxiliaire de *gasoil* contribue à réaliser un allumage plus uniforme dans toute la masse.

Pour cette utilisation, la présence d'acide carbonique en proportion de 70 à 75 % dans le gaz du lac, ne représente pas une gêne sérieuse : il suffira d'éliminer ce comensal inerte par simple lavage à contre-courant d'eau sous pression afin d'en réduire la teneur entre 10 à 20 %. L'unique inconvénient réside dans une légère réduction (5 à 10 %) de la puissance effective des moteurs, prévus du type suralimenté eu égard à l'altitude.

Un simple chiffre suffit à concrétiser les possibilités prometteuses d'une production de courant au moyen du gaz lacustre : la canalisation expérimentale de 200 mm d.i. en service, débite un équivalent énergétique de l'ordre de 500 kWh. Dans ces conditions, elle serait passible d'amortissement en près de 6 mois.

La génération thermique d'électricité, au moyen du gaz naturel, est passible de variantes : les centrales diesels primeront par leur haut rendement, mais des centrales à vapeur, avec chaufferies alimentées au gaz, pourraient être de 20 à 25 % moins chères en immobilisation avec une consommation de 3,5 t/kWh contre 2,4 t/kWh pour les Diesels.

Quant aux turbines à gaz alimentées en fuel oil, nous avons dit qu'elles ne sont en mesure de concurrencer les turbines à vapeur et les diesels que pour des faibles utilisations annuelles ou pour la couverture de pointes en raison de la médiocrité de leur rendement. Mais avec du gaz naturel l'utilisation peut être totale et ce serait la solution la plus recommandable.

2) USAGES THERMIQUES

L'exploitation du gisement lacustre à des fins industrielles représente, au stade actuel, le seul champ d'applications susceptible d'un débouché ample et diversifié.

Le gaz soutiré du lac peut trouver un très intéressant débouché dans de multiples industries du feu existantes ou à créer : cimenteries, briqueteries à four continu, usines réfractaires, industries céramiques, verreries, fonderies de fer et d'autres métaux, forges et laminoirs, fours de recuit et trempe.

Dans le secteur agricole, pour les multiples usines de conditionnement des produits de culture : café, thé, pyrètre, etc. faisant usage de séchoirs actuellement chauffés au bois ou au mazout. Toutefois, un obstacle de taille resterait à franchir : c'est la dispersion de ces petites usines dans un très grand rayon (de 50 à 150 km) autour des points de captage présumés. Cet éparpillement s'avère incompatible avec l'économie de transport du gaz. La solution paraît être le ramassage des produits dans les centres de culture et leur acheminement jusqu'à quelque

usine de traitement proche du captage. L'abandon des anciennes installations de séchage devrait trouver une compensation dans le gain à escompter de cette concentration du traitement.

Autre débouché prometteur : les industries alimentaires (brasseries, fabriques de conserves et de graisses, de concentrés, féculeries, boulangeries) ; les industries textiles de traitement des fibres, d'apprêt, de teinturerie ; les industries chimiques et de distillation, savonneries, etc. ; bref toutes activités centrées sur l'utilisation de vapeur, d'eau chaude ou autre forme de calorique.

En particulier, la combustion dans des fours à ciment, offre des perspectives immédiates. Chaque tonne de produit exige quelque 300 kg de charbon brut 0-2, dont l'équivalent méthane atteindrait 700 m³/t sur la base de p.c.i. respectifs de 4.500-5.000 kcal/kg pour le poussier, et de \pm 2.000 kcal/m³ pour le gaz brut, tel que soutiré du lac. L'élimination du CO₂, dans le but d'alléger la charge du transport, ramènerait la consommation du gaz à moins de 200 m³/t.

Près de Katana, sur la rive ouest, est installée une cimenterie dont l'alimentation en combustible fluide peut s'effectuer de manière avantageuse.

L'utilisation du gaz comme carburant pour la locomotion sur routes et par eau ne peut être sous-estimée, mais elle implique une liquéfaction assez coûteuse. Ses applications précitées se prêtent à une valorisation directe et la plus aisée du potentiel thermique du gaz naturel, dont il est fait un si large emploi dans des pays évolués jouissant de cet enviable privilège d'être nantis de gisements d'hydrocarbures. Aux États-Unis, le gaz naturel couvrait en 1955 déjà 25 % des besoins énergétiques (contre 26 % pour le charbon). Le méthane, en raison de son riche pouvoir calorifique, se révèle le meilleur des combustibles mis à la disposition de l'industrie.

Transport du gaz.

L'approvisionnement en gaz de ces usines de tout genre sera aisément assuré par refoulement sous pression moyenne dans des pipe-lines. Le haut pouvoir calorifique du méthane, même chargé de 10 % de CO₂, est un facteur d'allègement du coût des canalisations par comparaison avec le gaz deux fois moins riche distribué dans les réseaux européens : les sections de conduite sont réduites au prorata. Jusqu'à plus ample examen, il apparaît que le choix du matériau devrait se porter de préférence sur un plastique apte à garantir l'immunité contre les corrosions tant externes qu'internes. Autres avantages : souplesse de traversée des accidents de terrain si nombreux dans cette région au relief tourmenté. Également une bonne tenue des canalisations en cas de secousses sismiques, ou de mouvements de terrains, faibles mais assez fréquents dans la zone failleuse, disloquée aux abords du graben, contigu à la chaîne des volcans Virungas.

La solution n'est pas à l'abri de toute critique : il y a l'inconnue de résistance mécanique de la matière sujette à décroître dans le temps (décréments d'élongation et de charge de rupture) ainsi que la difficulté de réaliser sur place des assemblages corrects parfaitement étanches. Il faut prendre garde au risque constant de fuites par un fluide toxique, combustible et explosif, mais dont il est malaisé de détecter la déperdition.

L'emploi d'aluminium, en vogue dans certains champs pétrolifères, ne paraît pas aussi économique. L'acier serait exposé à la corrosion, sauf à garantir l'intégrité par un revêtement interne ad hoc.

3) CHAUFFAGE DOMESTIQUE

De prime abord, cette application semble assurée d'un débouché intéressant dans les provinces de l'Est, désavantagées quant à l'accès des produits pétroliers. Pour ne

pas grever la fourniture à domicile de frais d'acheminement superflus, il faudrait opérer au préalable une concentration maximum du gaz dans des récipients portatifs. Dans ce but, la première opération qui s'impose est d'éliminer le CO_2 d'autant plus qu'il y a lieu de prévenir tout risque de corrosion des bonbonnes, tubes et accessoires métalliques en présence d'humidité. Il en résulterait des engorgements rapides des conduits et des percées de bouteilles à gaz.

Des objections de poids peuvent être opposées à ce mode de livraison aux consommateurs : le méthane est d'une liquéfaction très difficile, à l'opposé des autres termes gazeux de la série des hydrocarbures saturés ou paraffiniques. Il en découle la nécessité de le refroidir jusqu'à -160°C ou de le comprimer à 300 kg. Assurément, la liquéfaction de ce gaz commence à se développer dans certains centres producteurs (E. U., U. R. S. S., France, Sarre), mais le prix de revient poserait ici une énigme.

Les bouteilles d'acier, nécessairement de très forte épaisseur, en deviennent d'un poids et d'un prix élevés, d'autant plus que l'échauffement dû à l'ambiance tropicale occasionne un accroissement de pression ; et l'on ne peut exclure, malgré tout, certain risque d'explosions par fuites aux raccords ou à travers les parois.

Il faut aussi tenir compte du coût élevé des stations de compression du gaz, à quadruple étage de pression et système spécial de refroidissement. Pareil service n'est d'ailleurs concevable que pour des débits d'une certaine importance. Par suite, les investissements à prévoir, en fonction des quantités à débiter, deviennent considérables. Le prix du mètre cube de gaz en sera lourdement chargé. Déjà le butane liquéfié revient à Bukavu vers 35 F B le kg.

Pour ces motifs, l'approvisionnement par bonbonnes serait, au plus, intéressant pour le service des « écarts », fermes isolées p. ex., et pour l'alimentation des moteurs

de véhicules. Il paraît devoir céder le pas à la distribution du gaz au moyen de conduites souterraines pour le chauffage domestique. Pour les besoins de l'industrie, c'est le seul mode de fourniture admissible.

En Afrique belge, pays neuf, pourrait heureusement être éludée la nécessité de conditionner le gaz par un cycle d'opérations avant de le livrer à domicile. C'est ainsi qu'en Belgique les gaziers sont astreints de procéder à une appropriation complexe et délicate du grisou — lequel n'est rien d'autre que du méthane — récupéré en grande quantité dans les charbonnages des bassins du Sud : le traitement consiste en *cracking* — *reforming* à l'air, en présence d'un catalyseur au nickel à 800° C avec appoint d'un peu de vapeur d'eau. Il s'agit, en effet, de ramener le p.c.i. du gaz vers 4.300 kcal/m³, soit la limite prescrite pour le gaz de ville normalisé de densité 0,5 correspondant à 50 % de H₂.

A défaut d'une telle adaptation, le méthane, à l'état concentré, serait d'ailleurs d'une combustion malaisée et de caractère explosif avec les brûleurs du type normal en usage.

Le gaz du lac Kivu pourrait être directement débité dans son état naturel, sous réserve d'être enrichi. Il suffirait d'équiper la clientèle d'appareils conçus d'emblée et sans difficulté de construction pour brûler le méthane (au lieu de gaz reformé) à l'instar de ce qui se fait dans de nombreux centres d'Amérique du Nord.

La distribution directe du gaz à 90 % de CH₄, par réseaux M.P. et B. P., présenterait des avantages d'économie et de sécurité. Le raccordement par conduite d'entrée à chaque immeuble permettrait d'éviter le danger de déflagration inhérent à l'entreposage de bonbonnes dans l'intérieur ou à proximité de l'habitation.

Le système classique de distribution par gazomètre et réseaux M.P. B. P. dans un rayon immédiat et par pipeline H. P. à grande distance, nous semble d'autant préférable

rable qu'aux États-Unis c'est la solution en faveur pour la répartition du gaz naturel. Elle ne connaît d'autre limite au transport qu'une ampleur de débouché apte à couvrir les charges. Certains circuits atteignent entre 3.000 et 4.000 km. En France, une adduction relie Lyon et bientôt Paris au gisement pyrénéen de Lacq.

S'il est distribué par réseau ordinaire, le combustible de choix qu'est le gaz du Kivu enrichi serait apte à supporter allègrement la concurrence des gaz manufacturés d'importation : il représente une ressource prodiguée avec largesse par la nature et dont l'exploitation peut être rendue lucrative si un débouché suffisant lui est offert. L'économie du traitement et du transport du gaz à distance implique, en effet, un certain volume de vente comme dans tout service de l'espèce. A l'échelle belge, la limite inférieure de rentabilité serait de 5 millions de m³/an, mais avec du gaz de valeur calorifique moitié moindre.

Sous l'angle de l'utilisation comme combustible de chauffage pour installations domestiques ou industrielles, si la cuisine au gaz apparaît plus économique que celle à l'électricité, néanmoins, il faudra mettre en balance les autres sources d'énergie, locales ou d'importation : bois et tourbe du Kivu, charbon du Katanga, *fuel oil*, butane liquéfié... C'est en premier lieu du côté des Européens et des autochtones des centres détribalisés que peut s'ouvrir un débouché domestique, à la faveur des commodités assurées et de l'élargissement du pouvoir d'achat. Certains des combustibles concurrents seront peu aisés à évincer en milieu coutumier, sauf évolution, et dans certaines industries, sauf à leur consentir des tarifs assez bas.

Une particularité dont il faut tenir compte au Congo, c'est la mutation fréquente des agents de l'administration et des sociétés : ce peut être un obstacle à la substitution des appareils à gaz aux appareils électriques.

4) APPLICATIONS CHIMIQUES

Le méthane mis à disposition sous forme suffisamment pure est susceptible de servir comme matière première pour des fabrications de synthèse ou pour des traitements chimiques.

Entre autres applications, serait possible la production de méthanol par synthèse, basée sur la réaction $\text{CO} + 2 \text{H}_2 = \text{CH}_3\text{OH}$, donc à partir du même rapport $\frac{\text{H}_2}{\text{CO}}$ que pour la synthèse FISCHER de l'essence. Le gaz lacustre devrait être expurgé des moindres traces d' H_2S , impureté la plus funeste pour les catalyseurs (composés de Cr-Zn) et du CO_2 , dont l'indésirable présence se traduirait par un surplus de consommation d'hydrogène.

Cette synthèse du méthanol, la mieux défendable économiquement, 3 à 4 fois moins coûteuse d'immobilisation que celle des carburants FISCHER-TROPSCH, n'en exigerait pas moins, pour devenir rentable, des installations d'une certaine ampleur.

Assurément, les débouchés du méthanol sont légion : à l'état brut, carburants pour moteurs, alcool à brûler, outre les fabrications dérivées de plastiques, fibres artificielles, caoutchouc synthétique, explosifs; les préparations de détergents, solvants et désinfectants, des produits pour industries des revêtements, voire de l'alimentation... Bref, c'est un produit-clé de la chimie organique.

Dans les régions de l'Est, c'est surtout pour la propulsion des véhicules motorisés que l'alcool méthylique serait le bienvenu. Mais toute production de substances alcooliques tombe sous le coup d'une rigoureuse prohibition légale, en Afrique belge. Quant aux autres possibilités, elles prêtent à circonspection.

Les conclusions ne sont guère plus encourageantes si l'on envisage le *cracking* du méthane — carbure gazeux

le plus difficile à dissocier — dans le but d'en extraire de l'acétylène : ce dernier serait utilisable, à son tour, pour synthétiser certains dérivés industriels de la série aliphatique, qu'il s'agisse de synthèses organiques au départ de $\text{CO} + \text{H}$ ou d'une synthèse minérale à partir de H pour produire NH_3 : c'est une fabrication réalisée à grande échelle aux États-Unis.

Sur toute synthèse de l'ammoniaque peuvent s'articuler les fabrications de composés azotés : explosifs, engrais chimiques. Le besoin de fertilisants est ressenti avec acuité dans les territoires belges d'outre-mer et dans les pays limitrophes. Une formule à envisager dans la même voie serait la production d'amendements potassiques au moyen du traitement des laves, disponibles à profusion dans les parages du lac Kivu.

Le domaine de la pétrochimie est devenu d'une fertilité sans limites.

Dans la série des applications possibles, il convient de ne pas omettre la production de carbures divers et la valorisation des gisements métalliques. Nous écartons d'emblée l'utilisation du méthane pour la réduction directe du minerai de fer en substitution du coke de haut-fourneau. Le procédé sous l'appellation d'H-FER a été mis récemment à l'étude en France pour tirer parti des énormes possibilités du gaz de Lacq, très riche en H_2S (20 %). L'homologue en Italie est le procédé FINSIDER.

Mais la réduction au méthane se heurte à plusieurs écueils : nécessité d'un minerai très riche et dépourvu de gangue sous peine de colmatage, risque de carburation de la fonte. Cette technique n'est pas encore sortie du domaine de l'expérimentation à l'échelle-pilote, et les spécialistes ne la jugent pas apte à supplanter le procédé traditionnel de réduction par le carbone. La primauté du haut-fourneau ne cessera pas de si tôt, car il fait office de gazogène, conditionnant l'équilibre énergétique de la sidérurgie.

Les grands pays producteurs (États-Unis, U. R. S. S.), continuent à ériger des hauts-fourneaux de plus en plus puissants. Au Congo, les gisements importants de minerai de fer se trouvent d'ailleurs à distance trop grande du Kivu.

En conclusion, le doute plane sur l'intérêt économique des diverses fabrications passées en revue, eu égard à leur complexité plus ou moins grande et aux aléas de leurs marchés en Afrique centrale.

En dehors de la conversion chimique du méthane, il reste la valorisation, plus prometteuse, du gaz carbonique. Un débouché certain, mais peu extensible en raison du poids et du coût des bouteilles d'acier servant au transport, serait l'utilisation dans les industries alimentaires et frigorifiques : conservation des denrées périssables et de jus fermentés, soutirage de la bière, fabrication de la bière, fabrication de boissons gazeuses, de crème glacée, etc... Il y aurait aussi la préparation éventuelle de la carboglace à partir d'un mélange de neige carbonique et de CO_2 liquéfié, dont l'emploi jouit d'une certaine vogue pour les chambres de réfrigération. Et pour en terminer avec cette rubrique, rappelons les usages industriels : charge d'extincteurs pour feux électriques ou de carburants, lubrifiant pour usinage de métaux extra-durs, etc... sans oublier le refroidissement de certains types de réacteurs nucléaires.

Sujétions communes

Quelles que soient les utilisations envisagées, il y a lieu de prévoir :

Enrichissement du gaz brut

Le mélange gazeux, capté au lac, devrait subir un traitement de concentration pour en expurger le CO_2 , inerte, et dont la présence grèverait le transport d'une

charge prohibitive car il intervient pour environ 75 % dans la composition du produit brut.

La séparation des deux constituants a été reconnue réalisable en toute aisance par simple lavage en surface, sans appoint d'une décarbonatation, par lessive alcaline de soude ou de potasse caustique. Cette extraction du gaz carbonique ne peut soulever de problème au moyen d'un ruissellement de l'eau prise en surface du lac, attendu qu'elle est hyperminéralisée avec des pH confinant vers 9,5-10. Le rendement d'épuration serait excellent, car il faut encore tenir compte de l'énorme différence de solubilité entre les deux constituants essentiels du mélange : le CO₂ soluble à l'extrême et le méthane presque dépourvu de solubilité à pression et température d'ambiance. Ainsi disjoint de son gênant compagnon, le méthane épuré à 95-98 % retrouverait un pouvoir élevé, (environ 8900 kC : p.c.i.).

L'acide carbonique évacué des tours de lavage est récupérable pour la compression et la production de neige carbonique, produit rare et cher dans l'Est et susceptible de trouver un écoulement rémunérateur pour divers emplois : conservation des poissons pêchés aux lacs et d'autres aliments, fabriqués d'eaux minérales, chargement d'extincteurs, etc.

Déshydratation

Comme le gaz extrait du lac par désorption peut être chargé de gouttelettes d'eau et contenir une fraction résiduelle de CO₂ plus ou moins agressive pour les parties métalliques des installations, il faudrait prévoir un dispositif d'assèchement du gaz à l'entrée de la conduite. Il serait, en principe, constitué d'un sécheur décanteur, du type cyclone ou à chicanes, pour égoutter le fluide, et d'une tour de déshydratation, montée en série. Plusieurs agents de dessiccation s'offrent au choix : gel de silice, régénérable par chauffage ; alumine ; glycol di ou tri-éthylène ; chlorure de calcium.

Stockage.

La présence d'un réservoir tampon s'impose pour stocker le gaz extrait du lac, afin de compenser les irrégularités de débit : aucune utilisation industrielle ni domestique ne saurait, en effet, s'accomoder d'un afflux par bouffées de l'émulsion gaz-eau. Les gazomètres sont d'ailleurs un élément indispensable de tout réseau.

En matière de captage, la circonspection doit demeurer la ligne de conduite du technicien ; il s'agit d'un domaine fertile en surprises et le cas du lac Kivu n'a pas son équivalent.

Pour cette raison, il s'imposait d'éclairer le problème sous chacun de ses aspects. Un premier captage d'expérimentation a été entrepris fin 1952, suivi d'un second en guise d'installation-pilote. Ces deux essais ont eu un dénouement positif et produit des résultats concluants.

La réserve de gaz combustibles du lac Kivu retiendra l'attention des naturalistes appelés à se pencher sur les problèmes de biologie et de biochimie, comme de ceux que préoccupent les questions énergétiques ou chimiques. Son attrait scientifique, vraiment exceptionnel, se double d'alléchantes perspectives de valorisation directe pour la génération de force motrice et de chaleur, sinon chimique par voie de synthèse. Un domaine nouveau s'offre à la sagacité et à l'engouement des chercheurs, car il n'existe de par le globe aucune source énergétique de cette nature. C'est aussi un fleuron de plus dont vient de s'orner le riche patrimoine de l'Afrique belge.

15. LES GAZ LIQUÉFIÉS

Il convient d'accorder une mention à l'emploi des gaz liquéfiés comme source d'énergie secondaire. Il s'agit, en l'espèce, des premières fractions (à point d'ébullition élevé), normalement recueillies dans la distillation des *crude-oils*. C'est-à-dire que ces produits ne sont en général disponibles immédiatement que dans les régions

proches des raffineries ou des sources de pétrole, exception faite des émissions de gaz naturels. En territoire belge d'outre-mer existent déjà plusieurs réseaux de sociétés distributrices, dont les points de vente sont répartis dans le Bas-Congo ou échelonnés le long du fleuve et des chemins de fer, bref dans les zones accessibles.

Dans certaines villes congolaises, l'utilisation de butane liquéfié se répand pour le chauffage des cuisinières, comme substituant de l'électricité : il s'agit des centres où les tarifs de vente du courant ne peuvent être comprimés parce qu'en l'absence de production hydroélectrique, le prix de revient du kilowattheure est chargé à l'excès par les consommations du coûteux gasoil.

Comme en l'état présent de notre connaissance géologique il n'existe pas de ressources souterraines de gaz naturel et qu'aucune distribution de gaz n'a pu, et pour cause, être encore établie, le gaz manufacturé d'origine extra-congolaise vient fort à point pour faire office de combustible domestique et de moyen d'éclairage jusqu'à mise en exploitation des réserves du lac Kivu.

Propriétés du butane

Des avantages inhérents au gaz liquéfié de pétrole le désignent de la sorte comme moyen auxiliaire, mais pratique, d'assurer le chauffage ménager en pays neuf spécialement : c'est la forme d'énergie la plus condensée mise à disposition de l'utilisateur privé : son très haut pouvoir calorifique sous volume et poids réduits, comme son maintien à l'état plus ou moins liquide sous faible pression sont des facteurs propices à un service itinérant (transport et stockage), et à l'approvisionnement de bonnes légères chez le particulier ; de plus ce combustible gazeux s'accommode avec souplesse des divers usages à domicile ; étant dénué de toute toxicité par lui-même ni de par sa combustion (dégageant CO_2 et H_2O), il est utilisable sans risques d'émanations insalubres ni d'effets corrosifs tant à l'intérieur qu'au dehors des récipients

Sous ce rapport, la pureté du gaz liquéfié et son parfait état de siccité sont de rigueur, pour éviter non seulement la corrosion mais les encrassements des circuits, valves et détendeurs.

Le seul danger est celui des fuites accidentelles de gaz ; il peut présenter une extrême gravité comme l'attestent des explosions suivies d'écroulement d'immeuble et de mort des occupants. Or le butane étant accumulé dans les bouteilles sous une pression de plusieurs kilos et à l'état gazeux, plus dense, que l'air avec lequel il forme inévitablement un mélange explosif, la moindre fuite, le débit augmentant, a tôt fait de prendre des proportions désastreuses. Comme ce gaz est inodore il faut lui ajouter des traces d'un gaz très odoriférant afin de faciliter la détection des fuites. Pour prévenir les risques d'accident, les fournisseurs prodiguent à leur clientèle des instructions très strictes.

Il est superflu d'insister sur l'ensemble des commodités inhérentes à cette source de calorique pour l'usage à domicile, surtout en région tropicale.

Pour les usages domestiques, notamment chez le particulier, le butane convient le mieux à cause de sa faculté de liquéfaction sous pression très basse et de sa facilité de vaporisation, impliquant une transition spontanée entre les deux états liquide et gazeux ; de plus il peut être installé à l'intérieur des immeubles.

Propriétés du propane

Par contre, l'affectation du propane comme gaz combustible pour usages industriels de chauffe, est justifiée en raison de son moindre coût et d'un point de vaporisation plus bas, qui permet l'écoulement du fluide à l'extérieur par temps froid : tel n'est pas le cas du butane dont la température d'utilisation est trop élevée. Le propane permet, en conséquence, un stockage plus important.

La puissance de chauffe du propane gazeux équivaut

à celle du butane, leurs p.c.i. étant presque les mêmes et leur affinité commune pour l'oxygène en faisant des combustibles de choix ; ils sont aussi stables et non détonants au choc. Le propane participe des autres avantages déjà énumérés.

Il nous sera dispensé d'épiloguer sur les possibilités de ce moyen de chauffage pour de multiples applications industrielles, agricoles et communautaires, particulièrement dans les petits centres isolés de pays neufs : postes mobiles de chantier, oxycoupage et soudure en remplacement de l'acétylène et sans oxygène, vu la forte pression du propane ; chauffage localisé par radiants I. R., petits fours de recuit, trempe, séchage ; cuisine en grand, stérilisation ; menus apprêts textiles, etc.

Dans ce large champ des applications de chauffe ou de traitement thermique, les gaz liquéfiés remplissent un rôle éminemment utile de suppléant d'énergie sous forme calorifique très maniable. En particulier pour l'emploi à domicile, les usagers disposent d'un substituant pratique et propre du bois de chauffage, surtout pour les cuisinières. Renoncer au bois, c'est du même coup supprimer les inconvénients dus à la chaleur, aux poussières et fumées salissantes, c'est atténuer la pénible tâche de la femme au foyer ; en lui procurant plus de confort on l'y retient davantage... ; cet aspect sociologique de la question ne doit être nullement sous-estimé. Observons que le même effet bienfaisant peut aussi résulter de l'usage des cuisinières électriques.

Carburation

Si l'intérêt de l'utilisation des gaz liquéfiés sous forme calorifique ne fait pas de doute, au contraire, il ne s'indique pas de la préconiser au Congo comme source d'énergie mécanique, essentiellement régie par des contingences locales. Sans doute, le gaz liquéfié présente, comme carburant, certains avantages dont a résulté son emploi durant la guerre au titre de succédané occasionnel : pour

l'alimentation des moteurs à carburateurs ses caractéristiques le rapprochent de l'essence quant aux facilités d'entretien et d'exploitation ainsi que pour les performances mécaniques. En comparaison de l'essence ordinaire, le gaz est plus antidétonant et permet donc la marche avec avance optimum, mais avec un décalage dans les courbes de puissance.

Les grandes bonbonnes, avec leurs détenteurs particulièrement délicats, doivent être manipulées avec soin, et les frais de transport en sont élevés.

Si une taxation vient à déplacer un carburant au profit de l'autre, pour les rétablir à un même niveau fiscal, un éventuel avantage économique disparaît. Il faut tenir compte aussi de la nuisance psychologique de ces surtaxes indisposant le consommateur.

Du point de vue de l'autonomie d'approvisionnement de combustible du Congo en période troublée, le problème demeure entier, car les gaz liquéfiés doivent être importés au même titre que les produits pétroliers ; étant, d'autre part, d'un transport plus difficile, ils seraient handicapés de frais d'acheminement qui les feraient vite éclipser au profit des combustibles liquides. Mécaniquement, une appropriation des moteurs s'imposerait et la consommation en poids de carburant serait accrue. Pour ces multiples motifs la solution s'avère impensable.

16. L'ÉNERGIE ÉOLIENNE

Position du problème.

L'utilisation de moteurs à vent pour actionner des groupes électrogènes, ou élévatoires, est de prime abord une formule séduisante. Le mobile d'économie des ressources dont elle s'inspire nous en a fait examiner l'application aux petits centres agglomérés des territoires belges d'outre-mer, pour l'équipement des distributions d'eau et d'électricité dans le cadre du Plan Décennal.

En 1955, nous avons recueilli sur place des éléments de première information auprès de la Direction générale du Service météorologique au sujet du régime des vents. Un réseau de stations climatiques fonctionne sur toute l'étendue du territoire : son objectif est l'observation continue des courants et de leurs perturbations dans les couches inférieures de l'atmosphère, données dont la connaissance intéresse l'envol et l'atterrissage des avions.

Les conditions aérologiques, caractérisant le Congo, nous ont été déclarées peu propices, dans leur ensemble, à l'exploitation de l'énergie du vent par des moteurs atmosphériques. Le problème a fait l'objet, il y a plusieurs années, d'études sommaires sur demande de sociétés et de divers organismes. Les premiers résultats étaient tenus pour négatifs en raison d'une insuffisance de vitesse moyenne des vents.

Conditions et caractéristiques de fonctionnement

Il faut, à ce sujet, se reporter aux lois, malheureusement imprécises, régissant le captage de l'énergie éolienne.

a. Puissance des moteurs éoliens

S'il s'agit de petites installations, une méthode de calcul simple et suffisamment approchée pour les besoins de la pratique est indiquée par M HOUDERET [31]. Elle donne comme valeur de la puissance maximum théorique d'une hélice :

$$W_m = \frac{D^2 V^3}{7000} \text{ en kW ;}$$

d'où V = vitesse du vent, en m/s ;

D = diamètre de l'hélice en m.

Cette puissance limite est amputée de différentes pertes par : tourbillons marginaux, effets centrifuges,

entraînement de l'air ambiant et trainée d'hélice (somme des pertes dues aux frottements dans l'air et autres phénomènes parasites).

Après application d'un coefficient de sécurité la puissance utile devient :

$$W_u = \frac{D^2 V^3}{10.000} \text{ kW},$$

expression semblable à celle donnée par M. le Professeur DENZEL de la Technisch Hochschule d'Aix-la-Chapelle.

Il est admis d'ailleurs de longue date, que cette puissance est une fonction de forme générale $kS V^3$ (S étant la section utile des aubes de la roue à vent) ; le débit d'énergie est donc proportionnel au cube de la vitesse du vent et à la section de la colonne d'air captée par l'appareil. D'après cette présentation simplifiée, à une vitesse triple correspond une énergie accrue près de 30 fois. L'on peut mesurer par ce simple exemple l'énorme incidence du facteur vitesse : une faible vitesse du vent signifie production dérisoire d'énergie, une grande vitesse production démesurée.

Outre la vitesse, interviennent deux paramètres essentiels : la densité de l'air et sa direction ; la puissance variant comme le sinus de l'angle de la direction du vent avec le plan de rotation de l'hélice.

Toutes ces formules dérivent de l'expression classique $W = 1/2 MV^2$ avec $M = \rho SV$, en l'espèce S représentant la surface normale au vent balayée par les ailes et V la hauteur ou vitesse, ρ la densité du fluide.

Comme une fraction de cette énergie cinétique W se dissipe à l'écoulement, la vitesse initiale V est diminuée de la vitesse de sortie, de sorte que la vitesse utile représente au plus $2/3 V$. A cette différence correspond une perte d'énergie qui s'accroît de celles de la machine entraînée, génératrice électrique ou pompe.

b. Rendements.

Le rendement, à présent défini par le coefficient global de puissance, c'est-à-dire le rapport

$$\frac{\text{puissance développée}}{\text{puissance du vent}}$$

varie dans de larges limites, dont le type de moteur aérien.

Les rendements des premiers aéromoteurs, dérivés des antiques moulins à vent d'usage immémorial, étaient autrefois désastreux, plafonnant vers 20 à 25 %. Ils ont été améliorés de beaucoup pour les éoliennes domestiques de type moderne, au point d'atteindre 75-80 % aux allures optima.

Le problème change d'aspect pour les éoliennes dites « puissantes » encore au stade expérimental d'utilisation, voire de prototype, et dont la mise au point n'a pas tant évolué ; leur calcul selon les méthodes éprouvées pour les petits appareils pêche par une imprécision consécutive à l'extrapolation des résultats connus. Or, seules des éoliennes d'une certaine puissance, au delà d'une dizaine de kW, offrent de l'intérêt pour la fourniture de courant dans les petites distributions publiques du Congo. La puissance effectivement récupérable atteint tout au plus 45 % de la puissance chiffrée par le calcul, soit 35 % en puissance débitée par la génératrice électrique.

Ces résultats, assez décevants, s'expliquent en raison des importants débits d'air requis pour produire la puissance voulue, par suite du faible poids spécifique de ce fluide ; cette influence adverse doit s'accentuer sous les tropiques.

La médiocrité d'effet utile des éoliennes implique un grand développement de la surface des pales ou des aubes pour obtenir la puissance désirée ; ce qui entraîne une augmentation d'encombrement, de poids et de coût de la construction.

Un autre facteur défavorable à l'utilisation du vent comme source d'énergie réside dans la variabilité de ses allures instantanées et dans l'impossibilité d'en prévoir la répartition spatiale. Ces irrégularités d'allure du vent sont heureusement de caractère très passager, et durant la plus grande partie de l'année la vitesse se stabilise aux environs d'une allure moyenne. Une intéressante étude de M. C. DE RICOU relative aux territoires français d'outre-mer ⁽¹⁾ conclut à une remarquable régularité pour les régions du centre africain à l'instar de celles d'Europe ; les écarts enregistrés sur des périodes d'observation, étendues à plusieurs dizaines d'années, n'excéderaient pas 10 %.

Les conditions de fonctionnement normal des éoliennes ont été définies par M. HOUDERET ; ses constatations reposent sur des essais pratiques et donnent lieu à d'intéressantes déductions :

1° Le nombre d'heures d'action des vents de 2 à 9 m/s décroît avec leur vitesse, selon une loi approximativement linéaire ; cette constatation fait exclure toute notion de vent dit « dominant » ; le fait est d'observation courante au Congo belge ;

2° Les vents d'une vitesse de 6 à 8 m/s procurent le maximum d'énergie dans l'année, confirmation d'un fait consacré par l'ancien vocable « vent des meuniers » ;

3° Les vents de vitesse supérieure à 10 m sont exceptionnels, surtout en Afrique équatoriale, et d'une utilité restreinte avec emploi de batteries ; ceux dont l'allure dépasse 15 m sont unanimement réputés dangereux.

Régime des vents dans les T. B. O.

Ces relations paraissent corroborées dans leur ensemble par les enregistrements des fréquences des vents au sol

⁽¹⁾ DE RICOU, C., L'énergie éolienne dans les T. O. M. (*Industries Travaux d'Outre-Mer*, Paris, 1959).

pour sept stations principales du Congo et du Ruanda-Urundi. Le tableau ci-dessous en donne la répartition selon vitesses.

Tableau 8. — Vitesse du vent dans les principales stations météorologiques.

Stations	Calme	1 à 3 nœuds	4 à 6 nœuds	7 à 10 nœuds	11 à 14 nœuds	plus de 14 nœuds
Léopoldville	16,4	43,2	33,3	6,4	0,4	0,3
Coquilhatville	15,5	53,7	26,6	3,9	0,1	0,2
Stanleyville	20,2	39,5	26,7	10,4	1,5	1,7
Luluabourg	19,5	49,0	21,5	8,0	1,0	1,2
Élisabethville	7,6	23,0	33,8	26,0	7,7	1,9
Bukavu	2,8	51,3	34,8	9,6	1,1	0,4
Usumbura	10,8	51,4	26,0	9,0	1,8	1,0

Il appert aussi de ces données que les vitesses moyennes du vent seraient faibles, celles dépassant 5 m/s paraissant de fréquence réduite. Même des vitesses supérieures à 4-6 nœuds par heure soit 1,8 à 2,2 m/s, sont peu fréquentes durant la journée, ainsi qu'il résulte d'un dépouillement des indications sur les vitesses de vent au sol publiées au « Bulletin mensuel du Service Météorologique au Congo belge ».

L'Institut national pour l'Étude agronomique du Congo belge (I. N. E. A. C.) avait procédé, il y a plusieurs années, à des essais d'utilisation de turbines éoliennes. Nous relatons ci-dessous les conclusions de ces expériences :

A Keyberg, dans le Haut-Katanga, fonctionnement impossible en tout temps.

A Nioka, dans l'Ituri, fonctionnement possible, mais exclusivement durant la saison sèche.

Dans toute la cuvette centrale, la vitesse du vent est nulle de nuit.

Des relevés de vitesse moyenne du vent ont été enregistrés systématiquement à Yangambi, dans la Province

orientale, sur un plateau à 5 km du fleuve Congo. Ils sont reproduits ci-dessous.

Tableau 9. — Vitesse moyenne mensuelle du vent à 2 m, à Yangambi en 1954.

Intervalle du jour	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
Matinée													
6-12h	4,69	4,65	5,14	4,63	4,44	4,10	4,35	4,65	5,06	4,83	4,43	4,15	4,59
Après-m													
12-18h	4,98	5,60	5,30	5,11	4,50	4,65	5,42	4,60	4,96	4,90	4,38	4,30	4,82
Jour													
6-18h	4,83	5,13	5,22	4,87	4,47	4,37	4,43	4,63	5,01	4,87	4,41	4,23	4,71
Nuit													
18-6 h	1,84	2,73	2,56	2,58	2,15	1,95	2,09	2,29	2,80	2,55	2,40	2,95	2,33
24 h													
6-6 h	3,33	3,93	3,89	3,73	3,31	3,16	3,26	3,46	3,91	3,71	3,41	3,14	3,52

Dans le Bas-Congo, les éminences de terrain sont balayées par des vents de grande irrégularité, forts ou nuls selon les moments.

Le Kasai jouit d'un régime de vents plus uniforme et général, mais d'intensité souvent réduite. C'est encore le cas d'autres plateaux de la savane pauvre, dégagés à l'état de steppes où s'observent des vents faibles mais réguliers en saison sèche. De même dans les Uélés et autres contrées ceinturant la cuvette centrale. Les hauts plateaux du Katanga sont gratifiés de vents très forts, soufflant parfois avec violence, jour et nuit, dans les parties à haute altitude (1.500 à 1.800 m). Dans les plaines en contrebas l'on ressent une impression de calme.

Au Ruanda-Urundi, les vents sont assez vifs également à partir d'une certaine latitude, mais les sommets sont inhabités et sans eau. Les indigènes occupent les parties basses dans les dépressions abritées des vents, mais dont le développement n'est pas tel que puissent s'y établir des courants assez forts. Au Congo, les vents dominants sont en général de direction Est-Ouest, ou vice-versa,

tandis que la plupart des *thalwegs* ou dépressions présentent une orientation Sud-Nord, telle la grande vallée du Lualaba, résultant de la configuration orographique. Ces dépressions parallèles sont naturellement chaudes, malsaines, non aérées, tandis que les crêtes des versants bénéficient d'une brise tiède.

Certaines contrées, reconnues venteuses, pourraient convenir à l'installation d'éoliennes. Entre autres, les plateaux élevés, d'accès facile, du Katanga et leurs prolongements vers le Sud seraient des plus indiqués ; par exemple le plateau de Kamina, bien accessible de toutes parts ; de même aux Uélé. Ceux du Kasai, balayés par des vents Sud-Ouest — Nord-Est, sont, à première vue, moins favorables parce que moins étendus, le pays étant plus vallonné ; des centres tels Lusambo, Luebo, Mweka sont établis dans des vallées trop arborées. La petite zone côtière (Moanda, etc.) est naturellement exposée aux brises actives du large. Dans l'est et le nord-est du Ruanda-Urundi, s'étale une zone assez plate, parsemée de petits mamelons favorables.

A la lumière de ce faisceau d'informations, il apparaît qu'un champ de recherches important reste à explorer, avant de conclure de manière négative et prêtant au doute.

Dans les conditions aérologiques reconnues en Afrique tropicale, l'altitude exerce une influence très profitable, les points hauts étant énergiquement ventilés.

D'autres éléments interviennent dans ces contrées chaudes et humides : l'état de saturation hygrométrique de l'air et sa température élevée, influençant la densité et la viscosité du fluide brassé par les surfaces alaires.

Programme d'essais

Nous avons fait installer en 1954, à titre d'expérience, une petite éolienne de pompage (de 3 m ϕ sur tour de 9 m) dans la plaine alluviale de la Ruzizi, au Nord du lac

Tanganyika. La dépression étant assez large, les montagnes voisines du *thalweg* ne forment pas un écran perturbateur. Cette aéropompe fonctionne en moyenne 8 h par jour. La station de pompage est équipée d'un jeu d'appareils enregistreurs du régime atmosphérique : pluviographe, thermo-hydrographe, anémographe et microbarographe. Les résultats d'observations doivent couvrir une période de plusieurs années pour acquérir une signification effective.

Insuffisance des données actuelles

L'objectif visé par les observations anémométriques doit être de recueillir un ensemble d'éléments d'appréciation susceptibles de procurer une image fidèle du régime des vents, avec leurs caractéristiques essentielles.

Il faut regretter, à cet égard, une carence de normalisation dans les relevés des stations météorologiques réparties sur le globe. Selon une pertinente remarque de M. DE RICOU, les résultats ne sont pas strictement comparables à défaut d'unifier les méthodes et les équipements de mesure, ni la présentation des résultats, ainsi que cela tend à se généraliser par exemple pour les analyses.

Loin de sous-estimer le rôle, d'ailleurs indispensable à l'aviation, des stations météorologiques du Congo, il faut tenir compte de leur situation peu propice et de leur indigence d'équipement de mesure au strict point de vue énergétique. Leurs investigations se limitent aux régimes de durée et de vitesses des courants aériens. De plus les conditions aérologiques sont sujettes à varier d'un endroit à l'autre. L'imprécision des données d'ensemble recueillies par les stations n'autorise pas de transposition à des sites différents dans la même contrée. Il a été constaté que l'énergie collectée peut s'accroître de beaucoup à un emplacement voisin du poste d'observation, ce qui risque de bouleverser toute l'économie d'un projet. Dans ces conditions, la portée pratique des mesures effectuées

dans les stations météorologiques est des plus sujette à caution.

Nécessité d'un réseau d'observation

Pour résoudre un problème avec efficience, il en faut établir correctement les données. Or le champ des investigations est vaste au Congo.

A l'instar du programme d'études méthodiques et ordonnées dont l'Électricité de France a pris l'initiative avec tant de bonheur, il serait expédient, sinon indispensable, d'établir dans nos territoires d'outre-mer, un réseau de stations de jaugeage énergétique s'imbriquant sur celui des stations météorologiques existantes [11]. Les emplacements de ces nouveaux postes d'observations devraient être géographiquement décentralisés par rapport aux stations actuelles, leur liaison avec celles-ci restant d'ordre administratif. Tandis que le rôle du réseau météorologique reste de satisfaire aux nécessités du trafic aérien, l'objectif imparti aux stations de jaugeage serait d'enregistrer l'énergie utilisable par mètre carré de surface balayée par le vent. Les observations recueillies sous cette forme seraient transcrites sur cartes des énergies annuelles moyennes récupérables par m² de superficie. Sur ces documents doivent figurer les altitudes des sites mis en observation.

Pour la réalisation de ce programme d'études, il importe de sélectionner les sites et d'en arrêter la répartition dans les zones censées les plus productives et adjacentes d'utilisation. L'O. E. C. E. a édicté des normes dans ce but, mais leur application au Congo entraînerait des dépenses incompatibles avec l'équipement de petites collectivités.

Le *timing* de mise en observation doit couvrir une longue période opérationnelle, comme pour les études hydrauliques. M. BRONGNIART la fixe à un minimum de 20 ans d'après les résultats recueillis à l'E. D. F.

Critères fondamentaux d'observation

Un certain nombre d'éléments d'appréciation sont indispensables pour prévoir l'énergie disponible en un site déterminé, juger des possibilités d'utilisation rationnelle d'un aéromoteur et bien éclairer les constructeurs en vue de l'élaboration de leurs offres. Le choix du type d'éolienne reste tributaire du régime des vents, comme de l'utilisation envisagée et des conditions climatiques. Dans ce but, il est indispensable d'équiper le poste d'observation, d'appareils d'un maniement simple mais à enregistrement précis et répondant à l'objet des recherches.

Pour la mesure de l'énergie, un dispositif utilisé avec succès chez nos voisins du Congo français consiste en un moulinet actionnant une petite dynamo étalonnée avec système d'intégration de l'énergie éolienne. Il existe aussi des indicateurs à dépression avec dispositif de prise d'air monté sur pylône ; ils sont d'un coût abordable.

Les relevés doivent s'effectuer en coordination avec la station météorologique la plus rapprochée et, de préférence, soumise à un régime de vents analogue, en se conformant au même horaire d'enregistrement.

Il s'agit de déterminer :

1° *L'énergie totale utilisable, collectée durant l'année et rapportée, comme pour les mesures d'écoulement hydraulique, à l'unité d'aire balayée par le vent. C'est, de toute évidence, une norme de jugement essentielle.*

La prévision de l'énergie disponible à l'emplacement retenu, résultera de la vitesse moyenne annuelle du vent ; en fait, du minimum récupérable au cours du mois.

La connaissance des vitesses ne saurait, certes, constituer qu'un élément indirect d'appréciation de la force motrice d'origine atmosphérique. Mais l'économie, tant d'installation que d'exploitation, suppose la connaissance, sur une longue période, du rapport entre la vitesse de

puissance maximum ou vitesse nominale de l'aéromoteur et la vitesse moyenne dans l'année : un rapport élevé signifie un moindre coût d'équipement, mais une faible productivité (kWh/kW/an), la charge nominale n'étant atteinte que rarement. Il importe donc, comme l'a démontré M. GOLDING, de prédéterminer la production annuelle d'énergie de l'éolienne en kWh par kW installé pour telle vitesse de pleine puissance que l'on impose. En réduisant cette vitesse, l'on bénéficiera d'une plus grande production spécifique par année, mais au prix d'une augmentation de diamètre du rotor ou de l'hélice.

Pour juger des possibilités énergétiques, il importe donc de connaître :

2° *Les régimes de fréquence des différentes vitesses de vent, chiffrés en nombre d'heures par jour et par mois.* Au Congo, les écarts mensuels extrêmes peuvent refléter des alternances suivant le rythme des saisons. En tout cas, ce parallèle mettra en évidence les périodes de vents favorables et celles de vents calmes. MM. GOLDING et STODHART, qui se sont livrés à de précieuses observations à long terme, ont établi des courbes « vitesse-durées » analogues aux courbes de débits classés utilisées en hydraulique : elles indiquent en abscisse le nombre d'heures par an pour lequel la vitesse atteint une certaine valeur portée en ordonnée. Ces relevés s'obtiennent à l'aide d'un anémomètre enregistreur ou d'un maxigraphe.

Une autre courbe intéressante est celle des « vitesses-fréquences », indiquant en abscisse les vitesses atteintes par le vent et en ordonnée les nombres d'heures par an correspondantes. L'examen de ces graphiques révèle d'emblée la gamme des vitesses les plus fréquentes dans le site considéré.

Ces observations permettent d'établir :

3° *La répartition des périodes d'action du vent en fonction de son intensité ;* et de consigner pour chaque allure :

la durée moyenne annuelle, la durée maximum en nombre de jours ainsi que l'époque de l'année où se produisent :

- Les vents calmes (en dessous de 2 m/s) sans possibilité d'utilisation ;
- Les vents utiles (d'allure inférieure à 6-7 m/s) ;
- Les vents forts (de 7 à 14 m/s) ;
- Les vents dangereux, tempêtes ou tornades.

L'importance de ces données anémométriques est évidente, car elles conditionnent les caractéristiques, non seulement de l'éolienne, mais de son secours éventuel : batterie ou réservoir pour emmagasiner l'énergie en période de calme plat.

De faibles souffles ou des vents violents mais rares, sont dépourvus d'intérêt pratique, car ils ne permettent pas un service rentable. Il s'avère que c'est en définitive la durée moyenne qui conditionne la production d'énergie.

Des bourrasques violentes ou longues risquent de solliciter les mécanismes et le pylône de manière dangereuse, au point d'exiger des renforcements coûteux. Le régime des vents dans le site détermine également la hauteur du pylône support.

Comme autres données climatiques dont la connaissance est utile, il faut mentionner :

4° *La direction éventuellement prépondérante des vents* et, accessoirement leur inclinaison générale au voisinage du sol.

Il sera noté que dans toute la hauteur de la zone de perturbation en surplomb du sol, il est possible de distinguer des tranches superposées, correspondant à des vitesses de courants aériens et à des variations de l'énergie utilisable.

Conditions d'emploi

Il importe de bien définir les conditions de fonctionnement, à la lumière des données d'expérimentation locale

en se référant de préférence à des relations normalisées, comme celles de l'A. F. N. O. R. en France, qui préconisent :

Vitesse de démarrage = $1/2 \times$ vitesse normale V ;

Vitesse de débrayage = $2 \times$ vitesse normale.

Il ressort de nos considérations que la solution économique postule une étude préalable du régime des vents d'après les relevés effectués pendant une période de temps suffisante, au lieu choisi, afin d'en définir, par le calcul, les possibilités énergétiques. Celles-ci étant connues et la vitesse de régime choisie, il reste à déterminer le prix de revient de l'installation, en tenant compte de la nécessité d'assurer la continuité de fourniture d'énergie par un secours, pour faire face aux accalmies du vent. Les caractéristiques dimensionnelles telles la surface alaire, le diamètre de la roue ou de l'hélice peuvent varier presque du simple au double, pour un accroissement de 50 % de la vitesse normale de régime admise pour le fonctionnement.

La vitesse de démarrage baissera et la production spécifique augmentera, à mesure que cette vitesse normale sera choisie moindre, comme l'ont montré les travaux de MM. GOLDING et STODHART. Ils révèlent aussi l'accroissement considérable de l'énergie récupérée annuellement à escompter d'un relèvement de la gamme des vitesses normales de travail.

La considération de rentabilité prescrit toutefois de faire abstraction, pour le calcul de la machine et de son support, des plus fortes vitesses du vent, malgré la grande quantité de puissance qu'il serait possible d'en extraire. L'installation serait coûteuse et mal utilisée en raison du caractère d'exception et de la brève durée de ces hautes allures.

Une utilisation rentable des grandes éoliennes exigeant un minimum de vitesse du vent de 6 à 7 m/s au début de

charge, il faudrait, de l'avis du service météorologique, appréhender du Congo des risques de panne par manque de vent, plutôt que ceux de destruction par bourrasque. Il se confirme que les coups de vent y sont moins brutaux qu'à la côte belge par exemple ; les pointes de vent dites tornades, associées aux orages tropicaux, ne dépassent guère l'allure de 60 km/h ; des vitesses de 120 km/h sont tout à fait exceptionnelles.

Choix du site

Certains principes directeurs gouvernent l'exploitation rationnelle de l'énergie éolienne et le choix du site postule un examen minutieux ; au Congo surtout, l'on est exposé à se trouver au voisinage de la limite critique inférieure de vitesse. Aussi une condition fondamentale est-elle de disposer pour l'implantation de l'usine génératrice d'un emplacement satisfaisant à deux conditions :

1^o Le site retenu doit être suffisamment venteux, attendu que la génération économique de courant est régie par un niveau élevé de la vitesse moyenne annuelle et par la durée des périodes de calme ;

2^o Ce site doit se trouver à proximité immédiate de l'agglomération qu'il s'agit d'alimenter.

La préférence doit être réservée à des sites en surélévation largement exposés au vent. A rebours, un vallon soustrait aux courants aériens ne sauraient convenir. L'éminence choisie doit être libre de tous obstacles, naturels ou non, pouvant gêner la circulation des courants. Le rayon de dégagement varie en fonction de la hauteur de l'appareil et de l'étendue des obstacles au vent, le minimum étant de 50 fois leur plus grande dimension. La hauteur hors sol doit dépasser de plusieurs mètres toute construction voisine, condition aisément remplie. Ces règles sont d'ailleurs communes aux installations éoliennes sous toutes les latitudes.

En règle générale, ce seront les terrains surélevés mais d'allure assez plane, en région peu boisée, qui conviendront le mieux à l'implantation — prochaine, nous voulons l'espérer — de moteurs à vent au Congo: sur les plateaux, d'ordinaire, règne moins de vent, mais d'une plus grande régularité. D'après constatations des services météorologiques, l'intensité des courants aériens croît avec la hauteur des tranches d'atmosphère, pour devenir sensible vers une centaine de mètre au-dessus du sol, par suite de la diminution des frottements: à cette limite une récupération perd toute portée pratique.

En raison des écarts sur l'utilisation de l'énergie éolienne, le bon fonctionnement des appareils de puissance moyenne (20 à 80 kW) requiert des vitesses de vent de 6-7 m/s, au lieu des allures de 3-4 m, compatibles avec celui des petites unités. Ces limites représentent des minima: en France, la tendance de certains constructeurs est orientée vers des vitesses de 6 à 10 m/s en vent moyen pour les petites unités, et de 12 m/s pour les groupes puissants. C'est dans la disponibilité de ces allures élevées que gît le nœud de la difficulté pour les applications en Afrique équatoriale.

Choix du type d'appareil

Le site étant choisi, le type d'aérogénérateur électrique doit être approprié aux conditions de marche prévisibles.

En pays neufs, l'établissement et le service des micro-centrales éoliennes sont soumis aux inéluctables impératifs de robustesse et de simplicité, ainsi que de bon rendement, conditions *sine qua non* de fonctionnement économique et sûr.

Par raison de sécurité, il est nécessaire d'exiger des moteurs aériens une fabrication très soignée des mécanismes, avec engrenages taillés à la machine montés sur roulements, lubrifiés automatiquement et engainés dans

un carter tout à fait étanche aux poussières comme à l'humidité.

L'herméticité doit prévenir en outre les pertes d'huile dont résulterait l'obligation d'une surveillance assidue. Il faut aussi que le matériel supporte sans dégât l'effet des ardeurs solaires. Ce sont là des exigences drastiques en pays tropicaux. Il s'y ajoute la condition usuelle de résistance aux efforts mécaniques, l'ensemble de la construction devant être calculé pour endurer impunément l'action des tornades. La rigidité des aubes ou pales doit éviter toute déformation des faces exposées. Il ne faut pas exclure aussi l'éventualité d'efforts latéraux dus à des tourbillons de vent auxquels l'appareil doit offrir le moins de prise possible.

En prévision d'un régime de vent assez bas au Congo il importe, d'autre part, pour en assurer l'exploitation la plus complète, de réaliser le démarrage sous les faibles forces propulsives correspondant à des brises de 3 m/s. Cette haute sensibilité implique un allègement des organes de la turbine, leur inertie devant être minimum pour réduire le couple résistant.

Un problème connexe, est celui de la souplesse de fonctionnement acquise à la faveur de cet allègement des pièces. Avec une bonne régulation, limitant la vitesse de rotation du moteur à 30-35 tr/min, sous des vents de 7 m/s au plus, la souplesse de marche permet le franchissement des points morts sans vibrations ni à-coups susceptibles d'occasionner des bris de pièce ou leur usure prématurée.

Une condition d'emploi valable pour toutes les installations isolées en pays neuf, est de proscrire rigoureusement toute cause de fragilité afin d'éviter des visites ou des réparations fréquentes, difficiles et onéreuses. C'est dire que le choix des matériaux, la fabrication, l'usinage et le montage des pièces doivent faire l'objet des soins les plus minutieux. Il y a lieu de prévoir que l'accès aux

organes permette de les renouveler aisément, que leur lubrification soit automatique et abondante, l'approvisionnement des pièces de rechange réalisable sans difficulté.

L'énumération de cet ensemble d'exigences, dont plusieurs sont contradictoires, fait ressortir la nécessité, pour le constructeur, de rechercher une solution de compromis, et pour l'installateur, la difficulté de lever l'option. Chaque problème présente un cas d'espèce dont la solution idéale résiderait dans l'égalisation de paramètres opposés.

Comme les exigences de rentabilité priment, il faudrait néanmoins tendre à une normalisation des équipements visant à une construction en série à grande échelle, seule voie possible pour l'abaissement des coûts de construction, de montage et d'entretien.

Pour le Congo, il paraît souhaitable d'opter en faveur d'éoliennes spécialement étudiées en vue d'une augmentation de la durée de marche. Dans cet ordre d'idées, les chiffres avancés varient beaucoup suivant régions et régimes de vent. En Afrique du Nord auraient été atteintes des durées d'utilisation de 70 % d'une année entière. Mais il serait recommandé de compter que le vent ne souffle pas plus de 100 à 120 jours par an à une allure utile. Pour assurer le service de petits centres congolais, il y aurait lieu de ne pas descendre sous une durée de fonctionnement de 5 à 6 h/jour, soit 1800 à 2000 heures par an. C'est un minimum absolu.

Renforcement de la puissance

En Afrique belge, les vitesses moyennes du vent dépassent rarement 3 m/s à de nombreux endroits. Nous avons rappelé la loi d'exposant cubique, générale pour les différents fluides, qui lie la puissance de la turbine à la vitesse. Il s'ensuit qu'à égalité de dimensions, une

éolienne travaillant à ce bas régime, ne serait capable que d'une puissance

$$\left(\frac{V}{V'}\right)^3 = \left(\frac{7}{3}\right)^3,$$

ou 12, 7 fois moindre qu'à une allure moyenne de 7 m/s, communément admise par exemple pour le relèvement d'eau dans les polders de Hollande. Les aéromoteurs y font place aux moteurs électriques ou Diesels parce que la vitesse moyenne tombe durant 58 % du temps en période pluvieuse à moins de 7 m/s. Mais les progrès de la technique ont permis d'abaisser le seuil d'utilisation jusqu'à des vitesses moyennes de 2 à 3 m/s, par recours à des hélices bi- ou tripales à profilage aérodynamique, démarrant sous de faibles vitesses moyennes.

La nécessité d'adapter, au Congo, l'utilisation de l'énergie éolienne à des vents faibles, conduit au renforcement de l'intensité ou de la fréquence des couples moteurs agissant sur le rotor. Les systèmes classiques tendaient à ce résultat par une multiplication des surfaces mobiles, élémentaires, pales ou ailettes de l'hélice ou de la roue motrice, tout en régularisant le régime de marche. Mais il est reconnu que cette augmentation du nombre de pales donne lieu à un accroissement simultané des traînées. C'est un des facteurs contradictoires qui conduit à rechercher des formules mixtes dans la fabrication des éoliennes, où interviennent des effets complexes de vibration et torsion en cas de survitesse, de tendance au décrochement, pertes de rendements, etc., d'après les dimensions adoptées et les allures de marche. Les difficultés proviennent de la nécessité de faire tourner, à des gammes de vitesses de rotation très variables, un rotor conçu pour les limites inférieures du régime des vents. Une solution indiquée consiste à augmenter la surface d'attaque des voilures.

En variante, le surhaussement du moteur aérien par

rapport au sol, procure une augmentation immédiate de l'énergie captée, la vitesse de rotation croissant avec la hauteur de l'engin et la puissance à en dériver étant proportionnelle au cube de cette vitesse. Il y a aussi amélioration nette du fonctionnement, rendu plus régulier. Mais la majoration de la dépense d'installation de l'aéromoteur constitue un facteur limitatif.

Dans un ordre d'idée similaire, l'éolienne à cylindre constitue une innovation intéressante. Le système ANDREAU, mis à l'épreuve en Angleterre, à St-Albans, utilise deux mobiles aux extrémités d'une colonne creuse. La tour bicônique de l'éolienne, rigidement haubannée, se prolonge par un large tube de diamètre constant qui porte une tête orientable sur laquelle est montée une hélice à deux pales, décrivant une circonférence de 24 m ϕ . Dans leur rotation, les pales, creuses, rejetant l'air par la force centrifuge, engendrent dans la colonne métallique une dépression utilisée pour actionner le mobile inférieur ; c'est une turbine accouplée sur un alternateur synchrone de 100 kW.

L'ingéniosité du dispositif réside dans le contrôle automatique de la dépression par changement du pas de l'hélice en dépendance de l'intensité du vent ; les impulsions de celui-ci peuvent être disciplinées avec aisance.

Régulation automatique

Rappelons qu'à fin d'ajuster les conditions de travail de la génératrice entraînée selon les écarts de vitesse du vent, plusieurs procédés s'offrent au choix :

1^o Dispositifs mécaniques : les uns modifient l'angle d'incidence des pales au moyen d'une hélice auxiliaire intervenant comme moyen de freinage et pour amorcer le démarrage de l'éolienne ; en variante : par ressort dont le couple de rappel s'exerce sur des pales élastiques ; d'autres dispositifs agissent sur la surface d'attaque des

ailes par insertion d'un plan ou volet de freinage ; soit aussi par changement d'orientation de la turbine dans le vent à l'aide d'une quille de dérive. La régulation doit en tout cas demeurer exempte d'effets vibratoires ;

2° Dispositifs électriques : opérant par modulation de la caractéristique de la dynamo, dont la puissance cesse de croître et va jusqu'à se réduire en cas d'excès de vitesse.

Sécurités

En service de centrale, l'équipement des aéromoteurs doit être complété par différents accessoires :

1° Mécaniques : frein de sécurité contre les emballements du rotor, surtout s'il n'est pas du type hélice à pales orientables ; butées anti-chocs élastiques pour les cas de fermeture brusque de la voilure ;

2° Électriques : conjoncteur-disjoncteur comme dans les équipements de traction ; relais de fin de décharge pour éviter l'épuisement de la batterie en régime de vent calme ; résistance de décharge pour éviter l'emballement du moteur aérien lors des disjonctions ou arrêts de la génératrice ; dispositifs de sécurité contre le courant de retour.

Il faut se prémunir, comme de règle, par un dispositif de ferlage contre les efforts des vents d'une violence dangereuse, des rafales de 15-20 m engendrant des sollicitations dynamiques susceptibles de disloquer les éoliennes. Des cas de destruction par bourrasques se sont produits dans la région orientale du Congo. Le haubanage du mât ou pylône et autres moyens de consolidation doivent faire l'objet de précautions évidentes.

Entre autres systèmes de sécurité, certains réalisent l'effacement automatique de la voilure du rotor par dispo-

sitif d'auto-régulation centrifuge, fermant cette voilure, ou réduisant le pas de l'hélice aérienne ; d'anciens mécanismes empêchaient la roue motrice de s'emballer en la décentrant par rapport à l'axe vertical d'orientation : en cas de bourrasque la voilure déportée latéralement se défile d'elle-même dans le lit du vent ; mentionnons aussi les volets de freinage ou vannes de régulation et les pales à incidence variable. Les moyens sont des plus divers car l'ingéniosité des constructeurs est fertile à souhait.

Systèmes d'accumulation de l'énergie éolienne

En territoires belges d'outre-mer, un facteur important à considérer est l'appropriation du service de la centrale éolienne aux disponibilités limitées d'énergie du vent.

Pour assurer l'indispensable souplesse du service autonome, étant donné que le vent cesse parfois de souffler, il faut recourir à une accumulation d'énergie : soit directement par batterie d'accumulateurs électriques, soit par l'intermédiaire d'un tampon hydraulique : l'un ou l'autre de ces procédés permet de remédier à l'inconstance naturelle d'action du moteur aérien en régularisant le débit d'électricité. Une étude comparative s'impose afin d'arrêter la solution optimum dans les 2 alternatives ci-après :

1° *Production de courant continu 110 Volts par dynamo raccordée sur batterie* : l'accumulation électrique permet de mieux domestiquer l'énergie éolienne dont elle supplée les déficits en période de vent nul et compense les à-coups momentanés lors des sautes de vent ; parallèlement, elle fait face aux variations de charge suivant diagramme d'utilisation du réseau. Même à régime ralenti, la batterie doit tenir le coup et assurer le service dans des creux de vent, des périodes de calme se succédant plusieurs jours d'affilée. A défaut d'une capacité suffisante, la batterie à bout de souffle se sulfate, tombe à plat.

Pour niveler les écarts de tension en régime transitoire ou permanent, dus aux contingences extérieures, une solution rationnelle serait de travailler en *floating* : la batterie fonctionnerait en parallèle avec un groupe de redresseurs, type sec, au sélénium, à tension stabilisée suffisamment constante entre des limites à fixer. Le système doit d'ailleurs satisfaire à des normes prescrites d'après contingences de service.

Comme la dynamo débite un courant variable, avec des maxima correspondant à ceux de l'allure du moteur aérien, une limitation d'intensité doit assurer la protection des accumulateurs, comme dans les équipements d'automobiles : l'intervention d'un conjoncteur-disjoncteur permettra de couper automatiquement la charge de la batterie, qui peut ensuite la reprendre d'après appels du réseau.

Le maintien d'une tension régulière, malgré les écarts extrêmes du régime local des vents, donnant lieu à des variations considérables de vitesse de l'éolienne, est un problème épineux en distribution à courant continu. La faible vitesse spécifique de rotation des hélices nécessite le recours à une transmission par engrenages pour l'attaque de la génératrice.

Conditions d'emploi des batteries

La connaissance des heures de calme consécutives permet la prévision des caractéristiques de la batterie.

S'il faut compter sur des périodes d'interruption continue de 2 à 3 jours sans vent, durant lesquelles l'on fera débiter à la batterie un minimum de X ampères heures, la puissance de la dynamo devra être adaptée à ce régime, afin de pouvoir recharger les accumulateurs durant un temps moyen que l'on s'impose. Les caractéristiques de l'aérogénérateur seront à choisir en conséquence. Il est possible de raisonner de façon inverse en se fixant a priori la puissance du moteur aérien dont la

vitesse nominale sera choisie en rapport avec la vitesse moyenne annuelle et les besoins du réseau à desservir.

Il convient de ne pas se méprendre sur l'aptitude des batteries à compenser quelque défaillance prolongée du vent. Un simple exemple suffit à emporter la conviction.

Pour alimenter un modeste réseau de brousse d'une puissance absorbée de 10 kW durant 2 jours d'arrêt de l'éolienne, il faudrait disposer d'un groupe de 55 éléments du type classique au plomb capable de débiter 2.016 Ah et déchargeant durant un total de 20 heures. En adoptant une batterie PLANTÉ avec bac en ébonite, de transport plus commode que ceux en verre, il faut compter sur un prix fob Anvers d'environ 700.000 FB et sur un poids d'environ 15 tonnes. Le prix à destination passe à 900.000 FB en moyenne soit près de 500 FB le kW de puissance. Avec des durées d'amortissements limitées à 8 ans pour la batterie, 15 ans pour l'éolienne, 30 ans pour le bâtiment qui abrite les éléments — montés en série parallèle, vu l'importance des capacités en jeu, — le calcul, toutes charges fixes incluses, donne un prix de revient de 8 FB le kWh. Le prix pourrait atteindre environ le double dans l'éventualité où la durée de stockage serait portée à 4 jours.

Encore faut-il supposer qu'en période de vent utile, l'aérogénérateur soit capable de recharger une batterie d'une telle puissance !

Un service de distribution communautaire exigeant l'emploi de groupes d'accumulateurs d'une grande capacité, il faut considérer la lourde sujétion d'entretien au Congo. L'ambiance tropicale n'est pas en elle-même cause de difficultés mais bien la nécessité d'entretenir la batterie avec les meilleurs soins : le fonctionnement est à la merci de perturbations, dues à des souillures de l'eau ou à des pertes par évaporation, accrues par l'échauffement solaire, etc. Il faut aussi tenir compte de la nécessité d'une grande superficie ($\pm 35 \text{ m}^2$) de local avec double

toit, ventilation active, pavement spécial anti-acide, etc., outre les risques de détérioration inhérents au transport des éléments de batterie en Afrique centrale.

L'emploi d'une batterie se justifie mieux lorsque son intervention demeure limitée à un service journalier, la batterie ne devant suppléer l'éolienne qu'aux heures calmes, tandis qu'elle serait rechargée à certaines heures par l'éolienne tournant à sa pleine vitesse.

Le contrôle automatique de ces échanges de service serait assuré par ampèreheuremètre à 2 relais dont l'un coupe l'alimentation de l'éolienne vers la batterie une fois celle-ci chargée ; le 2^e, plus puissant, coupant l'utilisation après décharge de la batterie. Un limiteur est en outre nécessaire pour interrompre l'alimentation, lorsque l'appel de courant a fait tomber la tension à un point critique : ceci afin d'éviter la détérioration des éléments au plomb.

L'insertion de résistances permet aussi de limiter le courant de charge de la batterie, pour tenir compte d'un excès de puissance de l'éolienne, laquelle doit être en mesure de recharger les accumulateurs en un délai assez court malgré l'insuffisance de vent.

Choix du type de batterie

La batterie à l'acide et au plomb du type PLANTÉ avec ailettes de plomb pur est capable d'un grand débit et d'une plus longue durée de vie par comparaison avec le type, moins coûteux, à grilles remplies d'une pâte d'oxyde sujette à l'effritement. Toutefois un service de micro-centrale congolaise impliquant chaque jour une répétition de charges et décharges, il ne faudrait pas compter sur plus de 7 à 8 ans de longévité, réductible à 5-6 ans pour le type à grille. Il y a équivalence d'entretien des deux systèmes.

A condition de disposer d'une génératrice puissante, la batterie au plomb est capable de rester impunément au repos plusieurs jours d'affilée. Des accumulateurs au

plomb sont en service sous tous les climats et latitudes. Au Congo belge les services de la Régie des Télégraphes-Téléphones en font usage dans les grands centres. Elles doivent être prévues avec bacs en ébonite protégés par caisses de bois en prévision des risques d'acheminement jusqu'à destination.

La batterie alcaline au cadmium-nickel dont l'électrolyte est la potasse caustique, offre l'avantage de pouvoir rester déchargée sans inconvénient durant 6 à 7 mois, puisque exempte de sulfatation. Son rendement est moindre que celui de la batterie au plomb et son prix d'achat au minimum 2 fois supérieur. Comme sa durée de vie ne dépasse pas le double, il y a équivalence pour le moins, des charges d'amortissement, d'autant plus qu'il faut prévoir des bacs en nickel et « surdimensionner » les éléments pour service tropical, eu égard à l'évaporation. Pour des éléments fer-nickel, le coût serait encore plus élevé et il y aurait le désagrément d'une formation de dégagement gazeux dont la gêne se fait ressentir en éclairage, les négatives en fer étant le siège de réactions secondaires.

La robustesse des batteries alcalines leur confère une apparente supériorité pour un service outre-mer ; mais il est possible de préserver les batteries au plomb par des caisses qui les protègent efficacement des chocs.

Aux accumulateurs électriques, l'on fait le reproche d'une sujétion d'entretien, valable conjointement pour l'appareillage, pour les balais et le collecteur de la dynamo, ainsi que pour le train d'engrenages multiplicateur, organe lourd et coûteux.

2° Production de courant continu ou alternatif, avec accumulation hydraulique

La dynamo ou le groupe alternateur-excitatrice, selon le cas, est accouplé sur une turbine hydraulique, qu'alimente un réservoir d'eau en surélévation, le remplissage

de ce réservoir étant assuré par pompe attelée sur la roue à vent.

Au lieu d'un tank métallique sur pylône ou encastré dans une éminence de terrain, peut être mise à contribution une retenue créée par barrage d'un petit cours d'eau. Ce bassin d'accumulation serait rempli la nuit par exemple selon une pratique devenue courante en Suisse et autres pays accidentés. Il ferait avantageusement office de volant régulateur, en prévision de périodes d'accalmie prolongée. L'intérêt d'un tel ouvrage sera en dépendance de son coût d'établissement. Il faut trouver un *thalweg* de profil en travers assez étroit et une configuration du bief amont assez étale de façon à permettre d'ériger un petit mur de retenue aux moindres frais.

L'accumulation hydraulique est une solution permettant d'éliminer la batterie et *ad libitum* la dynamo avec ses organes délicats ; mais elle a ce grave inconvénient de multiplier les organes mécaniques intermédiaires dont le coût s'ajoute à celui du stockage de l'eau. Nous n'en connaissons pas d'application ; mais peut-être ne serait-ce pas utopique.

La génération de courant alternatif par centrales éoliennes n'est pas recommandable pour de petites distributions indépendantes au Congo ; l'intérêt d'un renforcement de la capacité de transport à pertes réduites, par l'entremise de transformateurs est inexistant pour un réseau peu étendu. L'écueil réside dans la difficulté de régulariser la fréquence et la tension, aux barres d'une usine d'énergie construite à l'échelle rurale et alimentée par génératrice éolienne ; celle-ci est astreinte à subir tous les écarts de vitesse du vent et les fluctuations de charge d'un diagramme, dont le remplissage est inévitablement défectueux. Même avec des dispositifs de régulation modernes, agissant sur le pas de l'hélice on d'une autre manière, les variations d'allure peuvent

atteindre $\pm 20\%$ et synchroniquement celles de la périodicité. Tandis qu'en distribution à courant continu, des écarts de ± 7 à 10% demeurent tolérables, il n'en est guère de même pour une distribution triphasée conçue en vue d'alimenter notamment des petits moteurs. Il faut dès lors faire appel à quelque dispositif de réglage très serré, mais c'est au préjudice de la simplicité et de l'économie de l'installation. Au surplus, il est malaisé d'accorder les caractéristiques propres à la génératrice et au moteur aérien, bien que le système s'accommode mieux d'hélices à pales orientables. Pour ces différents motifs l'usage de génératrices triphasées ne s'est pas répandu, hormis en exécution asynchrone de faible puissance pour raccordement sur un grand réseau : une solution de ce genre est exclue d'emblée pour les centres mineurs du Congo.

Comme il est loisible de s'en rendre compte, l'emploi d'aérogénérateurs, pour l'alimentation en électricité des agglomérations isolées en brousse, n'est pas la solution si commode que l'on serait enclin à le supposer.

Applications

Les régions favorisées par la prédominance de vents constants, tels les alizés, comptent parmi celles où l'utilisation des éoliennes s'est le plus développée pour la production d'électricité et pour l'irrigation.

L'attrait du captage de l'énergie éolienne dans des pays neufs, comme le Congo, est indéniable et seul le manque d'éléments de base en a freiné l'application.

Notre voisine du Sud, la Rhodésie, est dotée d'aéromoteurs en grand nombre : ils y servent à la production du courant électrique dans les exploitations agricoles de colons et au relèvement d'eau par puits peu profonds forés dans les pâturages. En Union Sud-Africaine, ils sont aussi légion et actionnent des pompes à maîtresse-tige pour alimentation de points d'eau où vient se grouper le bétail, ce qui dispense de clôturer. Dans les territoires

sous tutelle italienne de la Somalie, une cinquantaine d'aéromoteurs fonctionnent pour l'éclairage d'unités agricoles et pour le relèvement d'eau des puits.

L'usage en est très répandu en Afrique du Nord, comme en Hollande (pour l'assèchement des wateringues) et au Danemark pour des fabrications électrochimiques. Aux États-Unis, s'en trouve le plus grand nombre et à tous usages.

À côté des éoliennes domestiques ou de petite taille, du type « panémone », les éoliennes de grande puissance du type « générateur à hélice » commencent à se multiplier.

En Normandie, une grande firme française a installé une éolienne de 130 kW — ϕ 20 m — dont l'hélice entraîne une génératrice asynchrone accouplée au secteur. L'installation a été prévue pour vent moyen de 12 m/s.

Des éoliennes danoises, déjà nombreuses, sont capables de puissances atteignant 30 à 70 kW. Un spécialiste danois construit des aéromoteurs d'une puissance de 100 kW sous vent de 10 m/s, type à 3 pales, de 24 m ϕ , avec régulation par volets de freinage et convertisseur pour service interconnecté. M. LACROIX mentionne aussi le groupe à génératrice asynchrone de 100 kW de Bala-klava en U. R. S. S. et l'installation record de 1500 kW à Grand-Pa's Knob aux États-Unis, montée avec accouplement hydraulique en prévision d'effets de résonance sur le réseau. Citons enfin l'extraordinaire projet d'aéromoteur de M. KLEINHENZ de 130 m ϕ et de 10.000 kW de puissance [35].

M. le Professeur DENZEL a signalé les projets d'installation en U. R. S. S. de centrales aéromotrices, dont les puissances s'échelonnaient de 10 à 150 kW, les diamètres des roues à pales variant de 12 à 30 mètres.

Au Royaume-Uni, des aéromoteurs de 10 à 50 kW font l'objet d'études, afin de pourvoir aux besoins des régions isolées.

M. GOLDING a relaté des essais d'éoliennes ANDREAU

de 100 kW et de 24 m ϕ , effectués à Saint-Albans et à Costa Hill dans une des îles anglaises des Orcades. Les bons résultats obtenus ont incité les dirigeants de la Central Electricity Authority de Grande-Bretagne à entreprendre l'étude d'un appareil du même type développant 250 kW. A cette gamme de puissance et au delà, il reste un chemin difficile à parcourir avant de solutionner radicalement les problèmes — d'ordre mécanique — en cours d'étude sur prototype. Dans la gamme des puissances moyennes — de 10 à 70 kW — par contre, il existe nombre d'unités fonctionnant de manière satisfaisante en différents pays.

Cette gamme de puissance correspond à l'ordre de grandeur des microcentrales éoliennes pour l'alimentation en énergie des centres tertiaires, des petites collectivités et entreprises agricoles perdues au cœur de la brousse congolaise. La dispersion de ces modestes communautés s'accorde à celle des centrales éoliennes, en conformité des exigences d'une exploitation rationnelle. Les besoins d'énergie s'y réduisent aux formes mineures : éclairage, applications domestiques, conditionnement d'air, petite force motrice.

D'après données émanant de source O. E. C. E., il se confirme que des vitesses de vent comprises entre 20 et 30 km/h, soit 6 à 8 m/s, sont commercialement exploitables avec une production pouvant varier entre 500 à 2000 kW/km². Le prix de revient de l'énergie ainsi engendrée est passible d'abaissement jusqu'à 0,25 d par kWh pour 4000 heures d'utilisation et le coût d'investissement réductible à 50 £ (environ 7000 FB) par kW installé.

17. LES SOURCES HYDROTHERMALES (ÉNERGIE GÉOTHERMIQUE)

Les applications de cette forme d'énergie ne sont pas nombreuses. Les ressources potentielles se limitent à

certaines zones de relief volcanique, siège d'une activité éruptive et dont la répartition géographique est naturellement liée à un affaiblissement de l'écorce terrestre marqué par des plis, failles ou dislocations.

Pour ce motif, les abords de la grande fosse tectonique, formant frontière entre le Kivu et le Ruanda-Urundi, figurent parmi les quelques sites connus en pays sous-développés, pouvant tirer parti de l'énergie endogène.

Des applications existent aussi en Nouvelle Zélande ainsi qu'en Islande dont le sol se compose presque exclusivement de champs de laves, criblés d'innombrables geysers. Dans plusieurs régions du Nouveau Monde : au Mexique particulièrement et dans la République de San Salvador, se présentent des possibilités intéressantes pour l'érection de puissantes centrales. Il faut encore mentionner le Chili, la Colombie, et, à titre documentaire, les zones riveraines des grandes fosses sous-marines de l'Insulinde et du Japon.

Aux États-Unis et en Italie, d'importantes centrales thermoélectriques captent la vapeur souterraine jaillissant en abondance de forages à grande profondeur.

Localisation en Afrique centrale

Le bourrelet montagneux dont le relief heurté, intensément plissé, domine à l'Est la cuvette congolaise, est ceinturé d'un faisceau de fractures tectoniques, s'échelonnant aux confins des territoires du Congo, de l'Uganda et du Tankaïka. La plus importante de ces dépressions, le « graben central africain » s'incurve en un arc longuement étiré, d'orientation générale Nord-Sud. Il s'intègre à la gigantesque fissure dénommée « Grand Graben de l'Afrique orientale » qui déchire le continent de la Palestine à l'Afrique du Sud. D'autres *grabens* secondaires découpent le flanc est du bassin. En relation naturelle avec les faisceaux de fractures radiales de ces *grabens* ou de leurs extensions et avec les champs volcaniques qui

les cernent, se rencontrent des venues hydrothermales, localisées dans la région des Grands Lacs. Elles sont, avec les manifestations volcaniques, des caractères inhérents aux *grabens* africains [50]. Ces sources chaudes abondent surtout dans les champs de fractures sis entre les lacs Tanganyika et Kivu, ce dernier adossé au Nord contre la majestueuse barrière du massif des volcans Virunga. Dans le Katanga, la distribution des petites sources hydro-minérales est également abondante.

Exploitation de l'énergie endogène

L'exploitation industrielle de ces ressources d'eau chaude s'est confinée dans l'extraction de leurs éléments salins. Leur réserve de calorique demeurerait sans emploi. Une solution hardie, marquée du sceau de l'originalité, consiste à récupérer ce potentiel thermique comme source d'énergie. Une société stannifère, la SERMIKAT, en a réalisé une très intéressante application dans une centrale géothermique à Kiabukwa, près du lac Kabamba. Cette usine sert à produire économiquement la force motrice destinée à l'exploitation d'un gisement éluvial de cassitérite.

Le concept de centrale géothermique s'apparente à ceux imaginés par l'illustre savant Georges CLAUDE, pour capter l'énergie calorifique des eaux de mer, et celle des entrailles de la terre par puits de grande profondeur.

L'on s'est arrêté à une solution analogue en raison de l'impossibilité de consacrer d'importants frais fixes dans un aménagement hydroélectrique, ni d'admettre la charge onéreuse des frais variables d'une production thermique. Dans les deux hypothèses, les dépenses eussent été disproportionnées aux possibilités de durée et de richesse du gisement. D'après une notice due à M. ROLLET, à laquelle nous empruntons ces données, le principe mis en œuvre consiste à faire s'évaporer dans le vide une certaine quantité de l'eau émanant de la source thermique ;

la vapeur ainsi produite actionne une turbine basse pression. La réalisation de l'équipement a été confiée à une firme réputée d'Angleterre [54].

La source chaude du cycle est à une température constante de 91° C au griffon, dont le débit se maintient régulièrement à 40 l/s.

La source froide du cycle est constituée par l'adduction d'eau à 23-25° C, provenant d'une petite retenue, créée par un barrage de terre établi en surplomb. Le débit de cette eau pour les besoins de la condensation est chiffré à 160 l/s. Comme en saison sèche les ruisseaux des alentours ne suffisent plus à la réalimentation de la retenue, il faut reprendre l'eau de circulation sortant du condenseur, pour la refouler dans le réservoir.

L'eau chaude captée à l'émergence, est entraînée dans un évaporateur où est maintenu un certain degré de vide : il y a vaporisation partielle, au dépens de la chaleur sensible d'une partie du contenu qui, resté à l'état liquide, se refroidit en conséquence. Cette fraction refroidie est évacuée de l'évaporateur dans un puits « barométrique ».

Le processus continue dès lors de la manière usuelle. La vapeur produite par le générateur sous vide est admise dans la turbine où une partie de son énergie calorifique se convertit en énergie cinétique de propulsion des aubages. Passant au condenseur après détente, elle y cède à l'eau de circulation une seconde fraction des calories restantes. La production de vapeur a lieu sous 0,3 ATA ; soit 7/10 d'atmosphère de vide. Toute l'installation, sous vide, fonctionne entre 0,3 ATA à la sortie du vaporisateur et 0,5 ATA au condenseur, le cycle de vapeur étant limité entre les 2 isothermes correspondant aux températures en ces 2 points, soit 63° et 23-24° C respectivement. C'est la seule unité géothermique dans le monde qui fonctionne à de si basses pressions.

Les calculs donnent une puissance de 445 kW dispo-

nibles théoriquement ; en fait l'installation n'a été prévue que pour développer 220 kW de puissance moyenne (aux bornes de l'alternateur) et 275 kW en pointe. La puissance effectivement produite est très inférieure. Le groupe marche à pleine satisfaction depuis 1953 débitant \pm 1 million de kWh par an. L'entretien semble légèrement réduit par rapport à une centrale thermique ordinaire ; pour les opérations courantes (nettoyage des condenseurs, renouvellement de bourrages, etc.), 3 ou 4 semaines d'entretien général suffisent, aucune réparation n'ayant dû être effectuée depuis les 6 années de service. Sous ce rapport, il faut retenir des indications de M. ROLLET, qu'une centrale géothermique est astreinte à travailler sans arrêt, même au prix d'une dissipation d'énergie pendant les heures de pause ou de ralentissement d'activité des chantiers.

Dans une usine géothermique, en effet, l'accumulation d'eau chaude peut au plus durer quelques heures ; tandis qu'une installation hydroélectrique se prête à l'emmagasinement des eaux écoulées durant une longue période.

La centrale géothermique est encore désavantagée par ses mauvais rendements théorique et pratique. Mais le débit d'alimentation reste stable, à l'opposé de celui généralement variable des hydrocentrales. L'aménagement ne nécessite aucune dépense de génie civil et cet avantage contribue à égaliser les investissements. Le coût de l'énergie est modéré.

Et malgré le caractère de novation technique donnant lieu à quelque appréhension, le service ne s'est pas montré plus délicat que celui des centrales ordinaires.

Il faut, en conclusion, admettre que l'utilisation d'une source thermique à des fins énergétiques reste assujettie au respect de 3 conditions de base [54] :

1° Une température d'eau très proche de celle d'ébullition afin d'éviter une chute rapide du rendement ;

2° Un débit suffisant pour permettre l'emploi d'une turbine de construction usuelle ;

3° La proximité immédiate des récepteurs d'énergie de façon à éviter le coût disproportionné d'un transport à distance.

Possibilités énergétiques

Si les sources thermales ne sont pas rares au Congo, c'est exceptionnellement que leur débit pourrait suffire. En général, l'écoulement des griffons se limite à quelques litres par seconde. Les renseignements disponibles concernant leur régime font le plus souvent défaut ou paraissent sujets à caution, car les observateurs ne disposant pas de thermomètre gradué au-delà de 60° C, se trouvent dans l'impossibilité de relever des températures, ni de jauger les débits, faute de moyens appropriés.

L'installation géothermique de Kiabukwa ne saurait, du point de vue des disponibilités énergétiques, être assimilée à celles, rares, mais d'échelle importante, du même système, fonctionnant depuis des années en Toscane aux *soffioni* (sources sulfoborates) de Lardarello (la puissance installée n'atteignant pas moins de 250.000 kW), de même en Californie (Sonoma) ; le Chili est abondamment pourvu de formations vaporeuses non encore exploitées. Les installations italiennes et américaines ont à leur disposition des venues d'une extrême puissance, à températures et débits élevés, venant sourdre de formations volcaniques d'âge récent. Au Katanga par contre, il s'agit de sources appelées hypogènes par le célèbre géologue belge Jules CORNET ; elles émanent des entrailles d'assises profondes et sont le reliquat des manifestations d'une activité sénile affectant le socle archéen. Leur thermalité a pour origine exclusive l'échauffement par conduction à raison d'un degré géothermique par 33 m en moyenne.

Ces sources sont de débit modeste et d'une température relativement modérée en comparaison de celle des sources de vapeur volcanique à 160°-210° C et 4-5 atm exploitées en Italie et aux États-Unis. Les conditions techniques de leur exploitation étant loin d'être aussi propices, l'initiative en acquiert une signification d'autant plus notoire.

18. L'ÉNERGIE SOLAIRE

Il s'agit d'une forme noble, non dégradée d'énergie primaire, puisque rayonnée par l'astre du jour à des températures énormes.

En zone tempérée, la chaleur reçue peut être estimée à 1 calorie par cm^2 par minute, soit un total de 480 millions de calories par 100 m^2 pendant une journée de 8 heures, ou l'équivalent de 70 kg de charbon et de 65 l de gazoline.

Cette quantité d'énergie moyenne disponible en plein soleil serait celle récupérable sur l'aire d'une toiture de dimensions courantes (100 m^2). En tablant sur une conversion au rendement de 10 %, il y correspondrait une production de 7 kWh d'électricité ou 56 kWh par jour.

C'est dans les régions torrides, ensoleillées abondamment, que cette énergie semble, par nature, promise aux meilleures possibilités. A l'équateur, le rayonnement solaire pourrait apporter chaque année l'équivalent calorifique de 2 à 3 t de houille par mètre carré.

Mais la mise en valeur de ce haut potentiel thermique relève encore du domaine de l'expérimentation. Aussi ne ferons-nous qu'effleurer le sujet.

Le problème de fond à résoudre est de trouver le moyen pratique de stocker l'énergie émanant du soleil pour l'utilisation nocturne ou durant les journées à temps couvert. Outre son intermittence, l'extrême dispersion spatiale ($1 \text{ kW}/\text{m}^2$) de cette énergie constitue de sérieuses entraves aux applications.

Production directe d'électricité

Dans le domaine ressortissant à notre étude, celui de la génération d'électricité, deux voies sont ouvertes aux chercheurs pour la transformation de l'énergie solaire en énergie électrique.

1^o Soit par cellules photovoltaïques, notamment du type au silicium ; première méthode mise à l'étude et développée aux États-Unis ;

2^o Soit par couples thermoélectriques ; c'est au perfectionnement de cette nouvelle technique qu'une société française vient d'attacher son nom. D'après une étude qu'y consacre M. R. MICHEL dans « *Industries et Travaux d'Outre-Mer* », la récupération thermoélectrique au moyen d'une batterie de couples serait la moins coûteuse, encore que le seuil au-delà duquel un générateur solaire cesserait de devenir compétitif avec les groupes classiques ne dépasse pas quelques dizaines de kW. C'est le domaine d'utilisation des microcentrales.

La production de courant électrique par piles solaires du second système, requiert des collecteurs de surface suffisante pour capter l'énergie thermique transmise à la soudure chaude des thermocouples ; outre un refroidissement continu de la soudure froide jusqu'au voisinage du degré d'ambiance.

Les recherches en cours visent à renforcer l'efficacité de ces deux éléments essentiels des « thermopiles » : les plaques collectrices, dont le pouvoir d'absorption doit être élevé avec une émissivité réduite pour limiter la dissipation par infra-rouges ; les thermopiles, à constituer de matériaux thermoélectriques d'un haut rendement intrinsèque de conversion.

En outre, une longue durée de vie est désirable pour un amortissement modéré de chacun des éléments.

Le maximum de puissance des prototypes à l'essai ne

dépasse pas une centaine de watts. Cette seule donnée suffit à mesurer le chemin restant à parcourir avant d'atteindre le stade de réalisation industrielle et de concurrencer avantageusement les petits groupes moteurs-générateurs diesels ou à essence...

Sous une forme moins immédiate, la chaleur peut être utilisée à la production d'énergie par échauffement d'un fluide, eau ou air, à l'aide d'un faisceau lumineux concentré dans un foyer ad hoc par un système de miroirs paraboliques. Les calories ainsi récupérées sont utilisables dans une chaudière du type traditionnel pour alimenter un groupe électrogène thermique, machine alternative ou turbine.

Générateurs solaires à vapeur

Cette technique a fait l'objet d'études récentes dans l'État d'Israël. Les générateurs solaires à vapeur mettent en jeu deux principes, dont le premier a déjà été mentionné :

1^o Sélectivité des radiations en utilisant des surfaces à absorption élevée et de faible émission, donc à faible perte de chaleur « réémise » : il s'agit de plaques réceptrices sélectives formant corps noir à faible émissivité thermique ;

2^o Inversion de ce dispositif collecteur dont les faces horizontales noires sont tournées vers le bas de l'appareil, afin de réduire la perte de chaleur par convection, soit au cinquième des pertes habituelles. Ce concept permet de substituer, aux miroirs mobiles de grande surface, des petites unités fixes de 6 m² groupées en série et montées sous les collecteurs par rangées d'orientation Est-Ouest. Les tubes de circulation de fluide affleurent la couche noire du recouvrement sélectif. Il a été calculé que 500 unités permettraient d'économiser 300 t de carburant par année.

Relevons encore l'éventualité d'autres applications de l'énergie solaire : la distillation de l'eau de mer dans des réservoirs à couvercle en plastique transparent traversé par le rayonnement solaire qui chauffe une surface de fond en plastique noir recouvert d'eau salée. La capacité de production journalière serait de 2 l d'eau pure par m² de sol couvert dans des conditions favorables.

Enfin l'absorption de l'énergie lumineuse, sous forme de quanta de lumière, peut servir à des réactions photochimiques, ou encore à une restitution dans des conditions contrôlées : par exemple pour le chauffage de maisons à l'air chaud ou à l'eau chaude. L'idée en a été lancée aux États-Unis.

Ces quelques indications, bien qu'étrangères au sujet qui nous concerne, ne manquent pas d'intérêt car elles projettent plus de lumière sur les perspectives que nous réserve la fertilité d'invention de la science d'avant-garde.

19. LES GITES D'ÉNERGIE HYDRAULIQUE

(« Le fleuve amène les richesses » — devise de la capitale Léopoldville).

Le sujet est ici abordé sous son aspect physique et dans le cadre d'une revue d'ensemble des sources d'énergie.

Les difficultés affrontées

Le Congo si pauvrement loti en gîtes de charbon, apparemment dénué de nappes exploitables de pétrole, sous réserve des résultats de nouveaux sondages en perspective, est doté de deux sources d'énergie primaire dont l'extension et l'abondance son générales : le bois, les chutes d'eau.

Le bois, nonobstant son ubiquité, ne saurait, nous

l'avons mis en relief, apporter de solution décisive au problème d'ensemble de l'énergie.

La houille blanche figure, au contraire, comme un poste essentiel à l'actif du bilan énergétique du Congo belge. Sans doute, la localisation de cette ressource naturelle comme celle — secondaire — de la houille noire du Katanga, ne dispense pas d'un recours aux combustibles liquides dans les centres isolés. Néanmoins il ne faut voir dans l'appel aux carburants d'importation qu'une source d'énergie assurément indispensable, mais de complément et précaire. L'énergie hydraulique demeure, elle, un élément moteur utilisable à l'abri de complète défaillance. C'est une source inépuisable de richesse à l'état latent.

Les modifications progressives dans la structure de l'approvisionnement énergétique des territoires belges d'outre-mer, se sont succédé suivant un processus divergent de celui des pays industrialisés de l'hémisphère Nord : alors que dans ces régions, la houille blanche, d'emblée exploitable économiquement, fut la première source d'énergie à être mise en valeur — mais sur une échelle fort modeste — avant l'intervention massive de la houille fossile, l'évolution de l'hydroélectricité s'est manifestée en sens inverse au Congo belge.

A l'origine de cette situation paradoxale, l'observateur averti ne tarde pas à déceler l'influence de facteurs antagonistes dont s'est ressenti l'équipement hydro-électrique. Comme en d'autres régions sous-développées d'Afrique, d'Extrême-Orient et d'Amérique du Sud, le Congo belge a pâti en premier lieu d'une carence des données de base indispensables pour l'aménagement hydraulique des sites.

Une mention exceptionnelle, mais de portée régionale, vaut néanmoins d'être relevée à l'actif de l'Union minière du Haut Katanga : cette puissante société cuprifère prenait, en 1907 déjà, l'initiative de déléguer une mission

d'hydrologues suisses pour une première étude d'orientation générale.

Après l'hiatus de la guerre 1914/18, les investigations furent reprises dans le détail par des spécialistes américains. Les stations de jaugeages et de relevés limnimétriques établies dès 1919 sur le fleuve Lualaba (alias Congo supérieur) et sur son gros affluent la Lufira, n'ont cessé d'effectuer, depuis cette date, des observations journalières en section tarée au moulinet. Une précieuse documentation a pu de la sorte être accumulée depuis 40 ans [39].

Insuffisance de données au départ

L'imprécision, sinon la rareté, des éléments de base hydrographiques et hydrologiques pour les autres régions du Congo, n'ont rien de surprenant si l'on considère les importantes lacunes dont restent entachées les études de l'écoulement et des sites dans des pays à structure énergétique très développée. Tout initié à ces problèmes d'envergure a pleinement conscience des difficultés inhérentes aux études de départ en terrain vierge et de la nécessité d'une prospection minutieuse pour la délimitation du potentiel technique : outre les enregistrements continus au limnigraphe et les campagnes d'observation systématiques des régimes de rivières couvrant de très longues périodes, les relevés météorologiques doivent être très suivis et faire l'objet d'un réseau d'observation étendu.

Au Congo, comme en toute région torride, l'effet des saisons introduit un facteur de variabilité important dans la hauteur des précipitations pluviales ; et par suite, dans les niveaux, les débits, les durées d'étiage prolongées parfois au delà de toute présomption. L'étude des phénomènes solidaires et complexes d'évaporation, d'érosion, de ruissellement, revêt ici une importance particulière

Il suffit, pour s'en convaincre, de se reporter par la pensée à la violence des actions érosives liée à la puissance de transport des eaux selon une loi de progression d'exposant 64 ; de considérer aussi l'intensité de la vaporisation d'eau sous l'effet d'une insolation surabondante. Le taux d'évaporation peut atteindre par endroits le triple des valeurs observées en Belgique. Mais il accuse de très grands écarts selon les parties de territoire concernées (en fonction du couvert, de l'altitude, de la configuration et de la nature du terrain, etc.) et suivant les influences saisonnières qui conditionnent le déficit de saturation de l'atmosphère, son état de transparence ou de nébulosité. Dans les régions périphériques, telles le Katanga, l'amplitude moyenne annuelle de l'évaporation atteint 10 à 12 fois celle afférente à la cuvette centrale et les maxima y sont atteints en saison sèche [64].

Un effet très suggestif et manlencontreux de cette intensité de l'évaporation à la faveur de l'ambiance chaude et sèche, est la perte d'énergie occasionnée par l'abaissement du plan d'eau dans les retenues de grande extension. Par exemple pour les chutes CORNET notre regretté Maître M. STRAUVEN, fait état d'une déperdition annuelle « de 100 millions de kWh, soit un quart de l'énergie totale brute recueillie » par suite de l'évaporation superficielle de la nappe d'eau en réserve.

Pour l'ensemble du bassin congolais, le chiffre de 1170 mm a été avancé pour l'évaporation effective annuelle : mais toutes données sur ce sujet sont inévitablement sujettes à caution.

Entraves aux travaux

L'immensité du territoire et sa diversité font également obstacle à une connaissance précise et rapide des autres composantes climatiques ou hydrologiques qui président au régime d'écoulement. La prospection exacte des ressources hydrauliques reste à mettre au point pour diverses

parties du territoire dont les ressources sont virtuellement sans emploi. Des deux éléments constitutifs du potentiel hydro-électrique ou énergie latente des chutes, seule la dénivellation est connue sans ambiguïté et immuable dans son ensemble ; sa mesure ressortit aux levés des profils de terrain, simple travail de topographie ; l'unique difficulté en pays tropical peut provenir d'un encombrement des sites par une végétation touffue au point d'en être inextricable. Il y suffit d'un débroussailement.

Si la détermination de la hauteur de chute disponible est immédiate, il n'en est plus de même du débit. Les conditions physiques de l'écoulement des eaux sont incertaines et variables. Les précipitations atmosphériques impriment leur variabilité au ruissellement : mais des influences perturbatrices, se dérober à l'analyse, viennent introduire de fortes distorsions dans les courbes figuratives des écarts enregistrés. Le dépouillement des résultats n'a pas encore permis de dégager des relations bien définies entre écoulement et pluviosité : elles échappent à toute anticipation.

Seuls les bassins aménagés ou en voie de l'être, ont fait l'objet de prospections systématiques et complètes ; le regroupement des éléments d'information, recueillis pour ces bassins, permet de procéder par voie de comparaison pour délimiter le potentiel économique d'autres sites mis à l'étude. Des coefficients d'écoulement, extrêmement diversifiés, ont pu être définis dans les limites des aires déjà prospectées.

D'une envergure non moins importante dans un pays neuf comme le Congo, sont les prospections géologiques. Avec les éléments topographiques, elles conditionnent les difficultés et coûts de construction des ouvrages, suivant la stabilité de l'assise, l'accessibilité du site et les facultés d'accumulation d'eau. De celles-ci dépendra la possibilité, autrement avantageuse, de fonctionnement à débit moyen, au lieu du débit d'étiage.

L'élargissement des possibilités de mise en valeur des

sites de captage, à la faveur du progrès technique et de l'exploitation intégrée des diverses formes d'aménagement d'un bassin fluvial (fil de l'eau, pompage, accumulation), ne cesse de faire reculer les limites du potentiel techniquement exploitable. Il en résulte le besoin d'investigations plus approfondies.

La nécessité d'études très rigoureuses, prolongées durant un minimum de 20 à 25 années, s'avère fondamentale pour éviter le suréquipement, générateur de chômage technologique, ou bien l'insuffisance de valorisation des ressources hydrauliques de la région.

Les levés topographiques de détail sont également laborieux en terre africaine. Il est aussi banal de dire que les études d'avant-projet et les délais d'édification des ouvrages hydrauliques doivent embrasser des périodes étendues.

Entraves aux réalisations...

Il faut aussi prendre en considération au Congo les entraves supplémentaires à l'aménagement des gîtes hydrauliques que constituaient, il y a quelques décades à peine, le manque de communications directes par route ou rail entre la côte et les mines ou industries lointaines de l'intérieur. Outre l'absence de ressources en bois et en charbon de qualité, elles ont opposé de très pénibles obstacles à la mise en valeur de la région orientale, celle du Katanga surtout.

Si l'effet de l'altitude tempérerait l'ardeur du climat dans la zone des mines, naturellement accidentée, par contre, d'autres facteurs avaient concouru à sa dépopulation. La faible densité d'occupation du Katanga et des Uele, en particulier, a réagi de manière défavorable sur les délais et charges d'aménagement des ressources hydroélectriques. Elles reflètent les difficultés d'étude et de mise en valeur dans une contrée où les éléments de la nature se montrent souvent hostiles, et faibles les ressources d'habitat.

Avec l'énormité des fonds à engager dans l'édification des grands ouvrages hydrauliques, il faut confronter enfin l'insuffisance de rentabilité, du moins à terme proche, des capitaux investis. L'éloignement de certains centres de consommation urbains n'est pas étranger à cet état de choses, outre le bas niveau des dépenses unitaires de courant.

Toutes ces entraves ont contrarié les mises en observation et en valeur des sites en alourdissant le coût des travaux. A l'heure présente, malgré tous les obstacles qu'il a fallu dompter, l'équipement hydroélectrique du Congo atteint un état de développement qui ne le cède en rien à celui d'autres pays neufs. Mais il est appelé à s'amplifier de beaucoup dans un proche avenir.

Origine et localisation des gîtes d'énergie hydraulique

La nature qui semble s'être montrée si parcimonieuse en ressources souterraines de combustibles solides et liquides à l'égard de nos territoires d'outre-mer, les a donc comblés au-delà de toute mesure dans leurs réserves énergétiques en eaux de surface. Le potentiel hydroélectrique du bassin congolais n'a son équivalent dans nulle autre contrée du globe.

Un harmonieux ensemble de facteurs climatiques et topographiques concourt à la formation de cette fastueuse énergie latente et à son renouvellement continu. D'après une corrélation prenant figure d'un postulat d'évidence, la météorologie et la physiographie d'un territoire éclairent et ordonnent la genèse des eaux de surface qui les parcourent.

Aussi convient-il d'examiner tout d'abord :

L'influence de la pluviosité

Le développement considérable du bassin versant du Congo de part et d'autre de l'équateur fait bénéficier le fleuve et son cortège de tributaires des intenses précipitations qui caractérisent la zone torride.

Quelques données numériques, empruntées à M. VAN DEN PLAS [64], permettent de concrétiser l'importance de ces précipitations pluviales et leurs répercussions sur les cycles hydrologiques :

Une référence très significative nous est donnée par les cartes pluviométriques des hauteurs annuelles au Congo : les isohyètes s'y échelonnent depuis des maxima de 2.200 mm (à Boende) au centre de la grande forêt équatoriale, jusque 1.600 mm sur les bords ; au-delà, en s'écartant vers les reliefs de plus en plus surhaussés du pourtour, l'on voit s'amenuiser les quantités d'eau tombées soit de 1.600 vers 1.000 mm.

La comparaison de ces relevés au pluviomètre, semble militer à l'appui d'une influence de la forêt équatoriale, agissant par saturation d'humidité : une justification plausible résiderait dans l'immensité de l'étendue du couvert arborescent.

Les limites extrêmes des cotes udométriques atteignent respectivement :

- Au minimum : 700 mm (à Gabiero) dans la savane boisée au Nord-Est du Ruanda, ainsi qu'à l'embouchure du fleuve (à Boma) ;
- Au maximum : 3.050 mm record de précipitation enregistré (à Mwindo) dans le haut massif montagneux à la bordure ouest du fossé tectonique.

Un autre élément d'appréciation résulte des hautes fréquences de pluies : 130 jours par an dans la cuvette centrale et jusque 220 jours par an dans la région précitée du Kivu, au relief très accidenté ; ici l'altitude des grandes dorsales exerce une action amplificatrice très marquée [15]. Pour l'ensemble du territoire, la hauteur de chute annuelle d'eaux de pluies atteint 1.500 mm en moyenne. A la faveur de ces précipitations atmosphériques, aussi violentes que fréquentes, le ruissellement

accuse dans son ensemble la plus prodigieuse intensité. Fleuves et tributaires de tout rang, dans un labeur de sisyphé, à la poursuite de leur profil d'équilibre, dévalent vers l'Atlantique, leur ultime exutoire, par une succession de biefs escarpés où leur déferlement vient accumuler les plus riches réserves énergétiques.

Par une heureuse disposition de la nature, le chevauchement du bassin congolais sur la zone équatoriale a pour conséquence une stabilité remarquable du régime de débit du fleuve comme de la composition chimique de ses eaux. Cette régularisation de l'écoulement constitue un facteur d'intérêt technique de la plus haute importance. Par contre, le régime de débit des rivières dans les zones tropicales des hémisphères nord et sud, où alternent les saisons sèches et humides, est irrégulier et marqué de crues importantes.

La signification économique de la compensation est illustrée avec éloquence par les chiffres suivants de puissances et capacités de production relatives à la centrale FRANCQUI, érigée par l'Union Minière aux chutes Cornet, où la Lufira vient trouer la barrière des monts Koni.

Tableau 10. — Capacité de production de la Centrale Francqui.

Année	Puissance en kW	Production d'énergie en millions de kWh /an
Année maximum	55.240	484
Année moyenne	42.790	376
Année minimum	27.000	237

La centrale, marchant au fil de l'eau après épuisement de sa réserve, voit sa puissance disponible tomber à 9.000 kW en basses eaux. La régularisation a donc permis selon M. MARTHOZ de quadrupler et au delà, l'utilisation du débit d'étiage [39].

La coexistence le long des cours d'eau de biefs d'étale-

ment, extensions marécageuses et grandes zones divagantes telles le Stanley-Pool en amont de Léopoldville, a pour effet d'améliorer la compensation générale de l'écoulement dans le bassin congolais.

Influence des facteurs géologiques

Pour une interprétation sommaire des conditions physiographiques propres au Congo, il existe deux « sources d'information cartographique » de lecture immédiate : la planche de l'hypsométrie générale et l'excellente carte des eaux dressées par un spécialiste, M. E.-J. DEVROEY, Ingénieur en chef honoraire de la Colonie. Hydrographie et relief sont, en effet, interdépendants. Le rapprochement de ces deux documents graphiques, met en évidence de manière frappante, la convergence générale des lignes de *thalweg* à partir des crêtes et plateaux d'une chaîne de bourrelets périphériques, vers une dépression centrale : c'est la grande cuvette congolaise encadrée des hautes cimes de la dorsale du centre africain et drainée ainsi de fond en comble par le réseau hydrographique. Le Congo se révèle, typiquement, un fleuve de bassin. Et les matériaux arrachés par la morsure des forces érosives de ses multiples affluents troublent les eaux et se déposent tout au long de leur cours sinueux.

Ainsi le réseau hydrographique se ramifie depuis son niveau de base en un chevelu puissant, étendu à l'extrême et ouvrant par ses nombreuses chutes les plus belles perspectives à la génération hydraulique de l'énergie.

La relation entre l'hydrographie du Congo et son relief est nettement caractérisée : dans le fond aplani de la dépression centrale, l'absence quasi complète de pendage des terrains et leur recouvrement par une riche végétation forestière, enracinée dans une assise d'humus spongieux, ont pour effet d'entraver le ruissellement. Celui-ci est encore restreint et l'absorption prompte, importante, dans les formations plus ou moins perméables en petit et

de déclivité faible ou nulle cernant les accès immédiats du bassin congolais sur ses flancs nord et sud. C'est le domaine des grands plateaux du Kasai, du Katanga.

Par contre, dans certaines régions intermédiaires de haut relief et surtout dans les barrières montagneuses du sud et de l'est du Congo, le ruissellement prend un caractère de grande violence. Il va de pair avec une érosion demeurée en pleine activité juvénile. En Afrique tropicale, la force dévastatrice de cette érosion a pour corollaire obligé, l'augmentation des atterrissements de cours d'eau, surtout lors des crues de rivières à régime torrentiel [15].

Les vicissitudes des mouvements tectoniques, avec leur succession de crises et de phases paisibles, ont marqué de leur empreinte indélébile la morphologie et l'hydrographie du bassin fluvial, en particulier sur les flancs montagneux dont le relief heurté domine à l'Est et au Sud la zone centrale déprimée. Au cours d'une ère géologiquement contemporaine, ces phénomènes géologiques ont donné un regain de vigueur à l'érosion régressive du système hydrographique, parvenu antérieurement à un stade très évolué sinon de sénilité. Ce processus de rajeunissement intéresse un relief très accidenté : dans les régions hautement métamorphisées, où pointent les horts puissants de la barrière orientale, les lignes de faite et plateaux culminent à des altitudes de 1.500 m ou au delà [14]. Les dénivellations sont très fortes aux points de passage obligés des eaux issues des versants ; soit qu'elles dévalent sur cette barrière par une série de gradins, soit qu'elles parviennent à la percer par des goulots d'étranglement.

Les effets de l'activité orogénique ravivée se conjuguent avec ceux de pluies diluviennes, qui arrosent un bassin versant dont la superficie n'atteint pas moins de 3.600.000 km². Les précipitations abondantes sont elles-mêmes la résultante d'intenses ardeurs solaires,

dont, en définitive, dépend l'énergie du courant des rivières, suivant le cycle connu : évaporation, nuages, condensation, pluies. Cette conjonction de facteurs — altitude, pluviosité, — propices entre tous, donne la clé de l'énormité des ressources hydroélectriques du bassin congolais. Notre illustre maître, le géologue J. CORNET, a établi que l'activité érosive des affluents du Congo étant limitée à une saison, tandis que celle du fleuve dure l'année entière, le creusement des vallées de ces affluents retarde sur celui du grand fleuve africain : d'où la formation de chutes dans leurs biefs inférieurs.

La distribution des gîtes d'énergie hydraulique est abondante et largement répartie sur toute la ceinture montagneuse de la cuvette congolaise. Elle se matérialise sous l'aspect de chutes nombreuses et puissantes qui déferlent à chacun des sauts brusques du relief ; ou bien il s'agit de rapides, écumant sur des barres rocheuses parsemées de récifs dispersés, qui émergent dans de longs dédales infranchissables à la navigation ; parfois ce sont des dénivellations plus étalées, qu'empruntent les affluents dans leur descente des hauts plateaux vers les plaines limitrophes.

A la traversée des seuils rocheux, correspondant aux irrégularités tectoniques du profil des cours d'eau, l'on rencontre souvent des gorges encaissées dues au percement par l'érosion contemporaine du rebord surélevé de la plate-forme centrale. Ces défilés abrupts, qu'il est aisé de barrer, se prêtent en maints endroits à la création de retenues importantes, sans impliquer de grandes charges d'expropriation parce que les zones à submerger sont de nulle valeur ou libres d'occupants. Un apport très utile pour la régularisation du débit résulte de la présence de lacs, jouant le rôle de réservoirs d'accumulation, intégrés en assez grand nombre aux bassins alimentaires du fleuve et de ses affluents.

La localisation d'importantes réserves de force motrice

dans les zones périphériques du bassin, concorde d'une manière qui semble providentielle avec celle des gisements de minerais mis en exploitation.

Une relation naturelle de cause à effet nous paraît motiver, de façon très plausible, cette juxtaposition des ressources métallifères et hydrauliques.

Nous croyons y déceler la permanence transcendante et universelle de l'influence du facteur géologique sur le physique, l'économique et l'humain. Des affleurements ont rendu visibles et accessibles les concentrations minérales au cours de cycles d'orogénèse, par l'effet de perturbations tectoniques et de plissements du substratum central seul minéralisé [53]. Ces zones de haute minéralisation sont aussi celles dont l'altitude s'étage de 500 au delà de 1.000 m et qui se prêtent aisément aux captages hydroélectriques comme au peuplement européen.

L'exhaussement des sites miniers, sous l'action des cataclysmes géologiques, n'a-t-il pas engendré le haut relief et ces accidents de terrain propices à l'écoulement torrentiel, source de l'hydroélectricité de ces régions. Mais il est aussi à l'origine de l'adoucissement de leur climat, de la stérilité des terres rocheuses, donc incultes et, partant d'une moindre occupation indigène faute de moyens de subsistance.

Comme l'on voit, des liens intimes unissent tout cet ensemble de caractères géographiques.

Dans les régions considérées, les distances entre les sites hydrauliques et les centres industriels équipés ou en voie de l'être, restent en deçà des limites compatibles avec les possibilités économiques et techniques.

Une situation semblable se retrouve dans le Bas-Congo, pour les sites desservant cette contrée, dont l'industrialisation progresse à grands pas.

Importance des chutes d'eau du bassin congolais

La détermination de l'ampleur des ressources disponibles échappe à une analyse serrée, même au stade de

connaissance actuel, en raison de la précarité des éléments d'appréciation existants. Si les données orographiques connues permettent de délimiter les reliefs avec suffisamment d'exactitude, il n'en est pas de même pour l'autre composante du potentiel hydraulique, l'apport des cours d'eau. Des estimations fort divergentes ont été successivement d'exactitude, il n'en est pas de même rappelons le pour l'autre composante du potentiel hydraulique, l'apport des cours d'eau. Des estimations fort divergentes ont été successivement avancées au sujet de l'importance relative des ressources hydroélectriques du Congo ; elles ont fait l'objet de remaniements d'après l'état de la documentation hydrologique disponible et par rajustement des limites du potentiel utilisable (en année de productivité moyenne) à la faveur des progrès techniques.

Dans une étude datant de 1946, M. BETTE a donné une évaluation du potentiel hydroélectrique brut, celui des forces sauvages : soit 178.800.000 ch ou 132 millions de kW pour l'ensemble du bassin congolais, chiffres afférents à une année de pluviosité moyenne : ils demeurent cependant affectés d'une approximation de $\pm 35.150.000$ ch, imputable au défaut de renseignements précis et ordonnées.

Mais ces chiffres appellent, selon M. E. J. DEVROEY, une défalcation des puissances, qu'il faut attribuer aux pays limitrophes, en raison de la mitoyenneté du fleuve ou de ses affluents sur certaines parties de frontières. Pour les seuls territoires administrés par la Belgique, d'une superficie de 2.398.100 km² (dont 54.170 pour le Ruanda-Urundi), l'estimation du potentiel disponible se ramène à 140.542.500 ch ou 103.340.000 kW.

Ces supputations sont à comparer avec celles des autres ressources mondiales d'énergie hydraulique :

Potentiel disponible	
(en eaux moyennes)	(en milliers de kW)
Afrique	209.500 ⁽¹⁾
Amérique	195.900
Asie	226.700
Europe	136.900
Océanie	20.700
Total	789.700

Ainsi à défaut d'une exactitude impossible, mais en premier ordre de grandeur méritant crédit, le Congo belge à lui seul recèle en puissance 13,08 %, soit plus du septième du total des forces hydrauliques du globe : cette position lui assigne la première place dans la hiérarchie des réserves de l'Afrique, qu'à son tour les chiffres repris au tableau susdit situent en tête des continents pour les ressources potentielles.

Pour la partie de son bassin inférieur, limitée à la région des Cataractes (Bas-Congo), la puissance brute (toujours en eaux moyennes) est chiffrée au-delà de 86 millions de kW soit 10,5 % de l'ensemble des disponibilités mondiales [25].

Précéllence des sites hydroélectriques du Bas-Congo

Aucun autre gîte hydraulique dans le monde ne peut se mesurer avec celui du Bas-Congo pour la puissance récupérable. Rapporté à la superficie, cependant énorme, de la partie du bassin sise en territoire belge et dont le tiers central est de nulle valeur, le potentiel spécifique (densité de puissance disponible par km²) n'en atteint pas moins 2.340 kW/km². Sous ce rapport, le Congo se classe au nombre des régions les mieux dotées de l'univers.

Exceptionnellement avantagé par la richesse phénoménale de ses réserves d'énergie, le bief inférieur du fleuve

⁽¹⁾ Tous ces chiffres arrondis aux centaines supérieures.

entre le Stanley-Pool et Matadi l'est encore quant à d'autres caractéristiques hydrauliques de première importance :

1° La possibilité de récupération du potentiel brut par des aménagements qui permettent une exploitation économique des ressources dans les traversées et sur les flancs de la ceinture montagneuse dont est ourlée la cuvette congolaise ;

2° La modicité du débit solide dont la teneur réduite allège les charges d'engravement et d'atterrissement dues au charriage de matières rocheuses ;

3° La régularité du débit d'eau que stabilise l'alternance des deux crues afférentes aux hémisphères sud et nord.

Si la continuité des apports pluviaux reste effectivement assurée en permanence sur toute l'étendue du périmètre alimentaire du Congo, il subsiste néanmoins un décalage de régimes par suite de la dissymétrie géographique du bassin par rapport à l'équateur ; d'où une fluctuation bi-annuelle mais d'amplitude tempérée : les débits oscillant de 23.000 m³/s à l'étiage minimum minimorum (P. B. E.) à 60.000 m³/s en crue normale d'hiver et 75.000 m³/s au niveau maximum maximorum (P. H. E.). M. M. STRAUVEN en a déduit un coefficient annuel d'écoulement de 0,221 : il attribue cette modération du taux moyen aux effets déjà signalés d'une forte évaporation — très préjudiciable aux réserves — sous l'action de divers facteurs (intensité des ardeurs solaires, dessiccation par les vents alizés, transpiration végétale et percolation forestière...) de nature à compenser largement l'influence des « paroxysmes climatiques ».

Le débit annuel moyen du fleuve n'en demeure pas moins énorme : 39.000 m³/s.

Le Congo, artère fluviale de première grandeur, appa-

raît, en définitive, doué de qualités hydroélectriques des plus remarquables.

Quant au *potentiel économique* du majestueux fleuve africain, M. BETTE en a établi un calcul approché par comparaison avec les données de bassins partiels à caractéristiques uniformes, aménagés ou ayant fait l'objet de prospections systématiques, confiées à diverses missions. Opérant une ventilation des disponibilités hydroélectriques par régions d'altitudes échelonnées jusqu'au delà de 1.000 m, l'auteur concluait à une puissance économiquement utilisable de 13 millions ch, soit 7,5 % du potentiel brut total.

L'avenir indiquera si cette détermination, comme il y a lieu de le présumer, pêchait par excès de prudence.

Le site d'Inga

Au terme de ce tour d'horizon sur les aspects physiques et les particularités des gîtes congolais de houille blanche, il faut réserver une mention toute spéciale au site d'Inga. Cette concentration énergétique, la plus grande du monde, mérite bien le qualificatif de titanesque. Elle représente un potentiel de 25 millions de ch, presque l'équivalent de la puissance hydroélectrique exploitée aux États-Unis et 7 fois la puissance électrique totale installée en Belgique [25].

Perspectives de débouchés

Un problème de débouchés se pose a priori pour rendre rémunératrice cette incomparable réserve de puissance dont « le captage peut être réalisé au plus bas prix mondial » suivant les termes prophétiques du regretté Colonel VAN DEUREN. Qu'il nous soit permis de rendre un modeste hommage à la mémoire de cet éminent ingénieur doué d'un fécond esprit inventif, mais dont la hardiesse de vue se heurtait au scepticisme de l'époque. En 1926

cependant, Sa Majesté le Roi ALBERT avait eu le rare mérite d'apprécier l'immense portée et d'encourager par une géniale clairvoyance les projets de ce précurseur, qui passait pour visionnaire aux yeux de certains esprits mal informés. Les contingences, il est vrai, se sont modifiées.

Le champ des possibilités ouvertes aujourd'hui à la mise en valeur du site d'Inga, échappe à des anticipations précises tant les résonances en sont vastes. Mais un préalable doit être formulé : c'est à la condition de pouvoir collecter les énormes capitaux requis pour l'aménagement hydroélectrique et pour l'érection des grands complexes industriels avec leur infrastructure : voies de communications, installations portuaires...

Pourquoi, serait-on enclin d'objecter de prime abord, investir des mises de fond gigantesques dans cette entreprise ? C'est perdre de vue la rareté de ressources aussi grandioses et aptes à satisfaire économiquement les exigences des productions de masse.

La situation de cette réserve pléthorique de houille blanche à proximité de l'Atlantique Sud apparaît exceptionnellement privilégiée par rapport aux marchés mondiaux. Elle est des plus propice à la création d'industries de transformation, grandes consommatrices de courant, venant s'articuler sur un système énergétique de première envergure.

L'inexorable loi d'airain de la concentration industrielle régissant l'économie moderne, axée sur la poursuite du rendement maximum, doit aiguiller les investissements vers les sources d'énergie les plus importantes et les moins onéreuses. A l'appui de ces vues, il nous suffira de citer l'exemple de la création, de toutes pièces et en un temps record, du centre de Kitimat, en Nouvelle-Calédonie (Ouest canadien). On y voit prospérer une puissante industrie de l'aluminium, éloignée de milliers de km de ses sources sud-américaines d'approvisionnement de bauxite. Ce résultat n'a qu'une apparence paradoxale : il

se révèle très plausible si l'on considère que, dans le prix de revient de l'aluminium, la composante matières premières n'intervient que pour 15 % contre près de 30 % pour l'énergie électrique. On l'a dit et redit : les besoins d'énergie du monde n'auront de cesse d'augmenter dans le futur, sous l'incoercible poussée de l'expansion démographique des peuples et de leur aspiration vers un standing meilleur. Et celle-ci atteint son paroxysme dans les pays sous-développés.

Mais les moyens d'y répondre à partir des ressources minérales traditionnelles — houille et pétrole — ne pourront que renchérir en fonction de leur épuisement graduel. L'avenir, par conséquent, est garanti aux grands ensembles tels celui d'Inga, mobilisant un riche potentiel hydraulique, assorti d'un coût très bas de production. Cette modicité de prix du kilowattheure devient non seulement le support mais le stimulant de l'extension industrielle.

La complication introduite par le problème des débouchés, postule un examen approfondi, car c'est la dominante préalable, primant sur les considérations de disponibilités en matières premières et en capitaux. Pour les industries à créer, le problème principal sera de franchir le seuil de la rentabilité par un niveau suffisant de capacité de production. A cette condition pourra s'édifier un vaste zoning industriel équilibré, sain, prospère. Sur le plan micro-économique, c'est tout l'avenir du Bas-Congo qui s'en trouvera transformé.

Au nombre des industries promises à un brillant essor par leur implantation sur le centre énergétique d'Inga, celles des métaux légers se présentent d'emblée au premier rang. Dans leur caractère de modernisme, il est permis d'entrevoir un gage de longue prospérité.

Dès à présent se sont créés des syndicats d'étude des conditions locales de production et de vente de l'aluminium. L'intérêt se concentre aussi sur l'électro-métallurgie des alliages, fontes et aciers spéciaux : (ferro-

alliages de Cr, Mn, Si..) relevant des *électro-process materials*.

Mais il est bien d'autres branches d'activité industrielle à objectif intercontinental, appelées à se développer autour d'Inga, en particulier celles qui mettent en œuvre un cycle de fabrication automatique et continu : la production économique des engrais azotés et calciques, pour le plus grand profit de l'agriculture congolaise, si handicapée par le manque de fertilisants ; la fabrication de pâte à papier et autres industries de la cellulose : contreplaquage, scieries et caisseries, mobiliers, imprégnation... le traitement des huiles ; certaines synthèses chimiques, séparation des isotopes radioactifs, fabrication d'eau lourde, de soude caustique, de ciment... et autres industries utilisatrices à grands besoins d'énergie.

Sans omettre les vastes possibilités d'irrigation et de mise en valeur des zones hautes, riveraines du fleuve, par le truchement d'une élévation mécanique de l'eau durant les heures creuses de nuit : importante contribution au nivellement de la courbe de charge, préoccupation majeure de toute exploitation électrique.

Le démarrage des industries de base, en favorisant la réduction du coût de l'énergie, donnera l'essor à des industries multiples d'intérêt local. Il contribuera à un développement général de l'équipement de construction, routier, portuaire, etc. réalisable de façon progressive et ordonnée.

En dégageant une aussi fabuleuse réserve d'énergie demeurée improductive, l'on se donne l'assurance de créer une nouvelle source de bien-être et de richesse pour les populations du Bas-Congo. Un sang nouveau sera infusé à l'économie d'une région naturellement privilégiée, mais assoupie dans un état semi-léthargique. La diversification de la structure économique du Congo belge — facteur d'équilibre, — l'extension des échanges, l'accroissement du pouvoir d'achat, ne pourront que profiter aux

balances commerciales et des comptes comme à l'allègement du budget. La prospérité du Congo et de la Belgique, la stabilité générale et l'expansion civilisatrice dans le centre africain, seront largement bénéficiaires de cette évolution. Ainsi, d'un point de vue national, l'aménagement hydroélectrique d'Inga, paraît-il prédestiné à jouer le rôle de catalyseur d'un intense développement économique.

Il n'est pas jusqu'aux pays limitrophes qui ne soient appelés, eux aussi, à profiter de la valorisation des ressources hydrauliques d'Inga, aux portes de l'Océan. Une vision extensive de ses possibilités lui assigne une vocation internationale, car l'on se doit de penser l'avenir à la mesure d'ensembles intégrés.

Aux lecteurs désireux d'éclairer leur religion sur ce passionnant sujet nous ne saurions trop recommander la consultation des mémoires d'un haut intérêt parus en ces dernières années. Les références en sont citées dans une bibliographie annexe.

Les microcentrales hydrauliques

De la plus grandiose des réserves d'énergie hydraulique inventoriées dans le monde, passant aux plus humbles ressources de l'espèce, nous en venons à traiter des microcentrales. Le sujet est à l'ordre du jour pour l'équipement hydroélectrique des pays peu développés au moyen de groupes préfabriqués de petite taille.

I. Microcentrales autonomes

Il est de ces installations réductibles au gabarit d'un kiosque et, du point de vue constructif, répondant à deux concepts de groupe électrogène turbo-générateur : simple ou combiné avec une pompe s'il faut assurer un double service d'électrification et de fourniture d'eau. La turbine est du type usuel, à bêche spiraloïde engainant le pro-

pulseur à haute vitesse : roue FRANCIS ou hélice KAPLAN (mais à pales fixes, vu le format) ; le carter de la roue mobile porte la génératrice agencée à cette fin et s'adapte sur un aspirateur tronconique vertical. La régulation du débit peut être assurée par une vanne automatique *ad hoc*, montée à l'amont sur l'entrée de la volute.

Dans l'étage supérieur de la cabine, de profil cylindrique, qui habille le groupe et le protège, est logée toute la partie électrique, c'est-à-dire la génératrice avec son appareillage : dispositif de régulation automatique de la tension continue ou alternative et petit tableau de distribution portant les seuls accessoires indispensables pour un service satisfaisant ; ampèremètre, voltmètre, disjoncteur à relais de surintensité, enclencheur à bouton-poussoir ou à levier, prise de courant. L'équipement de la microturbine est complété par un régulateur automatique de vitesse, par exemple du type à pression d'huile. Un volant monté entre paliers sur l'arbre du propulseur concourt au maintien d'un fonctionnement doux et souple. L'uniformité du nombre de tours se maintient, nonobstant les fluctuations de charge sans autre réglage ni intervention manuelle.

La mise en marche est des plus simple : le démarrage s'effectue par ouverture graduelle de la vanne d'admission d'eau et l'arrêt par sa fermeture. Aucune mise au point ni surveillance à prévoir, hormis une inspection épisodique ; l'entretien se limite au graissage sous pression des organes vitaux, périodiquement pratiqué à l'aide d'une pompe. Pour un nombre suffisant de petites usines, par exemple en cascade sur un même cours d'eau, il y aurait intérêt à centraliser les opérations de renouvellement et de gros entretien dans un petit atelier régional. Le fractionnement du matériel facilitera les manutentions.

Sous leur forme concentrée à l'extrême, ces groupes tubulaires prennent peu de place et s'accommodent d'un

minimum de fondation, réduite à deux murets de béton parallèles ; le remplacement de l'aspirateur normal à profil curviligne par un divergent droit, concourt à ce résultat.

Associée à la semi-automatisation du groupe, la simplification de l'agencement entraîne celle du génie civil : c'est tout le bâtiment de centrale (usine-barrage ou usine latérale) qui disparaît avec la salle des machines et les chambres d'eau incorporées dans le béton d'infrastructure. C'est aussi la suppression des fouilles et des fondations dont l'ancrage dans le lit du cours d'eau peut occasionner tant de difficultés. Il en résulte un allègement considérable (plus de 50 %) des charges d'installation par rapport au coût des centrales classiques.

Les seules constructions à prévoir se ramènent à une prise en rivière avec dérivation pour récupérer la hauteur de chute et alimenter la microcentrale au fil de l'eau ; ou, selon nécessité, un barrage-réservoir assurant la modulation du débit. Ce sont là des travaux inséparables de tout aménagement hydraulique ; ils échappent aux possibilités de normalisation des études et travaux. Comme revers de la médaille, on notera une certaine aggravation des travaux d'entretien des ouvrages de captation (effeuillage, désensablement, mesures contre l'engravement et l'affouillement de la prise...).

Un avantage substantiel de ces microturbines fabriquées en série, c'est d'être livrables complètement achevées de montage, les encombrements et poids étant réduits à leur plus simple expression. Il s'en suit que leur acheminement jusqu'à pied d'œuvre et leur installation en état prêt à démarrer n'exigent qu'un minimum de dépenses comme de travaux sur place.

L'on peut dire à propos de ces micro-turbines génératrices, sans aucune arrière-pensée péjorative, qu'il s'agit « de confection », donc extra-économique et simple, au regard de la « façon sur mesure » des groupes classiques

dont chaque fourniture fait l'objet d'une étude individualisée.

Pour tous ces motifs les investissements sont réduits à leur plus simple expression.

En variante, des ingénieurs yougoslaves ont récemment mis au point un concept de groupes hydroélectriques d'un coût réellement modique (environ 14.000 F par kW installé) et dont la construction sort quelque peu des voies traditionnelles.

Particularités de construction

Les mobiles de simplicité et d'économie qui ont préoccupé les promoteurs de ces groupes, les ont fait renoncer aux dispositifs habituels de régulation : de vitesse de la turbine et de tension de la génératrice ; à s'orienter aussi vers une simplification organique dans le but de répondre à la condition de fonctionnement automatique sans garde permanente. Comment ces résultats furent-ils atteints ? De la façon la plus élémentaire, en apparence du moins, car nous inclinons à penser que ce doit être le résultat de laborieuses recherches, en donnant aux pales fixes de la roue motrice et aux aubes également fixes du distributeur des profils et positions appropriés : leur action sur le débit assure un réglage automatique du nombre de tours de la turbine (par autofreinage du fluide) sans intervention d'aucun régulateur mécanique de vitesse ; l'écart maximum sur le nombre de tours, en cas de décharge brusque, s'élève à 20 %, la variation de fréquence étant limitée à ± 10 %, encore tolérable à la rigueur pour les petits appareils électroménagers et moteurs à courant triphasé desservis par le réseau. Un volant peut d'ailleurs être interposé sur l'arbre.

La disposition du groupe peut être indifféremment prévue avec arbre vertical ou horizontal, la turbine étant immergée dans une chambre d'eau ouverte ; l'aspirateur tronconique s'y adapte directement. Plusieurs roues

mobiles peuvent aussi être montées en parallèle sur le même arbre. La construction de la partie mécanique est élémentaire, réduite à un petit nombre d'organes robustes, et exempte de pièces vulnérables, hormis les paliers.

Pour ces motifs, les manutentions, les opérations de montage et de démontage sont des plus simples ; les réparations restent à la portée d'ateliers sommairement équipés, voire improvisés.

Comme les aubes du distributeur sont fixes et non orientables en marche, le débit turbiné reste considérable même en marche à vide : en conséquence, l'aménagement hydraulique de la chute doit permettre le déversement de l'excès d'eau en cas de baisse ou d'annulation totale de la charge.

L'accouplement élastique avec l'alternateur s'effectue par courroie trapézoïdale enroulée sur poulie-volant. L'alternateur triphasé est de construction normale, mais sans excitatrice, remplacée en l'espèce par une batterie de redresseurs secs au sélénium, associée avec un dispositif statique compound : nous retrouvons ici l'avantage, déjà mis en avant, de la suppression des bobinages additionnels rotoriques, afin d'éviter le démontage de l'alternateur pour visite ou réparation du dispositif compound. Ce dernier est constitué de transformateurs statiques à couplage électrique spécial maintenant la régularité de tension à toutes charges : c'est encore le principe de réaction instantanée aux fluctuations de charge par effet électromagnétique. Les écarts de tension restent limités à $\pm 5\%$ dans le passage de la marche à vide à la pleine charge et vice versa. Par ces moyens, la robustesse de construction et la résistance aux sollicitations électriques ou mécaniques sont assurées : l'alternateur est à même de supporter les surcharges momentanées produites par l'enclenchement de moteurs à cages d'écureuil et de résister aux contraintes des courts-circuits francs survenant dans la distribution. Les chutes de tension consécutives à l'em-

branchement d'un moteur à cage sont effacées, une fois le court-circuit disparu.

Tout le matériel électrique, y compris le tableau de distribution avec ses dispositifs compounds-redresseurs et celui de protection de la génératrice, sont appropriés aux conditions de travail en pays tropicaux. Des tests sévères sont imposés d'ailleurs à l'appareillage. Les rendements se maintiennent dans des limites satisfaisantes ; ils varient naturellement selon vitesses du groupe et caractéristiques de la chute.

Le modèle et la puissance de turbine sont à choisir d'après les disponibilités en eau durant des périodes consécutives de 3, 6, 12 mois. Pour mettre à profit les différents régimes d'écoulement au cours de l'année, il est possible d'installer plusieurs unités en parallèle, afin de réaliser la continuité de service avec une plus grande productibilité.

Facilités d'aménagement

Les travaux de montage et de génie civil, fondations, terrassement, sont toujours réductibles à l'extrême. Les aménagements peuvent être, ainsi qu'aux époques ancestrales, réalisés par de simples levées ou barrages en terre, peu coûteux, en un délai réduit (± 2 mois). Une modique vanne à glissières permet, comme dans les anciens moulins, de régler le niveau d'eau, donc la hauteur de chute à une valeur sensiblement constante et correspondant à la puissance nominale de la turbine.

L'exploitation dispense de toute permanence de garde et comporte une seule visite quotidienne d'une demi-heure par un villageois préposé à l'entretien : le travail se limite aux relevés des indications usuelles, et, périodiquement, au nettoyage de la chambre d'eau de la turbine, ainsi qu'au graissage des paliers (2 fois/mois) outre quelques lavages à l'essence (2 fois l'an).

L'aménagement hydroélectrique pourra être associé,

dans certains cas, à des travaux d'irrigation permettant de bonifier les terres, solution envisagée pour des centres du Kasaï. La retenue d'eau éventuellement créée pour l'alimentation de la microcentrale, peut aussi servir de vivier pour compléter l'alimentation du Congolais en indispensables protéines. Enfin cette solution économique de l'aménagement à charges fixes susceptibles d'être étalées *ad libitum*, répond précisément aux objectifs assignés de promotion des activités agricoles, forestières artisanales dans un périmètre étendu autour de la microcentrale [23].

C'est que l'idée de mécanisation a fait du chemin. Désormais, le stade de la machine à vapeur classique semble dépassé ; des moyens nouveaux l'ont éclipsée. L'électricité, surtout sous forme hydraulique, est si commode, stable, régulière, docile... ; et le moteur électrique évite l'onéreux entretien du Diesel avec ses risques d'un rationnement éventuel du combustible et son stock de pièces de rechange ; le rayon d'action de l'énergie électrique est bien supérieur à celui des autres sources de force motrice.

II. Microcentrales d'appoint

Il importe, afin d'éviter toute ambiguïté, de faire le départ entre ces microcentrales, dont l'indépendance est absolue, et celles du type asynchrone, branchées sur un réseau, leur injectant l'énergie réactive et dont elles font partie intégrante. D'ordinaire ces groupes asynchrones, dépourvus de toute autonomie, sont intégrés à de puissants systèmes énergétiques et leur fournissent, par intermittence, des appoints de courant infimes et marginaux. Ils peuvent présenter une disposition mixte : turbine horizontale-alternateur vertical avec renvoi de mouvement, le tout monté dans un puits bétonné, pour raisons d'économie d'installation et de sécurité de marche.

En alternative existe une nouvelle disposition compacte de groupe monobloc, noyé dans le lit même du

cours d'eau. C'est le « groupe bulbe » composé d'une turbine hélicoïde à réaction axiale faisant corps avec un alternateur à cage d'écureuil mais de forme bulbe ; sa carcasse statorique est baignée et refroidie par l'eau même de la chute. L'ensemble est assujéti dans la tête d'un large et long diffuseur tronconique — de profil rectiligne, immergé à même le fond de l'eau en position horizontale ou légèrement inclinée. La tête de la buse d'aspiration peut recevoir une trompe d'entrée d'eau, incurvée et formant siphon, ce qui permet de renoncer à l'emploi d'une vanne d'admission à la turbine.

A l'échelon supérieur, des modèles de plusieurs milliers de kW à turbine axiale avec alternateur-bulbe perfectionné et de haut rendement sont en service ou en projet pour des centrales de l'Électricité de France : entre autres la grande usine marémotrice de 340.000 kW à installer sur la Rance en Bretagne [29].

Le concept d'installation à échelle réduite se révèle de nouveau une source de gains :

1° Sur le poids et l'encombrement des groupes, de construction d'ailleurs poussée.

2° Sur les travaux d'excavation, de génie civil et de montage.

D'autres profits, particuliers à ce type asynchrone-bulbe, résultent d'une amélioration des performances en exploitation :

1° Haute capacité de surpuissance massique, due à un actif refroidissement de l'alternateur immersible ;

2° Aptitude à soutenir aisément divers régimes de marche.

S'agissant de microcentrales, une confusion, redisons-le, ne saurait être admise entre les deux types de groupes monoblocs.

1° Le système asynchrone, dont la forme bulbe ne comporte pas de bêche spirale, est noyé, inaccessible et monté en position plus ou moins horizontale ; la turbine est du type axial à roue-hélice ; l'interconnexion de la génératrice sur réseau est obligatoire ; l'écoulement est à flux direct.

2° Le système synchrone, monté sous abri hors de l'eau et en position verticale avec aspirateur droit, coaxial, descendu jusqu'au niveau de restitution ; la turbine est du type à roue FRANCIS ou à roue hélice ; le fonctionnement du groupe devient d'une indépendance totale. L'alternateur, du type classique d'une sécurité bien éprouvée, reste accessible en permanence, condition imposée par l'entretien du collecteur et de l'appareillage incorporé au groupe ; c'est la formule véritablement traitée en « *outdoor* ».

Dans l'une et l'autre constructions, le bâtiment d'usine disparaît.

Les petits agrégats hydroélectriques synchrones sont construits en modèles sélectionnés dans le but de couvrir une gamme assez étendue de groupes interchangeables :

- Débits 50 à 500 l/s ;
- Hauteurs de chute : 1,5 à 20 m ;
- Rendements : très variables selon marques, de 70 à 83 % : environ ;
- Puissances : 2 à 40 kW.

Ces caractéristiques répondent aux besoins de distributions genre rural appelées à desservir les centres congolais de rang mineur. Autre particularité fort intéressante : les réalisations économiques et simples, que postulent de telles applications, demeurent possibles, même pour l'équipement de basses chutes. Cette faculté découle à l'évidence des indications qui précèdent. La robustesse est naturellement une condition impérative.

Sous l'angle de l'économie générale d'équipement, il faut considérer :

1° Les bas prix d'achat et d'installation de ces groupes, à la faveur d'une construction en série, plus ou moins normalisée ;

2° Leur possibilité de fonctionnement semi-automatique (sous une surveillance intermittente) non gardé ;

3° La faculté d'aménager des sites peu favorisés ;

4° L'extension du seuil de rentabilité des aménagements.

Nous retrouvons pour ces micro-centrales hydrauliques l'avantage, relevé à propos des usines éoliennes, d'une fourniture directe au centre de gravité de la consommation : pas de transformateurs à prévoir, distribution limitée à un périmètre restreint avec, au plus, quelques digitations vers des fermes ou autres écarts de la zone périphérique. Donc un minimum de servitudes de transport et de répartition de l'énergie.

Par la conjugaison de ces différents facteurs d'économie, il est licite d'escompter une forte réduction des frais de financement de l'électrification à l'échelle rurale, dans les régions déshéritées des pays tropicaux.

COMPARAISON ENTRE LES SOURCES INDIGÈNES D'ÉNERGIE (Utilité, répartition)

Dans l'échelle des valeurs énergétiques, les ressources mises à disposition par la nature s'étagent à des niveaux fort différents : leur appréciation varie selon les qualités propres à chaque espèce d'énergie, les quantités dont la production est requise et les convenances d'utilisation. Ces ressources, dont chacune a son utilité, peuvent se compléter.

C'est un inestimable privilège de l'énergie, de pouvoir s'alimenter aux sources indigènes les plus variées, comme de satisfaire aux besoins les plus disparates dans leurs qualité et intensité : le bois de la forêt tropicale chauffe l'humble fourneau de la ménagère africaine et alimente des centrales à vapeur ou à gaz pauvre ; le charbon en usage sous forme pulvérisée dans les chaudières à vapeur et les fours à ciment pourrait servir de réactif chimique dans l'avenir ; les forces sauvages de la houille blanche, domestiquées, actionnent la microturbine et l'hydrocentrale aux proportions imposantes.

L'analyse combinée des facteurs économiques et techniques dont relève l'utilisation des sources d'énergie au Congo appelle les conclusions suivantes :

Dans un parallèle entre les sources d'énergie, la considération des puissances thermiques ou des consommations calorifiques rapportées à l'unité de poids ou de volume, n'est qu'un des critères d'appréciation. Une comparaison sur le plan économique entre ces divers combustibles ne peut omettre aucune des composantes du prix de revient final de la calorie ou du ch/h[33]. Dans les conditions qui prévalent au Congo, il est hors de doute que ce coût doit inclure les frais additionnels de distribution dans le chef du producteur, comme ceux de l'approvisionnement et du stockage pour l'utilisateur (selon distance, parfois considérable, du poste de ravitaillement) ; la consommation spécifique doit refléter l'influence des mode et degré d'utilisation de l'énergie (perte éventuelle de puissance, utilisation annuelle et facteur de charge de l'usine génératrice, déchets éventuels aux temps morts) ; les charges usuelles d'amortissement et d'entretien ne sauraient légitimement être négligées, compte d'éventuelles appropriations des moteurs et de l'usure plus ou moins rapide des machines : ce peut être une pierre d'achoppement pour l'usage des huiles brutes de pression ou du gaz pauvre. La valeur économique des sous-produits, par

contre, peut venir en déduction de certaines charges, comme c'est le cas dans la gazéification, (mais à l'échelon industriel) des résidus fibreux et autres déchets agricoles pour l'alimentation de moteurs à 2 ou à 4 temps.

I. Ressources d'origine végétale

Le bois, ce premier combustible dont le Congolais ait fait usage, a servi jusqu'il y a dix ans au plus pour le chauffage et pour la force motrice sur une large échelle, les 3/4 de la production (3 à 4 millions t/année) étant consommés par les transports : chemins de fer, navigation intérieure, quelques camions de gros tonnage sur long parcours. Son emploi est de plus en plus délaissé. C'est un combustible de faible pouvoir calorifique et mal utilisé sous forme d'énergie secondaire, par production de vapeur ou de gaz pauvre, pour les machines thermiques à combustion externe et celles à combustion interne (Diesels, moteurs à explosion). Il est aussi exposé à des pertes multiples dont le vol n'est pas le moindre, depuis le moment de son abattage jusqu'à celui de son enfournement dans le foyer. Le maniement et la préparation sont des plus incommodes en climat torride, les corvées de coupe et de portage sont harassantes. Elles accaparent une main-d'œuvre précieuse à l'extrême. Enfin, le déboisement, s'il n'y est pris garde, peut mettre en péril les ressources hydrologiques et agricoles.

Solution de facilité, mais primaire, désuète, et dont le coût ne cesse de renchérir.

Le charbon de bois a bénéficié, cependant, de quelques applications thermiques, au cours des dernières années, dans les territoires sous mandat. Il faut également signaler une technique récente, celle du combustible ligneux sous forme comprimée.

En atmosphère tropicale le charbon de bois est prompt à s'humidifier ; ce qui amplifie les difficultés de carburation dues principalement à sa friabilité.

Au bois et ses dérivés, il faut assimiler d'autres ressources de cellulose, telles que les matété de la brousse et les envahissants papyrus de certains lacs de l'est (Albert, Upemba, Kisale...) : ces réserves ligneuses sont économiquement inexploitable, faute d'accès ou de débouché.

Les déchets fibreux sont aussi à considérer comme source de combustible du règne végétal, pauvre et localisée, d'usage réservé à des exploitations agricoles, et de caractère non commercial, ni mobilisable à distance.

Les combustibles oléagineux liquides : représentent une source de carbone végétal dont la puissance calorifique ± 8.900 kcal/kg se situe à un niveau intermédiaire entre celui des substances ligneuses du règne vivant, et celui des huiles minérales combustibles. L'utilisation se heurte à des difficultés techniques pour la combustion dans les moteurs.

Cette réserve potentielle d'énergie solaire (par voie chlorophyllienne) se prête à une valorisation par traitement à l'éthanol ou au méthanol : dans les deux cas, les résultats sont assez comparables. La technique de l'éthanololyse est parfaitement au point. Le gasoil végétal qui en dérive présente un intérêt certain pour la suppléance, sinon pour le remplacement des hydrocarbures de pétrole. Mais les prix des huiles végétales sont instables et à des niveaux inaccessibles. L'accroissement de production sur une vaste échelle est discuté. Dans ces conditions, le doute continue à planer sur la rentabilité de la conversion chimique et sur les contingences locales d'une production de masse.

Le traitement thermique des graines de coton entre autres, par carbonisation suivie de distillation du goudron recueilli, peut fournir une gamme de produits légers et lourds, assimilables à ceux extraits du pétrole ; mais leur prix n'est pas compétitif.

Les alcools carburants ne procurent qu'un médiocre

pouvoir calorifique, à peine la moitié de celui des huiles végétales, soit ± 3.600 kcal pour l'alcool méthylique et ± 4.500 kcal pour l'alcool éthylique. Leur emploi pour l'alimentation des moteurs ne paraît pas encore impeccable. Et aucune production n'a vu le jour jusqu'à présent.

II. *Ressources d'origine minérale*

La tourbe: premier échelon dans le passage entre les deux règnes végétal et minéral, est un combustible gorgé d'eau, de par son mode de formation ; sa puissance calorifique n'est guère supérieure à celle des carburants alcooliques. C'est une source d'approvisionnement trop concentrée. Il reste encore à faire la preuve, par de laborieuses recherches, de sa convenance énergétique en exploitation congolaise.

Le charbon de terre: ressource limitée à deux gisements trop excentrés se localisant à l'est ; les houilles du Centre africain sont de qualité inférieure, souillées d'un excès de cendres et de pyrites, celles-ci cause d'inflammation spontanée ce qui interdit tout stockage volumineux ou prolongé. D'ailleurs les disponibilités ne suffiraient pas à couvrir la totalité des besoins des transports, des industries extractives, transformatrices et autres ; la production annuelle n'atteignant pas le demi-million de tonnes (selon *tableau annexe 39*). A Greinerville est inventoriée cependant une ample réserve capable de satisfaire aux besoins locaux, des industries du feu notamment : cimenteries, briqueteries.

Puisque le carbone minéral est polyvalent, il serait susceptible, à défaut d'un meilleur usage pour des fins mécaniques ou thermiques, de servir par voie chimique comme réactif de base pour une industrie de synthèse.

Le problème de rentabilité n'en doit pas moins demeurer le pôle des préoccupations.

La structure du coût des combustibles fossiles est affectée au plus haut degré, lorsqu'il s'agit de la houille par la nécessité d'une main-d'œuvre spécialement qualifiée à taux de rémunération élevé, et par celle de lourds investissements, compte tenu de longs et importants travaux préparatoires. C'est ce qui motive d'ailleurs la concentration inéluctable des mines de charbon, au surplus caractérisées par une rigidité de production très stricte ; il s'en suit un renchérissement continu des prix de revient, face à la concurrence de plus en plus dure des combustibles liquides ou gazeux.

Après cette revue des sources traditionnelles d'énergie, passons au groupe des ressources indigènes non encore exploitées :

Les hydrocarbures synthétiques ne sont productibles qu'en sacrifiant une fraction importante ($\pm 50\%$) de l'énergie contenue dans la matière traitée ; ce taux désavantageux de conversion et le grand volume de capitaux à investir en premier établissement, rendent douteuse la viabilité d'une telle fabrication au Congo. Peut-être ces désavantages seront-ils mitigés dans l'avenir par le développement des progrès de la chimie du charbon et par le renchérissement continu des autres sources d'énergie.

Les schistes bitumineux : richesse calorifique disponible en quantité considérable ; mais le conditionnement pour en tirer des huiles minérales est aussi grevé d'un médiocre rendement de conversion et de la nécessité d'une production à gros tonnage, impliquant des immobilisations importantes ; cependant elles n'atteindraient pas à l'envergure de celles exigées par la synthèse catalysante de la houille. Si une solution peut être rendue viable, le Congo disposerait d'une réserve fort précieuse de carburants et de lubrifiants pour moteurs à combustibles liquides : pour les usines fixes d'énergie, nous visons en

particulier le Diesel, machine économique et de haut rendement utilitaire.

La valeur économique des huiles de schiste raffinées, atteindrait son point culminant dans les territoires de l'est du Congo et ceux sous mandat : la nécessité d'importation des produits dérivant des pétroles en quantité toujours croissante, fait peser une dangereuse hypothèse sur l'économie de ces régions ; les carburants d'origine extérieure restent une solution de commodité, mais coûteuse et incertaine, comme source d'énergie de substitution.

Comme pour les autres carburants de remplacement, dont le gasoil végétal, les hydrocarbures extraits des schistes ne pourraient remplir normalement qu'un rôle auxiliaire ; mais il peut devenir crucial dans la terrible éventualité d'un nouveau conflit. Les ressources de carbone minéralisé, en particulier, sont handicapées par leur rareté relative et par leur étroite localisation ; capital précieux accumulé aux ères géologiques, mais sujet à épuisement. Pour les schistes, la réserve paraît néanmoins, considérable.

Le pétrole ne devrait figurer que pour mémoire dans ce bilan des sources congolaises d'énergie puisqu'il continue à faire défaut. Il demeure l'objet des préoccupations tant officielles que privées et de recherches coûteuses. Quel en sera l'aboutissement ? Au stade actuel, des prévisions en ce domaine ne sauraient être tenues pour pronostic assuré. Les résultats des prospections se concrétisent comme suit :

Dans l'est du Congo les indices enregistrés ne semblent pas encourageants.

Le bassin du centre a été sondé par des forages, mais en deux points seulement, choisis au nord et au sud de la périphérie. Les recherches furent menées par le « Syndicat pour l'Étude Géologique et Minière de la Cuvette

Congolaise », constitué à raison de 40 % par le Gouvernement et de 60 % par la majorité des principales sociétés du Congo.

Ces sondages complétés par une prospection géophysique du sous-sol, n'ont pas révélé d'indice pétrolier, mais tel n'en était point l'objectif. Aussi bien, si l'on s'en réfère à l'immensité de superficie de la cuvette — 750.000 km² — les données recueillies sur les accumulations de sédiments peu évolués formant le remblayage post-paléozoïque de cette dépression, autorisent à peine d'en effleurer le schéma structural.

Une riche moisson de données scientifiques du plus haut intérêt à l'échelon mondial a pu être néanmoins rassemblée grâce à une somme impressionnante de levés gravimétriques, de mesures magnétiques et sismiques, œuvre d'un réseau étendu de stations.

Il semble permis d'augurer plus de chance de réussite des nouveaux sondages projetés à travers la plate-forme néritique qui plonge sous l'océan, en raison des liens de parenté entre les horizons pétrolifères de l'Angola et les sédiments bitumineux de la zone littorale. Un groupe d'importantes sociétés du Congo et de la Métropole vient de constituer au capital de 150 millions, le « Syndicat de la Recherche Pétrolière pour le Bas-Congo ».

20. L'URANIUM ET SES DÉRIVÉS FISSIBLES constituent de riches ressources d'avenir, appelés sans doute à connaître un certain niveau de développement, par suite de l'indigence du continent africain en gisements de houille. La cherté d'utilisation des autres sources d'énergie au Congo, à l'exception du potentiel des chutes, peut agir en faveur de l'énergie nucléaire. Comme influences antagonistes nous retrouvons à nouveau l'éparpillement des points d'utilisation et la faiblesse des taux de consommation unitaires de courant électrique en pays neuf. Peut-être la solution résidera dans l'établissement d'usines

génératrices nucléaires d'importance faible ou moyenne, de l'ordre des milliers de kW. Libres de toute sujétion d'emplacement, elles permettraient de relayer l'énergie hydroélectrique lorsque l'éloignement des centres de consommation par rapport à un site rendrait le transport de force prohibitif.

Lorsque le prix de revient de l'atome industriel, dont l'utilisation économique n'est toujours pas réalisée, pourra être ramené à un niveau de compétition acceptable, des centrales de ce type trouveraient place entre les petites usines Diesels et les puissants équipements hydroélectriques. Mais ce ne sera peut-être pas endéans la prochaine décennie, quoique toute prévision soit rapidement dépassée dans ce domaine, fertile en bouleversements techniques.

Nous en sommes seulement à l'aurore de l'ère atomique. Si les réserves de combustibles nucléaires (uranium, thorium...) paraissent surabondantes au regard des autres ressources, la libération de l'énergie des atomes, énorme mais d'une telle difficulté de mise en œuvre, soulève encore nombre de problèmes technologiques. Le stade d'évolution de cette jeune technique n'est pas assez avancé pour une transposition en pays tropicaux.

Le problème du coût des combustibles nucléaires en sus de celui des réacteurs, mérite aussi examen : des frais de conditionnement chimique élevés viennent s'incorporer aux autres, d'ailleurs communs à toute industrie extractive, et portés au summum s'il s'agit d'exploitation souterraine.

Il semble probable que, comme combustible, l'uranium pourra dans un certain délai soutenir la concurrence du charbon. A défaut d'exploitation industrielle de longue durée des centrales atomiques, trop d'énigmes continuent, d'autre part, d'affecter le prix de revient du kilowattheure dans ses composantes fixes (entretien, renouvellement) et variables (consommation de combustible, récupération de sous-produit).

Comme autres sources d'énergie non traditionnelles nous rencontrons :

L'énergie géothermique, considérée ici à titre documentaire ; elle n'a pu, à grande échelle, encore être captée, hormis quelques cas exceptionnels de forages très profonds foncés à travers des formations volcaniques pour en extraire de la vapeur sous pression et à haute température. La région des volcans du Kivu semblerait la plus propice à l'utilisation de cette énorme concentration de potentiel énergétique par mètre carré, bien supérieure à celle des plus riches bassins houillers, mais demeurée au stade purement virtuel.

L'énergie thermique du gaz lacustre tirant son origine de la décomposition anaérobie du plancton, représente une forme évolutive participant des 3 règnes, végétal, animal et minéral. Malgré sa localisation dans le Nord Kivu, elle vient d'acquérir un regain d'actualité en raison des dernières expériences, qui ont démontré le réel intérêt de cette source d'énergie, sa faculté de reconstitution naturelle *in situ* et, moyennant une épuration facile, le haut pouvoir calorifique du gaz extractible. C'est une richesse nationale dont la mise en valeur revient de droit à la communauté.

L'exhaure, à grande échelle, paraît praticable et les débouchés tant énergétiques que thermiques ne manqueraient pas : centrales thermo-électriques, industries multiples et métallurgie, pétrochimie et synthèses diverses (d'intérêt problématique), usages artisanaux et domestiques. Les commodités d'emploi des combustibles à l'état gazeux jouissent d'une appréciation justifiée des usagers.

Mais le problème crucial est d'ordre tarifaire : il importe de s'en tenir à des prix de vente suffisamment compétitifs, surtout vis-à-vis des combustibles solides de la région. Pour une claire vision des perspectives, il

apparaît que l'industrie devrait constituer le débouché de base sur lequel se grefferaient, à titre accessoire, les usages artisanaux et ménagers. Le poids des charges qui grèvent toute distribution publique dans le Centre africain, impose d'assurer au gaz naturel un large écoulement chez les grands consommateurs et ce en fonction de leur éloignement. Pour les petites industries et pour la clientèle domestique, le gaz ne pourra demeurer économiquement accessible que dans un rayon restreint, autour de la station centrale de distribution ou des centres d'utilisation importants.

Les gaz combustibles issus de la fermentation méthanique des déchets végétaux et animaux, bien que d'une autre provenance, le fumier des exploitations agricoles notamment, présentent une composition analogue à celle des gaz lacustres : ils sont formés, outre de CO₂, essentiellement de méthane, à raison d'environ 76 %, produit par un processus contrôlé de décomposition bactérielle sous forme d'anaérobiose. L'on évite ainsi la dissipation habituelle d'énergie thermique et chimique (en CO₂), résultant de la fermentation à l'air libre. C'est le « Bihugaz » à 6.000 kcal. Les diverses applications du méthane comme thermique ou énergétique, ont été passées en revue précédemment. Ce système de production d'énergie à partir des résidus organiques d'exploitations agricoles, a été tenté en Afrique Orientale et, paraît-il, de manière fructueuse ; le Tanganyika Territory, comptant parmi les principaux producteurs de sisal, était un terrain d'expérience indiqué. Au Congo, les exploitations d'élevage, importantes mais très localisées, ne se sont pas encore annexé d'exploitations « bioénergétiques » pour la récupération de méthane au cours de la stabulation. Les essais de ce genre demeurent des cas d'exception en pays tropicaux.

Un examen critique des sources d'énergie non tradi-

tionnelles risquerait de passer pour insuffisamment exhaustif s'il ne comprenait dans le même groupe des énergies thermiques du Congo une rubrique consacrée à :

III. *L'énergie solaire*

Dans les régions ensoleillées de manière permanente, cette source inépuisable et théoriquement gratuite d'énergie que représente le rayonnement solaire permettrait de précieuses économies de carburant. Son utilisation semble particulièrement indiquée dans les cas où la continuité de fourniture d'énergie n'est pas indispensable : par exemple pour le pompage de l'eau.

De nombreux pays manifestent un intérêt, qui parfois frise l'engouement, pour les applications de l'énergie solaire à en juger par la multiplication des centres de recherches. La majorité des territoires sous-développés sont inclus dans les zones du globe exposées à une forte insolation, soit dans toute l'étendue des deux hémisphères couvrant 40° de latitude de part et d'autre de l'équateur. Pour ces pays, les utilisations thermiques, électriques et chimiques de l'énergie solaire seraient des plus séduisantes. Mais au stade actuel, les progrès accomplis demeurent modestes, hormis le cas des usages thermiques, tels le chauffage et la cuisine, la production d'eau chaude, au moyen de concentrateurs solaires d'une construction relativement simple. Par exemple, d'après une note obligeamment communiquée par la Division de l'Énergie de la C. E. E. à Genève, et à laquelle nous avons emprunté quelques données, il existe aux États-Unis bon nombre de maisons chauffées ou climatisées à l'aide de collecteurs solaires, tandis qu'en Inde des cuisinières solaires de différents types, d'un coût limité à 15 dollars, sont en service à la satisfaction de leurs usagers.

A ces utilisations thermiques, il nous faut ajouter le

traitement des matériaux par voie ignée, dont les essais, en Afrique du Nord, se seraient avérés fructueux.

L'utilisation de l'énergie solaire à des fins chimiques demeure à un stade peu avancé. Il faut toutefois faire exception pour les recherches, d'une si grande portée pour les pays pauvres, relatives à la fabrication chimique de certains aliments de base : sucres, protéines... ; des cultures d'algues nutritives dans des tubes en matière plastique semblent produire des résultats intéressants...

Dans le domaine de la production d'énergie électrique, les progrès sont aussi modiques, bien que de larges développements puissent être escomptés, paraît-il, dans un proche avenir. Dans l'état actuel des études, c'est au plus s'il existe des réalisations d'un niveau semi-industriel de puissance infime.

Pour des exploitations électriques destinées au service de collectivités rurales en pays neuf, il est d'élémentaire prévoyance de s'en tenir à des techniques exemptes de tâtonnements et consacrées par l'épreuve d'une pratique étendue.

Comme le Congo dispose d'une ample variété d'autres ressources naturelles, en combustibles classiques ou non et surtout en réserves hydrauliques, la « captation » de l'énergie disponible dans le rayonnement solaire n'y revêt pas un attrait comparable à celui rencontré dans les régions torrides et sèches : telles sont en Afrique les déserts du Sahara, de Libye et du Kalahari, pouvant être assimilés à de vastes réceptacles de calorique.

Les insuffisances de concentration dans l'espace et de régularité dans le temps, objections couramment élevées contre l'énergie éolienne, valent a fortiori, pour l'énergie directement issue du soleil. De son caractère intermittent, hasardeux, découle l'obligation d'une coûteuse mise en réserve sous forme calorifique ou électrique. Les dépenses d'investissement sont portées à un niveau incompatible avec une rentabilité normale et les rendements demeurent minimes.

Nous ne mentionnerons que pour mémoire l'énergie hydrosolaire apparentée à la précédente et dont la génération met en jeu des phénomènes d'évaporation, à première vue intéressants dans les régions arides et sous-développées. Cet ingénieux concept d'application de l'énergie de chute implique, en effet, l'existence d'une dépression au voisinage de la côte ou d'une vasque en dénivellation, communiquant avec la mer.

IV. *Les ressources d'origine météorique*

L'énergie éolienne

A l'énergie du rayonnement solaire s'apparente celle du vent par une origine commune, l'astre central de notre univers dont émanent d'ailleurs les autres formes d'énergie des combustibles à l'état fossile ou du règne vivant, ainsi que la force même du courant des rivières et des torrents de montagne. L'énergie éolienne est encore assimilable à l'énergie solaire, quant au niveau de puissance disponible par unité de surface intéressée.

A l'énergie marémotrice tirant son origine des phénomènes d'attraction lunaire, il est également permis de comparer l'énergie du vent, puisque celle-ci résulte, en fait, de la combinaison des effets de l'action solaire et de l'énergie cinétique, due à la rotation de la terre autour de son axe. Les frottements exercés à la surface de la croûte terrestre par les courants aériens donnent lieu à une dégradation sous forme d'entropies empruntées au potentiel de notre globe.

Quoi qu'il en soit de ces subtilités scientifiques, nous remplaçant dans le domaine concret des exploitations en pays neuf, nous considérons l'énergie éolienne comme des plus attrayante pour l'électrification de collectivités isolées par microcentrales dans les régions de climat et d'accès difficiles.

C'est une source d'énergie naturelle assortie de précieux avantages : renouvellement sans limite, ubiquité

et gratuité (théoriquement) ; limitation — en pratique — des charges à des frais fixes d'amortissement et d'entretien indépendants du coefficient d'exploitation ; surveillance, entretien et réparations réductibles au minimum en fonction de l'allure de marche ; absence de bruit et d'autres inconvénients.

Comme ombres, au tableau, il y a l'insuffisance de concentration massique, inhérente à la faible densité de l'air, et l'irrégularité de mise à disposition de l'énergie. D'où l'impérieuse obligation de jouir, pour l'électrification rurale, d'un régime de vents assez rapides, fréquents et durables, à l'exclusion de périodes de calme d'une durée excédant 3 ou 4 jours (sauf réserve hydraulique).

Ce caractère intermittent et aléatoire de l'énergie éolienne paraît plus accusé au Congo et — c'est fort regrettable — de nature à restreindre le champ d'utilisation. L'irrégularité du vent obère le coût d'installation par kW de puissance utile. De loin supérieur au coût du kW installé en hydraulique ou thermique, et majoré par l'adjonction d'une batterie d'accumulateurs, c'est un frein à la diffusion d'un moyen énergétique si approprié, par ailleurs, à l'électrification des petits centres isolés.

Il faut convenir, néanmoins, que la considération de prix de revient doit céder le pas à celle de nécessité dans les cas défavorables où il n'existe pas d'autre source potentielle d'énergie disponible, par exemple pour le pompage de l'eau par puits forcés en région aride.

L'impossibilité, vu l'état actuel des connaissances météorologiques, de prévoir avec exactitude les caractéristiques du vent, sa distribution dans le temps comme dans l'espace, ont constitué l'obstacle primordial à l'extension des emplois de cette source d'énergie universelle.

Il est permis d'espérer, dans l'avenir, un développement de ces usages à la faveur des simplifications, dont a bénéficié ces dernières années la conception des éoliennes et la technique de leur utilisation.

L'énergie hydraulique

C'est la base de la pyramide énergétique : source indigène de force motrice la moins chère, et facteur de richesse dès sa mise en valeur. Elle participe d'avantages communs à l'énergie du vent : permanente et inépuisable dans son cycle éternellement renouvelé à l'intervention de la nature ; tire aussi sa valeur de l'action solaire, cause première des effets climatiques ; s'accommode, en outre, d'un minimum de charges d'exploitation (personnel, entretien, matières) et d'installations propres, dont l'ordonnance ne dépare en rien, si elle ne l'enjolive, l'aspect du cadre environnant.

Cette forme d'énergie cinétique est convertible, avec un rendement élevé, dans les moteurs hydrauliques. Sur le plan économique, elle est d'une extrême souplesse car elle se prête à toutes les graduations des tarifs de vente et permet d'épauler au mieux la compétition industrielle. De par la multiplicité de ses emplois, elle peut être considérée comme une matière première, comparable à la houille noire, justifiant bien son appellation imagée bien que désuète de houille blanche. C'est aussi un important capital économique mais de conservation illimitée. Sa présence au Congo revêt une portée presque incommensurable en raison de la déficience des réserves de charbon et d'hydrocarbures de pétrole, liquides ou gazeux. A l'appui de ces vues, observons que la production actuelle de l'hydroélectricité des territoires belges d'outre-mer, soit environ 2.400 millions kWh, représente l'équivalent énergétique d'au moins 660.000 tonnes de gasoil, d'une contrevaletur moyenne de 2.650 millions de FB.

Le potentiel économique encore utilisable reste surabondant : l'énergie captée au stade actuel d'aménagement ne dépasse pas 692.000 kW environ, soit à peine 0,7 % des réserves cumulées que recèlent les eaux courantes du bassin congolais et 8 % du potentiel économique total supputé avec prudence.

A lui seul, l'énorme capital énergétique que représente le site d'Inga équivaut à près de 30 fois la totalité de la puissance déjà équipée au Congo belge.

Comparaison des énergies hydraulique et thermique

La force hydraulique reste essentiellement tributaire du gîte dévolu par la nature, et dont la situation est loin de toujours s'accorder aux exigences économiques de la production. Nous avons relevé les influences fondamentales de la structure géologique du terrain et de sa configuration topographique sur les coûts de construction : la qualité plus ou moins altérée ou poreuse de la roche, la présence de diaclases, etc., augmenteront l'importance des fondations et des travaux conservatoires (parafouilles, injections, etc.) ; la disposition des lieux peut entraîner à de plus grandes dépenses pour la création des voies d'accès nécessaires à l'acheminement des matériaux de construction, ensuite du matériel d'exploitation. A ces suppléments de capitaux investis, correspondront ceux des charges financières (annuités d'amortissement, service d'intérêt) venant alourdir le prix de revient de la production.

Les mêmes causes peuvent retentir sur les possibilités de régulariser le régime des eaux par une coupure de la rivière et de mettre à contribution le débit moyen, au lieu de s'en tenir aux seuls débits turbinés à l'étiage. Par suite, la répartition des charges de capital sur le volume des ventes s'en ressentira et de nouveau le coût de l'unité d'énergie.

Un autre facteur d'aggravation des frais de puissance peut résider dans la situation géographique du gîte aménagé : la possibilité de desservir avantageusement le centre de consommation est subordonnée à sa distance du centre de production. Tout rapprochement des coûts de l'énergie hydraulique et de l'énergie thermique doit tenir compte de l'incorporation des frais de liaison entre

les deux centres, inévitablement à l'avantage du kilowatt thermique.

Le captage de l'énergie hydraulique, lorsqu'il s'agira de petites installations est, par suite, soumis à des contraintes économiques qui en limiteront fréquemment le champ des applications : pour s'éviter des mécomptes pécuniaires, résultant des conditions de site, la prospection des lieux et les études doivent être poussées aussi loin qu'il le faut : le choix entre les solutions qui s'affrontent est souvent complexe.

Des difficultés imprévues surgissent fréquemment dans l'exécution des travaux d'aménagement hydraulique. Comme il s'agit en général de cours d'eau à régime torrentiel, essentiellement irrégulier par nature, les aléas des fluctuations de régime au cours des années peuvent retentir sur la récupération de la force hydraulique. Or des considérations d'économie s'opposent à un emprunt momentané de quelque énergie de secours.

La force motrice diesel, par contre, est infiniment souple et n'a pas d'exigences d'aménagement.

Coûts d'installation des petites centrales

En principe, la solution thermique sera donc la moins coûteuse de premier établissement. Pour nos exploitations desservant au Congo les centres qualifiés « secondaires » et « tertiaires » (par distinction avec les gros centres alimentés déjà en hydroélectricité : Léopoldville, Elisabethville, etc). les coûts moyens d'installation sont les suivants :

1° Pour les centres secondaires :

— 21.400 F par kW installé, réserves (de 30 %) incluses,
soit — 30.000 F par kW utile ;

2° Pour les centres tertiaires (à desservir par micro-centrales) :

— 20.000 à 30.000 F par kilowatt installé, sans réserve.

A titre comparatif, nous pointons parmi les centrales installées par les Sociétés de Forces Hydrauliques du Bas-Congo et de l'Est :

— Centrale à basse chute au fil de l'eau,

— 33.300 F par kW installé,

soit — 45.000 F par kW utile.

— Centrale de haute chute,

— 14.500 F par kW installé,

soit — 25.000 F par kW utile ;

le coût du kW installé devant être effectivement majoré pour tenir compte de l'étiage.

Il est entendu que ces chiffres ne sont fournis qu'à titre documentaire en raison de la disparité des paramètres influençant les coûts de construction des aménagements : conditions topographiques et géologiques du site, concept de réalisation : usines-réservoir ou au fil de l'eau, hauteur de chute, etc. Par exemple, des incidences aggravantes sur les prix du kW et du kWh peuvent résulter d'un profil transversal trop large ou désavantagé par une structure altérée de l'assise des ouvrages ; la rareté locale des agrégats ou de la main-d'œuvre ; l'étendue de l'aire de submersion, donnant lieu à dépenses d'expropriation plus lourdes ; les difficultés d'accès, l'éloignement du centre consommateur ; l'irrégularité de la demande d'énergie, etc. De ces limitations bien connues résulte la notion de potentiel économique...

Pour mettre en lumière l'effet du facteur distance, signalons que pour la nouvelle centrale Zongo I, desservant Léopoldville par une ligne H. T. de 70 km, le coût de cette liaison s'élève à 10 % du coût total d'aménagement hydraulique, y compris les postes de départ et d'arrivée ; mais le coût d'une dérivation vers un très

important consommateur industriel se chiffre à 20 % de cet immobilisé en raison de son éloignement.

Répartition comparée des charges.

Dans une comparaison entre centrales hydrauliques et thermiques, un autre facteur décisif dont il ne saurait être fait abstraction est l'impossibilité d'adapter d'emblée la capacité de production d'un équipement hydroélectrique aux besoins locaux. Il ne peut atteindre à sa pleine puissance qu'après un terme de 10 ans par exemple (cas de Léopoldville) ; mais durant cette période les intérêts intercalaires, courant à partir du démarrage de l'usine, pèsent lourdement sur le prix du kWh faute d'utilisation à pleine charge. Au contraire, la centrale thermique jouit d'une grande souplesse d'ajustement, l'immobilité pouvant suivre de près l'appel de puissance. Equipée en Diesels, elle bénéficie aussi d'une autonomie totale, le problème de l'eau ne se posant plus avec l'importance qu'il revêt avec des groupes à vapeur ; surtout dans le cas de réfrigération des moteurs en cycle fermé.

Au point de vue des charges d'exploitation, la centrale hydroélectrique reprend nettement l'avantage : elles s'y bornent à celles, modiques, d'entretien et de renouvellement ; elles demeurent stables, à l'opposé de celle d'une centrale diesel, solidaires du coût variable du combustible, tellement onéreux qu'il freine l'utilisation s'il ne l'annihile (exemple : le conditionnement d'air, les cuisinières électriques).

L'exploitation Diesel est encore grevée de lourdes dépenses de main-d'œuvre plus nombreuse et mieux qualifiée, quelle que soit la dimension de l'usine thermique. Dans le cas d'une centrale hydroélectrique l'exploitant garde pleine latitude d'étaler les charges financières selon les contingences économiques du moment.

Si le Katanga connaît à présent une prospérité sans égale, il en est redevable, pour une part croissante, à

l'abondance de ses réserves d'énergie hydraulique et leur proximité, nous l'avons dit, de riches formations minéralisées, fondement du bien-être commun de cette contrée. Elles ont permis la fourniture illimitée du courant à bas prix et avec un maximum de sécurité. Le contraste est frappant avec la cuvette centrale, dont le maigre réseau hydrographique irrigue une formidable accumulation de dépôts sédimentaires (1.500 à 2.000 m) horizontaux ou subhorizontaux, de formation récente exclusive d'une minéralisation accessible.

L'essor de l'hydroélectricité dans la région du Katanga découle aussi d'une condition spécialement avantageuse : au point de vue électrotechnique l'existence d'une charge de base énorme, régulière, à très bon facteur de puissance, assurée par les industries lourdes de métaux non ferreux et par les activités connexes.

En conclusion : Le Congo belge dispose d'un patrimoine important et bien réparti de ressources naturelles, capables d'apporter leur contribution à la fourniture d'énergie en cas de crise aiguë ; et parmi ces réserves indigènes, l'énergie hydraulique tient la première place.

ASPECT ÉCONOMIQUE DU DÉVELOPPEMENT

1. LES FACTEURS DE DÉVELOPPEMENT ET DE RÉTENTION

Dans nos considérations liminaires, nous avons relaté les étapes essentielles du processus de développement énergétique des territoires belges d'outre-mer. Le panorama de cette évolution a été considéré d'un point de vue technique. Après nous être étendu sur cet aspect du problème, si caractéristique, des régions du Centre africain nouvellement promues à la civilisation, il convient d'en scruter les contours économiques.

Les développements qui précèdent ont mis en évidence un fidèle parallélisme entre l'évolution de l'économie congolaise et celle de l'équipement technique.

Résumons-les :

Première phase : économie fermée, autochtone, de simple subsistance.

Deuxième phase : économie dite « d'exploitation » des richesses naturelles (mines, ressources agricoles) ; premier stade de la « commercialisation » des produits indigènes.

Troisième phase : économie d'industrialisation, encore à ses débuts dans l'état d'évolution actuel.

Quatrième phase : économie de services : commerce, transport, banque ; secteurs tertiaires correspondant au stade final de développement.

En réservant aux problèmes économiques la seconde partie de notre exposé, nous n'avons nullement eu l'intention de sous-estimer leur portée, loin de là. Mais si nous avons pris la liberté de déroger au canevas du programme des travaux imparti à la session de C. E. E. en intervertissant l'ordre des rubriques, c'est avec le dessein d'éclairer, dans leur sensationnelle séquence, les phases de l'expansion énergétique du Congo. L'appareil de production d'énergie a pris corps et atteint son épanouissement d'aujourd'hui par une évolution accélérée dont la cadence frappe l'observateur le moins averti.

Cette accession rapide jusqu'au stade actuel procède d'une conjonction de facteurs favorables dont les plus saillants sont :

1^o *La richesse minière du sous-sol de la région orientale* : elle a été l'assise d'un grandiose essor de l'industrie, étayé sur un développement parallèle et obligé de l'outil énergétique. Dans les autres parties du territoire, les produits de cueillette, puis de culture, ont fourni, dans leur copieuse diversité, l'aliment indispensable à la mise en valeur du pays. Cette source d'abondance de biens de production, permet d'assurer à une économie primitive ses premiers excédents pour les échanges avec le monde extérieur et d'équiper le territoire en moyens de force motrice. Elle permet encore d'épauler avec vigueur l'effort de civilisation, puisant ses fécondes racines à la mère-patrie : le progrès social d'un pays a pour fondement sa prospérité matérielle, fruit de la valorisation de ses ressources dans un climat d'initiative. Cette vérité, passée au rang de truisme, méritait d'être rappelée.

2^o C'est qu'en effet, sans l'intervention d'un autre

facteur « d'extensivité », celui-ci d'ordre humain, *l'esprit de décision, l'ardeur au travail, la qualification technique* des pionniers et de leurs successeurs, consacrant le meilleur d'eux-mêmes à l'essor du Congo, cette riche contrée n'aurait pu sortir de son état de léthargie ancestrale. « Labor omnia vincit improbus » : pas de bien-être ni de progrès sans richesse, pas de richesse sans production de biens, pas de production sans dépense d'énergie ni travail : c'est l'éternelle loi de la condition humaine.

3° *La mise en œuvre de techniques sans cesse plus évolutives et diversifiées* dans tous les secteurs de l'activité congolaise : transports, chantiers mécanisés, équipements miniers, industriels et agricoles, a contribué puissamment au progrès du pays ; elle demeure le gage de nouveaux et féconds développements de son infrastructure économique.

Le rôle de ces techniques modernes dans les pays neufs ou sous-développés a une résonance bien plus profonde que dans les pays d'ancienne industrialisation. Comme l'a souligné M. ARMAND [5], l'exploitation extensive et rentable de terres en friche, de gisements vierges, isolés au cœur de l'Afrique noire, serait inconcevable de toute évidence, sans l'intervention des équipements de haute productivité.

La métamorphose des conditions d'habitat en porte aussi la visible empreinte ; elle procure à tous la possibilité de vivre dans des conditions économiques, confortables, au sein d'une ambiance salubre.

4° *Le développement du réseau naturel de voies navigables*, drainant sur un parcours de plus de 15.000 km la périphérie du bassin congolais, n'a pas été sans contribuer grandement à l'essor général, par la mise à disposition de larges et longues voies d'accès complétées par des tronçons ferroviaires.

Il suffit, pour se convaincre de la portée des transformations évoquées, d'imaginer l'état de torpeur économique où resterait plongé le Congo sans l'ouverture au progrès de contrées difficilement accessibles ou peu saines, par les moyens de transport modernes, puissants et rapides sur terre, par eau et dans les airs. La contribution de l'énergie a été la pierre angulaire de ces développements.

Dans le processus de mise en valeur des territoires belges d'outre-mer, des *contingences adverses* ont opposé leurs effets aux facteurs positifs d'expansion que nous venons d'énumérer. Elles ont été en partie évoquées dans nos commentaires sur l'aménagement hydraulique :

1^o *Les difficultés de pénétration*

En pays neufs, le réseau des transports forme une pièce maîtresse du système économique : dans des aires aussi vastes que le Centre africain, ne disposant que d'une fenêtre unique, étroitement ouverte sur l'Océan, et de lignes fluviales puissantes mais entrecoupées de cascades et de rapides en dédales étendus, barrées par endroits de massifs escarpés, les obstacles à dominer sont d'une échelle peu commune. Le bassin congolais est irrigué sur tous ses contours par un puissant réseau hydrographique, dont les digitations sans nombre multiplient comme à plaisir les entraves à l'accès par le rail ou la route vers l'intérieur des terres. A chaque rencontre d'un seuil rocheux correspondent des transbordements qui freinent le trafic. Le défaut, puis l'insuffisance de capacité des installations portuaires et des ouvrages d'art, l'absence même de ponts solides pour le franchissement de bras d'eau, d'une largeur souvent démesurée, furent des écueils usuels dans la première phase d'équipement.

Ces impédimenta dont était accablé l'acheminement du matériel sur d'énormes parcours, ont eu pour inévitables corollaires des limitations de gabarit ou de poids du

matériel à déplacer et la hauteur excessive des tarifs de transport : le coût des équipements devait fatalement s'en ressentir.

C'est à ce point, que dans la partie orientale du territoire, les frais de transport continuent à surcharger les produits importés tels les hydrocarbures, d'une taxe égale ou supérieure à leur valeur intrinsèque de livraison Cif Matadi. Des fabrications de produits pondéreux, charbon, ciment, chaux, acides minéraux, etc, se trouvent naturellement à l'abri de la concurrence de produits d'importation et même de ceux en provenance d'un centre quelque peu éloigné dans l'intérieur.

La refonte du système ferroviaire d'origine par des élargissements et normalisations de voies, des abaissements de rampes, des rectifications de profils, et autres améliorations considérables, a permis l'intensification graduelle du trafic en rapport avec le développement du pays. Ces travaux ont eu pour effet d'éliminer les inconvénients antérieurs : par exemple le transport de machines volumineuses ou très lourdes jusqu'au cœur du Katanga n'offre plus de difficultés, comme le prouvent l'équipement des exploitations de cuivre à ciel ouvert par des engins de grande capacité et celui des hydrocentrales telles Le Marinel, par des unités puissantes.

Entre autres aspects particuliers des conditions de transport dans toute l'Afrique noire, mentionnons l'absence de bêtes de somme et de trait dont a résulté la généralisation du portage.

L'intercommunication des centres coutumiers ou des petits groupements tribalisés, se limitait à des pistes étroites, tant que l'Européen n'y était venu ouvrir des routes pour le charroi automobile.

Si la traction animale — forme primitive et rudimentaire d'énergie mécanique mais dont use encore la moitié des habitants du monde (en Asie surtout) — est restée en terre congolaise un moyen moteur inusité, cette caren-

ce tient à plusieurs motifs dont un exposé complet serait hors de propos. Nous les énumérons simplement :

a) *La méconnaissance absolue de cette forme d'énergie mécanique par les populations du Centre africain ;*

b) *L'élevage est chose inconnue en brousse congolaise ;*

c) *Les ravages dus aux maladies du bétail et les chevaux :* la nosologie tropicale distingue de nombreuses causes exogènes dont une énumération ne rentre pas dans cette étude ;

d) Des essais d'élevage de chevaux entamés au Katanga vers 1932 ont été délaissés au profit de l'emploi, bien plus efficace, des jeeps. La traction automobile tout-terrain sera toujours d'un coût final moindre que l'acquisition des bœufs et la charge d'une longue éducation des cultivateurs indigènes.

Mêmes constatations pour les essais d'utilisation des ânes et de domestication des éléphants.

A défaut d'énergie animale, de rendement déjà meilleur, mais d'effet utile également limité, cher, la seule solution est celle des moyens mécaniques de transport, comme pour le travail de la terre : la façon manuelle est la loi commune de la brousse sauvage...

2^o) *La faible densité de population et l'effet débilitant du climat*

Un facteur négatif d'une portée considérable a été la déficience déjà mentionnée de l'état démographique du Congo belge au Katanga et dans les Uele en particulier. L'action du climat a été une énorme entrave à la pénétration.

Avant l'instauration de l'ordre belge en Afrique centrale, les peuplades autochtones étaient décimées par les méfaits de l'esclavagisme, dont l'irruption s'était faite de

plusieurs frontières, ainsi que par les guerres intestines de caractère tribal. L'appauvrissement du sol par la dénudation, consécutive à l'abandon, après rapide épuisement, des terres défrichées et cela en l'absence de politique agricole raisonnée avait, en de nombreux points, tari les ressources vivrières. Les manifestations en sont surtout frappantes dans les contrées à longue saison sèche comme le Katanga méridional.

D'une gravité non moins redoutable était le fléau des affections microbiennes et parasitaires, générateur d'une mortalité désastreuse au triple point de vue humanitaire, social, économique ; à défaut de pouvoir l'enrayer il était susceptible de former un obstacle permanent à la mise en valeur du pays.

S'ajoutant à l'affaiblissement de l'organisme dû au climat, sauf effet modérateur de l'altitude dans certaines régions favorisées, l'insalubrité et l'état de morbidité général, résultant de ces maladies, constituaient des plus durs écueils à surmonter.

Les progrès de l'étiologie et de la thérapeutique, étayés par les campagnes d'assainissement entreprises sur toute l'étendue du territoire, manifestent leur action salvatrice par la régression décisive mais lente des endémies tropicales... Les plus agressives ont disparu (fièvre jaune, maladie du sommeil quasiment éliminée).

Il faut en convenir, d'innombrables foyers d'infection, malariens et autres, subsistent encore ; ils ne seront apaisés, sinon éteints, avant nombre d'années et pour cause : l'immense étendue des gîtes disséminés dans le territoire congolais et le caractère forestier des régions infestées, font exclure, sans discussion, toute politique qui viserait à un assainissement intégral. La désinsectisation, rénovée dans ses moyens, notamment par épandage, à l'aide d'hélicoptères, de produits pulvérulents tels le D. D. T., n'en constitue pas moins un progrès substantiel car elle extirpe le mal dans son propre gîte, en s'attaquant au microclimat des insectes vecteurs.

Nous l'avons dit ailleurs [17] : « parmi ces affections celles d'origine hydrique jouent au Congo un rôle prépondérant comme facteur de létalité : elles y figurent au deuxième rang dans la genèse des affections mortelles. Or, à l'origine, l'eau potable faisait cruellement défaut. Facteur de vie essentiel entre tous, elle accuse sa précellence de manière plus tangible encore sous le ciel des tropiques. Base du patrimoine santé, elle l'est aussi du capital productivité. Les affections morbides et mortelles représentent une véritable calamité pour les autochtones affligés d'une santé déficiente. Elles minent insidieusement le potentiel de main-d'œuvre : d'un parfait de santé du travailleur dépendent et son rendement et la qualité de ses prestations ».

Sur ce terrain de l'effort physique, les considérations d'ordre social, loin de s'opposer à celles d'essence strictement économique, les rejoignent au contraire. Considérée sous cette optique, l'importance du problème de l'eau saine acquiert toute sa plénitude. En ce domaine, l'établissement de distributions d'eau dans les centres apparaît comme une arme prophylactique de valeur éprouvée [17]. Mais le problème de la fourniture d'eau potable est lui-même asservi aux disponibilités de force motrice.

A ce pénible bilan des désordres imputables au facteur hydrique, s'ajoutaient les lourdes pertes relevant de la mortalité infantile, faute de disposer, en cette époque, des armes de l'hygiène et de la puériculture.

Pour toutes ces raisons, le bassin congolais, en contraste avec d'autres pays neufs d'Afrique du Nord, d'Asie et d'Amérique du Sud, se trouvait dans une situation défavorable au point de vue démographique.

Une heureuse évolution se dessine grâce à l'action préventive et thérapeutique, menée par les services médicaux du Gouvernement général avec efficacité et persévérance. La lutte contre la maladie et contre la dénatalité d'une

population par avance clairsemée, remportent des succès qui chaque jour, se consolident davantage.

Rappelons nous encore l'étendue du territoire dont la moitié demeure pour ainsi dire hors d'atteinte, interdite à la pénétration par les fourrés compacts de la forêt vierge. Rapporté à cette vaste superficie, le chiffre de population se traduit par une densité fort basse.

3° La structure des agglomérations : problème de financement

Un handicap très lourd a sa source dans les conditions défavorables d'urbanisme et de consommation, régissant la structure des centres à desservir.

La physionomie caractéristique des cités d'Afrique noire, dont les constructions sont étalées à l'horizontale, handicape l'exploitation des services publics par un allongement démesuré des feeders et des circuits de distribution. Cette extension des centres urbains, et de leurs cités satellites, sur des superficies abusives, obère d'une hypothèque onéreuse l'essor des distributions publiques au Congo belge. Il en résulte des investissements dont la rémunération est malaisée. Deux facteurs d'inhibition y concourent dans les pays neufs :

1° L'insuffisance du nombre de consommateurs raccordés sur les circuits de distribution ; c'est un effet de la dispersion des logements ;

2° L'insuffisance des taux de consommation unitaires rapportés à l'ensemble des circuits.

Par suite, la densité de courant électrique dans les lignes ou câbles est affectée à un double degré. De ces deux contingences qui entravent le développement de la demande d'énergie urbaine, la première ne peut être neutralisée dans l'avenir que par une planification plus rationnelle de l'aménagement des villes et, en conséquence, de la voirie comme des réseaux riverains. Elle

suppose une refonte intégrale des concepts en vigueur : et déjà nous en apercevons de timides manifestations par l'établissement de quelques buildings en terrain cher.

La seconde cause freinant l'appréciation de l'énergie par l'utilisateur, trouvera son remède dans le relèvement continu du pouvoir d'achat des masses et dans l'instauration effective d'une économie de marché.

La situation de l'industrie lourde se présente sous un jour radicalement distinct de celui des services publics : l'importance de ses ressources et la concentration naturelle de ses moyens productifs lui garantissent une position privilégiée ; elle trouve matière à se renforcer surtout depuis 15 ans par la contribution, devenue essentielle, de l'hydro-électricité.

4^o) *La cherté des combustibles : problème d'exploitation*

Dernière ombre au tableau, le coût élevé des combustibles de toute provenance, grève le prix de revient du kilowattheure dans une proportion lourde et croissante à mesure que l'on s'écarte des ports. C'est un frein considérable au développement des applications industrielles et domestiques dans les centres ne bénéficiant pas des faveurs de l'hydro-électricité.

Nous avons déjà insisté sur ce facteur antagoniste.

L'accumulation des entraves de toute nature, dont nous avons fait ressortir les effets, a pu être surmontée en l'espace et par l'œuvre de trois générations, grâce à une somme d'efforts hautement méritoires.

2. *Bilan des réalisations*

Les progrès les plus marquants de l'essor économique et technique datent des quinze dernières années.

A l'instar des pays d'ancien développement, mais au rythme accéléré qui caractérise les pays neufs, nous as-

sistons en Afrique noire à la création spontanée, suivie de la progression, parfois de la régression, de centres agglomérés dont la situation géographique ordonne les conditions d'existence : la prédominance des facteurs géographiques, dans la structure de l'économie congolaise, est un fait évident.

Des liens de réciprocité président à l'évolution : d'une manière plus précise, l'économie énergétique du Congo se développe en fonction de ses ressources indigènes d'énergie primaire et de sa structure économique générale. Mais aucun développement de celle-ci n'est possible s'il ne s'appuie, dès l'origine, sur l'énergie dont il déclenchera la production et celle-ci ne fera que grandir à sa mesure ; et si cette énergie devient disponible en abondance et à bas prix, elle peut devenir à son tour génératrice d'expansion économique. C'est de nouveau une relation élevée à la hauteur d'un postulat d'évidence.

Les usines Diesels et hydroélectriques exploitées par REGIDESO au Congo et au Ruanda-Urundi, peuvent être classées en groupes caractéristiques, selon l'ordre de grandeur de la puissance installée ou de l'énergie produite :

1° D'après la production :

- 8 Centres principaux, dont la vente atteint au minimum 2 millions kWh/an ;
- 18 Centres secondaires, dont la vente est inférieure ;

2° D'après la puissance installée :

- 7 Centres principaux : de 1.000 à 4.000 kW ;
- 49 Centres secondaires : de 50-100 à 200-500 kW (en progression constante).

3° D'après la forme d'énergie utilisée :

- 23 thermiques
- 2 hydroélectriques
- 3 mixtes (thermiques + hydroélectriques).

4° D'après la continuité de fourniture : 25 à service permanent ; 2 à 1 service nocturne (Kongolo où C. C. L. assure le service diurne).

La pleine signification des changements intervenus et des prestations imposées, se matérialise dans la progression en flèche des ventes d'énergie électrique, comme dans le développement des réseaux. Les tableaux 19-23 à 25 des dernières statistiques en portent témoignage.

L'évolution s'est produite de manière relativement harmonieuse, saine, par un équilibre parfois tendu — il en faut convenir — entre l'offre d'énergie et sa demande. Des excès d'immobilisation ont pu de la sorte être évités, mais au prix d'un certain freinage ; les installations d'origine ont reçu leur amortissement selon un rythme normal.

Lorsque vient le moment où la puissance appelée prend une ampleur incompatible avec une génération par Diesel, celle-ci devenant onéreuse et inapte à l'aménagement des tarifs, c'est à l'énergie hydraulique qu'il échoit d'assumer la production de base : étant l'envergure des investissements à prévoir, une condition première de rentabilité de l'énergie hydroélectrique en toutes régions réside dans la garantie d'un facteur d'utilisation élevé ($\pm 60\%$) : seule cette solution permettra de couvrir les lourdes charges financières qui correspondent aux frais fixes de premier établissement. Ainsi l'usine Diesel aura fait office d'une centrale de transition, le rôle définitif étant dévolu à la centrale hydroélectrique.

L'énergie offre cette faculté remarquable d'omniprésence, cette merveilleuse souplesse qui la rend apte en tous lieux aux transitions entre les diverses techniques de production comme entre celles d'utilisation qui se succèdent au fil des ans.

3. *Politique de l'énergie*

Nous venons d'analyser les différents facteurs géographiques, économiques, techniques qui ont modelé l'éclosion et la croissance de l'outillage énergétique de nos territoires d'outre-mer.

Si le bilan des premières réalisations a pu passer pour entaché de lenteur, il en faut trouver la raison dans les circonstances retardatrices évoquées : elles ont étiré les délais d'équipement.

Sous l'empire des préoccupations de guerre, la nécessité de faire face au maintien des activités du pays s'est fait durement ressentir. Au rétablissement de la paix, l'expansion vertigineuse des besoins d'énergie est venue bouleverser l'essence même des programmes de mise en valeur des ressources. Il n'a été possible d'y satisfaire que par un effort très soutenu. Le processus de développement revêt un caractère irréversible.

Au cours des dernières années le problème de l'équipement hydroélectrique s'est acquis droit de cité parmi ceux dont la solution appelait par priorité la vigilance des pouvoirs publics et de la grande industrie. La rencontre des exigences d'énergie à usages industriels et domestiques devait être abordée par des moyens dont l'importance dépassait de loin les réalisations précédentes.

C'est qu'en effet, redisons le comme une leitmotiv, le développement de l'économie énergétique d'un pays est fonction de sa structure économique, autant que de ses propres disponibilités d'énergie.

4. *Rôle des industries de transformation*

La vitalité et le rythme sans cesse croissant de l'essor des territoires belges d'outre-mer, se manifestent avec la vigueur d'un dogme. Il est aussi patent que la structure de leur économie accuse une propension soutenue vers une plus large indépendance à l'égard des marchés mondiaux.

La tendance à la satisfaction des besoins internes du pays, se manifeste par l'implantation d'un nombre croissant d'activités manufacturières ; et parmi celles-ci l'industrie textile joue un rôle de premier plan.

De même, la valorisation industrielle des produits de la terre se développe et tend à compléter les activités culturelles par l'établissement d'usines transformatrices : huileries, minoteries, rizeries, sucreries, brasseries, fabriques d'extraits et de conserves, etc ; déjà spécifiées. D'autres secteurs de production, tel celui des industries chimiques, contribuent à diversifier l'économie et à en combler les lacunes structurelles.

L'on ne saurait assez souligner l'importance en pays neuf de cette adaptation de structure, marquant la transition du milieu « clanique » de la brousse, c'est-à-dire de l'économie de subsistance pure et simple, à celle de l'industrialisation et ensuite de marché.

La richesse du patrimoine minier a constitué — rappelons-le, — dans la phase intermédiaire de l'évolution, le précieux et indispensable support du développement économique.

L'épanouissement graduel des diverses activités connexes en territoires belges d'outremer, manifeste son influence favorable dans l'extension continue du circuit économique par de nouveaux développements : du revenu national — de l'assiette fiscale — du pouvoir d'achat et du bien-être des autochtones [40]. Tandis que s'accroissent les fruits de la productivité, l'utilisation sur place des ressources du pays est aussi intensifiée, pour le plus grand profit de l'évolution technique et sociale des Congolais. Il n'est point jusqu'à leur état sanitaire qui ne bénéficie de cette industrialisation par étapes, car celle-ci contribue à créer et mobiliser les fonds importants dont s'alimentent les belles réalisations médicales et scolaires en Afrique belge.

D'autre part, la diversification progressive de struc-

ture, dans les sens horizontal et vertical, de l'économie congolaise, est propice à la croissance de ses équipements : pour se réaliser de manière équilibrée, sans heurt, leur extension implique en effet la préexistence d'un état de structure suffisamment étoffé sur le plan technique et développé sur le plan social, comme d'un standard de vie adéquat.

L'état d'isolement, imposé au Congo par la seconde guerre mondiale, a eu pour effet de bouleverser les facteurs structurels de l'économie : sous l'aiguillon d'une demande de biens d'équipement et de consommation étendue aux domaines d'activité les plus divers, s'est produite une heureuse évolution tendant à équilibrer le caractère autrefois « monotone » et vulnérable à l'excès d'une économie de production primaire centrée, avec rigidité, sur l'exportation de matières brutes.

Cependant l'économie congolaise n'a pu se départir d'un état relatif de vulnérabilité inhérent à son caractère inorganique dans une certaine mesure, par suite d'une insuffisance de développement du marché intérieur : il n'est toujours pas en état de former contrepartie et de retenir, dans le circuit économique du pays, le maximum de produits et de capitaux. Il y a perte partielle de substance et c'est inévitable dans la première phase d'évolution vers une forme de société développée. La structure économique du Congo demeure tributaire de la conjoncture internationale. Elle oscille selon les alternances du cours des matières premières dont ce pays est devenu une des grandes bases mondiales d'approvisionnement.

En période de récession ou de crise, ces fluctuations incontrôlables ébranlent toute l'économie du pays, avec des répercussions qui se font sentir dans tous ses prolongements budgétaires et sociaux. Le Congolais voit, sans justification plausible à ses yeux, fondre son pouvoir d'achat ; il perd confiance et courage ; les Européens indépendants et l'administration gouvernementale, dont

les ressources déclinent de manière accélérée, sont tous astreints à des mesures de conservation drastiques ; la plaie du chômage se met à sévir. Et c'est la promotion du Congolais, venu à la cité sans esprit de retour, qui risque elle-même d'être compromise. En voici des exemples instructifs : les ventes de l'Union minière alimentent à elles seules plus d'un tiers du budget ordinaire en droits de sortie, et autres moyens de taxation. Le barème des tarifs du chemin de fer du Bas-Congo-Katanga est mobile selon les variations du prix du cuivre, tandis que le nombre des wagons chargés décroît en proportion de la mévente.

Toute influence concourant à lester l'économie congolaise, doit, par conséquent être envisagée avec faveur. Dans la conversion de structure qui s'est déjà ébauchée et s'amplifie au Congo, il faut entrevoir des éléments opportuns de stabilité de la conjoncture nationale, d'amélioration tant qualitative que quantitative du niveau de vie des habitants. La création d'un large pouvoir d'achat indigène doit rester au premier rang de nos préoccupations.

5. Mission de l'électricité, en particulier de l'hydroénergie

Support de l'économie du pays

L'édification d'une économie autochtone suffisamment évoluée, au point de constituer une entité stable de production interne, repose, c'est l'évidence, sur une expansion parallèle des instruments de la productivité. Et parmi ceux-ci le premier rôle est dévolu aux fournitures de courant et d'eau à des tarifs modiques.

Pour l'énergie, ce doit être l'œuvre du captage des forces hydrauliques, gisement éternel et inépuisable, dont la nature a gratifié le Congo avec tant de largesse. Sous cette forme gît, en effet, le seul mode économique

de génération de l'énergie. Et l'incidence d'un coût réduit de l'électricité, outil énergétique de base, apparaît essentielle à l'égard du bilan économique de nos territoires africains. Est-il besoin d'y insister, dans l'ordre des mobiles démographiques, la valorisation croissante de ce splendide potentiel de forces sauvages, apportée par leur substitution à l'effort humain, une contribution décisive pour la politique de mécanisation en cours. Elle permet ainsi de pallier la pénurie de main-d'œuvre libérée pour des activités nouvelles.

A ce sujet il importe, néanmoins, de ne pas s'abuser outre mesure sur les possibilités de la mécanisation du matériel dans son application aux chantiers : elle se heurte, en pays neuf, à des écueils insoupçonnés de nature psychologique, soit à des considérations de prix de revient malgré le très médiocre rendement comparé d'une main-d'œuvre en formation.

L'électrification, mais à bas prix, reste l'agent moteur dont l'influx doit vivifier toutes les autres activités : c'est un rouage essentiel de l'économie dont un enrayage, même de courte durée, serait générateur de perturbations des plus graves. Imaginons par exemple quel serait le sort des mouvements de marchandises d'une grande partie du Congo si un port comme Matadi venait à être brutalement coupé d'électricité. Ce serait un embouteillage d'une envergure désastreuse.

De nouveau, la nécessité de parer à un étranglement économique en période de conflit, se révèle comme un suprême objectif ; il pèse de tout son poids sur la balance des charges et profits d'une organisation des ressources énergétiques. A l'hydroélectricité doivent revenir principalement les tâches transcendantes de préserver le Congo d'une asphyxie économique et de l'affranchir, en période normale, d'importantes soustractions de devises.

Pour apparaître sous des contours peu impressionnants et sous-estimés du public, parce que leurs coûteux réseaux

s'étendent et s'anastomosent en de longues artères souvent invisibles, les distributions d'électricité n'en jouent pas moins un rôle vital dans l'armature technique, comme dans le progrès économique et social des régions équipées. Il sied d'y insister, elles doivent être considérées comme faisant partie intégrante de l'outillage général et, à ce titre, justifient les amples investissements consentis.

Avec le problème de l'eau potable, qui en est souvent tributaire, celui de l'électricité constitue donc l'un des pôles d'action du programme général de développement. Autour de ces deux objectifs gravitent les facteurs vitaux dont dépendra l'avenir du Centre africain [17].

Tout l'appareil agricole, industriel, et commercial du Congo s'étire sur de vastes étendues ; nous sommes en présence d'une économie des grands espaces et cette condition de fait domine tout le problème des investissements. Le programme de l'énergie constitue, par essence, un programme d'investissements directs ou indirects. Pour assurer le développement harmonieux des systèmes de production, ces investissements fondamentaux d'infrastructure doivent évoluer de pair avec ceux des autres travaux publics : les transports par route, par fer et par eau, les installations portuaires et autres éléments constitutifs de l'armature économique du Congo.

L'organisation des équipements techniques, agricoles et sociaux est inséparable aussi de celles des équipements énergétiques et sanitaires. Source de bien-être et de productivité, la distribution d'énergie électrique est indissolublement liée à notre civilisation moderne ; il en est de même pour l'eau potable ; c'est un axiome présenté en exergue d'une de nos études consacrées au problème de l'eau en territoire d'outre-mer [17] et traductible en deux notions lapidaires : énergie de productivité — énergie de confort.

Comme l'a dit M. P. WIGNY, ancien Ministre du Congo

et du Ruanda-Urundi en préface du Plan décennal, inspiré par son audacieuse et féconde initiative, la technique est à la base de la prospérité. Mais qui dit technique, dans la plus large acception du terme, dit tout d'abord énergie [45]. Le Plan est à objectif essentiellement économique et social et, par suite, de caractère technique. Ce n'aura pas été un de ses moindres mérites, d'avoir prévu, outre l'extension générale des moyens d'action au-delà du cadre exigé des annalités budgétaires, leur coordination en un ensemble intégré, cohérent.

Dans sa version d'origine, ce plan assignait un montant global de 2,5 milliards de F aux projets hydrauliques. Lorsque tous les travaux qui en constituent le prolongement, auront été menés à bonne fin, l'ensemble des capitaux investis atteindra 5 milliards de F. Viennent s'y superposer les habituelles dépenses récurrentes d'entretien et de surveillance des ouvrages, outre les frais d'organisation métropolitaine.

Si le Plan a fait la part si large au financement de l'électrification hydraulique, c'est sous l'empire d'une triple préoccupation dont il serait aisé de justifier :

1° D'ordre économique (énergie de productivité), prioritaire sous tous les rapports ;

2° D'amélioration du bien-être en général (énergie de commodité à favoriser par abattement de tarif, lorsque les disponibilités l'autorisent) ;

3° D'autonomie du territoire (énergie d'épargne et de sécurité).

6. Primauté économique de l'hydroélectricité

Une politique générale de l'énergie, dans les régions d'accès difficile du Congo et du Ruanda-Urundi, doit être centrée sur l'objectif majeur d'assurer la couverture des besoins dans toutes les situations, même les plus pré-

caires : nous avons plusieurs fois mis l'accent sur cette exigence cardinale de se prémunir contre les aléas des sources étrangères d'approvisionnement de combustible et d'alléger le fardeau dont leur importation ampute la balance des comptes.

Pour combler le déficit en énergie primaire de certaines régions du Centre africain il a été fait un appel économiquement abusif à des moyens extrinsèques. Les produits pétroliers, combustibles de luxe, ne sauraient servir de substrat énergétique à une industrialisation d'envergure. En territoires belges d'outre-mer, le coût de l'énergie additionnelle devient déterminant. Dans la structure des prix de revient du kilowattheure thermique les parts afférentes au gasoil ainsi qu'à la main-d'œuvre, sont prépondérantes et lourdes.

L'incapacité de satisfaire les besoins de base, en période normale, par les autres ressources indigènes, pour améliorer la productivité des équipements assigne par conséquent, à l'énergie hydraulique une fonction d'importance croissante dans l'économie du Congo belge.

Pour provoquer ou accentuer la mécanisation et l'industrialisation du pays, la fourniture d'énergie ne sera en mesure de sortir ses pleins effets que par l'aménagement à bon compte des chutes d'eau. L'énergie thermique n'est pas une solution dans les conditions actuelles. Un cas concret, celui du Ruanda-Urundi, illustre l'intérêt de l'énergie sous forme hydro : la condition de survie des mines, disséminées et peu importantes, dépend de leur mise à disposition, enfin réalisée, de l'hydroélectricité. Ses qualités propres de continuité et d'extensibilité, lorsque le gîte est abondant et régulier [23], renforcent sa position dans la hiérarchie des valeurs énergétiques. Et son intérêt se maintient pour toutes les capacités de production, de la macrocentrale jusqu'à la microcentrale. En pays tropicaux, toutefois, les capitaux investis dans les complexes hydrauliques ne récupéreront leur intérêt,

nous l'avons dit, que graduellement au fur et à mesure de l'efflorescence du débouché économique, d'autant plus que l'industrie transformatrice revêt souvent un caractère marginal : il faut éviter son étranglement en consentant des sacrifices sur les tarifs de départ.

A côté de sa rentabilité directe à plus ou moins longue échéance, il faut encore considérer le rendement indirect de l'hydroélectrification, source vive d'énergie de productivité. Le prix de revient en serait-il même supérieur, le caractère spécifiquement national de cette forme d'énergie lui confère la priorité pour d'évidentes raisons économiques et stratégiques.

Le problème gardera en tout cas cette unicité d'aspect jusqu'à découverte de nappes pétrolifères.

7. Quel doit être le rythme des investissements ?

Etant admis que la mission impartie au secteur public doit être de suppléer l'initiative privée mais non de la supplanter, il lui incombe de pourvoir à l'équipement énergétique s'il y a carence ou si les investissements ne s'avèrent pas rentables à échéance prochaine. Le cas sera fréquent en pays neuf, car les sociétés de capitaux à forme indépendante y éprouvent d'ordinaire des difficultés d'exploiter des services publics de petits centres à un taux rémunérateur, en raison de la modicité imposée aux tarifs, malgré des charges très lourdes.

C'est pourquoi, à défaut de quelque création spontanée de cet équipement due à l'intervention de tiers la REGIDESO dans le cadre de sa mission statutaire et selon programme arrêté par le Gouvernement Général, entreprend l'installation de petites centrales électriques pour desservir les collectivités. L'exploitation de ces usines génératrices, d'ordinaire jumelée avec celle de la distribution d'eau, pose des problèmes financiers très ardues par suite de l'incidence massive des charges fixes sur un volume de vente dérisoire dans les centres mineurs. Aussi

chaque fois qu'un particulier prend d'initiative le risque d'ériger une centrale en connexion avec d'autres activités, il y a lieu d'appuyer cet effort courageux dont la collectivité bénéficiera.

Il faut, en un tel domaine, se garder de la propension fréquente en pays neuf à brûler les étapes, mais il est indiqué pour l'économie du financement de laisser le développement énergétique des petits centres s'opérer d'une façon progressive, par l'intermédiaire de petites usines diesels ou autres moyens modestes ; des sacrifices pénuriaires pourront même être consentis à charge de toute la collectivité, en vendant le courant thermique à bas prix, afin d'aider au développement de l'économie locale. Cette solution évitera des excès d'immobilisation précoce. Il peut, en effet, se faire, comme à Stanleyville, que même une surabondance d'équipement ne suffise plus à catalyser davantage l'essor économique, par suite d'influences extrinsèques.

Il est évident que la prudence sera de mise pour les petites agglomérations, de rang tertiaire, dépourvus d'hinterland et de perspectives immédiates. *In medio virtus...*

Le problème au centre des préoccupations, c'est précisément celui de la supputation précise des besoins et des moyens à engager pour les satisfaire. Tant d'éléments de départ interviennent qui vont conditionner l'évolution de la demande et l'appréciation des usagers : le caractère des activités économiques régionales et leur avenir, les conditions climatiques, les habitudes et le standard de vie des habitants, les régimes tarifaires appliqués, les perspectives démographiques...

Option cruciale : il s'agit de trouver un moyen terme de prévision, un point optimum d'équilibre entre l'alimentation qui garantira suffisamment l'avenir et la limitation des dépenses de premier établissement. En pays neuf, rien n'est malaisé pour le technicien comme de

chiffrer les besoins prévisibles d'un centre, d'en jauger l'importance, de pressentir leur rythme d'extension et sur ces bases d'échafauder le programme d'équipement : certains éléments de décision que nous venons d'évoquer se dérobent aux calculs.

Une enquête sur place auprès des futurs consommateurs peut réserver des surprises. D'autre part, tout investissement du potentiel d'expansion énergétique s'avère onéreux : les matières et matériels importés coûtent cher au Congo, la main-d'œuvre de toute provenance également. Et pourtant, il importerait de garantir le rendement normal, sinon l'amortissement des capitaux engagés.

Dans le doute, il sera préférable de pêcher par excès d'optimisme plutôt que par défaut : l'établissement des réseaux électriques impose de faire preuve d'une grande largesse dans le choix des sections. Il faut donc consentir à certain suréquipement. C'est une leçon de l'expérience, durement ressentie par maints exploitants, que la plupart des auteurs de projet ne se sont pas montrés suffisamment généreux dans les prévisions des besoins, compte tenu de développements futurs. L'analyse du marché que constitue l'ensemble des consommateurs urbains doit être complétée d'une étude systématique de la répartition des demandes d'énergie par quartiers et par rues ainsi que dans le temps (courbe de charge). Or avec le développement inévitable du marché en profondeur, les densités des courants de pointe vont s'accroître, et pour y faire face les sections des câbles devront être renforcées. Si des insuffisances de capacité des canalisations distributrices se manifestent, il ne devient possible d'y remédier qu'au prix de lourds sacrifices pour mettre la distribution en état de satisfaire à l'élargissement de la demande. Dans la quasi totalité des réseaux, il a été nécessaire de procéder à des renforcements ou doubléments de feeders parce que l'on n'avait pas su ou voulu se résoudre à réserver l'avenir.

La même largeur de vues doit, nous en avons la ferme conviction, inspirer les projets d'usines génératrices, même du type thermique, au Congo belge, d'autant plus qu'il faut tabler sur une croissance accélérée de la demande dans le premier stade d'électrification d'une ville. Si l'on veut prévenir l'atonie progressive des centres vitaux il importe, non pas de suivre, mais au contraire de devancer le rythme de l'expansion économique dans les régions appelées à un essor prometteur. Agir dans une autre voie serait entraver le courant du progrès.

En 1949 dans son éloquente préface au plan décennal M. P. WIGNY [45] disait déjà

« L'équipement en moyens de transport et en énergie est la cause, plus encore que la conséquence, de l'épanouissement économique ».

C'est la conception qui a prévalu, dès l'origine, au Katanga, favorisé, il est vrai, par la richesse de ses ressources, et dont les résultats furent si féconds. Nous citons M. MARTHOZ [39].

« La politique d'énergie abondante et à bon marché a eu et aura le plus heureux effet sur le développement des petites et moyennes industries : elle a contribué dans une large mesure à accroître le confort de la population blanche et congolaise ».

Et plus loin d'ajouter :

« L'on peut dire que la mise en valeur des ressources hydroélectriques est chose faite au Katanga ; les différentes étapes de cette réalisation ont, en général, précédé les besoins de l'économie : *le développement des moyens de production a été la cause, bien plus que l'effet de l'essor extraordinaire de cette économie dans tous les domaines* ». [39]

Enfin, prenant la parole en 1955 à la tribune de la Société Belge d'Étude et d'Expansion, M. BUISSET, disait à son auditoire averti :

« Les problèmes de l'Afrique Belge restent des problèmes de croissance, ceux d'un développement qu'il faut, non freiner, mais ordonner et équilibrer ». [12]

On ne saurait mieux dire. Venant d'un concert de voix si autorisées, la cause est entendue. L'objectif visé doit être toujours de satisfaire à l'accroissement probable de la demande d'énergie en s'assurant, dans les centres de premier ou deuxième ordre, les réserves de moyens indispensables pour garantir la qualité et la régularité du service public. S'il s'agit d'une installation hydroélectrique, les débits d'équipement de la chute devront y satisfaire.

Sans atteindre d'emblée à la capacité maximale, il faut du moins amorcer vigoureusement la première phase de développement économique.

A cette période de rodage ou de relance, succédera peu à peu celle d'une productivité accrue dans une économie démarrée ou revigorée. Ne le perdons pas de vue, le Congo belge est une structure économique en voie d'expansion : grâce à l'hydroélectricité, lorsqu'elle est payante, l'exploitant disposera d'une ressource stable, sans se voir exposé au risque de démode prématurée, parce que le programme d'équipement initial serait dépassé par de nouvelles techniques.

Nous réservons délibérément les possibilités de petites centrales nucléaires en pays sous-développé, car l'exacte démarcation de leur convenance ressortit encore au domaine de l'hypothèse.

Dans le cas d'alimentation hydroélectrique, les charges fixes des exploitations pourront toujours être étalées à volonté, et par suite les dotations financières. Il suffira d'échelonner les tarifs à cette fin en aménageant une dilatation progressive de la marge bénéficiaire, et se modelant sur l'allure de la demande rencontrée....

Devant l'expansion irrésistible des besoins d'énergie dans l'après-guerre, le Gouvernement prit la décision d'élaborer le plan de mise en valeur des réserves d'énergie hydraulique du Congo dans un triple but :

1^o Assurer la production d'énergie en abondance et à bas prix ;

2^o Améliorer la répartition de l'énergie entre les diverses contrées inégalement équipées ;

3^o Promouvoir ou seconder l'implantation de nouvelles entreprises de moyenne importance.

Cette mission d'utilité publique a été confiée aux Sociétés mixtes des Forces hydroélectriques du Bas-Congo et de l'Est. Jusqu'à présent, la majorité des centrales, tant d'accumulation qu'au fil de l'eau, sont de caractère industriel et desservent les centres miniers.

Perspectives des besoins énergétiques

Il semble licite d'admettre sans crainte de démenti futur que l'épuisement des crédits affectés par le Plan décennal et par les projets nouveaux, sera loin de marquer le terme des immobilisations dans le secteur énergétique de l'équipement. Leur rythme doit, sans conteste, épouser celui du développement des territoires du Centre africain dont l'opulence ne cesse de s'affirmer avec plus d'éclat.

L'énergie, on l'a dit, est l'épine dorsale de l'économie : son abondante disponibilité éveillera des besoins autrefois confinés dans l'expectative ou tenus à l'écart du circuit économique. Des populations indigènes (plus de 75 % du total) continuent à stagner en grande masse dans un régime hermétique et primitif d'économie tribale : elles demeurent isolées dans une brousse aux ressources maigres et d'un accès difficile [12].

Objectif social. Comment élever le niveau de vie de cette réserve de plus de 14 millions d'êtres humains, soustraits au progrès, ignorants des techniques industrielles, sinon que par une mise en valeur et une mobilisation générales

des ressources naturelles du Congo à l'aide de la force motrice, locale de préférence. La fourniture d'énergie à bas prix est le fondement de toute politique d'humanisation du travail.

Fidèles à leur ultime mission les Pouvoirs Publics s'attachent à poursuivre leur politique :

1^o D'enracinement des tribus à la terre ;

2^o De création et d'élargissement du pouvoir d'achat d'un nombre de Congolais sans cesse accru, pour les intégrer au circuit de production et les faire accéder au courant du progrès en leur assurant une existence meilleure.

L'atteinte de ce suprême objectif implique la disponibilité de force motrice : consommation, production, énergie sont des maillons étroitement unis de la chaîne économique.

C'est la prise de conscience croissante d'une responsabilité dans l'amélioration graduelle de la condition économique et sociale du Congolais, qui a constitué l'idée directrice du Plan décennal et des suivants.

Déjà les effets s'en font sentir de manière palpable dans la dépense d'énergie électrique des centres urbains, groupant les populations de toute origine : thermomètre sensible et sûr de l'activité économique, le niveau de la consommation d'énergie n'a cessé de se dilater dans le dernier lustre, ayant atteint en 1957 sensiblement 3,3 fois la consommation en 1950.

Stimulée par le transfert des courants traditionnels d'échange entre l'Europe et ses sources sud-asiatiques de matières premières au profit du centre-africain, consécutif au dernier bouleversement mondial, l'économie congolaise voit de plus en plus s'élargir son champ d'exportation vers les pays occidentaux et les États-Unis. Le concept de l'Eurafrique devient une permanente

réalité, appelée, on voudrait l'espérer à un brillant avenir. Et au Congo semble dévolu le rôle de chef de file dans l'expansion de l'Afrique centrale.

Un autre facteur de développement doit être recherché dans l'exceptionnel climat de relations mutuelles marquées de sympathique confiance entre Belges et Congolais qui a régné des lustres sous la sagace orientation de l'Administration. Légitimement soucieuse de l'ascension des autochtones et se penchant avec sollicitude sur le progrès de leur niveau d'existence, elle reste à juste titre résolument adverse de toute discrimination racinale [12].

C'est une réelle métamorphose qui s'est accomplie sous nos yeux. L'Européen remettant le pied sur la terre africaine à quelques années d'intervalle, embrasse d'un regard émerveillé les transformations survenues : les cases en pailote et pisé des cités indigènes ont fait place à de confortables habitations, desservies en eau, force et lumière. Des vélos sans nombre et des autos aux mains d'autochtones parcourent les rues : la prolifération des cycles au cours des dernières années dépasse l'imagination. Des Congolais de plus en plus nombreux deviennent propriétaires. Leur rapide accession au paysannat et à la classe moyenne, où ils s'amalgament et s'identifient aux Belges, comme déjà sur les bancs de l'école, est un phénomène réjouissant de promotion et de stabilité sociales. De même la création de coopératives indigènes et la qualification progressive du travailleur noir pour la participation à des tâches de plus en plus évoluées, dans un large esprit de concorde avec l'Européen.

Cette promotion économique et sociale du Congo et du Ruanda-Urundi continue à évoluer de pair avec l'électrification de ces territoires. C'est d'ailleurs un fait d'observation courante que la mise à disposition de l'électricité provoque un développement au-delà des prévisions plausibles. Mais à ce jour, seuls d'importants agglomérats détribalisés dans l'orbite des grandes villes et des centres

industriels y ont pris part. Les centres coutumiers et villages de l'intérieur n'en bénéficient guère. En conséquence, l'effort immédiat doit porter sur l'extension des services d'électricité en surface afin d'en dispenser les bienfaits aux collectivités isolées des milieux ruraux. Le stade complémentaire de développement du marché en profondeur suivra au fur et à mesure de l'augmentation du pouvoir d'achat.

L'un des principaux obstacles à l'expansion de l'économie congolaise est d'ordre démographique. La faible densité de population des deux couleurs freine l'épanouissement, car la plus grande, la plus belle richesse d'un pays c'est l'homme même, et sans population il n'y a que vie sauvage, désertique.

Pour remédier à ce fléau du Centre africain, en dehors de l'action médicale sortant du cadre de notre exposé, il n'est que de promouvoir la mécanisation en tous domaines, depuis l'industrialisation en grand, jusqu'à l'échelon de la petite industrie : associer tous et chacun à l'effort de production à partir des ressources naturelles du pays. Le monde est un et l'ascension des peuples sous-développés ne peut qu'être profitable aux nations favorisées d'une haute technique. Par la machine ou par l'outil mécanisé l'on pourra relever le rendement très bas des autochtones, leur faire produire plus et mieux. Ce problème est d'ordre majeur. Certaines sociétés, tirant les leçons de la grande crise d'entre deux-guerres, en ont saisi toute la portée et « rationalisé » leurs installations à outrance. « Le renforcement de l'équipement des industries congolaises et l'amélioration des techniques d'exploitation sont à la base de l'essor de la production » [59] : l'hydroélectricité y a contribué dans une large mesure.

Mais s'il est relativement aisé de mettre sur pied des outillages industriels, publics, il l'est beaucoup moins de faire accéder l'individu à un niveau supérieur, d'ar-

racher à leurs mœurs ancestrales des populations confinées, il y a peu, dans l'immobilisme, de les détacher de la routine ou du laisser-aller propres à la condition humaine, sous les tropiques en particulier. Ainsi, au point de vue agricole, presque tout reste à faire, tant est immense l'œuvre offerte à nos moyens et à notre labeur. Il faut mettre fin à des pratiques de culture dévastatrices et de rendement dérisoire. Dirigeant leur effort dans ce sens, nos agronomes parviennent peu à peu à extirper ces funestes habitudes et à mettre sur pied un paysannat indigène stable, enraciné au site. Sur ses besoins, se grefferont les artisanats collectif et à domicile.

Applications rurales de l'électricité

S'il est indéniable que le sol congolais s'est montré des plus prodigues en richesses minérales, il devient néanmoins opportun et urgent de prévoir l'épuisement graduel des mines, car déjà nous assistons à une évolution radicale des exploitations : pour l'étain, l'or et d'autres métaux, l'extraction doit s'effectuer en profondeur, le stade filonien ayant succédé au fructueux stade alluvionnaire, définitivement révolu. La terre congolaise, dans les endroits préservés des mortelles atteintes de l'érosion ou de la latérisation, pourra, convenablement cultivée, entretenue, fertilisée par les fumures minérales, assurer l'avenir des générations futures. La stabilisation de l'économie du Congo par sa diversification, va dépendre du succès de cette politique à longue échéance. Une autre raison d'améliorer la productivité agricole, c'est de suppléer à l'accaparement de main-d'œuvre pour les besoins de l'industrialisation à toute échelle.

Mais dans cette direction, il s'indique de perfectionner davantage les façons culturelles des indigènes en vue de la conservation des sols et de leur sauvegarde, d'étendre les cultures vivrières, de motoriser l'outillage agricole et de tendre à l'électrification rurale dans la mesure des

possibilités d'espace et de temps. Dans le domaine de la petite électrification rurale, considérée sous l'optique des pays tropicaux, des perspectives s'ouvrent aux coopératives de producteurs indigènes pour le conditionnement de substances végétales ou leur préparation : ainsi allégées de leur enveloppe naturelle, ces matières premières deviendraient d'un transport moins onéreux, surtout pratiqué par voie fluviale, les semi-produits subissant le parachèvement dans quelque grand centre avant l'exportation. Signalons par exemple : le décorticage et le pressage des graines de coton, le concassage des noix palmistes et l'extraction de leur huile, la préparation du thé, du café, du cacao, du caoutchouc, du copal...

Pour ces applications multiples, l'utilité du courant électrique, comme agent de force motrice, n'est plus à démontrer : c'est encore un facteur stimulant des petites industries et de l'artisanat indigène. Nous visons entre autres applications de l'outillage électromécanique : la préparation des grumes à la lisière des gîtes forestiers, le façonnage du bois à domicile, celui des métaux, forge et soudure ; le métier à tisser, le petit atelier de confection... formule typiquement familiales et sociales ; la petite industrie alimentaire... Par ces voies, dans la ligne des éminentes directives Royales, nous éviterons que la campagne ne se vide de ses ruraux attirés vers la ville par la hauteur des salaires et par les facilités de l'existence citadine.

Débouchés urbains

Dans les centres extra-coutumiers, gravitant autour des principales villes du Congo, le service à domicile d'évolués, clerks, travailleurs de tout rang, ne cesse de se développer. Pareillement l'éclairage des cités indigènes qui contribue à chasser de l'esprit du Congolais les réminiscences d'une vie primitive, rudimentaire. C'est un débouché d'envergure et il est en voie de se matérialiser.

liser intensément. Dans leur état d'évolution actuelle, et elle s'opère, nous l'avons vu, à une cadence rapide, les populations autochtones manifestent une propension soutenue vers la recherche d'un meilleur confort. Sans nul doute, les applications domestiques sont assurées d'un large avenir à la faveur de la promotion sociale des populations. Il y a là un marché potentiel à courants d'échange multiples, internes et externes. En particulier, faut-il entrevoir, dans les centres urbains, une vogue croissante des appareils électro-ménagers de chauffage, par suite de la pénurie et de la cherté exorbitante du bois à brûler. Il n'est guère besoin de s'appesantir sur les perspectives que l'on voit poindre dans les branches de la radio et du conditionnement d'air : la climatisation des locaux, élément décisif d'amélioration du bien-être, en est toujours à ses débuts, freinée comme l'utilisation des frigos et cuisinières, par la hauteur des tarifs de vente du kilowattheure diesel. Ces applications présentent, en sus d'appréciables virtualités de consommation de courant, une éminente portée sociale car elles stabilisent la population, favorisent l'attachement de la femme au foyer et ainsi la transition de la vie tribale, arriérée, à une vie stabilisée, quiète et prospère.

Il est très significatif de constater qu'au cours des enquêtes, menées sur place par nos délégués à l'occasion d'un nouvel équipement ou d'une extension de réseau, la question de prix du kilowattheure était rarement soulevée, tandis que le désir des commodités trouvait à s'exprimer avec une vive insistance.

Bien entendu, dans l'échelle des désirs, une hiérarchie doit exister et c'est, en dernier ressort, du pouvoir d'achat que dépendra la demande effective. Aussi la modicité de ressources d'un centre secondaire ne peut-elle faire présumer des standings ni des perspectives ouvertes à une agglomération importante, enserrée sur son pourtour par de nouvelles cités agglomérées d'autochtones.

Des facteurs d'excitation de la demande pourront intervenir sur un plan strictement local : par exemple la présence, comme à Stanleyville, d'une population flottante de voyageurs amenés par air, route, rail et eau avec l'activation de caractère commercial en résultant. Les résidences de directions administratives, industrielles, commerciales agissent dans le même sens. Ces bureaux, maisons, hôtels, débits de boisson, magasins avec leur publicité lumineuse, représentent un potentiel de consommation extensif. De même, les collectivités à but social : écoles, hôpitaux et maternités, dispensaires, missions, camps militaires, etc. Ajoutons-y les autres charges faites d'« utilités » publiques : le pompage (avec stérilisation éventuelle) de l'eau et les importants services de gares fluviales et ferroviaires, aérodromes etc, qui constituent un puissant facteur d'animation. En attendant le démocratique tramway, un service public d'autobus à accumulateurs a été instauré à Léopoldville.

Utilisations industrielles

Dans le secteur industriel, les besoins d'énergie ne le cèdent en rien à ceux du secteur domestique, bien au contraire. Ils accusent, dès à présent, une grande diversité qui porte témoignage de l'extension du marché intérieur, élément pondérateur par excellence de l'économie du Congo. La demande de caractère autochtone retient près des 3/4 des fabrications locales dans le circuit économique interne.

Sous l'impulsion des nécessités de belligérance et en dépit d'entraves telles que l'instabilité chronique de la main-d'œuvre et son manque de formation initiale, les différentes provinces ont vu se créer, puis se développer, une multiplicité d'industries moyennes ou secondaires, dont près de 50 % sont aux mains des Congolais. Il faut ajouter que loin de prendre ombrage de l'établissement de ces industries dans le Centre africain, il faut en

augurer un élargissement ultérieur du marché des biens d'équipement dont le vieux monde est le traditionnel fournisseur. Le Centre Afrique sera de plus en plus le pourvoyeur de matières brutes semi-valorisées, des demi-produits indispensables à la marche de nos propres industries. En contrepartie, il formera, par un marché dont le nombre et la capacité d'absorption des consommateurs ne cessent de croître, un réceptacle toujours plus ouvert au trop plein de la production européenne d'articles de qualité [12].

L'énumération suivante projette une vive lumière sur la diversité de structure de l'industrie congolaise :

A) *Industries des biens de production*

1° Industries des constructions métalliques : ateliers de construction et charpentes, étirage des métaux, fonderies et forges, récupération de mitraille, ateliers de réparation et d'entretien, garages et autre petite industrie domestique ; galvanoplastie ; soudure à l'arc ;

2° Industries du bois : scierie, déroulage, menuiserie, fabriques de meubles, d'agglomérés ;

3° Industries de matériaux de construction : cimenteries, fabriques de plaques et de tuyaux ; industries de céramiques et réfractaires, briqueteries, fours à chaux, travail du marbre ; entreprises de construction...

B) *Industries des biens de consommation*

1° Industries manufacturières :

— Groupe du textile : traitement des fibres végétales (coton, sisal, chanvre, jute) ; filatures, tissages, bonneterie, toiles et couvertures, cordages, teinturerie, apprêts... ces industries sont naturellement favorisées par la mise en œuvre de matières disponibles localement ;

— Groupe du cuir : tanneries, fabriques de chaussures.

2° Industries parachimiques : savonneries, fabriques d'explosifs ; et à envisager : distillation des schistes, du bois, des substances alcooligènes, et traitement des sous-produits de récupération ; comme autres éventualités d'avenir : engrais composés, produits fongicides et insecticides, articles en caoutchouc... ;

3° Industries alimentaires : frigorifiques, brasseries et fabriques d'eau minérale, minoteries, féculeries, boulangeries, rizeries, sucreries, huileries ; conditionnement des produits de culture : café, cacao, thé ; à titre éventuel : fabriques de conserves de viande, de graisses alimentaires ;

4° Industries hôtelière et touristique ;

5° Le secteur du gros négoce, qui tend vers une spécialisation accrue de la distribution, en rapport avec les besoins du marché intérieur.

Cet inventaire n'a aucune prétention d'être limitatif, le sujet sans doute n'étant pas épuisé. Ces diverses industries ne cessent de prendre du champ ; à la faveur de l'amélioration des transports intérieurs, elles éprouvent un besoin permanent d'énergie dont la suspension pour certaines (chaînes du froid, industrie des fermentations...) peut revêtir une tournure catastrophique.

Ainsi les besoins énergétiques iront se développant avec l'expansion industrielle associé au relèvement de la condition de vie des autochtones. Il en résultera un abaissement progressif du niveau des coûts de production. Facteur de diversité, donc de stabilisation de la conjoncture, ces utilisations si dissemblables sont appelées dans leur essor à intensifier la demande ; elles représentent, par travailleur occupé, une consommation de force motrice dix fois supérieure à celle d'autres secteurs d'activités : agricole, commercial.

Mais il est un consommateur d'énergie bien plus avide

et dont l'avidité profite à tous, c'est le transport ferroviaire. En terre congolaise, le problème des transports n'a d'égal en acuité que celui de la main-d'œuvre : pour alléger la charge, dont il grève l'implantation de toute industrie, la solution d'avenir — quant au rail — ne saurait se trouver que dans l'électrification. Elle implique, nul n'en doute, la disposition de l'énergie des chutes. L'électrification, proche de son achèvement, en monophasé à 25.000 Volts des voies ferrées du Katanga, est un remarquable exemple : elle constitue la première application sur le continent africain,

« d'une audacieuse technique qui n'avait pas dépassé en Europe le stade expérimental, affirmation du souci de nos ingénieurs de maintenir ces grandes voies de communication à la hauteur des derniers progrès de la technique ». [59]

Outre la jonction de cette ligne du B. C. K. avec le réseau de l'est, l'électrification de la ligne du Bas-Congo aura lieu dans les prochaines années. C'est la formule d'avenir qui s'est montrée si efficiente en Afrique du Sud. Elle contient en germe des possibilités multiples :

1^o D'intensification du trafic et d'abaissement du tarif ferroviaire ;

2^o D'attraction de nouvelles industries le long du rail et des lignes H. T., ou d'amélioration de leur fourniture d'énergie ;

3^o D'extension de la distribution du courant dans tout un territoire.

De nouveau, la réduction du coût de l'énergie doit commander le rythme de l'expansion. Au delà d'une certaine densité de trafic, l'exploitation des locomotives diesels — hydrauliques ou électriques — perd la priorité sur la vapeur ; et le transfert à l'électrification devient rentable : les spécialistes considéraient en 1950,

qu'eu égard à l'évolution du trafic de la ligne Léo-Matadi, il en serait ainsi pour un prix de charbon de 900 F/t et un prix de l'énergie de 0,80 F/kWh, et de même pour un prix de gasoil de 2.000 F/t, moyennant majoration de 49 % du trafic de référence vapeur (806.000 t).

Sur le plan interrégional, les aménagements des ressources hydroélectriques fluviales d'intérêt commun dans le Bas-Congo et le Katanga, donnent lieu à de vastes mouvements d'énergie entre frontières : Congo belge Congo français, Katanga, Rhodésie. Plus tard, des macro-centrales s'édifieront sur le bief inférieur du fleuve, dans une zone essentiellement à vocation internationale.

En définitive, c'est toute la structure de la demande d'énergie qui se transforme, avec un effet favorable sur la rentabilité des moyens de production et de distribution.

9. *Projets d'avenir*

Objectifs généraux

S'associant à l'effort général de relèvement du standard de vie des Congolais, la Régie passe à l'exécution d'un nouveau programme d'extension en surface, ayant pour objet l'électrification des centres de rang mineur du Congo et du Ruanda-Urundi. Il fera la suite et le complément normal de l'équipement des centres principaux. Il est ordonné selon informations et directives reçues des autorités du Gouvernement général et des Provinces. Nous en présenterons une rapide esquisse d'après une récente enquête d'orientation :

L'essence même du programme d'électrification de l'économie autochtone est de stabiliser les populations de l'intérieur dans leur milieu coutumier. Comme dans tous les autres groupements humains, nous voyons au Congo s'affirmer de plus en plus une attirance croissante

vers les cités tentaculaires, au grand dam des régions rurales exposées à un dépeuplement continu. Pour neutraliser cette tendance, défavorable à plus d'un point de vue, et réaliser un harmonieux développement du système social, il faut favoriser l'essor économique, donc renforcer l'appareil énergétique, sur toute l'étendue des territoires. Dans le cadre de cette politique il importe de créer, à l'intérieur du pays, des noyaux d'attraction où le Congolais sera retenu par un essor rémunérateur de la production locale et par les commodités ou agréments qu'il aspire à trouver dans les villes : éclairage, petite force motrice artisanale, menues applications domestiques, radio et cinéma. La même préoccupation de confort s'étend aux agents européens reclus dans des postes isolés où ils ont à pâtir des mêmes insuffisances de confort et de divertissement. Chaque famille de centre administratif devrait avoir à sa disposition : réfrigérateur, chauffe-eau, conditionneur d'air (selon l'ambiance), et — là où l'hydroélectricité est concevable — cuisinière électrique, car le coût du gasoil est une cause d'inertie dans les prix.

Du point de vue économique, l'on doit s'attacher à promouvoir l'électrification des paysannats — aux besoins malheureusement réduits et dispersés — en portant l'effort sur des collectivités assez concentrées et stabilisées, sur des groupements indigènes à revenus suffisants. C'est d'ailleurs le concept appliqué depuis des années pour l'alimentation en eau potable des milieux coutumiers. Les raccordements électriques des groupes constitués, assez denses, seront limités aux habitations en matériaux durables, dont l'existence est la présomption ou l'indice d'une assise économique suffisamment stable et large.

Aspects économiques du problème

1° Dans le Ruanda-Urundi :

Le pays, intrinsèquement pauvre, est réfractaire à une ascension rapide du niveau de vie. Même les chefs-lieux

de territoires semblent figés dans un immobilisme économique, sans avoir pu provoquer l'attraction de communautés indigènes. Dans ces petites collectivités dispersées, à besoins très réduits, satisfaits dans l'essentiel au moyen d'un petit groupe électrogène, l'établissement d'une distribution publique est un superflu différé jusqu'à des temps meilleurs. La fourniture d'eau potable a pris légitimement le pas sur celle d'électricité en particulier pour les groupements scolaires et hospitaliers déjà équipés.

Les populations des territoires sous mandat, bien qu'assez denses, ne sont jamais agglomérées mais se trouvent, au contraire, dans un état de dissémination désavantageux ; elles demeurent rétives aux efforts de regroupement. De plus, leur revenu est très inférieur à celui des Congolais, en raison de la pénurie de ressources naturelles et d'une mentalité moins perméable au progrès ; l'artisanat est quasi inexistant. Un trait commun de la physionomie des centres indigènes de brousse, c'est de présenter un niveau de vie presque statique, encore primitif, peu réceptif, ignorant toute industrialisation et l'artisanat moderne ; ces caractères se retrouvent dans tout l'Afrique noire.

La Régie envisage d'inscrire à son programme l'équipement de 15 à 20 centres.

2^o Au Congo belge :

Un total recensé de 105 centres tertiaires à équiper, figure au nouveau programme d'électrification du Congo rural. Il comprend :

A. *Centres secondaires*

1^o Postes détachés à caractère administratif : chefs-lieux de territoire, non encore pourvus d'une distribution de courant ;

2^o Centres d'intérêt économique ou commercial assuré.

B. Centres tertiaires

Agglomérations de différents types :

- 1^o Rural (certains paysannats importants et fixés) ;
- 2^o Commercial ou usinier (centres de collecte ou de conditionnement des produits agricoles) ;
- 3^o Mixte et artisanal (centres de classe moyenne indigène à revenus élevés).

En ce qui concerne les paysannats, non nécessairement compacts, mais répartis en lotissements,

« il est escompté que leurs revenus, encore modestes au stade de démarrage, sont appelés à s'accroître quand les cultures pérennes seront en plein rapport ».

Comme au Ruanda-Urundi, l'alimentation en eau potable sera souvent chose faite, ayant pris le pas sur celle en énergie pour raisons de salubrité et de besoins plus appréciés des autochtones. Leurs villages avec constructions en pisé ou autres matériaux provisoires ne se prêtent d'ailleurs pas à l'équipement électrique tandis qu'il y a généralement possibilité d'établir des points d'eau partout.

L'effort d'électrification, dans l'avenir, sera dirigé vers les paysannats vivriers qu'il faudra doter de machines pour le conditionnement. C'est l'occasion, cependant, de relever des difficultés rencontrées dans cette voie : des expériences de mécanisation des machines à caoutchouc dans la Province Orientale, centre de cultures d'hévéas se sont soldées par un échec. Les autorités opinent qu'un délai d'une dizaine d'années doit s'écouler avant que ne se développe le traitement à façon par les Congolais. Certains paysannats de pêcheurs (à revenus élevés), ont été pris aussi en considération. Des essais de mécanisation, tels que traitement des arachides par des

coopératives, sont en projet pour d'autres groupements ruraux de production dans la Province du Katanga.

Dans plusieurs régions (Nord-kivu, Maniema...), il est constaté que les paysannats ne sont pas encore mûrs pour la desserte en électricité, les noyaux de population étant instables et d'une évolution déficiente. Cette instabilité des milieux agricoles, conséquence de certaines mœurs agrestes, voire de certains rites (déplacement du village au décès d'un chef par exemple), est aussi observée dans certaines régions du Katanga, sauf aux endroits plantés de cultures arbustives (café, hévéa...).

Au Kasai, il existe d'importantes agglomérations paysannes plus stables. Les moulins à manioc, dont le nombre atteint la centaine, seraient les principaux utilisateurs d'énergie.

D'un point de vue général,

« le problème de l'électrification de ces centres tertiaires se greffe sur celui, plus vaste, de l'amélioration de l'habitat indigène dont les principaux facteurs sont encore à étudier pour fournir la base des programmes d'assistance avec l'aide des organismes : Fonds du Roi, Fonds d'Avance aux Indigènes. Citons : stabilisation des populations autochtones, revenus, productivité, équipement communautaire, services sociaux et commerciaux, etc. ».

Une coordination entre ces organismes et la REGIDESO doit permettre d'aligner leurs programmes d'amélioration de l'habitat avec ceux de l'alimentation en électricité et en eau potable.

En considération des difficultés d'ordres technique et psychologique qu'il faut appréhender en milieu rural congolais, il a été décidé d'entreprendre sans délai l'équipement de 6 centres-pilotes où sera réalisée, à titre expérimental, une électrification de groupement coutumier : le but est d'observer les réactions des autochtones et de mettre au point les conditions techniques et les modalités optima d'exploitation.

Programme d'électrification

Le canevas du programme envisagé aurait pour objet dans leur ordre de réalisation :

En première étape :

1^o a. 6 centres expérimentaux, et en outre :

b. 20 chefs-lieux de territoire, présentant un intérêt immédiat et assuré pour des mobiles d'ordre social ou économique ; pour certains de ces centres les besoins sont estimés vers 200 — 300 kW en raison de la présence d'industries européennes ;

2^o Environ 30 centres, la plupart chefs-lieux de territoire, dont l'électrification répond au désir d'y créer des noyaux d'attraction pour les Congolais, d'y développer l'artisanat et d'en former des centres d'intérêt économique, sans omettre le service de petites industries existantes. Pour ces centres, des puissances de 50 à 100 kW sont prévues ;

3^o Environ 50 centres, dont l'électrification s'effectuerait en cas de réussite des essais dans les centres-pilotes : il s'agit de centres commerciaux et de chefs-lieux de territoire de deuxième rang offrant quelque perspective d'instauration d'une action sociale et de développement économique à long terme. Puissances unitaires envisagées : 15 à 20 kW ;

4^o Sur ce programme se greffe, dans un but de coordination générale, l'érection de deux usines hydroélectriques de 700 et de 400 kW dans le Kivu ; elles sont destinées à fournir, dans les conditions spécialement favorables l'énergie électrique au milieu rural circonvoisin avec une charge de base garantie au départ.

A un stade futur :

5^o En cas de réussite de l'expérimentation dans les

centres-pilotes, il est prévu d'étendre l'électrification rurale à 30 centres indigènes, outre 40 centres tertiaires.

Il a été nécessaire de sérier les réalisations conformément à l'ordre de priorité reproduit par ce schéma, en raison de l'impossibilité matérielle de les mener simultanément de front : chaque point énergétique requiert une étude préalable, le concours d'une équipe spécialisée pour l'exécution, et la formation de cadres techniques en exploitation.

Dans la généralité des cas, la solution thermo-électrique diesel s'impose, l'alimentation par centrale hydraulique étant exceptionnelle.

L'aspect financier du problème

Nous produisons ci-dessous les résultats d'une étude récente de notre service technique :

Voici la ventilation *des coûts d'investissement* :

1 ^{re} étape : 22 centres de puissances 300 à 200 kW :	100 millions
2 ^e étape : 33 centres de puissances 100 à 50 kW :	100 »
3 ^e étape : 50 centres de puissances 20 à 15 kW :	75 »
Total	: 275 millions de
	F congolais.

Les *charges d'exploitations et les charges financières* (intérêt — amortissement), non couvertes par les recettes, calculées suivant des taux raisonnables et semblables à ceux adoptés pour les centres en exploitation, sont estimées à 15 millions de F/an, pour chaque groupe de réalisations, éventuellement réductibles à 10 millions pour le 3^e stade.

Les *dépenses spécifiques d'investissement* sont chiffrées comme suit :

I. OUVRAGES DE PRODUCTION

A. Centres secondaires

— Ouvrages hydroélectriques ;

Puissance installée en kW (*)	100		500		1.000	
	B.C.	H.C.	B.C.	H.C.	B.C.	H.C.
Immobilisés en F/kW installé	75.000	50.000	60.000	35.000	50.000	25.000

— Usines thermiques.

Puissance installée en kW	150	375	750
Immobilisés en F/kW installé	20.000	19.000	17.000

B. Centres tertiaires

— Usines thermiques :

Puissance installée en kW	15	25	60
Immobilisés en F/kW installé	30.000	25.000	20.000

Le coût en réalisation hydro est difficile à supputer pour des microcentrales, puisque tributaire des contingences locales d'aménagement hydraulique : par lui-même l'équipement électromécanique ne représente pas une grande charge, le coût de certains petits agrégats hydroélectriques complets ne dépassant pas 2.500 F par kW de capacité. D'autre part l'éloignement du site reste un paramètre de première grandeur.

II. TRANSPORTS H. T.

Dans l'éventualité où l'ouvrage de production ne se trouverait pas à proximité du centre d'utilisation, il

(*) B.C. : basse chute
H. C. : haute chute.

faudrait compter pour le transport à 6,6 kV (ou 15 kV) une dépense de premier établissement de 500.000 F pour les postes d'extrémité + 250.000 F par kilomètre de ligne.

III. DISTRIBUTION

Selon développement du réseau les dépenses à prévoir atteindront :

feeders en câble souterrain de 16 à 25 mm ²	: 200 F par m posé
lignes secondaires en câble P.V.C.	: 150 F par m posé
lignes aériennes sur poteaux en bois imprégné :	80 F par m posé

En général, les réseaux secondaires nécessitent l'établissement de 3 à 4 km de circuits H. T. à 150/200 F/m et 2 ou 3 sous-stations à 200.000 F/unité.

Voici les *investissements spécifiques totaux* nécessaires pour l'électrification de centres mineurs :

Puissance d'équipement thermique en kW installé	100	50(*)	25(*)
Immobilisé en F/kW disponible	50.000	50.000	55.000

Pour le cas d'équipement hydraulique l'immobilisé atteindrait de 75.000 à 100.000 F/kW.

L'aspect technique du problème

L'électrification des milieux ruraux, sous-développés et d'une extrême dispersion au Congo, pays de mince couverture démographique, soulève des problèmes sans commune mesure avec ceux des pays anciens, à population dense, assortis d'équipements de haute technicité :

A. Au point de vue de la production

La capacité d'ordinaire modeste des usines génératrices est un facteur de renchérissement du kilowatt installé, comme les chiffres précédents l'on fait ressortir.

(*) Sans réserve.

Ils reflètent aussi l'incidence aggravante de la réserve (commune ou individuelle) inévitable en raison de l'isolement ; ainsi que celle de pièces détachées ; elle rehausse le coût du kilowatt disponible au prorata du petit nombre de groupes actifs, et de l'éloignement des ateliers du constructeur. Les charges accrues de transport et le déclassement pour ambiance tropicale, sont de nouvelles causes de cherté des installations. Nous avons aussi montré à quel point l'incertitude planant sur la prévision des besoins de puissance et l'insistance des demandes d'énergie au démarrage de la distribution, obligent à suréquiper les installations électriques. Ces difficultés ne sont pas exclusives à l'Afrique belge mais se rencontrent, en pays d'outre-mer de l'Union française [1].

B. *Point de vue de la distribution*

La dissémination des milieux ruraux, villages, tribus ou clans, dans l'étendue de la brousse sauvage, les distances ou certains obstacles naturels qui les séparent, l'indigence de leurs ressources peu ou pas mises en œuvre, les charges exorbitantes des lignes de transport de force... autant d'incoercibles obstacles matériels à l'électrification accélérée de ces groupements. De plus, les sujétions précitées de climat, d'acheminement de l'appareillage et d'isolement électrique, affectent au même degré les circuits distributeurs que les ouvrages de production. Les répercussions des influences climatiques sur l'isolement et l'échauffement seront d'ailleurs revues en détail dans une prochaine étude. Ces contingences antagonistes excluent toutes possibilités d'interconnexion ni de simple ramification des lignes H. T. en M. T. à partir de centrales plus ou moins puissantes.

La limite économique de transport du courant à partir d'une usine de petite taille est naturellement sous la dépendance des conditions locales : par exemple, pour des centrales hydroélectriques le rayon d'action limite

au Congo serait censé atteindre 15 km, mais ce ne peut être qu'une supputation très approximative, eu égard à l'influence décisive des conditions de site. Comme pour l'eau potable, ont été calculées des distances économiques de distribution : ce problème a été traité graphiquement par MM. BALFOUR et BEATTY.

Concept d'équipement des petits centres — Le programme d'infrastructure

A) *Usines génératrices*

Les exigences d'économie et de simplification primant sur toutes autres en pays neufs, même au dépens de la qualité technique de production, doivent dicter le choix de l'équipement et les concepts d'installation. Les dispositions prévues sont assimilables à celles adoptées en pays neuf, notamment pour l'Algérie.

I. USINES THERMO-ÉLECTRIQUES

A. *Matériel* : Nécessairement standardisé. Par centrale un seul groupe électrogène type autonome, monté sur châssis massif mais amovible ; accouplement direct entre moteur et alternateur.

Nombre de cylindres réduit en vue de limiter les risques d'avaries et l'importance du stock de rechanges :

- 6 pour les groupes de 100 — 50 — 40 kW ;
- 4 pour les groupes de 25 kW ;
- 2 pour les groupes de 15 kW.

Dans le même but, la construction doit être extra robuste, notamment par limitation du nombre de tours à 600 t/m pour les groupes de 100 kW — à 1.000 t/m pour ceux de 40 — 25 et 15 kW.

Pas de réserve dans la centrale diesel, mais il est prévu

une réserve commune à un groupe de centrales fonctionnant dans un même secteur.

Les habituels dispositifs de sécurité indispensables en cas de : survitesse — baisse de pression d'huile — échauffement anormal.

Excitation simplifiée : nos services techniques ont opté en faveur de l'excitatrice MAGNICON pour les groupes de 100 kW, afin de prévenir l'impossibilité d'un rebobinage sur place des enroulements supplémentaires ; et pour les petits groupes : l'auto-réglage de la génératrice par redresseurs au sélénium.

Un portique roulant de 500 kg, pour réparations et entretien complète l'équipement des petites centrales diesels ; en outre l'expérience de nos exploitations d'Afrique a révélé l'opportunité de pourvoir chaque usine d'un équipement d'épuration du *gasoil*, ce combustible étant fourni en fûts et souvent pollué : centrifugeuse ou dispositif de décantation-filtration. C'est une précaution très indiquée pour soustraire les installations aux risques d'incidents ou d'avaries.

B) *Construction* : standardisée autant que possible.

Il est prévu, compte tenu des possibilités d'extension :

— pour les installations de 100 à 40 kW : bâtiment de 8×12 m minimum, pouvant abriter 2 groupes électrogènes de 100 kW et un poste élévateur ;

— pour les installations tertiaires : bâtiment de 5×10 m maximum, pouvant abriter 1 groupe unique de 100 kW.

L'implantation sera au centre de gravité de l'utilisation. La continuité de service n'est pas toujours de rigueur pour des groupements isolés et dans des régions peu accessibles.

En toute hypothèse, le fonctionnement doit demeurer à la portée d'un personnel de qualification sommaire à

l'exclusion, par conséquent, de toute éventualité de marche en parallèle ; c'est l'un des motifs de limitation à un groupe par centrale. Il serait recommandable d'adopter la pratique suivie avec efficacité par nos confrères des réseaux du Sud-Algérien [1] ; l'entretien simple étant confié à un artisan selon des consignes précises, accomplies périodiquement ; toutes autres opérations étant prohibées par plombage des organes des groupes ; en outre, l'exploitant local remplit les documents d'usines habituels. Chaque trimestre aurait lieu une vérification du groupe sur place par un spécialiste européen ayant son centre d'attache au poste principal du secteur ; il aurait aussi dans ses attributions tous travaux de contrôles supplémentaires et renouvellements de pièce. Enfin, après 12.000 à 15.000 h de fonctionnement, le groupe serait revisé ou remplacé. Il est visible qu'une organisation de l'espèce s'accommoderait d'un minimum de personnel d'exploitation.

II. CENTRALES HYDROÉLECTRIQUES

Le cas des *microcentrales hydrauliques* a été précédemment considéré. L'on nous permettra de revenir sur le sujet en raison de son intérêt économique certain, là où existe une ressource hydroélectrique convenable. De telles possibilités se rencontrent dans les régions à relief tourmenté des bourrelets sud et est de la cuvette.

Pour les centres tertiaires, la solution réside sans conteste dans l'usage de matériel préfabriqué, sûr, peu coûteux extra simple et robuste, automatique, interchangeable, et dont l'installation comme l'entretien demeurent à la portée d'un manuel sans qualification technique. Cet ensemble de conditions est réalisable, nous l'avons vu, il n'en faut d'autre preuve que la solution pratique apportée dans divers pays au problème de la petite production autonome de l'énergie.

III. LES MICROCENTRALES ÉOLIENNES semblent appelées aussi à une certaine diffusion. Pour atteindre à une claire vision du problème, il reste néanmoins à délimiter les possibilités d'exploitation d'après les résultats d'une mise en observation méthodique des régimes de vitesses du vent et des énergies spécifiques récupérables : investigations à entreprendre et à poursuivre durant plusieurs années avant d'autoriser des conclusions fermes. Comme pour l'énergie hydraulique, chaque équipement constitue un cas d'espèce modulé sur le faciès du site.

Il a été objecté, non sans pertinence, que la mise en réserve de l'énergie, qu'elle soit éolienne ou hydraulique ou même celle des combustibles organiques, implique inévitablement des charges assez élevées en pays tropicaux; et l'utilisation annuelle à escompter restera faible.

Pour des petits besoins locaux tels qu'alimentation de centres tertiaires, agglomérations rurales, services d'eau, centres scolaires ou médicaux, la restriction du fonctionnement à une dizaine d'heures par jour serait prévue. L'emploi de batteries d'accumulateurs électriques accouplées aux éoliennes aura pour effet certain de majorer le coût du kWh en proportion du niveau d'autonomie désiré. Pour tourner la difficulté, il suffirait de faire appel à une ressource de complément : la pointe peut-être passée au moyen d'un petit groupe électrogène de type classique, à essence, pour les besoins réduits de lumière, ventilation... Dans cette alternative, le rôle imparti à l'éolienne est de faire face aux besoins dispensant d'une accumulation énergétique : relèvement de l'eau, petite force motrice artisanale, etc. Toutefois de telles associations de sources non traditionnelles d'énergie avec des sources classiques, impliqueront des études et des applications expérimentales en centre-pilote, afin de bien définir les modalités d'une exploitation combinée en milieu rural.

IV. Dans le même ordre de grandeur d'usines génératrices pour centres tertiaires, rappelons l'emploi aux

États-Unis et en A. E. F. de *petits groupes à vapeur* rudimentaires de taille « miniature », depuis 2 ch jusqu'à quelques dizaines de ch, très légers, mobiles, mais robustes et simples, d'aussi surprenantes performances ayant pour contrepartie un faible rendement. Ces petits engins s'adaptent très bien à l'utilisation de déchets végétaux, et notamment aux centres d'égrenage du coton, usines à café (dont les parches sont combustibles...) et autres installations *self-supporting*.

Que l'on ne se méprenne point sur la portée de ces commentaires : il est évident que le concept de micro-centrale ne saurait être tenu pour une panacée à tous usages ; chaque formule a son rôle dévolu par les contingences locales, mais de toute manière, il faut tendre à des concepts d'exploitations simples, à bas prix et de caractère artisanal.

C'est la seule solution acceptable pour la production d'énergie à l'échelon local, conditionnée par la modicité des consommations et par l'éloignement de grandes centrales électriques.

B. Réseaux de distribution

Les principes généraux admis sont les suivants :

1° *Les lignes aériennes* isolées sur poteaux en bois imprégné constituent la solution rentable dans les lieux où l'encombrement de la végétation n'est pas à redouter. Cette formule rencontre, du reste, un universel regain de faveur dans de nombreux pays même ceux à l'avant-garde du progrès électrotechnique. Les avantages en sont bien connus : économie, légèreté, aisance de manipulation sans dégâts aux cultures... Au Congo belge l'*Eucalyptus* sp. dans l'est, et le *Polyalthia suaveoleus*, à l'équateur, sont les essences convenant le mieux au débitage de supports droits de 8 à 12 m, d'une résistance à l'encastrement de 750 kg/cm², cadrant avec les normes

sud-africaines, pour les lignes de distribution rurale B.T. et H.T. Aux essais dynamométriques les points de rupture correspondaient à des efforts en tête de 2.500-3.000 kg pour *Eucalyptus* sp. et d'env. 4.000 kg pour *Polyalthia* S.

REGIDESO a mis en service des lignes à 15 kV, avec appuis de 0m35φ à la base, fiche d'1m65 sans fondation (sauf en terrain marécageux), 3 conducteurs de phase de 50 mm² à 16 mm², fil de garde de 25 mm² monté en tête à 11 m 50 du sol, portée 100 m. Les coefficients de sécurité adoptés sont : 5 pour les supports en alignement, soumis à des contraintes temporaires et alternatives ; 7,5 pour les supports d'angle (2 poteaux jumelés et boulonnés), soumis à des contraintes permanentes et unilatérales.

Afin d'assurer aux supports des lignes aériennes une longévité satisfaisante il s'impose de protéger le bois contre les divers agents destructifs qui opèrent en milieu tropical : humidité ; microorganismes spécifiques de la pourriture fongique ; termitides, coléoptères et autres insectes lignivores. Sous leur action pernicieuse, parfois soudaine mais dissimulée, les principes azotés de la sève s'altèrent, les fibres se disjoignent, les tisons ligneux sont désorganisés ou décomposés.

En collaboration avec un spécialiste M. L. LEBACQ, Conservateur du Musée royal du Congo belge, REGIDESO a mis au point un nouveau procédé d'injection profonde du bois vert dénommé « par aspiration ». Cette technique, conçue par M. LEBACQ, est exposée en détail dans une plaquette dont émanent ces informations. Elle participe de l'ancien procédé du D^r BOUCHERIE réalisant une succion de la sève dans les vaisseaux à l'aide de ventouses avec injection simultanée du liquide antiseptique et de la méthode d'imprégnation par osmose à travers les canaux et membranes cellulaires du bois.

Dans les cuves de traitement, la solution sodique triple

($\text{NaF} + \text{Na}_2\text{ASO}_4 + \text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) se substitue à la sève au fur et à mesure de l'aspiration de celle-ci par un dispositif de pompes à vide, réservoirs et rampes de vide, flexibles et ventouses. Les sels diffusent dans les tissus à travers les punctuations dont sont transpercées les parois latérales des vaisseaux en donnant issue jusqu'au parenchyme et aux rayons médullaires qui forment accumulateurs de réserve pour les périodes de végétation...

Les poteaux sont maintenus dans le bain durant 24 heures après l'aspiration, puis stockés 3 semaines, délai requis pour l'achèvement de la réaction sur les matières albuminoïdes de la sève avec formation de composés insolubles assurant la résistance au lessivage du bois.

L'usine d'imprégnation peut être stationnaire, ou mieux, mobile.

La tête des poteaux est protégée par un chapeau en tôle galvanisée et l'armement, en quinconce, fixé par un clamage respectant l'intégrité du bois...

Vu la hauteur réduite des supports, les lignes seront constituées de fils V. I. F. B. isolés au P. V. C. ; le heurte étant mis à la terre à chaque dérivation. En outre, des parafoudres B. T. sont prévus sur les axes et les antennes de grande longueur.

Dans les centres où l'établissement d'un réseau à haute tension s'impose, les postes de transformation seront constitués d'ensembles monoblocs blindés, permettant d'en confier la surveillance et les manœuvres à des électriciens autochtones.

2° *Les câbles souterrains* doivent être prévus dans un certain nombre de centres en raison de la présence d'avenues arborées et d'une densité gênante de la végétation.

Les *feeders* seront constitués de câbles armés souterrains. Les lignes secondaires et les raccordements pourront être réalisés en câble V. F. A. B. isolé au plastique, armé de 2 feuilards recouverts d'une épaisse couche

de P. V. C. ; solution en vogue déjà dans les réseaux français d'Afrique noire. Les boîtes de jonction seront évitées sur ces câbles en alimentant de préférence les abonnés par bouclage sur le coffret de raccordement.

Les raccordements des maisons indigènes seront dotés de limiteurs d'intensité, à l'exception des habitations d'évolués ou d'usagers de plaques chauffantes. Les artisans, industriels, etc. sont à desservir par compteurs.

SYNTHÈSE DES ÉVOLUTIONS COMPARÉES DE L'ÉCONOMIE ET DE L'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE EN T. B. O.

Relation du développement économique avec la production d'énergie

L'interdépendance de l'essor économique du Congo, à l'égard de la production d'énergie électrique, est à ce point développée que toutes informations statistiques la concernant représentent des indices de premier ordre pour l'appréciation de la conjoncture.

Des relations évidentes de causalité réciproque unissent l'économie à l'énergie. L'électricité, c'est presque un lieu commun de le rappeler, exerce une emprise grandissante sur les activités contemporaines : elle règne, en souveraine incontestée, dans tous les secteurs d'industrialisation. Son rôle primordial dans l'accession du Congo belge au progrès technique a été précédemment mis en vedette : sans énergie électrique les gisements fabuleux de l'est seraient restés enfouis sans emploi, tandis qu'à présent prospèrent des entreprises minières de première grandeur et surgissent sans cesse de nouvelles industries. Grâce à la « fée électricité » les transports, progressivement se modernisent ; elle permet de stimuler la production en substituant à l'énergie humaine, chichement dispensée au Congo « l'esclave mécanique » venant la relayer mais avec une efficacité tellement supérieure. Elle remplace même le combustible des fours et des foyers

où sa consommation sera mesure d'un niveau de vie régi par la prospérité économique. Dans tous les domaines de l'économie, nous voyons l'énergie électrique concourir à l'augmentation de la productivité et à l'amélioration du rendement général des investissements. Ainsi l'électrification n'a de cesse d'apporter sa contribution bienfaisante au grand œuvre de relèvement du pouvoir d'achat et du standard de vie des communautés congolaises. Elle constitue une assise indispensable du progrès économique et social.

En définitive, il existe un jeu de réactions mutuelles entre la consommation d'énergie électrique, l'activité économique et le niveau de vie ; elles acquièrent toute leur prépondérance dans une économie en expansion dont les effets sont tangibles dans nos Territoires d'Outre-mer.

Un trait dominant de cette économie est son évolution structurelle : l'industrialisation progressive de la production, la création de nouvelles activités, le renforcement du marché intérieur apportent d'importants correctifs à une vue trop unilatérale présentant l'économie congolaise comme axée sur l'exportation de matières premières. Le Congo est devenu le principal producteur *industriel* de l'Afrique noire.

Pour une intelligence juste et concrète de leur structure, nous avons présenté succinctement l'état général du Congo belge et du Ruanda-Urundi dans l'*annexe* 29 sous ses 3 aspects essentiels et solidaires : situations démographique — économique — énergétique. Les résultats, consignés dans cette récapitulation statistique témoignent de la haute vitalité de l'économie congolaise, dont le dynamisme ne se dément pas. Chiffres et diagrammes placent les territoires belges d'outre-mer au rang des pays les mieux équipés et organisés d'Afrique dans les domaines économique, énergétique et social : les efforts de la Belgique ont porté leurs fruits.

Puissances des Centrales

Nous avons reproduit, à l'*annexe* 30, un relevé complet des centrales thermiques et hydrauliques, avec leurs principales caractéristiques (propriété, emplacement, puissances installées et de réserve, productions annuelles d'énergie). Il révèle la prépondérance des autoproducteurs.

Pour faciliter la vision d'ensemble de l'évolution intervenue au cours des dernières années, ont été regroupés au *tableau 11* les chiffres totaux des puissances installées avec ventilation par province (d'après les bases statistiques actuellement disponibles) :

Tableau 11. — Répartition des puissances en kVA des centrales hydroélectriques et thermiques des T. B. O. fin 1957 par provinces et pour le Ruanda-Urundi.

Provinces	Hydro-électrique	Thermique			Total général
		Vapeur	Diesel	Total	
Léopoldville	69.375	5.576	22.300	27.876	97.521
Équateur	—	363	3.040	3.403	3.403
Orientale	32.288	1.983	4.423	6.406	38.694
Kivu	29.219	1.475	9.605	11.080	31.299
Katanga	631.335	15.450	29.328	44.778	676.113
Kasai	12.500	2.275	3.106	5.381	17.881
Total C. b.	765.717	27.122	71.802	98.924	864.641
Territoires R.U.	930	238	7.634	7.872	8.802

Comme il est patent, la répartition des puissances entre provinces s'avère fort inégale : le Katanga seul intervient à raison de 78 % ; le Ruanda-Urundi, entité distincte, fort mal desservi antérieurement, recevra dès 1958 un spoint de puissance de 1.250 kVA par l'entrée en activité de la centrale REGIDESO à Kisenyi et dès 1960 de 13.150 kVA par la centrale de la Taruka de la Société DES FORCES HYDRO-ÉLECTRIQUES DE L'EST.

Les réalisations en cours porteront à 824.420 kVA le total de la puissance hydroélectrique installée d'ici 1962.

Des projets sont établis pour renforcer l'équipement des T. B. O. jusqu'à concurrence de 443.200 kVA, soit d'environ 54 % ⁽¹⁾.

Intéressante à considérer est la répartition de la puissance installée entre les sources hydraulique et thermique, avec son évolution dont on trouvera le détail au *tableau 12* :

Tableau 12. — Répartition des puissances hydraulique et thermique.

Année	Puissance thermoélectrique	Puissance hydroélectrique kVA	Puissance totale kVA	Hyd /tot. en %
1952	76.314	225.666	301.980	74,7
1953	84.202	271.136	355.338	76,3
1954	89.939	368.571	458.510	80,4
1955	113.236	423.575	536.811	78,9
1957	98.924	765.717	864.641	88,6

Dès à présent, la confrontation de ces données fait ressortir la suprématie marquante de l'énergie hydroélectrique dans le bilan énergétique d'ensemble, soit près de 80 % de la puissance totale. Celle-ci atteignait fin 1957 environ 16 % de la puissance nominale installée en Belgique (3.899 MW) et sera prochainement accrue. Une comparaison plus significative devrait porter sur les puissances développables (en Belgique 3368 MW) compte tenu des auxiliaires et déduction faite des indisponibilités en générateurs, etc., et surtout des productibilités, impossibles à chiffrer pour le Congo.

La rapidité de croissance de l'hydroélectricité est encore mise en relief par l'alignement des chiffres ci-dessous :

⁽¹⁾ Rapport annuel 1957 de la Société des Forces HYDRO-ÉLECTRIQUES DU BAS-CONGO.

Tableau 13. — Évolution de la puissance totale hydro-électrique du Congo belge (en kW) :

1930	1940	1945	1950	1955	1956	1957
40.950	93.875	97.055	146.420	338.860	525.000	625.985

Il est intéressant de relever le développement de la contribution du secteur public dans l'équipement énergétique du Congo : alors qu'en 1950, la presque totalité de la puissance était gérée par le secteur privé, à présent une évolution se dessine au profit du secteur public. L'autoproduction industrielle demeure prédominante, mais les centrales publiques alimentent un nombre croissant de centres dispersés et leur infusent un stimulant économique ; en outre, elles prennent une part importante dans la fourniture d'énergie aux grandes agglomérations (sauf celles du Katanga), à partir de centrales hydroélectriques.

Cette constatation ressort du *tableau 14* qui souligne la place que tend à prendre le secteur public dans l'ensemble :

Tableau 14. — Répartition de la puissance des centrales hydroélectriques par secteur

Année	Sociétés privées	Secteur public (1)	Total
1950	145.220	1.200	146.420
1957	489.035	136.950	625.985

Le tableau *annexe 31* indique la distribution géographique et les caractéristiques principales des centrales de la REGIDESO ; il montre clairement l'évolution suggestive du secteur public. La création de nouvelles centrales est projetée tant pour le secteur public (SOCIÉTÉS ET FORCES et REGIDESO) que pour les sociétés

(1) Ce secteur comprend Forces du Bas-Congo et de l'Est, Regideso, Sanga, Sogefor et S. E. U.

privées. Dans un très prochain stade, le potentiel électrique équipé atteindra le triple de son niveau actuel.

Bien que les régions de l'est du Ruanda-Urundi soient appelées à bénéficier des aménagements entrepris pour remédier au déséquilibre entre provinces dans leur approvisionnement en sources d'énergie, la disparité continuera de subsister : le Katanga et le Bas-Congo demeureront naturellement favorisés, l'un par ses ressources minières, l'autre par sa situation géographique.

Production d'énergie électrique. Produit national brut

Les évolutions comparées de la production d'énergie électrique et du produit national brut sont indiquées au tableau suivant, d'après les publications de la Banque centrale du Congo belge et du Ruanda-Urundi, dont une étude consacrée à l'« Électricité au Congo », à laquelle seront faits de larges emprunts [7]. Ces données statistiques traduisent avec une lumineuse évidence le synchronisme dans les développements de la production et de l'énergie. Elles révèlent la tendance continue à l'élévation de la consommation d'électricité parallèlement à celle du revenu national, donc du niveau de vie. Nous les avons complétées pour 1957.

Tableau 15. — Évolutions comparées de la production d'énergie et du produit national brut.

Année	Énergie électrique en MWh				Produit national brut			
	Hydraul.	Thermique	Total	Indice	En millions de FC	Indice 1950 = 100		
						Valeur	Volume	Prix
1950	718.055	31.257	749.312	100	33.700	100	100	100
1951	812.495	35.926	848.421	113,23	44.850	133	112	118,8
1953	1.028.913	49.228	1.078.141	143,88	51.150	152,1	129,4	117,5
1955	1.152.250	244.238	1.396.488	186,37	57.790	171,5	142,6	120,3
1956	1.810.812	115.912	1.926.724	257,13	61.150	181,5	151	120,2
1957	2.379.513	126.504	2.506.017	334,44	60.210	178,7	157,4	113,5
1955	1.152.250	244.238	1.396.488	186,37	57.790	171,5	142,6	120,3
1956	1.810.812	115.912	1.926.724	257,13	61.150	181,5	151	120,2
1957	2.379.513	126.504	2.506.017	334,44	60.210	178,7	157,4	113,5

Signalons une régression partielle de l'hydroélectricité en 1955 : elle est due à une sécheresse prolongée ; la contrepartie a été assurée par la mise en marche d'un important complexe thermoélectrique du l'U. M. H. K. (Diesels et turbos), ce qui a contribué à faire hausser la production thermique au quintuple par rapport à l'année précédente.

La montée continue de la charge des réseaux se dégage avec netteté de ces données, en particulier pour les fournitures couvertes par l'hydroélectricité : de 399.314 MWh en 1940, nous voyons le total de celles-ci s'élever à 718.055 MWh en 1950 et atteindre 2.379.513 MWh en 1957.

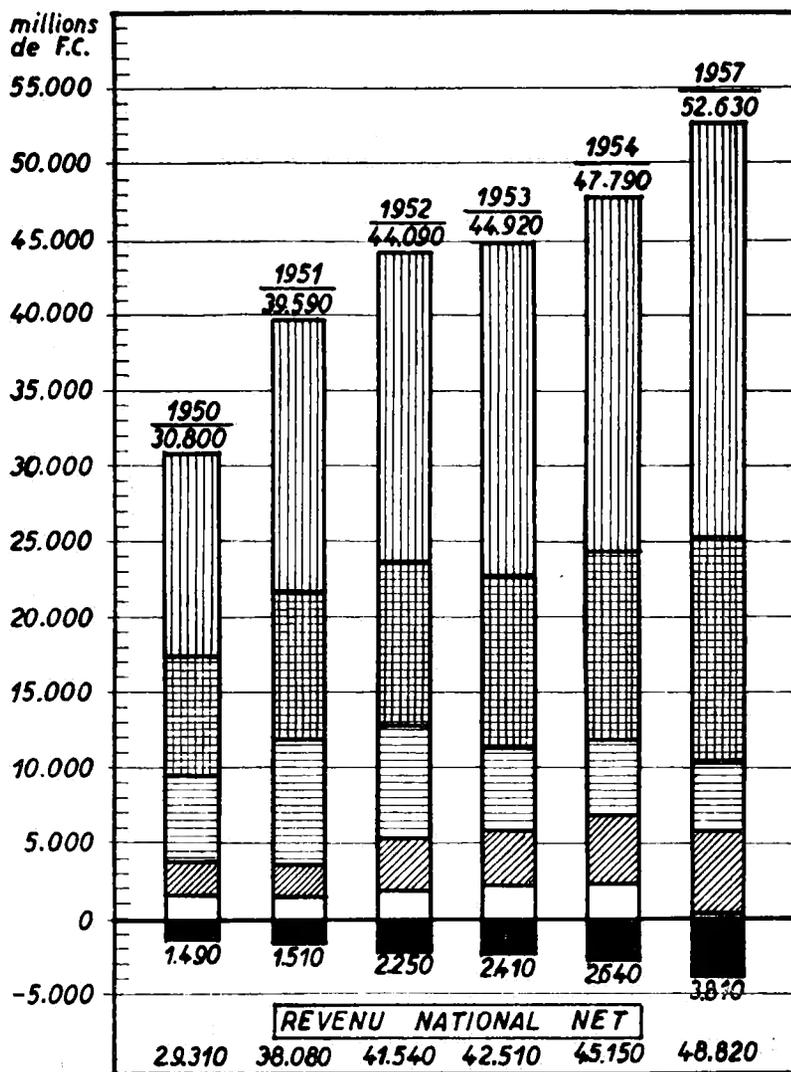
Le taux de développement annuel moyen de la production hydroélectrique au Congo belge est de 29 % pour la période de 1940 à 1957. Ce taux se situe parmi les plus élevés du monde.

Afin de compléter cette série d'éléments d'information statistique nous avons joint :

1° Le *graphique 1* où est illustrée (en jeu d'orgue) la *répartition du revenu national* par tranches d'utilisations, le *tableau 32* et le *graphique (curviligne)* lequel représente (en simples coordonnées décimales) les *évolutions comparées de la production nationale, de la production industrielle et des consommations d'énergie électrique* ;

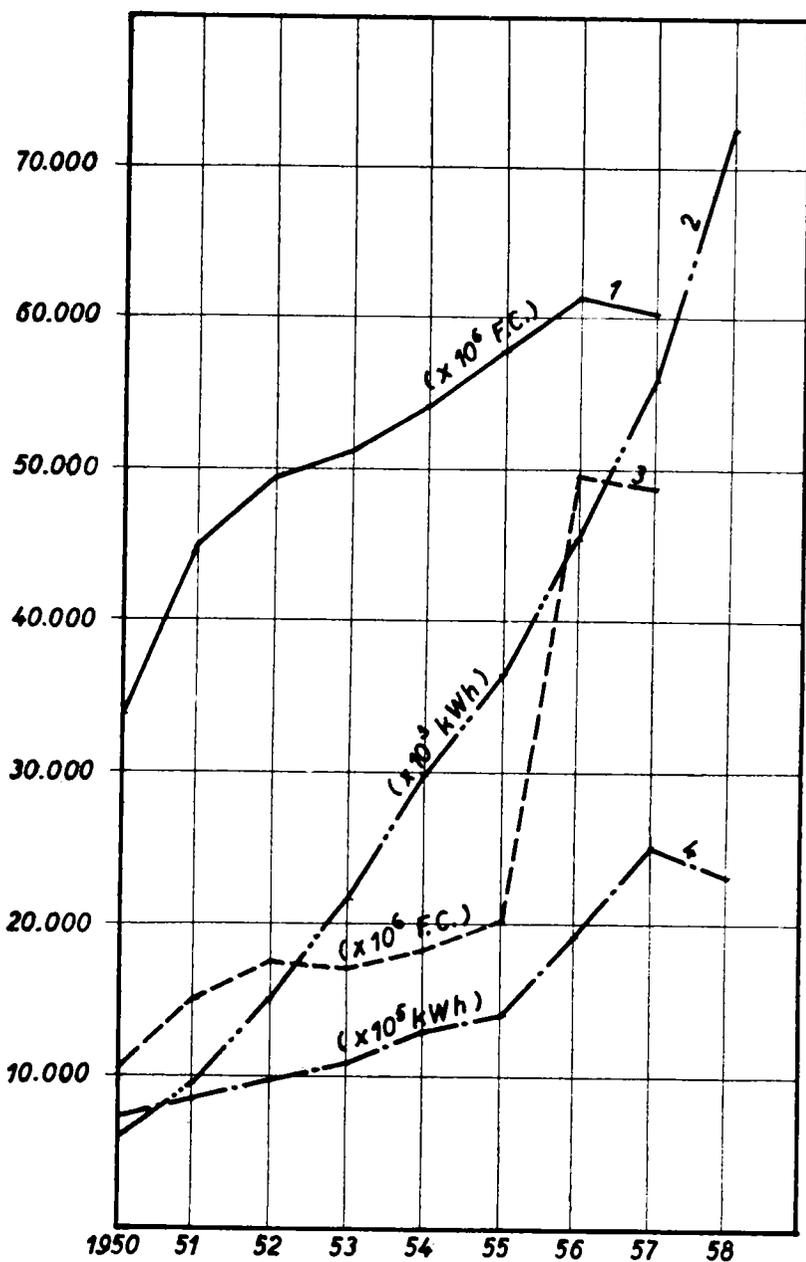
2° La transposition du même diagramme en coordonnées logarithmiques suivant *graphique 3* explicite ces évolutions de manière proportionnelle en prenant pour indice de base $I = 100$, la référence à l'année 1950. Cette présentation des résultats permet de dégager en pleine clarté la corrélation entre le développement énergétique et l'activité industrielle.

Pour le groupement des exploitations de la Régie, les données numériques ont pu être rassemblées jusqu'au 1.1.1958.



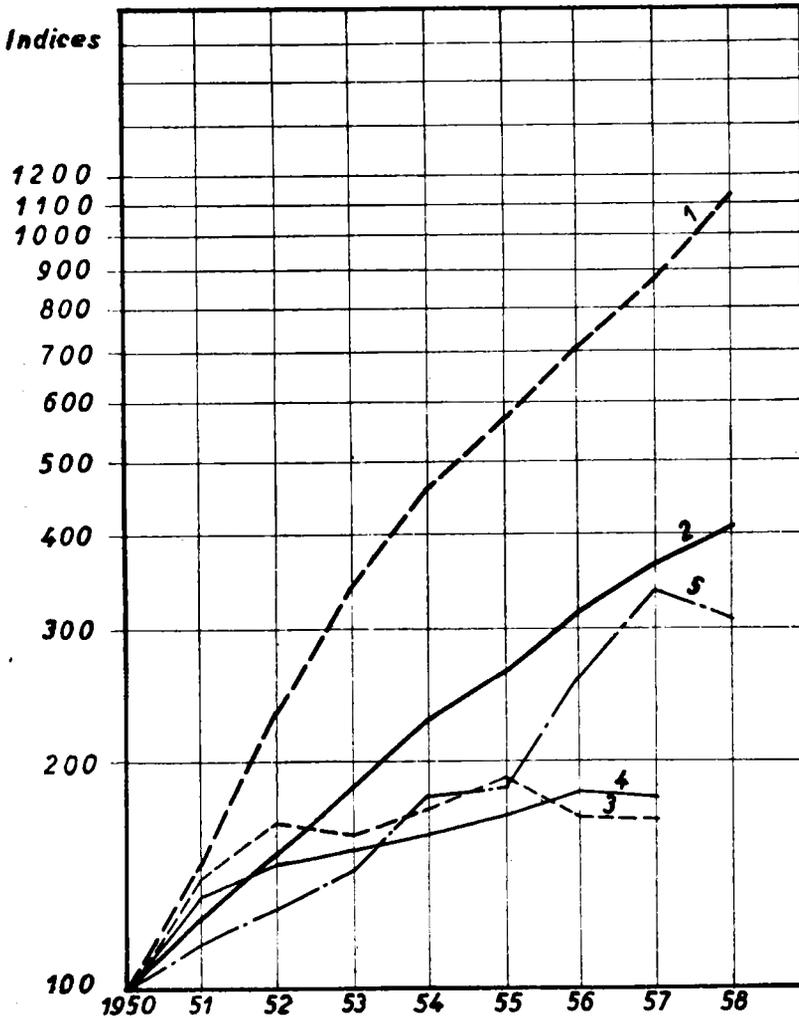
GRAPH. N° 1. — Revenu national (en millions de F.C.).

- Revenu des Congolais (salaires et revenus d'entreprise)
- Revenu des Européens (salaires et revenus d'entreprise)
- Épargne des sociétés.
- Revenu de la propriété
- Impôts et salaires payés au reste du monde
- Revenus perçus par le reste de la population.



GRAPH. N° 2. — Évolutions comparées du produit national, du produit industriel, des ventes d'énergie électrique de la Régie et de la production totale d'électricité des T. B. O. en valeurs

1. Produit national brut ($\times 10^6$ FC).
2. Ventes ($\times 10^3$ kWh) Régie.
3. Produit industriel ($\times 10^6$ FC).
4. Production totale d'électricité ($\times 10^5$ kWh).

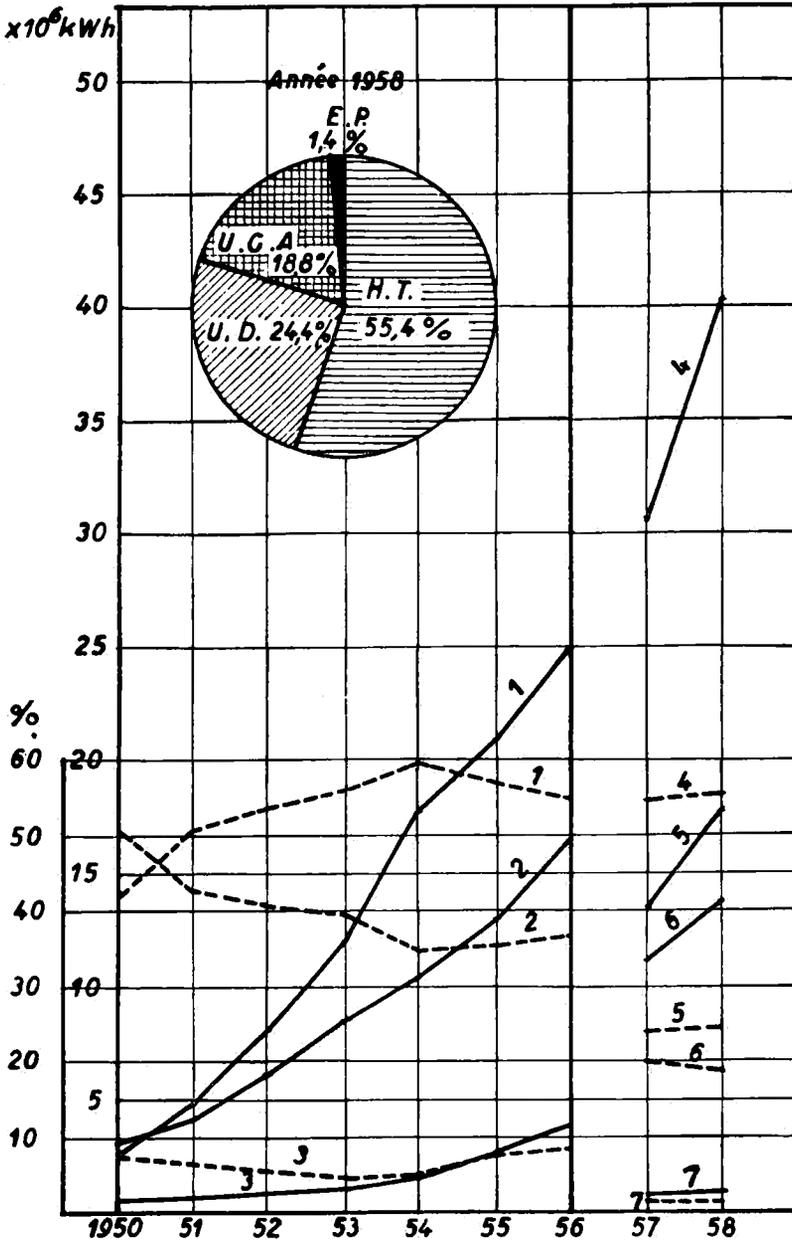


GRAPH. N° 3. — Évolutions comparées du produit national, du produit industriel, des ventes de courant de la Régie et de la production totale d'électricité des T. B. O. *en indices*.

1. Évolution des ventes Regideso.
2. Évolution de la somme des ventes des distributeurs.
3. Évolution du produit industriel.
4. Évolution du produit national brut (en FC).
5. Évolution de la production totale d'électricité des T. B. O.

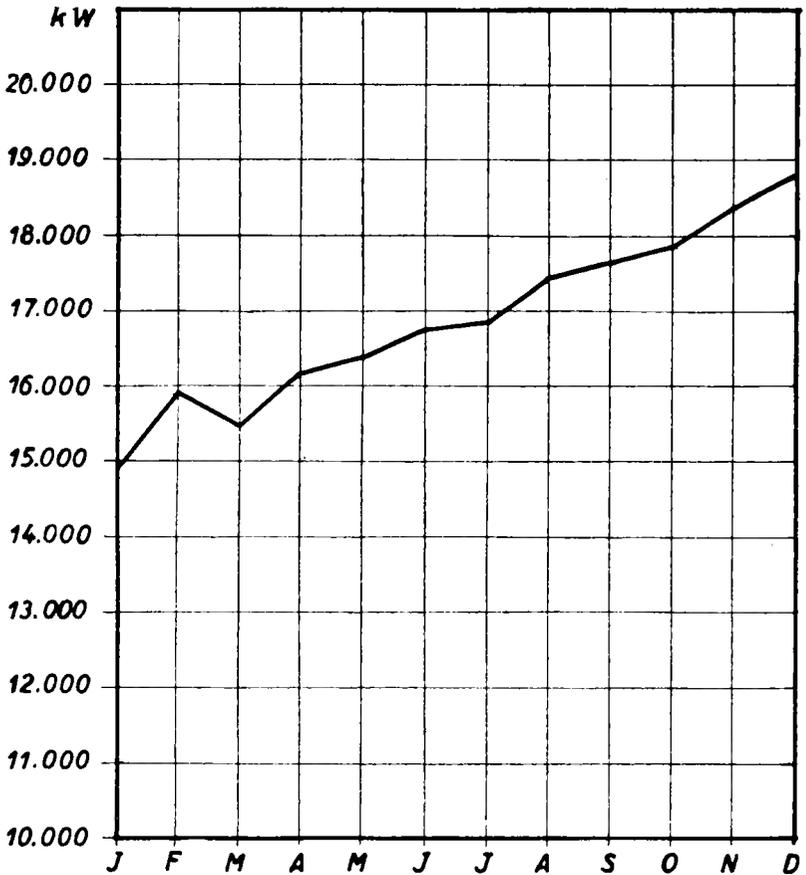
Le *tableau 23* (page 358) nous donne la *répartition chiffrée des ventes d'énergie électrique de la Régie par secteurs d'utilisation* ; elle est figurée graphiquement au *graphique 4*, faisant ressortir la progression (en valeur absolue) de chaque groupe de consommations d'électricité. Sur le même graphique ont été tracées les courbes de consommations relatives pour ces différents groupes (les pourcentages sont calculés en prenant comme base 100 la vente totale de l'année). Il importe de considérer que cette répartition, essentiellement locale, n'a rien d'immuable ; elle est appelée éventuellement à se modifier dans une large mesure pour une exploitation déterminée, par exemple à la suite de l'installation d'une grosse usine (cotonnière, etc.) dans un centre secondaire déjà équipé.

L'évolution de la charge totale de nos centrales électriques au cours de l'année 1958 a été représentée au *graphique 5*. Empressons-nous d'ajouter que cette figuration doit être tenue pour précieuse parce qu'en vertu de la loi des nombres les résultats très disparates qu'elle intègre se compensent plus ou moins. Si pour certains centres à *hinterland* agricole une pointe se dessine aux périodes de récolte et de traitement des produits (coton, café), d'autres influences comme le branchement d'un gros consommateur industriel ou public peuvent modifier du tout au tout l'allure de la courbe et tendre à son nivellement. Pour des raisons analogues, il n'est pas expédient de dresser un tableau ou un graphique de l'évolution des pointes absolues de la consommation totale : l'examen des courbes individuelles dénote la plus extrême variabilité d'un centre à l'autre et parfois dans le cours d'une même période hebdomadaire d'exploitation. Il se vérifie, au Congo également, que l'élasticité de la demande d'énergie, qu'il s'agisse de la desserte des collectivités urbaines ou de celle des groupes ruraux, constitue l'un des traits essentiels des exploitations d'électricité.



GRAPH. N° 4. — Répartition annuelle des ventes d'énergie électrique de la Régideso.

1. Ind. & Régie %. — 2. Particul. %. — 3. Serv. Publ. %. — 4. Haute Tens. %. — 5. Usage dom. %. — 6. Us. comm. et artis. %. — 7. Écl. public. %.



GRAPH. N° 5. — Évolution de la charge totale des centrales de la Régideso en 1958

Pour les centres à *hinterland* rural tels Usumbura, Stanleyville, le diagramme des charges indique nettement une pointe saisonnière d'automne-début hiver. On la retrouve, mais émoussée, pour d'autres centres tels Matadi.

Tous ces résultats d'analyse statistique procèdent de nos dépouillements mécanographiques d'exploitation.

En ce qui concerne *la vente totale d'énergie*, dont l'évolution figure au *tableau annexe 35*, les résultats chiffrés de nos propres exploitations permettent de dégager des taux annuels moyens d'accroissement : de 40 % pour la période de 1945-1955 ; soit un multiplicateur 30 pour le niveau actuel de production d'énergie par rapport à 1945. Au rythme qui prévaut jusqu'à ce jour elle sextuplerait en 6 ans. De 1950 à 1958 la progression s'accélère jusqu'à 140 %.

Cependant l'expression de ce *trend* est forcée, sinon faussée, par l'entrée en activité d'une série de nouvelles installations de la Régie durant la dernière décade et par la référence à un niveau de départ extrêmement bas (900.000 kWh en 1945). La courbe des productions tend d'ailleurs à s'infléchir et le taux d'accroissement plausible pour la prochaine décennie semble se situer à environ 20 % l'an : telle semble être la loi de variation des consommations sous réserve des contingences futures d'ordre politico-économique.

Les différents taux, ceux afférents à l'hydroélectricité étant les plus représentatifs, dépassent sensiblement ceux de l'expansion économique générale. Ils marquent de la sorte un double développement de l'électrification du Congo, en surface et en profondeur : il est justifiable pour une large part de l'augmentation de productivité de la main-d'œuvre. A l'appui de cette observation, nous reproduisons un autre tableau très instructif, extrait de l'étude précitée [7] donnant les évolutions comparées de la production d'énergie électrique et de divers facteurs spécifiques de l'économie congolaise :

Tableau 16. — Comparaison des évolutions de la production d'énergie électrique et d'éléments de la vie économique (Situation en 1954 : base 1950 = 100)

Production d'énergie électrique	173,4
Nombre de travailleurs	119,1
Production d'énergie électrique par travailleur	145,5
Nombre de travailleurs miniers et industriels	108,8
Production d'énergie électrique par travailleur minier et industriel	159,3
Production minière par travailleur	152,6
Production industrielle par travailleur	135,4
Produit national brut à prix constants	137,7

Ces indices donnent une image très cohérente de la situation ; ils traduisent l'amélioration considérable de l'approvisionnement du Congo en énergie électrique. On y trouve aussi le reflet d'un accroissement de productivité générale de son économie. Ces progrès, nous l'avons dit, sont le résultat d'un développement continu de l'équipement tant énergétique qu'industriel ainsi que de perfectionnements apportés aux méthodes d'exploitation.

Il est intéressant de relever que *le taux annuel de croissance économique* par tête d'habitant, est fort élevé au Congo belge : il est évalué à 4,6 % par an, chiffre à rapprocher de celui de 3 % relatif à l'ensemble des autres pays en périodes de conjoncture les plus favorables, et de 2,4 % pour l'Amérique latine au cours de la période 1935/53 (d'après *Analyses and Projection of economic development* de l'O. N. U. 1955). Résultat d'autant plus expressif qu'il faut tenir compte de l'existence d'une énorme masse d'aborigènes demeurée étrangère au circuit de l'économie productive, malgré d'inlassables efforts pour l'y faire accéder.

Comme pour les évolutions de puissances et pour les mêmes motifs, les évolutions comparées de la production font ressortir :

1° Par secteurs : les progrès du secteur public dont la participation demeure encore modeste au regard de la production (87 %) afférente au seul secteur minier ;

2° Par provinces : la disparité entre leurs productions, avec une forte prépondérance en faveur du Katanga (83 %).

Également significative à cet égard paraît être, de prime abord, *l'évolution de la production électrique du nombre de travailleurs* de chaque province, reproduite de la même étude [7].

Tableau 17. — Évolution de la production d'énergie électrique par travailleur (en kWh).

Année	Léo- pold- ville	Équa- teur	Orien- tale	Kivu	Katan- ga	Kasai	Total
1950	240,-	8	197	73	4.332	94	779
1954	335,-	11	250	182	6.014	190	1.134
Évolution 1954 (1950 = 100)	139,5	137,5	126,7	249,3	138,8	202,1	145,5

En fait, ces chiffres appellent une restriction capitale : sous peine d'être dénués de valeur probante, ils devraient être rapportés à des zones électrifiées d'une délimitation très restreinte en comparaison de l'étendue du territoire. Par exemple, dans la province de Léopoldville, devrait essentiellement être pris en considération le centre industrialisé de la capitale, à rapprocher des districts miniers du Katanga ou de la province Orientale... Dans la province de l'Équateur, c'est seul le centre de Stanleyville qu'il faudrait considérer, mais comme il n'en est qu'au début de son équipement, toute possibilité de comparaison avec des centres très évolués serait exclue.

Quoi qu'il en soit, les chiffres qui précèdent indiquent un déséquilibre manifeste dans la répartition des fournitures d'énergie par province : la prépondérance énergé-

tique du Katanga, où se trouve concentré le plus riche domaine minier d'Afrique, correspond aussi à l'intensité de son industrialisation ; par essence, les industries lourdes et extractives sont des gros consommateurs de base.

Ainsi les productions d'énergie sont-elles à l'image de la structure économique de chaque région, régissant ses besoins en force motrice, et du degré de développement de son appareil énergétique.

Afin de mettre mieux en lumière l'influence du niveau d'industrialisation sur le rythme de l'électrification du Congo les résultats statistiques qui précèdent ont été rapportés aux effectifs de travailleurs des mines et de l'industrie :

Tableau 18. — Évolution de la production d'énergie électrique par travailleur industriel et minier (en kWh).

Année	Léo- pold- ville	Équa- teur	Orien- tale	Kivu	Katanga	Kasaï	Total
1950	1.367	75	673	223	11.863	320	3.012
1954	2.055	108	1.177	621	16.984	743	4.800
Évolution 1954 (1950 = 100)	150,3	144,-	174,8	278,4	143,1	232,1	159,3

Une étude socio-économique approfondie trouverait ici une place toute indiquée pour dégager l'influence positive de la mise à disposition de l'énergie électrique sur la productivité des travailleurs et sur leur niveau de vie. Faute d'avoir pu disposer d'un faisceau d'éléments concrets d'appréciation nous avons dû nous limiter à ce semblant d'esquisse.

L'intervention, encore modeste, du secteur public REGIDESO, doit être considérée comme complémentaire de celle de l'économie privée et se développe particulièrement dans les provinces les plus désavantagées au point

de vue de l'équipement énergétique : c'est ce que dévoile le tableau ci-dessous couvrant une ventilation des fournitures d'énergie entre les différentes provinces.

Tableau 19. — Évolution de la production de la Régie par province (en 1000 kWh).

Année	Léo- pold- ville	Équa- teur	Orien- tale (1)	Kivu	Katan- ga (1)	Kasaï	R. U.	Total (1)
1950	2.578	778	2.232	2.061	—	13	—	7.662
1951	3.731	854	2.727	3.164	—	610	—	11.086
1952	4.893	1.018	4.060	4.465	—	1.482	1.317	17.235
1953	6.373	1.102	6.131	5.995	111	2.230	2.534	24.476
1954	9.686	1.329	7.726	6.489	1.737	3.187	1.745	31.899
1955	11.674	1.731	4.580	6.695	64	4.378	2.883	32.005
1956	12.692	2.157	155	7.533	5	5.453	4.688	32.683
1957	11.744	3.272	275	11.607	10	7.284	5.735	39.927
1958	16.507	4.241	326	10.456	257	7.342	8.086	47.215

Le degré d'électrification relatif des différentes économies provinciales se dégage du tableau suivant qui complète la physionomie d'ensemble de la répartition énergétique.

(1) Les régressions de fourniture d'énergie accusées par ces chiffres dans l'ensemble et en particulier pour les provinces Orientale et du Katanga ne sont qu'apparentes : elles résultent de la désaffectation de centrales thermiques dont la production a définitivement fait place à des rachats d'énergie hydraulique de la Régie à d'autres producteurs du secteur public : Sociétés de Forces hydro-électriques et Base Militaire de Kamina respectivement.

Compte tenu de ces rétrocessions d'énergie la vente totale de la Régie pour les exploitations du Congo belge et du Ruanda-Urundi passe de 41.581.848 kWh en 1955 à 72.666.882 kWh en 1958.

Tableau 20. — Comparaison entre la production économique et l'industrie de l'électricité des diverses provinces.

Provinces	% dans la valeur totale des productions agricoles, minières et industrielles en 1952	% dans la production d'énergie électrique au Congo belge en 1952
Léopoldville	19,1	8,8
Équateur	9,5	0,1
Province Orientale	14,1	4,7
Kivu	9,4	2,3
Katanga	37,4	82,8
Kasaï	10,5	1,3
	100,-	100,-

De nouveau, une réserve de poids s'impose : le rapprochement fait ici entre la production d'énergie, en réalité circonscrite à des centres localisés, et le produit économique d'une province prête le flanc à la critique, il faut en convenir. Il n'a qu'une valeur d'indication, toute relative en ce sens qu'ici encore s'accusent les disproportions dans les fournitures d'électricité selon provinces : ainsi voyons-nous le Katanga faire exception par une valeur très largement positive, excédentaire, du rapport entre le quantum d'énergie et le quantum de production ; ailleurs ce rapport est négatif.

L'utilisation, ou rapport de l'énergie produite à la puissance installée, varie beaucoup d'une région à l'autre, une forte distorsion se marquant à l'avantage de la province de Léopoldville et encore du Katanga, régions les plus denses et hautement industrialisées ; les autres provinces dont l'état d'évolution économique est moins avancé, sont loin en arrière mais tendent à progresser [7].

Tableau 21. — Utilisation des centrales électriques au Congo belge en 1954 (*).

Léopoldville	4.400
Équateur	900
Province Orientale	2.900
Kivu	2.600
Katanga	3.800
Kasaï	1.600
Territoire	<u>3.700</u>

Consommation unitaire d'énergie

La consommation d'énergie par habitant est fort variable d'un pays à l'autre, l'Amérique du Nord et l'Europe, surtout la Scandinavie, figurant, comme l'on sait, parmi les très gros consommateurs ; dans les pays sous-développés les consommations *per capita* tombent à des chiffres communément dérisoires et des évaluations de l'espèce sont sans pertinence.

L'étude compulsée [7] indique le taux de consommation d'énergie électrique par travailleur industriel pour le Congo belge, en regard des estimations relatives à d'autres pays.

Tableau 22. — Consommations d'énergie électrique dans l'industrie, par ouvrier ou employé effectivement au travail en 1952 (en 1000 kWh) **.

Norvège	27,4	Allemagne Occidentale	5,-
États-Unis d'Amérique	13,9	Autriche	4,9
Suède	12,5	Pays-Bas	4,5
Finlande	11,6	Tchécoslovaquie	4,2
Sarre	6,9	Royaume-Uni	4,-
Italie	6,8	Hongrie	3,7
France	6,4	Pologne	3,5
Belgique	6,2	Danemark	3,4
Suisse	5,8	Bulgarie	2,3
Europe totale	5,3	Roumanie	2,1
Allemagne Orientale	5,1	Irlande	1,5
		Congo belge (1954)	4,8

(*) Rapport kWh produits/kW installés.

(**) Source : Conseil Économique et social des Nations Unies.

La place prépondérante de la Norvège est imputable au développement de son électrochimie, grande consommatrice d'énergie ; pour la Suède, à celui de l'industrie du papier [38]. Depuis l'établissement de cette statistique, le taux unitaire afférent au Congo belge est passé à 7,9 : le situant ainsi au nombre des pays d'un niveau de consommation énergétique assez élevé, tout en impliquant un niveau de vie satisfaisant, mais inégalement réparti, et pour cause. Cette position procède, pour une part sensible, de l'importance du facteur minier dans l'économie congolaise ; on y trouve aussi le reflet d'un degré de mécanisation relativement avancé. Il se confirme de la sorte que la structure des activités productrices exerce un rôle déterminant. La consommation spécifique d'énergie atteint en effet des chiffres élevés dans les productions de métaux a. q. f. : pour le cuivre et le zinc 4.000 à 5.000 kWh/t, pour l'étain 1.500 à 1.900 kWh/t ; par contraste, le ciment ne requiert que 80 à 100 kWh/t, la houille 30 à 90 kWh/t, le sucre 100 à 120 kWh/t.

Un autre élément que nous procure l'appareil statistique, est la répartition des ventes par catégories de consommateurs pour le groupe des exploitations de la REGIDESO.

Tableau 23. — REGIDESO-Répartition des ventes par catégories de consommateurs (de 1947 à 1956).

Année	Particuliers		Serv. publ. Congo		Industr. et Régie		Mwh
	1000 kWh	% du total	1000 kWh	% du total	1000 kWh	% du total	
1947	926	74	182	14,5	143	11,5	1.251
1948	1.263	72,5	244	13,9	239	13,6	1.746
1949	2.235	48,6	403	8,7	1.958	42,7	4.596
1950	3.254	50,4	497	7,7	2.701	41,9	6.452
1951	4.045	42,9	617	6,6	4.767	50,7	9.429
1952	6.130	40,5	854	5,6	8.135	53,9	15.119
1953	8.502	39,4	1.025	4,7	12.043	55,9	21.570
1954	10.400	35,1	1.558	5,3	17.712	59,6	29.670
1955	12.994	35,6	2.684	7,3	20.847	57,1	36.552
1956	16.749	36,9	2.182	4,8	26.479	58,3	45.410

Tableau 24. — REGIDESO-Répartition des ventes par catégories de consommateurs (*) (de 1957 à 1958).

Année	Basse Tension			Haute Tension	MWh
	Usage domestique	Usage com-merc. & art.	Éclair. public		
1957	13.438	11.141	802	30.606	55.987
1958	17.766	13.645	998	40.258	72.667

(*) Répartition nouvelle « Basse » et « Haute Tension » suite à l'application des nouveaux tarifs.

L'évolution des consommations d'électricité, dénoncées par ces statistiques, est symptomatique, car elle intéresse des régions d'un caractère peu industrialisé au début de leur alimentation par REGIDESO. La consommation totale accuse un accroissement sensible de chacun des secteurs considérés : Particuliers — Services publiques — Industrie, ce dernier retenant une quote-part de plus en plus forte : il se vérifie par cette prédominance que l'apport énergétique de la Régie a été un facteur de vive expansion de l'industrie dans les zones équipées à son intervention.

Enfin, la considération du nombre de raccordements nous procure un dernier indice positif d'une extension spatiale des réseaux se conjuguant à celle des consommations :

Tableau 25. — Développement du nombre de raccordements de la REGIDESO

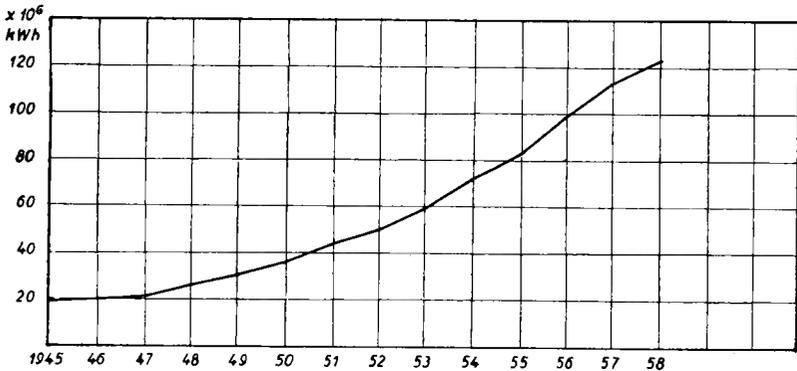
1948	1.201	1953	5.360
1949	1.243	1954	6.252
1950	2.732	1955	7.287
1951	2.985	1956	8.693
1952	4.251	1957	10.645
		1958	12.931

Il y a décuplement en l'espace d'une décennie.

Nous compléterons le déroulement du film de l'expansion énergétique par quelques commentaires à l'appui des graphiques exprimant l'évolution de la demande.

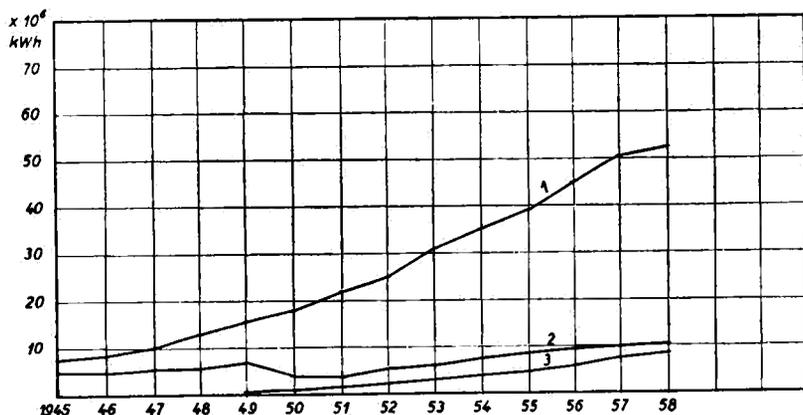
Tendances de la consommation urbaine.

Les divers aspects évoqués ci-dessous du développement énergétique de nos réseaux éveillent spécialement l'intérêt attendu qu'ils correspondent plus directement aux préoccupations des pays neufs ou sous-développés. Pour ce motif, les références aux deux centres principaux de Léopoldville et d'Élisabethville devraient être délibérément écartées afin de ne pas fausser l'interprétation des résultats statistiques : il s'agit de grandes agglomérations industrialisées dont la structure économique, et par suite les besoins de puissance, sont sans rapport commun avec ceux des autres centres spécifiquement tropicaux. L'analyse des résultats doit se limiter à des groupes homogènes et passibles de généralisation. Les *graphiques 6 et 8* indiquent la tendance des ventes des deux grands distributeurs ; COLECTRIC et SOGELEC respectivement, pour 4 centres principaux.

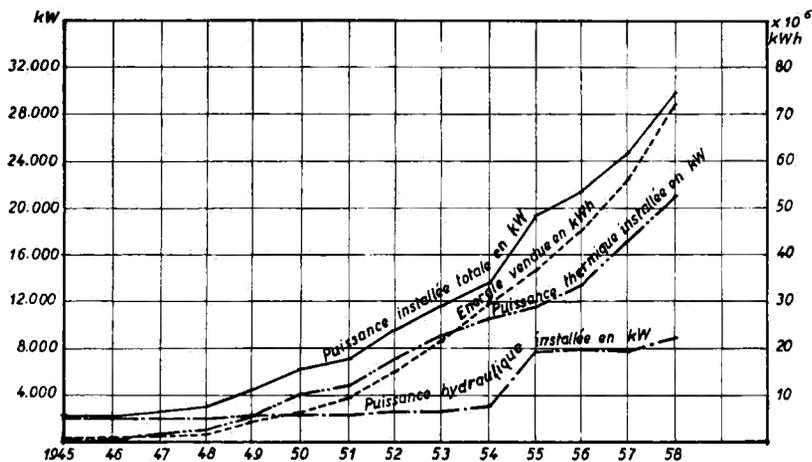


GRAPH. N° 6. — Évolution de la consommation d'énergie électrique à Léopoldville.

Le *graphique 8*, en annexe, illustre pour l'ensemble des autres services du secteur public, c'est-à-dire le groupement des exploitations gérées par REGIDESO les stades d'évolution des puissances hydroélectriques, thermoélectriques et cumulées, ainsi que de la production nette d'énergie, pertes déduites (10 %).



GRAPH. N° 7. — Développement des ventes d'énergie électrique de la SOGELEC à Elisabethville ; Jadotville ; Kolwezi.
1. Elisabethville ; 2. Jadotville ; 3. Kolwezi.



GRAPH. 8. — Évolution des puissances et de la consommation d'énergie électrique.
Ensemble des exploitations de la REGIDESO.

S'il est hors de doute que généralement, la représentation graphique s'impose pour traduire de manière suggestive les résultats d'exploitation, il sied de ne pas se méprendre sur la signification de la tendance suggérée par ces diagrammes : comme nous l'avons déjà fait remarquer, l'expression en est déformée par suite de l'entrée en lice de nouveaux centres, par l'annexion de services existants, par le raccordement au réseau de quelque gros consommateur (une brasserie par exemple) et autres facteurs occasionnels.

Ces interventions diverses échappant à toute anticipation, ne peuvent être dénombrées, disséquées dans l'analyse des graphiques. Elles n'en ont pas moins pour effet de perturber la direction des courbes de développement et de leur communiquer cette allure de lignes brisées surtout apparente pour les évolutions des puissances. Par exemple, l'on observe de 1954 à 1955 un redressement brusque de la puissance hydroélectrique mise à disposition par l'entrée en jeu de la nouvelle centrale de Stanleyville sur la rivière Tshopo ; cette amplification de la puissance hydro se reflète visiblement dans la courbe des puissances totales installées.

La courbe des ventes d'énergie apparaît moins discontinue, exempte d'inflexions saillantes : l'explication de cette régularité relative doit être recherchée dans le fait, qu'en général, les rétrocessions à la Régie d'anciennes distributions d'électricité correspondent à des services en état de sous-développement et dont l'extension ultérieure s'exerce dans le sens de l'évolution générale ; elle s'inscrit donc dans le mouvement de forte expansion énergétique commun au Congo belge.

Comme il est fréquent, derrière les chiffres globaux se dissimulent des réalités mouvantes et complexes. Aussi serait-il vain d'attribuer à ces résultats chiffrés quelque précision, car elle serait illusoire comme base d'appréciation de l'état énergétique du Congo dans l'ave-

nir. Tout pronostic formel serait affecté d'imprudence, tant d'impondérables étant mis en jeu.

Cependant, il est permis de dégager une orientation générale concernant le niveau probable de la demande future d'énergie : la courbe des ventes des distributeurs conserve sa tendance de base ascensionnelle ; tous les résultats d'exploitation (puissances, énergie) battent leurs records absolus, sans qu'apparaissent des signes tangibles de saturation, du moins pour REGIDESO.

De 1956 à 1958 s'observe selon les graphiques 2 et 3, un léger fléchissement de la production totale d'énergie consécutif à la mévente des matières premières.

Cette récession de conjoncture affecte le pays comme l'ensemble des territoires sous-développés. Les ventes REGIDESO échappent à cette tendance. En sens inverse, va certainement jouer la contribution de centres nouvellement équipés au cours des années à venir. Le caractère éminemment conjectural de ces prévisions n'autorise aucune compensation statistique pas plus qu'il n'est possible d'en exprimer numériquement l'incidence.

Ce qu'il est permis d'induire de cet ensemble de données statistiques, couvrant les années de référence 1945 et suivantes, c'est que l'état énergétique du Congo demeure en phase d'ascension régulière. Pour la décade 1950-1960, les prévisions des fournitures d'énergie électrique tablaient sur un taux de 30 % l'an, soit un doublement des résultats en moins de 3 années. Dans la situation présente, le taux annuel d'accroissement prévisible des consommations pour la période 1955-1960 est ramené à 20 % l'an : ce qui correspond à une loi de doublement tous les 4 ans d'après la relation approximative de croissance :

$$C = (1,2)^4 = 2,08,$$

résultat qui semble serrer la réalité de plus près. Ce rythme d'expansion énergétique est à comparer avec celui des autres pays tropicaux pour lesquels est communément admise la loi de doublement en 6 années.

D'autres indications peuvent être sommairement dégagées de l'examen des résultats d'exploitation des distributions :

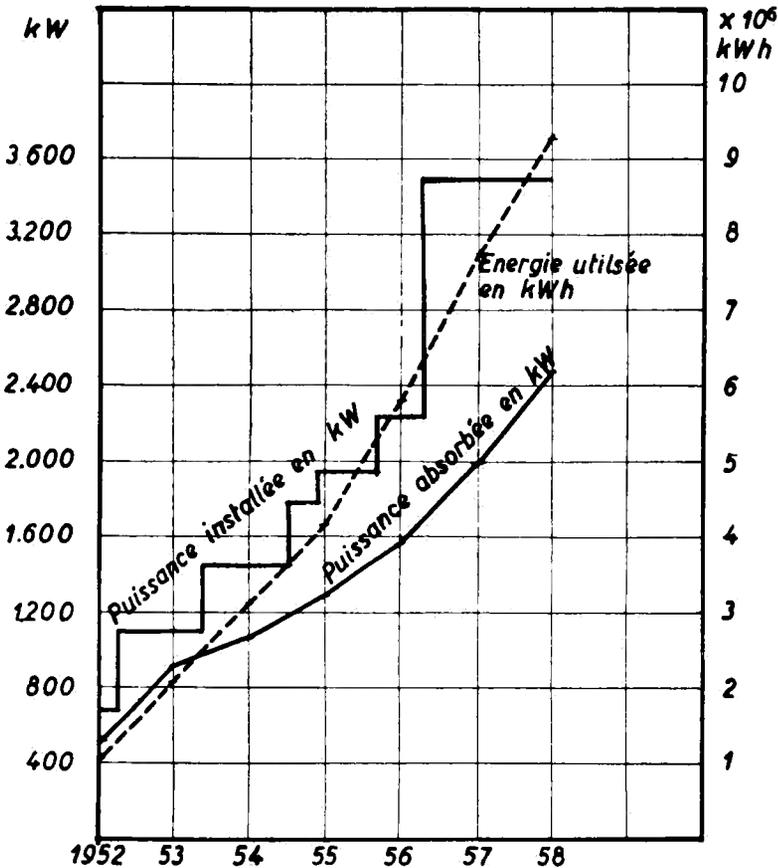
1° La prédominance de la production d'énergie hydro-électrique qui conquiert une part croissante dans le secteur public et dont le pourcentage hausse pour REGIDESO de 38 % en 1950 à 50 % environ en 1958 ; elle tend à prendre le relais de l'énergie thermique. L'intervention du secteur public total du Congo est de 7,2 % de la production totale de l'énergie.

2° L'amélioration progressive de l'utilisation, si l'on définit celle-ci par l'ancienne notion, (rapport $\frac{\text{kWh produits}}{\text{kW installés}}$) passant pour REGIDESO de 1.500 heures / année en 1950 à 2.678 heures / année en 1958, soit un accroissement de 78,5 %, malgré l'intervention de nouvelles centrales, dont l'entrée en activité exerce une influence relativement déprimante à l'origine. Ce facteur caractéristique, « l'utilisation » de l'équipement, revêt une énorme portée pour les distributions électriques, en particulier dans les pays tropicaux : il conditionne la répartition des frais de puissance, qui correspondent à l'équipement des installations en service et de réserve. L'incidence de ces charges financières sur le coût de l'unité de production et sur le rendement net des exploitations électriques est connue à suffisance : elle s'abaisse d'autant plus que s'accroît la durée de marche des installations et surtout celle d'utilisation de leur puissance maximum développable (de façon à remplir au mieux le diagramme de charge).

3° Le redressement continu de la courbe de consommation totale d'énergie REGIDESO est un autre trait que dégage l'analyse des résultats : reportée en coordonnées semi-logarithmiques, elle présente une allure linéaire fortement redressée, contrastant avec une certaine modé-

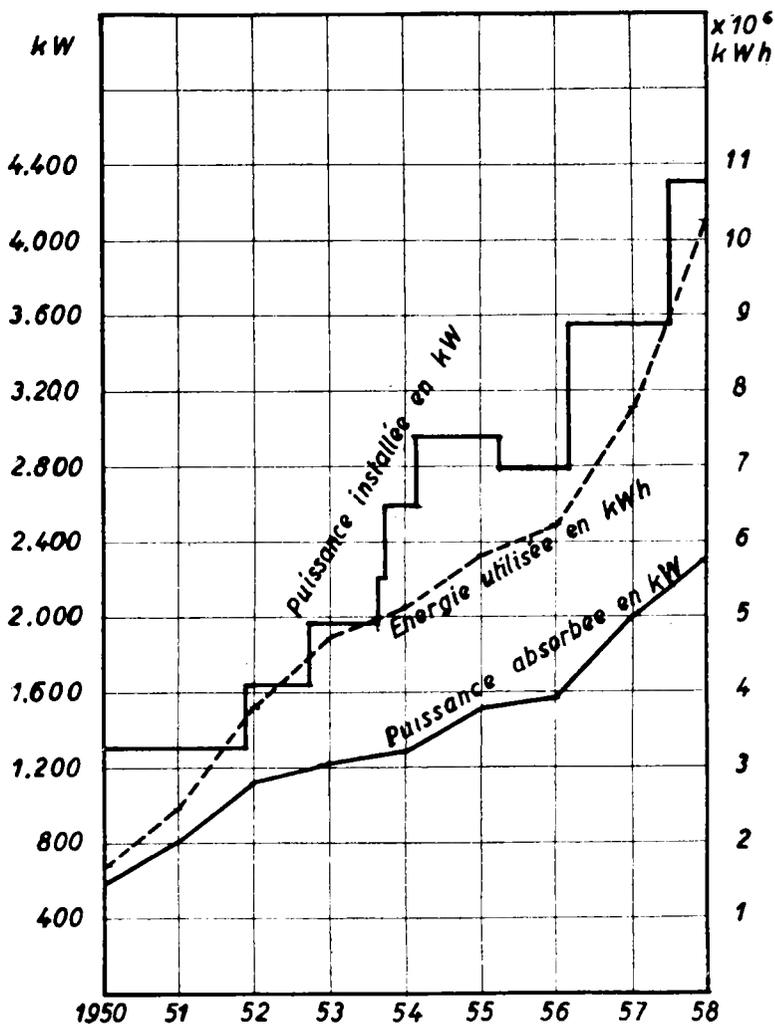
ration de tendance enregistrée il y a 2 ans. Le développement des consommations d'énergie électrique fournit de la sorte une image concrète des progrès de l'économie dans les centres desservis.

Assez instructive est aussi la consultation des *diagrammes 9 et 10* relatifs à deux grands centres alimentés



GRAPH. N° 9. — Évolution des puissances et de la consommation d'énergie électrique Service « A ».

par la Régie : on y voit figurer les progressions de la puissance électrique installée, de la puissance quart-horaire maximum utilisée et de l'énergie consommée en réseau.



GRAPH. N° 10. — Évolution des puissances et de la consommation d'énergie électrique Service « B ».

L'exploitation A (dont la statistique fait l'objet du graphique 9) se caractérise par un rythme accéléré de la demande d'énergie, et dans une mesure moindre, de la puissance absorbée : ceci est l'indice d'un développement

très sain, marqué par une « utilisation » en progrès continu. Cette synthèse visuelle traduit la forte activité du centre dont l'expansion soutenue postule un renforcement immédiat de la centrale.

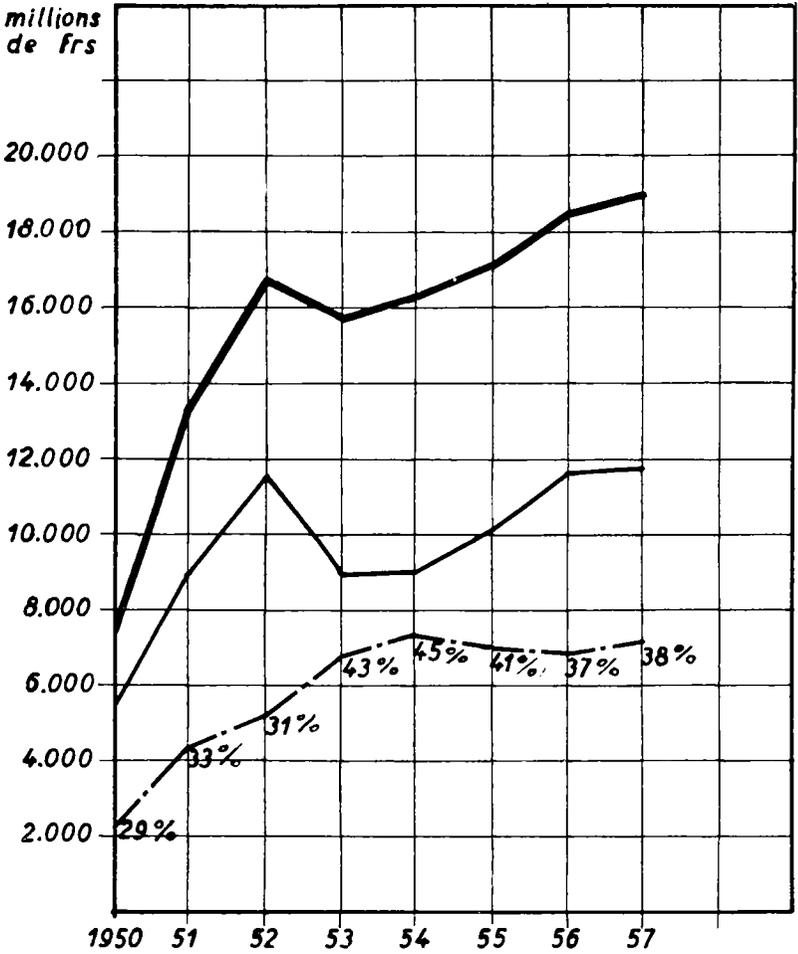
Par contre, l'exploitation B (à laquelle se rapporte le *graphique 10*) bien que d'importance nettement supérieure à celle du centre A en 1950 (à l'origine des courbes), et, de prime abord, assurée de perspectives plus favorables, n'a pas répondu aux espérances, car ses courbes caractéristiques traduisent un essoufflement visible : aussi la puissance installée de la centrale s'y révèle déjà en excédent. Mais il s'agit peut-être d'un simple temps d'arrêt et une enquête économique fera reconnaître éventuellement ce caractère de pause momentanée. Les résultats de 1956 ont confirmé la tendance antérieure des deux exploitations. Toutefois la durée de référence, s'est avérée trop courte pour autoriser des conclusions décisives, comme en témoigne la remontée suivante des diagrammes.

Circonstance digne de remarque : les deux centres A (Usumbura) et B (Bukavu) ne sont distants que d'environ 120 kilomètres et situés dans une contrée propice à l'alimentation en énergie hydroélectrique.

L'intérêt de ces analyses statistiques est de permettre de discerner l'évolution du marché de l'énergie : le courant électrique n'est en somme qu'une marchandise, comme l'observe SIEGEL, le produit decapitaux investis et de main-d'œuvre dont la valeur économique, l'« appréciation », sera régie par les besoins des usagers et partant, l'essor économique du lieu. Selon la tendance au rapprochement des courbes de production d'énergie, l'exploitant sera guidé dans ses décisions et pourra réagir sans atermoiement ni retard s'il faut installer de nouvelles unités.

Évolutions du revenu national et du produit national brut

Pour mieux apprécier, au double point de vue quantitatif et qualitatif, la tendance ascendante de l'économie



GRAPH. N° 11. — Investissements intérieurs publics et privés pour l'ensemble des T. B. O. (bulletin n° 10 ; oct. 56 ; B. B. C. B.).

— Investissements publics. ————
 Investissements privés. ————
 Total des investissements. ————

du Congo en fonction de son développement énergétique, il est utile d'élargir l'examen des « termes de rendements » de l'économie, c'est-à-dire du revenu et du produit nationaux. Cette brève analyse sera encore basée sur les éléments d'information très obligeamment communiqués par les services d'étude de la Banque Centrale du Congo belge et du Ruanda-Urundi.

En *annexe 33* est consignée l'évolution du *produit national brut* de 1950 à 1955 : elle indique que « tous les secteurs de l'économie ont participé, dans une mesure plus ou moins importante, à cette évolution » : le progrès de la valeur de la production nationale en 1955 atteint 71 % par rapport à 1950 et 79 % en 1957.

Le revenu national accuse selon *annexe 34* un progrès naturellement similaire à celui du produit national en 1955, soit de 62 % par rapport à 1950.

Dans cette projection de faits économiques il est de haut intérêt de comparer l'élévation du revenu national et l'accroissement de la demande d'énergie. Tandis que le revenu national a augmenté de 67 %, la production d'énergie électrique s'est accrue de 86,4 %. Dans les seuls centres où la Régie distribue le courant, l'augmentation est de 466 % durant la période de référence 1950-1955 (et de 1026 % au terme de 1958).

Il en résulte que l'accroissement de la consommation d'électricité du Congo, rapporté au revenu national dépasse largement le coefficient 3 décroissance, norme communément admise pour les pays sous-développés.

Cette constatation révèle que le Congo est en voie de dépasser le stade de sous-développement, spécifique des pays tropicaux, et mérite mieux le qualificatif de *pays neuf*. Il faut encore y voir l'indice d'un haut degré de productivité.

Sur un plan plus étendu, nous voyons d'ailleurs la production nationale augmenter de 73 % entre 1950 et 1955, tandis que le nombre de travailleurs autochtones

(effectivement occupés) n'a haussé que de 23 %. Il convient toutefois de ne pas s'abuser sur l'interprétation de ces chiffres : ils reflètent essentiellement l'amélioration continue des activités minières et industrielles. Dans les milieux agricoles, la production se maintient à un taux très bas, comme dans la généralité des pays tropicaux, en raison de l'exigüité de la superficie cultivée par le paysan indigène, soit 2 ha /an selon M. G. VAN DE VELDE. Le motif en est, qu'à rebours des conditions de nos pays évolués où l'agriculteur s'adonne de façon exclusive aux travaux de champs, la culture proprement dite n'absorbe, qu'au plus, un tiers des prestations du Congolais.

Aussi le pourcentage de population occupé aux productions vivrières en particulier doit-il dépasser de loin celui (10 %) des pays tempérés. Or la main-d'œuvre rurale représente les 2/3 de la population adulte productive. Cette observation jette une vive lumière sur la nécessité de mécaniser davantage la production agricole, surtout aux stades du transport des récoltes et du conditionnement terminal des produits : égrenage, décorticage, dessiccation et traitements divers [66].

L'amélioration enregistrée du revenu national a pour causes un essor constant de la production, soutenu par le développement énergétique, et une hausse antérieure des prix ; elle n'en suggère pas moins la forte impulsion du pouvoir d'achat effectif dont a bénéficié la population congolaise : L'ouvrier congolais est d'ailleurs le mieux rémunéré de tous les travailleurs au sud du Sahara.

Tableau 26. — Comparaison entre l'évolution du revenu national et celle des prix intérieurs (Indice 1950 = 100).

Années	Indice du revenu national	Indice des prix de détail		Indice des prix des dépenses intérieures (³)
		Pour Euro-péens (¹)	Pour Indigènes (²)	
1951	130	109	112	110
1952	142	119	122	120
1953	145	119	118	117
1954	152	119	117	116
1955	162	118	116	115

Non moins digne d'intérêt est le tableau suivant :

Tableau 27. — Répartition du revenu national entre l'économie indigène et l'économie non indigène (En millions de francs).

Années	Économie indigène	Économie non indigène (y compris l'État)	Total du revenu national	Proportion du revenu indigène au revenu national (en %)
1950	13.490	15.820	29.310	46
1951	17.730	20.350	38.080	47
1952	20.530	21.010	41.540	49
1953	22.250	20.260	42.510	52
1954	23.310	21.250	44.560	51
1955	25.080	22.260	47.340	53

Cette évolution atteste une participation croissante des autochtones dans le revenu national. *Les revenus salariaux* de la population congolaise se sont élevés en 1955 à 230 % du niveau de 1950 : l'intervention de la hausse des salaires (191 %) primant sur l'accroissement (121 %) de l'effectif des salariés [8]. C'est la meilleure démonstration d'un progrès social parallèle au progrès économique.

(¹) Indice du coût de la vie pour Européens à Léopoldville.

(²) Index du personnel auxiliaire de l'administration d'Afrique.

(³) Indice moyen des prix des dépenses de consommation et d'investissement.

La distinction entre revenus commercialisés et non commercialisés révèle une nette progression des premiers, ce qui est l'indice d'une accession progressive des indigènes à l'économie commercialisée du Congo.

A ce sujet une remarque importante doit être émise : la disproportion, déjà soulignée, entre les revenus des salariés et ceux des populations rurales enlève presque toute signification à des estimations chiffrées du revenu national par tête d'habitant.

La disparité entre ces deux secteurs de l'économie indigène est confirmée par le rapprochement des revenus moyens par tête : 10.200 FB pour les salariés, 7.100 FB pour les non salariés [8]. Ces revenus excèdent de loin ceux de la majorité des autochtones dans les autres contrées d'Afrique. Depuis 1955 ils se sont encore améliorés de beaucoup.

Dans le but de favoriser davantage l'accession des Congolais à un meilleur niveau de vie par relèvement du pouvoir d'achat, le gouvernement vient de promulguer une nouvelle tarification à but social : elle marque un abaissement sensible du coût de l'énergie destiné à soulager le budget des familles congolaises. Ainsi le même service est dispensé à un coût toujours plus bas.

Le *tableau 28* reproduit le barème remanié.

Tableau 28. — Barème des prix moyens de fourniture d'énergie électrique aux Congolais (par tranches de consommation).

Consommation mensuelle en kWh	10	20	30	40	50
de 1948 à 1952	6,50	6,50	6,50	5,875	5,50
de 1952 à 1956	7,15	7,15	7,15	6,463	6,05
Tarif actuel	4,50	4,00	3,833	3,50	3,30

Ce barème fait ressortir un rabais considérable des prix du kWh ramenés de 7,15 FB à 4,50 FB, en première tranche de consommation, et de 6,05 FB à 3,30 FB en

dernière tranche, malgré l'aggravation constante des charges de financement et d'exploitation. La réduction tarifaire prend une signification plus probante, si elle est rapportée au niveau de départ 6,50 FB avant 1940. Compte tenu du multiplicateur 3,08 pour dépréciation monétaire, ce prix de l'unité d'énergie correspondrait actuellement à 18,65 FB.

Quant *aux revenus du capital* (sociétés, propriétés), leur augmentation dans le temps reste inférieure à celle des revenus salariés.

En ce qui concerne *la dépense nationale* :

Il se dégage des données statistiques recueillies que l'économie congolaise n'est pas toujours en mesure de faire face, par ses propres ressources, à la totalité de ses besoins de consommation et d'investissement. C'est le cas en particulier dans le secteur énergétique, malgré une valorisation accrue de la production et du revenu nationaux. La contribution au financement intérieur du pays se traduit par un endettement extérieur vis-à-vis de la mère-patrie. Le déséquilibre a pris un caractère aigu.

Dans les dépenses nationales, nous voyons la part de la consommation accuser une augmentation constante, dont bénéficient toutes les catégories de consommateurs autochtones et non autochtones.

Cette croissance des consommations unitaires de biens et de services s'accompagne d'une évolution naturelle et bénéfique dans la demande du milieu autochtone : les besoins se diversifient dans toutes les directions et parallèlement le marché intérieur se développe, à une allure plus rapide même que les exportations du pays.

La contribution de l'industrie congolaise à son approvisionnement s'intensifie, tandis que les importations tendent à se circonscrire aux secteurs des biens d'équipement ou de certains produits finis.

Quant *aux ressources* : le rythme de leur développement

ne se ralentit pas. Une heureuse transformation de structure se produit par le recul des importations dans l'approvisionnement (29 %) du marché intérieur : résultat du développement de l'industrialisation assurant à l'économie congolaise une assise élargie. Une régression analogue s'observe pour la part des exportations (31 %) dans l'utilisation des ressources à laquelle participe de plus en plus (69 %) le marché intérieur. L'épanouissement des industries transformatrices est favorisé par l'isolement continental du Centre d'Afrique, par rapport aux marchés de consommation : il en est résulté une propension à conditionner les matières brutes, afin d'éviter l'exportation en pure perte de tonnages superfétatoires.

En définitive : il se dégage de cette analyse que tous les éléments de l'économie du Congo reflètent d'incessants progrès dont il faut, pour une appréciation objective, faire le rapprochement avec celui de l'expansion énergétique. Aucun signe de ralentissement durable ne s'est encore manifesté à ce jour dans ce rythme de progression.

Au nombre des éléments les plus caractéristiques de cette phase d'ascension régulière, il faut retenir :

1^o L'expansion continue du produit national et des ressources générales de l'économie, en concordance avec celle de l'énergie mise à disposition ;

2^o Le relèvement ininterrompu des revenus de la population congolaise et de son niveau de vie ;

3^o Le solde, jusqu'il y a peu positif, de la balance des paiements, mais imputable à la bonne tenue des termes d'échange, donc à la merci d'une dégradation conjoncturelle des prix à l'exportation sur les marchés mondiaux [8] outre l'influence des facteurs politiques.

Relation entre la structure énergétique et les investissements

Un dernier aspect économique du problème de l'énergie reste celui des investissements : tout accroissement de

la production d'énergie requiert, les chiffres ont parlé à suffisance, des investissements de grande ampleur. Mais une plus grande abondance d'énergie de productivité risque de demeurer stérile, si elle ne trouve à s'employer dans une capacité de production industrielle parallèlement développée ; et celle-ci ne peut l'être qu'au prix de nouveaux investissements et délais de réalisation. L'injection supplémentaire de moyens de paiement dans le circuit économique prend l'aspect d'impératif absolu.

Même une disponibilité accrue d'énergie de confort pourra devenir superflue, si le rythme de l'équipement domestique ne suit pas ou si le pouvoir d'achat manifeste un décalage dans le temps.

Nous avons souligné l'importance des crédits réservés à l'équipement énergétique à charge du Plan décennal et des nouveaux programmes d'investissement (détaillés in fine de ce rapport). Les investissements partiels et totaux figurant à l'*annexe 40* ont été cumulés depuis l'origine et péréqués dans la mesure requise pour les ramener à la parité monétaire actuelle (par réévaluation d'actifs) ; le *graphique-annexe 11* illustre le mouvement annuel de ces volumes d'investissements en fonction des ressources.

Un équilibre harmonieux s'établit entre ces investissements et les effets de leur mise en valeur, palpables dans l'expansion des besoins de la société autochtone comme divers secteurs d'activité. L'on se plaît à y reconnaître les résultats bienfaisants de la mise en application du plan décennal, obérés toutefois d'un alourdissement progressif des charges récurrentes.

Causes de freinage et d'expansion

Pendant le premier demi-siècle écoulé, les besoins de l'économie congolaise n'avaient pu acquérir suffisamment d'importance au point de garantir le rendement des énormes immobilisations, nécessaires pour renforcer les équipements de base.

Aussi bien est-ce le lot commun des pays neufs, de ne pouvoir toujours réaliser, avec la rapidité désirable, les grands travaux que postulerait la mise à fruit de leurs ressources naturelles, compte tenu des possibilités d'approvisionnement et de l'ordre de grandeur des besoins.

Le cas de l'équipement énergétique en est un exemple frappant : le Centre Afrique dispose d'un surabondant potentiel de forces sauvages, mais leur aménagement, encore très restreint, pour la fourniture d'électricité, a été retardé de plusieurs décades par le manque de débouché pour l'utilisation à bas prix. Nous avons indiqué les raisons de ce freinage : dispersion des centres, coût élevé du transport d'énergie, insuffisance des consommations individuelles. La cherté consécutive des tarifs opposait un frein puissant à l'expansion de la demande d'énergie électrique.

Inversément, la région des mines du Congo oriental a pu être dotée, la première, d'un équipement hydroélectrique de grande envergure, grâce à l'importance de ses ressources.

Sous ce rapport, le secteur énergétique des produits pétroliers apparaît plus favorisé, en raison d'une souplesse extrême d'adaptation aux besoins, lui permettant de répondre avec célérité à une demande croissante mais disséminée.

L'on ne manquera pas d'observer que les dépenses en capital fixe dans le domaine énergétique suivent un essor parallèle à celui des autres équipements de base, en particulier du plus important de tous, celui des transports, qui en est étroitement connexe [6]. Il a été dit déjà qu'il commande les développements de toutes les structures en pays neuf, ainsi que le progrès économique et social. L'augmentation des trafics ferroviaires, fluvial et routier, conséquence de l'extension des activités économiques et du marché intérieur, postule celle des approvisionnements d'énergie.

L'essor énergétique se manifeste encore par une amélioration de la productivité, dont certains indices ont été mis en évidence. A ce sujet, relevons l'accroissement (plus de 200 %) des consommations de courant électrique par unité de production : son rythme au cours du dernier lustre dépasse nettement celui de la production industrielle (100 %) et de la production minière (50 %). La modernisation des équipements industriels en justifie pour une grande part.

Les prochaines années verront y participer, de plus en plus, le secteur agricole qui occupe la majeure partie de la population. Cette évolution structurelle ne pourra qu'amorcer de nouveaux besoins latents d'énergie en familiarisant les milieux ruraux de brousse avec les profits de l'électrification. Rappelons aussi que, dans les centres urbains, le marché de la demande d'énergie contient le germe de riches développements à des fins domestiques. Partout l'intervention de l'énergie doit tendre à l'allègement de la charge du labeur ; celle de l'artisan à son établi, du laboureur sur son sillon, de la femme à son foyer...

C'est d'ailleurs en considération de ces multiples nécessités que le Gouvernement général a ordonné une prospection systématique et générale des ressources naturelles d'énergie, en particulier des gîtes hydroélectriques, comme prélude à son vaste programme d'investissements.

Financement

Dans le domaine de la production d'énergie, le financement pose inévitablement un problème ardu en pays neuf, en raison de l'importance des immobilisations à consentir : l'alternative du choix entre production hydraulique et thermique, se ramène, soit à opter pour de plus amples investissements dès le premier stade d'équipement sous forme hydroélectrique, soit à les étaler dans le temps s'il s'agit de production thermique. L'option ne peut être levée qu'en fonction de la cherté plus ou moins grande du

marché de l'argent : comme la quotité du revenu national ou de la dépense de souveraineté métropolitaine à consacrer pour l'équipement énergétique est nécessairement limitée, c'est le taux d'intérêt du moment qui dicte le choix, la rentabilité de l'outillage énergétique devant lui être en tout cas supérieure.

Ventilation des investissements

C'est en conformité de ces relations avec le marché des capitaux que les investissements se sont développés en territoires belges d'outre-mer.

Ils comprennent :

1^o Les capitaux privés investis au Congo belge et au Ruanda-Urundi, donc les constitutions et augmentations de capital par appels à l'épargne ou par voie d'auto-financement ;

2^o Les investissements du secteur public.

Ces derniers ont pris depuis une quinzaine d'années un développement qui va de pair avec un effort parallèle dans le secteur privé. Le Plan décennal et ses extensions mettent en œuvre des capitaux très importants.

Avant l'application de ce Plan, l'économie était bridée dans son essor par l'insuffisance de l'équipement public du Congo, en particulier dans le secteur énergétique. Il importait cependant de ne pas contrarier le rythme d'accroissement de la production qui double tous les 10 ans. L'application coordonnée du plan vise au maintien de cette progression, quitte à la dépasser, car l'équipement doit précéder les besoins.

L'importance du rôle assumé par l'État dans le développement de l'infrastructure congolaise, trouve sa justification dans l'étendue du programme de renforcement de l'outillage national en pays absolument neuf, très vaste,

situé dans une position retirée au centre du Continent africain.

Selon les calculs de la Banque Centrale du Congo belge et du Ruanda-Urundi, le rapport des investissements fixes au revenu national s'est élevé : en 1950 à 24,8 %, en 1951 à 31,2 %, en 1952 à 21,2 % et en 1953 à 20,8 %. Nous les évaluons pour 1954 à 19,2 % et en 1955 à 20 % : pour cette dernière année, les investissements se répartissent à raison de 5.960 millions pour le secteur public et 3.410 millions pour le secteur privé. Ces proportions se situent à des niveaux très satisfaisants pour l'outillage économique des T. B. O. En 1955, le secteur électrique est intervenu à raison d'environ 20 % de l'ensemble, prenant une part plus large dans le mouvement d'investissement. La contribution des capitaux de provenance métropolitaine, allégée en 1950-1951 à la faveur de forts excédents de la balance des paiements, a repris toute son importance marquant ainsi un retour à la norme des pays neufs en voie d'expansion. En fin 1957, les investissements cumulés depuis 1897 pour l'ensemble du Congo belge s'élevaient à 156,4 milliards dont *13,8 milliards pour le secteur énergétique*.

La participation croissante des secteurs plus évolués (industrie, électrotechnique) dans les investissements, doit être considérée comme une nouvelle preuve du développement et de la diversification progressive de l'économie de l'Afrique belge. Une autre manifestation nous en est apportée par une préférence réservée aux petites et moyennes entreprises au dépens des souscriptions de capitaux [8].

Sur le plan géographique, ce sont encore les provinces de Léopoldville et du Katanga, les plus industrialisées du Congo, qui absorbent la part prépondérante ($\pm 70\%$) dans les investissements [44]. Il est de notoriété que le domaine minier s'est taillé une part souveraine.

Les investissements d'appartenance étrangère appa-

raissent relativement élevés (environ 10 %), favorisés qu'ils sont par la politique traditionnelle de la « porte ouverte » : elle réserve l'accueil le plus libéral aux capitaux étrangers et leur laisse complète latitude de s'investir, de transférer les revenus, de retirer les capitaux...

Besoins potentiels

Les possibilités afférentes aux investissements demeurent énormes, tant est vaste la gamme des activités s'offrant aux initiatives. L'énumération donnée précédemment en porte témoignage. La richesse de l'ensemble du Congo en matières premières et en énergie, offre une base large et ferme à l'expansion tant économique qu'énergétique. Mais en raison du caractère juvénile de sa structure, le pays ne se prête qu'à des investissements adaptés à son état de développement actuel, sous peine d'échec ou de pertes de rendement. Des facteurs antagonistes, dont nous avons fait état, restent l'insuffisance de densité de population et la tendance à l'exode du milieu rural vers la ville, que les pouvoirs publics s'efforcent d'endiguer. Il y va de l'équilibre social, économique et alimentaire du pays. La politique gouvernementale de relèvement du niveau des salaires indigènes, concourt à intensifier la mécanisation, et par un corollaire direct, l'outillage énergétique.

Rappelons, toutefois, au point de vue de la rentabilité des investissements de force motrice, le freinage exercé par la dissémination des centres consommateurs formant des îlots dispersés, souvent inaccessibles pour le transport du courant H. T. à des conditions économiques. Tout en se gardant de spéculations lointaines, il est permis de conclure :

L'amélioration des méthodes de culture, l'introduction de nouvelles techniques de conservation, de traitement et de transformation industrielle des produits agricoles, tendent à augmenter la productivité de l'économie

rurale ; elles contribuent aussi à pallier le déficit chronique de main-d'œuvre et à ralentir l'émigration vers les centres urbains. Ces aspects du problème n'en conservent pas moins un caractère inquiétant, par suite de l'expansivité des industries transformatrices dans les centres urbains. La structure du Congo se dépouille progressivement de son faciès d'économie primaire pour revêtir celui d'une économie évoluée. L'émigration des autochtones de leurs milieux coutumiers vers les agglomérations industrielles, centres ou villages, est un phénomène persistant, consécutif à l'industrialisation et à l'évolution sociale de couches de population qui ne cessent de s'étendre. Au rythme actuel de l'évolution démographique la population du Congo belge et du Ruanda-Urundi atteindra 25 millions d'âmes en 1975.

Jusqu'à présent, la majorité de la population indigène continue de vivre dans le milieu rural, dont elle tire ses revenus. La répartition des adultes masculins entre les différentes branches de l'industrie s'établit comme suit, d'après données de la tabulation statistique :

- 1^o Congolais au service d'entreprises : 24,2 %,
dont 40,5 % dans l'industrie ;
 - 27,2 % dans l'agriculture ;
 - 7,6 % dans le commerce ;
 - 24,7 % dans les emplois divers : clercs ou employés,
acheteurs, vendeurs, etc. ;

- 2^o Congolais travaillant pour leur compte : 75,8 %, dont 85 % s'adonnent à l'agriculture.

Comme les productions agricoles occupent la majeure partie de la population congolaise, la question se pose de savoir si les possibilités de mobilisation des travailleurs de la terre permettent de répondre aux besoins d'une industrialisation qui ne cesse de s'amplifier.

Au préalable, une observation s'impose : un certain nombre de ces autochtones seront entraînés par d'autres vocations. Dans une économie en expansion, il est normal que les prestations sous forme de services accaparent un nombre de travailleurs croissant plus vite que celui des effectifs engagés dans la production des biens. La généralisation de l'enseignement permet à de nombreux adolescents d'avoir accès aux bureaux, pour y accomplir des tâches administratives.

Par suite, il y a lieu d'appréhender une augmentation considérable du nombre des consommateurs de vivres au moment où diminue celui des producteurs ruraux. Le problème est insoluble, si le progrès technique ne vient concurremment renforcer la productivité de l'agriculture. A cette seule condition il deviendra possible de libérer des travailleurs agricoles au profit de la production industrielle. Il serait vain d'escompter la disponibilité d'un réservoir de main-d'œuvre illimitée à salaires modiques, tandis que l'État, dans le cadre des conceptions sociales en honneur, s'efforce au contraire de les relever et de canaliser ou réduire l'afflux des ruraux vers les centres tentaculaires.

Le remède doit être recherché dans la voie de l'augmentation du rendement des travailleurs. De nouveau l'on en revient, sous la pression des contingences économiques, à une mécanisation plus poussée, à une rationalisation des techniques industrielles et, par un enchaînement logique, à la production d'énergie en grande quantité à prix réduit. Cela se traduit par la nécessité de nouveaux investissements dans le domaine de l'énergie, pour parfaire l'équipement de base.

C'est le leitmotiv, le problème-clé de tout programme de mise en valeur des pays neufs. Il est, en effet, nécessaire d'aborder ces questions avec une grande hauteur de vues si l'on veut assurer la réussite des projets.

De manière générale, les perspectives de rentabilité

des travaux hydroélectriques de quelque ampleur étant assez lointaines, vu l'importance des capitaux à investir, l'intervention du secteur public s'impose, avec, éventuellement, la collaboration surtout technique des intérêts privés ; la participation du capital d'État gardant la prépondérance. C'est la formule de financement des investissements mise en œuvre, ces dernières années, pour les grandes centrales électriques devant desservir les agglomérations urbaines (hormis celles du Katanga), et par transports H. T. les zones rurales avoisinantes.

Seul un programme de financement général et à longue portée permettra la vente d'énergie à un prix raisonnable. Et si le rythme de renforcement du potentiel énergétique est suffisamment accéléré pour animer l'application du plan, comme il se doit, l'économie du pays s'épargnera les pertes dues au freinage de la productivité : ne le perdons pas de vue, de telles pertes peuvent l'emporter de loin sur celles grevant la rentabilité immédiate de fonds engagés, même prématurément dans l'équipement énergétique. Il faut penser l'avenir à l'échelle de ses brillantes perspectives.

D'énormes besoins subsistent à l'état potentiel : le Congo, après un demi-siècle de bouleversement économique et de promotion sociale, est astreint à une continuelle attirance de fonds étrangers. Comme tant d'autres sociétés humaines se développant sous les tropiques, il est parvenu à surmonter victorieusement sa crise de croissance. La confrontation des résultats statistiques, en dépit de leur aspect fragmentaire, suffit à montrer l'évolution ordonnée du stade de subsistance, précédemment évoqué, à l'économie de rapport, et un essor concordant de l'industrie de transformation [36].

Exposé à de très fortes pressions extérieures par un régime de libre échange le plus accessible qui puisse se concevoir, le Congo se doit d'évoluer dans un climat d'initiative sans entraves et de s'assimiler tous les per-

fectionnements suggérés par les nouvelles disciplines techniques.

Pour ces raisons, la nécessité d'investissements apparaît comme une constante fondamentale de l'évolution structurelle du Congo.

Répartition suivant planning

Dans le cadre d'une politique agrégée d'investissements publics, le plan décennal du Congo belge et du Ruanda-Urundi a prévu une répartition des montants à engager pour les grands ensembles coordonnés durant une première période de 10 années prenant cours en 1948 [45]. Il y correspond pour le secteur public une intervention qui atteint en 1955 environ 15 % de la puissance électrique installée. La ventilation des crédits délégués pour un montant total excédant 53 milliards de F congolais se présentait comme suit :

A. Crédits de caractère économique — transports et grande énergie	: 51,2 % ;
B. Crédits de caractère social — fournitures d'eau et d'électricité, logement, hygiène, enseignement	: 25,1 % ;
C. Crédits de caractère agricole	: 5,5 % ;
D. Services publics — urbanisme, géodésie, géologie, météorologie, télécommunications	: 18,2 %

La production et la distribution de l'énergie interviennent dans l'ensemble pour 8,4 % ; dont les trois quarts concernent des centrales hydroélectriques de moyenne puissance et leurs transports de force rayonnant sur de grandes étendues ; le solde de 25 % intéresse la création de petites centrales autonomes, en majorité thermoélectriques et les réseaux en dépendant. Quelques centres sis en zone industrielle continueront à recevoir leur alimentation d'énergie du secteur privé.

Les conclusions qui synthétisent l'ensemble des problèmes dont a traité ce rapport nous font apparaître l'économie congolaise sous l'aspect d'une structure en pleine expansion.

La progression est loin d'atteindre son apogée et le génie créateur de notre civilisation en demeure le ferment. L'allure en flèche des graphiques de production et d'énergie, autorise une vision optimiste de l'avenir. C'est le plus éloquent palmarès des bienfaits de la présence belge au cœur de l'Afrique noire.

Des limites ne sauraient être assignées à cet essor : ce serait méconnaître les virtualités d'épanouissement du Congo belge et des territoires sous mandat.

Mais il s'impose d'en affermir les voies et moyens dans le futur par une collaboration sans réserve du Congo avec la Belgique et les nations détentrices de capitaux.

La tâche est exaltante ; elle promet au pays les plus brillantes destinées...

ADDENDUM

Le rapport, faisant l'objet du présent mémoire consacré à l'état de développement énergétique des territoires belges d'outre-mer, s'est limité sur le plan technique à une étude comparative des ressources d'énergie disponibles et de leurs modalités d'exploitation.

A l'occasion d'une session ultérieure, un autre mémoire traitera de l'organisation technique des moyens de production de transport et de distribution de l'électricité au Congo belge et au Ruanda-Urundi.

ANNEXE

TABLEAUX

Tableau 29. — Synthèse des évolutions démographique et économique du Congo belge et du Ruanda-Urundi entre 1950 et 1958 (suivant documentation reçue du Service des Études économiques et statistiques du Ministère du Congo belge et du Ruanda-Urundi).

Évolution démographique	1950	1955	1956	1957	1958
a) Population autochtone du Congo belge	11.331.793 1 = 100	12.562.631 1 = 110,9	12.843.574 1 = 113,3	13.174.883 1 = 116,3	13.540.182 1 = 119,5
Population blanche du Congo belge	57.930 1 = 100	97.466 1 = 168,2	107.413 1 = 185,4	109.457 1 = 188,9	112.757 1 = 194,6
Main-d'œuvre autochtone	962.009 1 = 100	1.182.871 1 = 122,9	1.197.896 1 = 124,5	1.147.712 1 = 119,3	1.102.270 1 = 114,6
b) Population autochtone du Ruanda-Urundi	3.957.794 1 = 100	4.362.415 1 = 110,2	4.484.591 1 = 113,3	4.630.089 1 = 116,9	4.689.065 1 = 118,5
Population blanche du Ruanda-Urundi	3.733 1 = 100	6.052 1 = 162,1	6.486 1 = 173,7	7.257 1 = 194,4	7.105 1 = 190,3
Population asiatique du Ruanda-Urundi	1.896 1 = 100	2.500 1 : 131,9	2.491 1 = 131,4	2.856 1 = 150,6	2.320 1 = 122,4
Main-d'œuvre autochtone	80.293 1 = 100	124.481 1 = 155	121.031 1 = 150,7	114.297 1 = 142,3	109.587 1 = 136,5
Évolution économique	1950	1955	1956	1957	1958
a) Production agricole « Volume » (1) global des productions agricoles (en milliers de F)	12.592.047 1 = 100	15.639.798 1 : 119,4	15.640.783 1 = 124,2	16.174.800 1 = 128,5	16.288.573 1 : 129,4
Indices de productions agricoles (base 1947/1949 = 100)					
indigène	110	135	136	139	137
européenne	102	192	233	249	278
globale	109	142	148	154	156

b) Production minière « Volume » (1) global des productions minières (en milliers de F)	13.500.000	13.916.275	13.002.445	12.034.750	8.630.207
Valeur de la production minière (1.000 F)	1 : 156,4	1 : 161,3	1 = 150,7	1 = 139	1 = 100
	13.355.039	15.529.209	19.061.080	18.043.414	8.477.714
	1 = 157,5	1 = 183,2	1 = 224,8	1 = 212,8	1 = 100
c) Production industrielle « Volume » global des prod. industrielles (en milliers de F)	5.059.190	5.441.477	5.039.108	4.549.585	2.127.139
Indice de la production industrielle (base 1947/1949 = 100)	1 = 237,8	1 = 255,8	1 = 236,9	1 = 213,8	1 = 100
	351	377	349	315	115
d) Commerce extérieur					
En quantités : exportations (en milliers de t)	1.527.798	1.531.000	1.495.000	1.386.793	907.337
importations (en milliers de t)	1 = 168,4	1 = 168,7	1 = 164,8	1 = 152,8	1 = 100
En valeurs : exportations (en milliers de F)	1.513.783	1.682.000	1.682.000	1.706.414	865.882
importations (en milliers de F)	1 = 174,8	1 = 194,2	1 = 194,2	1 = 197,1	1 = 100
	20.581.000	23.958.963	27.105.881	23.142.987	13.343.111
	1 = 154,2	1 = 179,6	1 = 203,1	1 = 173,4	1 = 100
	17.533.000	21.298.362	20.120.364	18.951.870	9.559.273
	1 = 183,4	1 = 222,8	1 = 210,5	1 = 198,3	1 = 100
e) Revenu national : valeur (milliers de F)	—	48.820.000	49.530.000	47.340.000	29.310.000
	—	1 = 166,6	1 = 169	1 = 161,5	1 = 100
f) Produit national					
Investissements totaux (3) cumulés depuis l'origine (milliers de F)	—	60.210.000	61.150.000	57.790.000	33.700.000
Secteur électrique public					
		1 = 178,7	1 = 181,5	1 = 171,5	1 = 100
		99.327.234		92.268.145	70.800.390
		1 = 140,3		1 = 130,3	1 = 100
				3.376.998	1.779.845
				1 : 189,7	1 : 100

(1) Indice d'accroissement : base 1950.

Tableau 30 — Situation des centrales thermiques du
PROVINCE DE

Localités	Producteurs	Genre d'industrie	Nature du combustible	Genre de machine motrice	Puissance installée des turbines en Ch
Matadi	Regideso	Prod. Dist. Publ.	L.	T.H. et D.	3.000
Boma	»	»	L.	D.	—
Kikwit	»	»	L.	D.	—
Lukula	»	»	L.	D.	—
Sanga	Forces H.E. de Sanga	Prod.	—	T.H.	16.500
Zongo	» » du B.C.	Prod.	—	T.H.	54.000
Léopoldville	Colectric	Distr. Publ.	L.	D.	—
Lemba	»	Expl. Forest.	L.	D.	—
Thysville	Otraco	Transport	L.	D.	—
Cattier	»	»	L.	D.	—
Yuki	»	Expl. Forest.	B.	P.	—
Kolo	C ^{le} J.V.L.	Agricole	L.	D.	—
Lukala	S ^{té} des Ciments du Congo	Cimenterie	L.	D.	—
Lukula	Agrifor.	Expl. Forest.	L.B.	P. et D.	—
Moerbeke-Kwilu	C ^{le} Sucrière Congolaise	Sucrerie	L. Ba.	T.V.P.D.	—
Dima	C ^{le} du Kasai	Chant. Naval	L.	D.	—
Malanga	Fina-Bois	Scierie	B.	P.	—
Nioki	Forescom	Bois	L.B.	P. et D.	—
N'Kolo	Sobopla	Bois	L.B.	P. et D.	—
Kisantu	Mission Catholique	Mission	L.	D.	—
Seke-Banza	Reypens	Bois	B.L.	TV. et D.	—
»	Foracam	Expl. Forest.	L.	D.	—
Pahdji	S.C.A.M.	Colonisation	L.B.	P. et D.	—
N'Kulu	»	»	L.-D.V.	P. et D.	—
Tshela	»	»	L.-D.V.	P. et D.	—
Nsangi (Kisantu)	Baert.	Filature	L.	D.	—

Congo belge et du Ruanda-Urundi, arrêtée au 31 /12 /57.

LÉOPOLDVILLE.

Puissance en kw				Production en kWh de 1957			
totale installée			Dispo- nible	Réserve	Hydro.	Thermique Vapeur	Diesel
Hydro.	Thermi- que Vapeur	Diesel.					
2.000	—	2.400	3.400	1.000	8.277.280	—	1.159.425
—	—	1.060	660	400	—	—	2.289.640
—	—	230	115	115	—	—	659.420
—	—	65	65	30	—	—	17.500
11.500	—	—	11.500	—	41.850.000	—	—
42.000	—	50	28.050	14.000	184.823.100	—	—
—	—	2.000	—	2.000	—	—	15.650
—	—	1.640	840	800	—	—	1.414.800
—	—	720	432	216	—	—	1.879.696
—	—	570	345	167	—	—	431.985
—	250	—	250	—	—	440.000	—
—	—	1.025	800	350	—	—	1.200.000
—	—	4.717	3.260	985	—	—	22.212.070
—	350	480	435	395	—	350.000	460.000
—	2.200	796	1.496	1.500	—	1.776.200	1.953.600
—	—	218	168	50	—	—	182.991
—	376	—	376	—	—	200.000	—
—	630	370	670	330	—	1.100.000	480.000
—	312	623	455	480	—	867.000	1.043.200
—	—	82	30	52	—	—	90.000
—	105	150	150	105	—	320.000	300.000
—	—	80	80	—	—	—	200.000
—	38	84	70	52	—	80.000	120.000
—	100	100	100	100	—	150.000	150.000
—	100	100	100	100	—	150.000	150.000
—	—	280	175	105	—	—	624.000
55.500	4.461	17.840			234.950.380	5.433.200	36.933.977

Tableau
PROVINCE

Localités	Producteurs	Genre industrie	Nature du combustible	Genre de machine motrice	Puissance installée des turbines en Ch
Luluabourg	Regideso	Prod. Distr. Publ.	L.	D.	—
Lusambo	»	»	L.	D.	—
Tshikapa (Pogge II)	Forminière	Exploit. Diamant.	—	T.H.	2.000
Tshala (Young)	»	»	—	T.H.	10.000
Tshala	»	»	—	T.H.	1.700
Tshimanga	»	»	L.	D.	—
Mweka	B.C.K	Chemin de fer	B.	P.	—
Port-Francqui	»	»	B.	P.	—
Luputa	»	»	B.	P.	—
Kakenge	Exforka	Exploit. forestière	L.B.	P.D.	—
Brabanta	H.C.B	Huilerie	B.-D.H.	P.D.	—

30 (suite).

DU KASAI.

Puissance en kW					Production en kWh en 1957		
totale installée			Dispo- nible	Réserve	Hydro.	Thermique Vapeur	Diesel
Hydro.	Thermi- que Vapeur	Diesel					
—	—	1.930	1.130	800	—	—	6.520.010
—	—	225	110	115	—	—	104.379
1.560	—	—	780	780	3.245.509	—	—
7.000	—	—	5.250	1.750	19.406.000	—	—
1.440	—	—	1.440	—	68.400	—	—
—	—	220	220	—	—	—	156.596
—	250	—	125	125	—	685.100	—
—	500	—	375	125	—	1.082.547	—
—	80	—	40	40	—	38.367	—
—	590	75	565	100	—	2.880.000	41.600
—	400	35	235	200	—	390.743	—
10.000	1.820	2.485			22.719.909	5.076.757	6.822.585
					34.619.251		

Tableau 30

PROVINCE

Localités	Producteurs	Genre industrie	Nature du combustible	Genre de machine motrice	Puissance installée des turbines en Ch
Kamina	Regideso	Prod. Dist. Publ.	L.	D.	—
Shinkolobwe	U.M.H.K.	Expl. Minière	L.	D.	—
Kipushi	»	»	L.	D.	—
Panda	»	»	L.	D.	—
Lubumbashi	»	»	L.C.	T.V. et D	10.150
N'Zilo I (Delcommune)	» Sogefor.	Prod. En. Electr.	—	T.H.	132.000
N'Zilo III (Le Marinel)	» »	»	—	»	358.000
Koni (Bia)	» »	»	—	»	60.300
Mwadingusha (Francqui)	Sogefor	»	—	»	90.000
Kakopa	B.C.K.	Transports	L.	D.	—
Bukama	»	»	L.	D.	—
Mutshatsha	»	»	B.	P.	—
Sakania	»	»	B.	P.	—
Dilolo	»	»	B.	P.	—
Kisenge	B.C.K. Manganèse	Minière	B.L.	P. et D.	—
Albertville	C. F. L.	Transport	L.	D.	—
Kabalo	»	»	L.	D.	—
Kongolo	»	»	B.	P.	—
Kiabukwa	Sermikat ⁽¹⁾	Exploit. étain	L.	T.V. et D	350
M'Bale	»	»	—	T.H	440
Lubudi	Cimenkat	Cimenterie	L.	T.H. et D	8.200
Albertville	Cogelin	Prod. distr.	L.	D.	—
Kabimba (A'ville)	Cimental	Cimenterie	L.	D.	—
Kaniama	Cobelkat	Colonisation	L.	D.	—
Luena	Charb. de la Luena	Charbonnage	C.	T.V. et P	—
Piana-Mwanga	Géomines	Minière	—	T.H	40.350
Greinerville	S ^{té} des Charbon. Lukuga	Charbonnage	—	D.	—

(1) Les renseignements figurant dans les colonnes « thermiques » se rapportent à la partie géothermique de la centrale.

Les centrales de Kalundwe et Kamina (Forces Métropolitaines d'Afrique) ne sont pas reprises dans ce tableau.

(suite).

DU KATANGA

Puissance en kW					Production en kWh en 1957		
totale installée			Dispo- nible	Réserve	Hydro.	Thermique Vapeur	Diesel
Hydro.	Thermi- que Vapeur	Disel					
—	—	420	210	210	—	—	10.355
—	—	710	—	710	—	—	26.760
—	—	710	—	710	—	—	21.480
—	—	11.340	—	11.340	—	—	92.564
—	7.000	945	—	7.945	—	14.200	—
108.000	—	—	108.000	—	405.434.280	—	—
248.400	—	—	186.300	62.100	1.040.257.000	—	—
42.120	—	—	42.120	—	175.523.200	—	—
71.500	—	—	71.500	—	308.633.000	—	—
—	—	432	276	156	—	—	332.515
—	—	252	168	84	—	—	575.705
—	120	—	80	40	—	349.005	—
—	80	—	40	40	—	71.839	—
—	80	—	40	40	—	214.131ë	—
—	1.200	1.200	1.800	600	—	510.180ë	1.852.030
—	—	700	350	350	—	—	2.940.678
—	—	407	141	220	—	—	236.459
—	510	—	230	280	—	466.440ë	—
—	220	330	310	240	—	903.800	336.580
288	—	—	144	144	1.007.973	—	—
5.760	—	1.000	4.760	2.000	24.206.600	—	—
—	—	3.020	1.420	1.000	—	—	6.628.450
—	—	1.580	950	450	—	—	6.081.100
—	—	167	114	68	—	—	154.443
—	3.150	—	1.150	2.000	—	6.633.750	—
29.000	—	—	20.500	8.500	65.533.220	—	—
—	—	249	89	160	—	—	412.000
505.068	12.360	23.462			2.020.595.273	9.163.345	19.701.119
					2.049.459.737		

Tableau 30

PROVINCE

Localités	Producteurs	Genre industrie	Nature du combustible	Genre de machine motrice	Puissance installée des turbines en Ch
Bukavu	Regideso	Prod. Dist. Publ.	L.	T.H. et D.	—
Goma (1)	»	»	L.	D.	—
Kindu	»	»	L.	D.	—
Tongoni	»	»	L.	D.	—
Nzombe	M. G. L.	Exploit. minière	L.	D.	—
Mungombe	»	»	—	T.H.	1.920
Lutunguru	»	»	—	»	300
Tshamaka	Symétain	»	L.	D.	—
Punia	»	»	L.	D.	—
Kalima	»	{ CHE I	»	T.H.	3.700
		{ CHE II	»	»	7.400
Lulingu	Cobelmin	»	—	»	1.000
Lubiadja	» (Kinorétain)	»	L.	T.H. et D.	600
Ambwe	»	»	—	T.H.	3.000
Kampene	» (Belgikaor)	»	—	»	2.280
Magombe	»	»	—	»	3.360
Samba	Cotonco	Huilerie	D-H-L	P. et D.	—
Kindu	C.F.L (6 mois)	Transports	L.	D.	—
Nyabiondo	Theki	Plantation Thé	L.	T.H. et D.	1875
Lwiro	Irsac	Recherches	L.	D.	—
Ngweshe	O. P. A. K.	Usine à Thé	L.	D.	—
Mokotos	»	»	L.	D.	—

(1) La centrale est installée à Kisenyi.

(suite).

DU KIVU

Puissance en kW					Production en kWh en 1957		
totale installée			Dispo- nible	Réerve	Hydro.	Thermique Vapeur	Diesel
Hydro.	Thermi- que Vapeur	Diesel					
285	—	3.550	3.035	800	431.056	—	8.399.280
—	—	690	365	325	—	—	1.461.620
—	—	660	430	230	—	—	1.140.100
—	—	120	75	45	—	—	175.363
—	—	225	85	140	—	—	580.000
1.040	—	—	520	520	3.773.700	—	—
224	—	—	112	112	105.000	—	—
—	—	1.060	1.530	530	—	—	3.662.590
—	—	115	115	—	—	—	—
2.300	—	—	1.400	—	9.520.500	—	—
4.600	—	—	1.750	1.750	14.912.100	—	—
740	—	—	340	340	2.742.030	—	—
416	—	480	560	200	1.492.260	—	1.178.385
2.400	—	—	1.480	740	5.649.750	—	—
1.600	—	—	700	700	2.134.660	—	—
2.400	—	—	1.600	800	2.612.320	—	—
—	610	23	245	388	—	970.000	30.000
—	570	—	230	340	—	478.018	—
170	—	75	75	148	180.000	—	70.000
—	—	325	125	200	—	—	350.000
—	—	137	81	56	—	—	90.000
—	—	224	168	56	—	—	210.000
16.175	1.180	7.684			43.553.376	1.448.018	17.347.338
					62.348.732		

Tableau
PROVINCE

Localités	Producteurs	Genre industrie	Nature du combustible	Genre de machine motrice	Puissance installée des turbines en Ch
Buta	Regideso	Prod. Dist. Publ.	L.	D.	—
Stanleyville	Forces H.E. de l'Est	Prod	—	T.H.	16.720
Ponthierville	C. F. L.	Transports	L.	D.	—
Km. 25 Stan-Pont	»	»	B.	P.	—
Budana	Kilo-Mines	Expl. aurifères	—	T.H.	14.500
Solaniama I et II	»	»	—	T.H.	3.100
N'Zoro	»	Minière	L.	T.H. et D	1.500
Bandu	Cotonco	Plantat. Coton.	—	T.H.	—
Tinda (Aketi)	»	Huilerie	D.H.	P.	—
Gossamu (Paulis)	»	»	D.H.-L.	P. et D.	—
Tely	»	Plantat. Coton.	L.	D.	—
Paulis	Vicicongo	Transports	L.	D.	—
Aketi	»	»	L.	D.	—
Yangambi (Yao-suka)	Inéac	Recherches	L.	D.	—
Adumbi	S ^{te} Minière de la Tele	Expl. aurifères	B.	P.	—
Matundu-Kokosho	C ^{ie} Min. du Congo Belge	Min.	B.-L.	P. et D.	—
Lukumote	Huileries du Congo	Huilerie	B-D.H.	P. et D.	—
Mosita	»	»	»	»	—
Aba	Shun	Commerce	L.	D.	—

30 (suite).

ORIENTALE

Puissance en kW					Production en kWh en 1957		
totale installée			Dispo- nible	Réserve	Hydro.	Thermique Vapeur	Diesel
Hydro.	Thermi- que Vapeur	Diesel					
—	—	170	90	90	—	—	275.083
12.300	—	—	6.150	6.150	15.424.500	—	—
—	—	270	135	135	—	—	175.000
—	147	—	74	75	—	75.000	—
10.100	—	—	4.900	5.200	30.089.100	—	—
2.080	—	—	2.080	—	5.404.500	—	—
1.000	—	480	1.480	—	2.484.700	—	29.980
350	—	—	350	—	277.200	—	—
—	75	—	25	50	—	150.000	—
—	225	172	172	225	—	500.000	400.000
—	—	115	35	80	—	—	150.000
—	—	632	456	176	—	—	975.951
—	—	572	396	176	—	—	1.156.100
—	—	795	445	250	—	—	1.651.530
—	312	—	172	140	—	1.075.000	—
—	115	125	125	115	—	45.000	40.000
—	400	35	235	200	—	75.700	—
—	312	35	191	156	—	276.588	—
—	—	127	62	65	—	—	64.000
25.830	1.586	3.538			53.680.000	2.197.288	4.917.644
					60.794.932		

Tableau
PROVINCE

Localités	Producteurs	Genre industrie	Nature du combustible	Genre de machine motrice	Puissance installée des turbines en Ch
Coquilhatville	Regideso	Prod. Dist. Publ.	L.	D.	—
Lisala	»	»	L.	D.	—
Bumba	»	»	L.	D.	—
Gemena	»	»	L.	D.	—
Businga	Cotonco	Huilerie	D.H.L.	P. et D.	—
Boto	»	Plant. Coton.	D.H.L.	P. et D.	—
Gemena	»	Idem.	L.	D.	—

30 (suite)

DE L'ÉQUATEUR

Puissance en kW					Production en kWh en 1957		
totale installée			Dispo- nible	Réserve	Hydro	Thermique Vapeur	Diesel
Hydro.	Thermi- que Vapeur	Diesel					
—	—	1.150	775	375	—	—	2.988.630
—	—	140	50	90	—	—	68.611
—	—	530	330	200	—	—	168.570
—	—	140	50	90	—	—	46.266
—	145	237	192	190	—	300.000	620.460
—	145	145	145	145	—	300.000	300.000
—	—	90	45	45	—	—	160.000
—	290	2.432			—	600.000	4.352.537
					4.952.537		

Tableau
TERRITOIRE DU

Localités	Producteurs	Genre industrie	Nature du combustible	Genre de machine motrice	Puissance installée des turbines en Ch
Usumbura	Regideso	Prod. Dist. Publ.	L.	D.	—
Astrida	»	»	L.	D.	—
Kitega	»	»	L.	D.	—
Musha-Bugambira	Minétain	Expl. Minières	L.	D.	—
Katumba	»	»	L.	D.	—
Ruhengeri	Etiru	Distr. élect.	—	T.H.	300
Rwinkwavu	Georuanda	Expl. Minière	L.	D.	—
Usumbura	Centrelka	Product.	—	T.H.	—
Bugesera (Nemba)	Corem	Exploit. Minière	L.	D.	—
Kigali	Pirotte	»	L.	T.H. et D	—
Yanza	Corem	»	L.	D.	—
Bugarama	Mines de Bugarama	Expl. Wolfram	L.	D.	—
Usumbura	Cotonco	Huilerie	D.H.	P.	—
Mutanga (Usumbura)	Indurundi	Producteur	—	T.H.	— 224

Nature du combustible

L. : Liquide.

B. : Bois.

Ba : Bagasse.

D. H. : Déchets Huilerie.

C. : Charbon.

D. V. : Déchets végétaux.

Genre de machine motrice

T. H. : Turbine hydraulique.

T. V. : Turbine à vapeur.

P. : Machine à vapeur à piston.

D. : Moteur à combustion interne combustibles liquides.

30 (suite).

RUANDA-URUNDI

Puissance en kw					Production en kWh en 1957		
totale installée			Dispo- nible	Réserve	Hydro.	Thermique Vapeur	Diesel
Hydro.	Thermi- que Vapeur	Diesel					
—	—	3.040	2.240	800	—	—	5.158.240
—	—	265	150	115	—	—	464.347
—	—	95	60	35	—	—	112.801
—	—	480	400	80	—	—	715.041
—	—	240	160	80	—	—	246.761
134	—	—	18	102	300.000	—	—
—	—	1.048	650	250	—	—	3.387.400
350	—	—	350	—	2.293.395	—	—
—	—	384	182	182	—	—	565.700
100	—	50	100	50	500.000	—	200.000
—	—	100	50	50	—	—	600.000
—	—	425	134	248	—	—	324.250
—	190	—	190	—	—	735.000	—
160	—	—	150	—	921.151	—	—
744	190	6.127			4.014.546	735.000	11.774.540
					16.254.086		

Tableaux 30 bis. — Centrales hydro-électriques en exploitation au Congo belge et au Ruanda Urundi en 1957 (1)

Nom	Société	Année	Groupes CV	Puissance Installée		Réseau	
				en Ch	en kW	Long. km	Tens. kV
PROVINCE LÉOPOLDVILLE							
Mpozo	Regideso	1934	2 × 1.500	3.000	1.200	10	15
Sanga	Sanga	1932	3 × 3.500				
		1947	1 × 3.500				
		1948	1 × 3.500				
Zongo	Forces Bas-Congo	1949	1 × 3.500	21.000	12.000	70	66
		1955	2 × 17.500			9	70
		1957	1 × 17.500	52.500	39.000	70	70
						130	70
PROVINCE KASAI							
Tshala I	Minière Bécéka	1931	1 × 1.000				
			1 × 700	1.700	1.375	20	15
Young	Minière Bécéka	1952	4 × 2.500	10.000	7.000		
Tshikapa	Forminière	1949	2 × 1.000	2.000	1.365	20	15
PROVINCE ÉQUATEUR							
PROVINCE ORIENTALE							
Budana	Kilo-Moto	1940	2 × 3.500			200	70
		1955	1 × 7.000	14.000	9.400	368	30
Nzoro	Kilo-Moto	1934	2 × 700	1.400	1.050	393	10
Soleniama I	Kilo-Moto	1924	6 × 250	1.500	1.200		
Soleniama II	Kilo-Moto	1931	4 × 400	1.600	1.200	140	30
Dingila	Cotonco	1954	1 × 520	520	425	7	15
Tshopo	Forces	1955	2 × 8.500	17.000	12.400	5	6,6

Centrales hydro-électriques en construction (1)
ou en extension en 1957

Nom	Société	Puissance en Ch	Puissance en kW	Réseau	
				Long. km	Tens. kV
Province Léopoldville Zongo	Forces Bas-Congo			65	132
Province Kivu Belia	Symétain	2 × 1.500	2.000	25	11
Bukavu	Forces	2 × 8.500	12.600	180	70
Kamituga (extension)	Min. Grands Lacs	1 × 700	520		
Province Katanga Kiyambi	Forces	2 × 11.950	17.500	120	132
Ruanda-Urundi Kisenyi	Regideso	2 × 750	1.000		

Centrales hydro-électriques en projet

Province Léopoldville Inga	Ministère du Congo Belge				
Zongo (extension)	Forces Bas-Congo	2 × 25.000	36.000		
Tshela	Regideso	2 × 400	500		
Province Kasai Luluabourg	Forces Bas-Congo		20.000	13.500	
Tshala II	Minière Bécéka	3 × 5.000	12.000		
Province Orientale Tshopo (extension)	Forces	1 × 8.500	6.200		
Province Kivu Bukavu (extension)	Forces	2 × 8.500	12.600		
Province Katanga Kiyambi (extension)	Forces	3 × 11.950	26.250		
Lubudi A (extension)	Cimenkat	1 × 2.800	2.000		
Lubudi C	Cimenkat	3 × 1.750	10.000		
Nzilo-Bodson	U.M.H.K.	6 × 53.000	225.000		220
Ruanda-Urundi Taruka	Forces	6 × 5.250	10.500	150	70

N. B. Seules sont signalées les centrales hydro-électriques d'une puissance supérieure à 250 kW

(1) Extrait du rapport de la société Forces.

Tableau 31. — Puissances installées dans les Centrales de la Régie fin 1958.

Centrales	Hydroélectrique		Thermiques (Diesel)		Totales	
	Grou- pes	kW	Grou- pes	kW	Grou- pes	kW
Matadi	2	2.000	4	2.275	6	4.275
Boma			5	1.460	5	1.460
Région côtière			3	1.050	3	1.050
Lukula			3	215	3	215
Luluabourg			5	2.730	5	2.730
Kikwit			2	230	2	230
Lusambo			3	225	3	225
Kabinda			2	300	2	300
Buta			3	180	3	180
Bumba			3	330	3	330
Lisala			3	140	3	140
Boende			2	60	2	60
Coquilhatville			4	1.150	4	1.150
Gemena			3	140	3	140
Bukavu - Shangugu - Kabare			10	4.300	10	4.300
Usumbura			7	3.040	7	3.040
Astrida			3	265	3	265
Goma-Kisenyi	1	550	5	690	6	1.240
Nyanza			2	40	2	40
Kigali	2	70	3	250	5	320
Kitega			3	95	3	95
Kindu			3	660	3	660
Kasongo			4	280	4	280
Kasenga			2	170	2	170
Kaniama			3	160	3	160
Kamina			2	420	2	420
	5	2.620	92	20.855	97	23.475

Tableau 31 bis. — Puissances mises à disposition de REGIDESO par des tiers.

Centrales	Hydroé- lectrique	Thermi- que	
Lukula	25		Forces du Bas-Congo
Thysville	575		Forces du Bas-Congo
Stanleyville	4.000		Forces de l'Est
Bunia	250		Sokimo
Usumbura	450		S.E.U. et Indurundi
Kamina	1.000		Base Militaire
Kongolo		100	C.F.L.
	6.300	100	

Tableau 32. — Évolutions comparées du produit national, du produit industriel et des consommations d'énergie électrique en T. B. O. (1) (d'après le Bulletin de la Banque Centrale du C. b. et du R.U., 10 octobre 1956)

	1950	1951	1952	1953	1954	1955
Produit industriel × 10 ⁶ F.C.	1 = 100 10.580	140,8 14.900	164,9 17.450	160,6 16.990	172,7 18.270	190,3 20.130
Produit national brut × 10 ⁶ F.C.	1 = 100 33.700	133,1 44.850	146,6 49.390	152,1 51.250	160,6 54.110	171,5 57.790
Ventes d'électricité Regideso (2) × 10 ³ kWh	1 = 100 6.451	146,2 9.429	234,4 15.120	334,4 21.570	459,9 29.671	566,2 36.525
Idem Colectric (2) × 10 ³ kWh	1 = 100 35.789	122,9 44.000	139,7 50.000	164,9 59.000	201,2 72.000	231,9 83.000
Idem Sogelec (2) × 10 ³ kWh	1 = 100 22.875	121,7 27.850	141,6 32.400	174,- 39.800	203,2 46.475	230,9 52.825
Ventes d'électricité × 10 ³ kWh	1 = 100 65.115	124,8 81.279	149,8 97.520	184,9 120.370	227,5 148.146	264,7 172.350

(1) Calculs des indices effectués par les services techniques de la Régie.

(2) D'après statistiques des Distributeurs.

Tableau 33. — Évolution du produit national brut de 1950 à 1955 (1)
(En millions de FB).

	1950	1951	1952	1953	1954	1955	Accroissement en % en 1955 par rapport à	
							1950	1954
Agriculture, sylviculture, pêche :								
indigène	8.100	9.950	11.150	11.470	11.650	12.420	53	7
européenne	2.170	2.570	2.560	2.620	2.710	3.010	39	11
Traitement des produits agricoles	2.000	3.580	2.920	2.330	2.560	2.820	41	10
Mines et métallurgie de base	6.730	8.760	11.520	11.410	12.140	13.440	99	11
Industries manufacturières	1.850	2.560	3.010	3.250	3.570	3.870	109	8
Matériaux de construction				1.300	1.420	1.480		
Construction	1.680	2.460	3.200	2.000	2.120	2.380	130	12
Transports et communications	2.460	3.680	4.130	4.320	4.760	5.350	117	12
Déduction pour importations	-1.100	-2.600	-4.060	-3.380	-3.850	-4.640	222	20
Commerce : indigène	210	300	550	650	700	770	267	10
européen	3.000	3.800	3.680	3.720	3.780	3.670	22	-3
Services divers	600	960	1.180	1.520	1.830	2.160	260	18
Services domestiques	440	500	690	730	760	800	82	5
Services administratifs	3.050	3.140	3.990	4.490	4.980	5.560	82	12
Immeubles d'habitation	1.670	2.400	2.700	2.600	2.760	2.870	72	4
Impôts indirects (— subventions)	2.330	4.300	4.720	4.630	4.860	5.270	126	8
Produit intérieur brut	35.190	46.360	51.940	53.660	56.750	61.230	74	8
Contribution du reste du monde au Produit national	-1.490	-1.510	-2.550	-2.410	-2.640	-3.440	131	30
Produit national brut	33.700	44.850	49.390	51.250	54.110	57.790	71	6,8

(1) Reproduit du *Bulletin de la Banque Centrale du Congo belge et du Ruanda-Urundi*, 10 octobre 1956.

Tableau 34. — Le revenu national et sa répartition de 1950 à 1955 (4) (en millions de FB).

	1950	1951	1952	1953	1954	1955
Salaires perçus par les Indigènes payés par l'État	550	760	1.130	1.410	1.740	1.930
par les entreprises	4.190	6.220	7.010	7.990	8.460	9.160
par les particuliers	440	500	690	730	760	800
Salaires perçus par les Européens payés par l'État	1.730	1.930	2.310	2.570	2.670	3.010
par les entreprises	3.920	5.460	6.110	6.880	7.400	7.700
Salaires payés au reste du Monde	240	240	330	270	240	250
Revenus de la propriété perçus par les particuliers	720	700	870	1.060	1.100	1.200
par l'État (net)	310	200	290	510	1.060	580
par le reste du Monde	1.250	1.270	2.220	2.140	2.400	3.190
Revenus de l'entreprise perçus par les indigènes.	8.310	10.250	11.700	12.120	12.350	13.190
Commercialisés	3.600	4.640	4.820	4.770	4.950	5.560
Non commercialisés	4.710	5.610	6.880	7.350	7.400	7.630
Revenus de l'entreprise perçus par les Européens	1.900	2.500	2.500	2.000	2.200	2.560
Épargne des Sociétés	6.010	8.250	7.510	5.200	4.650	4.960
Dividendes à distribuer	1.250	1.490	330	360	450	1.230
Autre épargne	4.760	6.760	7.180	4.840	4.200	3.370

Impôts directs payés par les Sociétés	1.230	1.310	1.420	2.040	2.170	2.250
Revenus perçus par le reste du Monde:	-1.490	-1.510	-2.550	-2.410	-2.640	-3.440
REVENU NATIONAL	29.310	38.080	41.540	42.510	44.560	47.340
Impôts directs (moins subventions)	2.330	4.300	4.720	4.630	4.750	5.150
Amortissements	2.060	2.470	3.130	4.110	4.800	5.300
État	200	210	220	240	330	370
Entreprises	1.860	2.260	2.910	3.870	4.470	4.930
PRODUIT NATIONAL BRUT	33.700	44.850	49.390	51.250	54.110	57.790

(1) Reproduit du *Bulletin de la Banque Centrale du Congo belge et du Ruanda-Urundi* (n° 10 octobre 1956).

Tableau 36. — Développement des ventes d'énergie électrique à Léopoldville (communiqué par la Société Coloniale d'Électricité COLECTRIC.)

Année	kWh
1946	20.000.000
1947	21.000.000
1948	26.000.000
1949	30.000.000
1950	36.000.000
1951	44.000.000
1952	50.000.000
1953	59.000.000
1954	72.000.000
1955	83.000.000
1956	99.000.000
1957	113.000.000
1958	122.500.000

Tableau 37 — Développement des ventes d'énergie électrique à Elisabethville — Jadotville et Kolwezi (communiqué par la Société Africaine d'Électricité SOGELEC).

A. — Ventes d'énergie dans les réseaux urbains (en millions de kWh).

Année	Élisa- bethville	Jadotville	Kolwezi
1950	17.975	3.850	1.050
1951	21.950	4.450	1.450
1952	24.900	5.350	2.150
1953	30.800	5.950	3.050
1954	35.175	7.450	3.850
1955	39.650	8.500	4.675
1956	45.000	9.375	5.875
1957	50.670	9.816	7.643
1958	52.526	10.168	8.326

B. — Pointes de puissance dans les réseaux urbains
(en kW).

Année	Élisa- bethville	Jadotville	Kolwezi
1952	7.240	?	790
1953	8.550	1.700	1.030
1954	9.700	2.070	1.270
1955	10.750	2.300	1.440
1956	12.500	2.500	1.900
1957	12.730	2.600	2.208
1958	12.950	3.018	2.304

C. — Coefficient de pointe.

1952	2,56	?	3,22
1953	2,77	2,50	2,96
1954	2,42	2,44	3,65
1955	2,38	2,38	2,96
1956	2,43	2,34	2,84
1957	1,99	2,31	2,35
1958	1,98	2,44	2,32

Tableau 38 — Consommations de gazoil des Centrales Diesels de la Régie en 1958 (en fonction des puissances installées).

Exploitation	Puissance installée (en kW)	Production d'énergie en kWh	Consommation totale gazoil en litres	Cons. spéc. ml/kWh produit (1)	Puissance des groupes (en kW)
A) + de 2.000 kW					
Matadi	2.675	4.323.800	1.265.883	293	275 - 400 - 800
Luluabourg	2.730	7.274.170	2.156.585	297	230 - 450 - 800
Bukavu	4.300	8.554.930	2.675.222	313	200 - 250 - 450
Usumbura	3.040	5.491.350	1.750.350	319	750 - 800
		25.644.250	7.848.040	306 (257 gr)(2)	220 - 450 800
B) de 1.000 à 2.000 kW					
Boma	1.460	3.690.010	1.253.790	340	220 - 400
Région côtière	1.050	928.600	388.469	418	250 - 400
Coquilhatville	1.150	3.560.030	1.130.927	318	200 - 375
		8.178.640	2.773.186	339 (285 gr)(2)	
C) moins de 1.000 kW					
Lukula	215	111.856	59.998	536	30 - 65 - 120
Kikwit	230	773.280	260.850	337	115
Lusambo	225	154.147	97.435	632	20 - 90 - 115
Kabinda	300	7.340	13.250	1.805	150
Buta	180	328.825	132.200	402	30 - 60 - 90
Bumba	330	289.658	187.133	646	30 - 150
Kisala	140	283.202	133.606	472	20 - 30 - 90

Boende	60	27.615	23.510	851	30
Gemena	140	200.147	92.640	463	20 - 30 - 90
Astrida	265	499.130	200.114	401	35 - 115
Goma-Kisenyi	690	1.390.640	480.591	346	55 - 200 - 325
Nyanza	40	23.801	19.413	816	20
Kigali	250	163.742	83.781	512	50 - 100
Kitega	95	164.557	74.192	451	25 - 35
Kindu	660	1.677.800	690.377	412	200 - 230
Kasongo	280	395.261	141.017	357	30 - 45 - 160
Kasanga	170	50.950	53.460	1.049	85
Kaniama	160	210.163	111.946	533	40 - 60
Kamina	420	1.050	400	381	210
		6.753.164	2.855.913	423	
				(355 gr)(²)	

(¹) Production d'énergie mesurée aux bornes des générateurs.

(²) Poids spécifique moyen du gasoil : 0,84.

Tableau 38 bis — consommations spécifiques des moteurs « Diesel » en g/chh/utile à l'arbre du moteur (Relevés d'exploitation).

Type (4 temps)	Puissance nominale en Ch à 20° C-760 mm Hg-60 % humidité relat. air	Écarts de consommations relevées en exploitation	Rapports extrêmes des charges moyen. à la puissance nominale
Carels 8 ES (suralimenté)	1.270	173,5 à 174,-	0,68 à 0,63
Carels 6 ES (suralimenté)	750	174,6 à 194,-	0,52 à 0,47
Carels 6 E	680	166,7 à 207,-	0,74 à 0,53
Carels 7 et 7 BC	365 – 425	176,9 à 229,2	0,65 à 0,48
A.B.C. 5 et 6 DU	220 – 255	219,8 à 277,1	0,45 à 0,28
G.M.C. (2 temps) et MAC LAEREN	66 – 88	263,3 à 303,-	0,88 à 0,11

Tableau 39. — Bilan énergétique du Congo belge (1) (en tonnes de charbon).

	1950	1951	1952	1953	1954	En % du total (1954)	Évolution 1954-1950
A. Production :							
Bois de chauffage	1.265.248	1.516.632	1.506.247	1.840.251	1.723.265	60,6	136,1
Charbon de bois	2.315	2.691	5.496	6.465	7.243	0,3	312,8
Charbon	160.200	219.000	255.551	315.185	378.940	13,4	236,5
Énergie hydraulique	430.833	487.497	551.470	617.348	730.473	25,7	169,5
Total	1.858.596	2.225.820	2.318.764	2.779.249	2.839.921	100,—	152,7
B. Importations nettes :							
Charbon	150.900	133.899	193.121	132.710	146.512	21,1	97,—
Cokes	51.804	47.751	57.345	67.548	68.389	9,8	132,—
Électricité	—	—	—	—	7.651	1,1	—
Produits pétroliers	231.882	251.319	293.020	333.987	470.834	68,—	203,—
Total	434.586	432.969	543.486	534.245	693.386	100,—	159,5
C. Disponibilités							
Bois de chauffage	1.265.248	1.516.632	1.506.247	1.840.251	1.723.265	48,8	136,1
Charbon de bois	2.315	2.691	5.496	6.465	7.243	0,3	312,8
Charbon	311.100	352.899	448.672	347.895	525.452	14,9	168,9
Cokes	51.804	47.751	57.345	67.548	68.389	1,9	132,—
Énergie hydraulique	430.833	487.497	551.470	617.348	738.124	20,8	171,3
Produits pétroliers	231.882	251.319	293.020	333.987	470.834	13,3	203,—
Total	2.293.182	2.658.789	2.862.250	3.213.494	3.533.307	100,—	154,—
Situation globale (sans bois de chauffage et charbon de bois) :							
Production	591.033	706.497	807.021	932.533	1.109.413	61,5	187,7
Importations	434.586	432.969	543.486	534.245	693.386	68,5	159,7
Disponibilités	1.025.619	1.139.466	1.350.507	1.466.778	1.802.799	100,—	175,7

(1) Reproduit du *Bulletin de la Banque Centrale du Congo belge et du Ruanda-Urundi* (juin-juillet 1956).

Tableau 40 — Investissements intérieurs publics et privés (1)
(en millions de F).

Année	Investissements publics	Investissements privés	Total des investissements bruts intérieurs	Proportion des investissements publics dans le total des investissements intérieurs (en %)
1950	2.250	5.460	7.710	29
1951	4.360	8.940	13.300	33
1952	5.190	11.480	16.670	31
1953	6.770	8.930	15.700	43
1954	7.280	8.970	16.250	45
1955	6.970	10.120	17.090	41
1956	6.810	11.610	18.420	37
1957	7.190	11.730	18.920	38

(1) Reproduit du *Bulletin de la Banque Centrale du Congo belge et du Ruanda-Urundi* (n° 6-7, juil-juillet 1956).

BIBLIOGRAPHIE

A. Bibliographie générale.

- [1] APERTET, F., Problème de principe posé par l'alimentation en énergie électrique des agglomérations d'une région donnée (Journées Internationales de l'Électricité dans les pays tropicaux, Rapport général n° 1, Commission de la Production, du Transport et de la Distribution de l'Électricité, Paris, mai 1956, p. 10).
- [2] ARDOULLIE, L. F., Trois années de gazogène (Journées des carburants et Combustibles nationaux, 3^e Recueil, S^{té} Royale Belge des Ingénieurs et des Industriels, Bruxelles, 1944, p. 60).
- [3] ARDOULLIE, L. F., Les moteurs et les carburants de remplacement (Journées des Carburants et Combustibles nationaux, 1^{er} recueil, Bruxelles, 1941, p. 327).
- [4] ARMAND, L., Quelques aspects du problème européen de l'énergie (O.E.C.E., Paris, 1955, p. 24).
- [5] ARMAND, L., La mise en valeur des pays sous-développés (Industries et Travaux d'Outre-mer, Paris, avril 1956, p. 171).
- [6] Banque centrale du Congo belge et du Ruanda-Urundi, Les investissements réalisés dans le secteur du Transport congolais entre 1950 et 1956 (*Bulletin* n° 6/7, Bruxelles, juin-juillet, 1958, p. 231).
- [7] IDEM., L'Électricité au Congo belge (*Bulletin* n° 5, Bruxelles, mai 1956).
- [8] IDEM., Produit national, revenu national, dépenses nationales au Congo belge en 1955 (n° 10, Bruxelles, Octobre 1956).
- [9] BERTHELOT, Ch., La tourbe, un carburant, un engrais (Cours du Centre de perfectionnement technique, *Bulletin* n° 620, Paris, février 1941, pp. 1 et 5).
- [10] BOINVILLERS, M., Les carburants coloniaux (Industries coloniales, Paris, 1944, pp. 16 et 20).
- [11] BRONGNIART, R., Perspectives d'avenir sur la production d'énergie et les sources d'énergie non conventionnelles (*Bulletin de l'Union des Exploitations électriques de Belgique*, Bruxelles, décembre 1956, p. 17).
- [12] BUISSERET, A., L'évolution économique du Congo belge (Conférence de décembre 1955 à la Société belge d'Études et d'Expansion, *Bulletin* n° 169, Bruxelles, Janvier-février 1956).
- [13] CAHEN, L., Géologie du Congo belge (Vaillant-Carmanne, Bruxelles, 1954, pp. 527 et 530).

- [14] CLERFAYT, A., Le Livre de l'Eau (Extrait du Tome III, *Bulletin du Centre belge d'Études des Eaux*, n° 29, Liège, 1955, p. 187).
- [15] CLERFAYT, A., Compositions des eaux de rivières au Congo. Influence des facteurs géologiques et climatiques (*Bulletin du Centre belge d'Étude des Eaux*, n° 31, Liège, 1956, pp. 28 et 30).
- [16] CLERFAYT, A., Les eaux d'alimentation au Congo : Considérations liminaires d'hydrologie (*Bulletin du Centre belge d'Étude des Eaux*, n° 29, Liège, 1955, p. 186).
- [17] CLERFAYT, A., Le problème de l'eau potable en T.B.O. (*Technique de l'eau*, Bruxelles, mars-avril, 1954, p. 11).
- [18] COMHAIRE, E., Sur l'emploi des huiles végétales dans les moteurs à combustion interne (*Congo*, Tome II, n° 1, Bruxelles, juin 1921, p. 122).
- [19] COMHAIRE, E., Source d'énergie et carburants de remplacement au Congo belge (Journées des Carburants, Société royale belge des Ingénieurs et Industriels, Bruxelles, 1943, p. 206).
- [20] COPPENS, A., Les moteurs Diesels à 4 temps et à 2 temps (*Bulletin technique U.I.Lv*, Louvain, janvier 1953, pp. 12 et suiv.).
- [21] COPPENS, A., Essais d'utilisation au laboratoire et sur route de l'huile de palme éthanolysée (Extr. *Bulletin agricole du Congo belge*, Bruxelles, 1942, pp. 54-74).
- [22] CORNET, R., La bataille du Rail (Édition L. Cuypers, Bruxelles, 1947, p. 17).
- [23] DARCHAMBEAU, V., Vers la promotion de l'économie indigène (Bruxelles, 1956, p. 299).
- [24] DE BROUWER, R., La valorisation du grisou capté dans les charbonnages du Hainaut (6^e International Gas Conference, New-York, 1955, IGU/14, 55, p. 14).
- [25] DE KEYSER, W. L. et DE MAGNÉE, I., Possibilités d'emploi de l'énergie hydro-électrique du Bas-Congo (*Bulletin de l'Académie Royale des Sciences coloniales*, Bruxelles 1956, Tome IV, p. 4).
- [26] DELEVOY, G., Le Congo Forestier (Encyclopédie du Congo belge, Tome II, Édit. Bieleveld, Bruxelles, 1952, pp. 22 et 24).
- [27] FONTAINAS, P., La force motrice pour les petites industries coloniales (Institut Royal Colonial Belge, Bruxelles, 1935, pp. 8 et 61).
- [28] FRÉDÉRIK, J., Le problème de l'énergie au Congo belge (Centenaire de l'Association des Ingénieurs de Liège — Section coloniale, Congrès Liège, 1947, p. 130).
- [29] GARIEL, M., Note sur l'évolution de la technique des basses chutes (Publication Neyrpic, Grenoble, 1956, p. 5).
- [30] GREINDL, A., La Belgique et l'économie congolaise (Société belge d'Études et d'Expansion, Liège, décembre 1956).
- [31] HOUDERET, E., L'établissement des hélices d'éoliennes électriques à usage domestique (Génie civil, Paris, juin 1951, pp. 208-9).
- [32] JALBERT, I., Moteurs Diesels alimentés à l'huile végétale et thermo-

- dynamique du moteur polyvalent (La France énergétique, Paris, 1946).
- [33] KEMP, R., Position des carburants de remplacement (Journées des Carburants et Combustibles nationaux, Bruxelles, 1944, pp. 176/7).
- [34] KUFFERATH, J., et SCHMITZ, D. M., Problèmes posés par la présence de gaz dissous dans les eaux profondes du lac Kivu (*Bulletin de l'Académie des Sciences coloniales, Nouvelle série*, I, Bruxelles 1955, 2, pp. 326/356).
- [35] LACROIX, G., Générateurs éoliens (*Bulletin de la Société française des Électriciens*, Paris, avril 1950).
- [36] LEFEBVRE, J., Structures économiques du Congo belge et du Ruanda-Urundi (Éditions du Treurenberg, Bruxelles, 1955, pp. 71/72).
- [37] LOURY, L'huile de palme méthanolysée (La France énergétique, Paris, 1945).
- [38] MAILLÉ, P., L'énergie (Presses universitaires de France, Paris, 1954, p. 38).
- [39] MARTHOZ, A., Le problème de l'énergie électrique du Katanga (Extr. *Énergie*, Bruxelles, mai-juin, 1954, pp. 5 et 12).
- [40] MERTENS DE WILMARS, E., L'huile de palme éthanolysée (Extr. du *Bulletin Agricole du Congo belge*, Bruxelles, 1942, p. 37).
- [41] MERTENS DE WILMARS, E., Sur les schistes bitumeux congolais (Institut Royal Colonial Belge, Bruxelles, 1953, pp. 1556-1561).
- [42] MERTENS DE WILMARS, E., Les carburants de remplacement au Congo belge (Commission des Carburants du Ministère du Congo belge et du Ruanda-Urundi, Bruxelles, 1956, p. 8).
- [43] MIGEON, M., Le problème calorifique au Centre Afrique (*Industries et Travaux d'Outremer*, Paris, janvier 1957, p. 36).
- [44] Ministère du Congo belge et du Ruanda-Urundi, Les investissements au Congo belge (Direction des Études économiques, Bruxelles, 1955, p. 28).
- [45] Ministère du Congo belge et du Ruanda-Urundi, Plan décennal pour le développement économique et social du Congo belge (Éditions de Visscher, Bruxelles 1949).
- [46] Nations Unies — Commission économique pour l'Europe, Le potentiel hydroélectrique de l'Europe (Genève, mai 1956).
- [47] Office européen de Coopération économique (O.E.C.E.), L'Europe face à ses besoins croissants en énergie (Paris, 1956, p. 13).
- [48] Office européen de Coopération économique, Le pétrole, perspectives européennes (Paris, Septembre, 1956, pp. 27 et 36).
- [49] PASSAU, G., Les schistes bitumineux du Congo belge (Congrès international des Mines, de la Métallurgie et de la Géologie appliquée, 7^e Session, Paris, octobre 1935, p. 523).
- [50] PASSAU, G., Les sources thermales de la Province Orientale du Congo (Idem Paris, octobre 1935, p. 541).
- [51] PETIT, H., Utilisation et possibilités techniques des énergies de

- remplacement en France (Journées des Carburants, Bruxelles, juillet 1952, pp. 42-3-5).
- [52] POLIAKOFF, J., Les moteurs polycarburants et leurs possibilités d'emploi Outre-Mer (*Industries et Travaux d'Outremer*, Paris, mars 1959, pp. 159-162).
- [53] ROBERT, M., Le Congo physique (Édit. R. Stoop, Bruxelles, 1942, pp. 132 et 312).
- [54] ROLLET, A., La centrale géothermique de Kiabukwa au Katanga (Comptes rendus des travaux du Congrès scientifique, Elisabethville, août 1950, pp. 2, 4 et 6).
- [55] ROUYER, COL., L'appréciation des combustibles pour gazogènes (Centre de Perfectionnement technique, Paris, 1941, pp. 6 et 9).
- [56] SCHMITZ, D., Le potentiel industriel de l'Afrique (Journées d'études internationales africaines, Gand, 1953, p. 99).
- [57] SCHMITZ, D., L'essence synthétique (Extr. *Industrie chimique belge*. T. XVI, n° 7, Bruxelles, 1951, p. 6 et 9).
- [58] Société des Mines d'Or de Kilo-Moto. L'emploi du gazogène aux mines de Kilo-Moto (Journées des carburants, Bruxelles, 1944, p. 228).
- [59] Société Générale de Belgique, Compte rendu de l'exercice 1956, Bruxelles.
- [60] STANER, P., Les bois du Congo, source de carburant (Journées des Carburants et Combustibles nationaux, 2^e Session, Bruxelles, juillet 1942, pp. 241, 244).
- [61] STERCKX, R., L'alcool carburant (Idem, Bruxelles, 1944, pp. 202/3).
- [62] VANDEN ABEELE, M., L'huile de palme (Extr. *Bulletin Agricole du Congo belge*. Ministère du Congo belge et du Ruanda-Urundi, Bruxelles, 1942, pp. 5, 6).
- [63] VANDEN PLAS, A., L'humidité atmosphérique et l'évaporation au Congo belge (Ministère du Congo belge et du Ruanda-Urundi, Bruxelles, 1949, pp. 25-27).
- [64] VANDEN PLAS, A., La pluie au Congo belge (Institut royal météorologique de Belgique, Édit. IMIFI, Bruxelles, 1943, pp. 16, 19 et 20).
- [65] VANDERLINDEN, R., Possibilités de développement des industries secondaires au Congo (Institut Royal Colonial belge, Tome XVII, Bruxelles, 1946, 1^{re} partie, pp. 418 et 424).
- [66] VAN DE VELDE, G., Structure économique des pays équatoriaux (*Revue de la Société Royale belge des Ingénieurs et des Industriels*, Bruxelles, mars 1956, p. 127).

B. Publications relatives aux cites hydroélectriques du Bas-Congo

- [1] BETHE, R., Les ressources hydrauliques du Congo (*Bulletin scientifique de l'Association des Ingénieurs électriciens de l'Institut Montefiore*, Liège, mai 1946, pp. 153 à 164).
- [2] BETHE, R., Puissance hydraulique existante dans le bassin du Congo (Institut Royal Colonial Belge, Bruxelles, 1937).
- [3] CAMPUS, F., L'aménagement hydroélectrique du fleuve Congo à Inga (Académie Royale des Sciences coloniales, Bruxelles, 1958).
- [4] DARCHAMBEAU, V., Les projets du Bas-Congo et d'Inga (Conférence du 28 janvier 1948, Collège national des Experts comptables de Belgique, Bruxelles, 1958).
- [5] DE KEYSER, W. L. et DE MAGNÉE, I., Possibilités d'emploi de l'énergie hydroélectrique du Bas-Congo (Académie royale des Sciences coloniales, Bruxelles, 1956).
- [6] DEVROEY, E.-J., Le bassin hydrographique congolais spécialement celui du bief maritime (Institut royal Colonial belge, Bruxelles, 1941).
- [7] DEVROEY, E.-J., L'énergie hydraulique du Congo belge (Institut royal colonial belge, Bruxelles, 1948).
- [8] DEVROEY, E.-J., et VANDERLINDEN, R., Le Bas-Congo, artère vitale de notre Colonie (Édition Goemare, Bruxelles, 1951).
- [9] DEVROEY, E.-J., Les ressources portuaires du Bas-Congo (Académie royale des Sciences coloniales, Bruxelles, 1957).
- [10] GEULETTE, P., Considérations sur l'aménagement hydro-électrique du fleuve Congo à Inga (Académie Royale des Sciences coloniales, Bruxelles, 1955).
- [11] GEULETTE, P., État des données techniques relatives au projet d'équipement hydro-électrique du Fleuve Congo à Inga (Académie royale des Sciences coloniales, Bruxelles, 1957).
- [12] LEEMANS, F., Les centrales hydro-électriques au Congo belge (Institut royal colonial belge, Bruxelles, 1951).
- [13] PASSAU, G., La ligne des chutes du bassin Congo-Kasaï entre les 5^{me} et 6^{me} degrés de latitude sud (*Annales de la Société géologique de Belgique*, Liège, 1912).
- [14] PIRENNE, J. H., Histoire du Site d'Inga (Académie royale des Sciences coloniales, Bruxelles, 1957).
- [15] Régie de Distributions d'Eau et d'Électricité du Congo belge et du Ruanda-Urundi, L'aménagement du site d'Inga au Congo belge (*Industries et Travaux d'Outremer*, Paris, janvier 1958).
- [16] STRAUVEN, M., Les forces hydrauliques du Congo belge (Congrès du Centenaire de l'Association des Ingénieurs de l'École de Liège, Section coloniale, Liège, 1947, p. 111).

- [17] Syndicat d'Études du Bas-Congo, Captage des forces hydrauliques dans le Bas-Congo (Rapport du Comité d'administration suivi du rapport technique établi par MM. GRUNER, H. E. et de RHAM, P., Bruxelles, 1932).
- [18] THYS, R., Étude des Forces hydrauliques du Bas-Congo (Bruxelles, 1912).
- [19] THYS, R., Le problème des grandes forces hydrauliques du Congo belge (*Bulletin de la Société belge d'Études coloniales*, n° 2, Bruxelles, février, 1913).
- [20] THYS, R., Pour la création d'un comité supérieur des forces hydro-électriques du Congo belge (*Revue Coloniale belge*, n° 67, Bruxelles, juillet, 1948).
- [21] UGEUX, E., La centrale de Zongo suffira-t-elle pour alimenter Léopoldville en électricité ? (*Revue Coloniale belge*, n° 204, Bruxelles, 1954).
- [22] VAN DER LINDEN, F., Houille blanche et chemin de fer (*La Revue Coloniale belge*, n° 53, décembre 1947).
- [23] VAN DEUREN, Col. P., Projet de mise en valeur intégrale du fleuve Congo dans la région des cataractes (Bruxelles, octobre 1925).
- [24] VAN DEUREN, Col. P., La solution des transports et la force hydro-électrique dans le Bas-Congo (*Revue Congo*, Bruxelles, avril 1926).
- [25] VAN DEUREN, Col. P., Aménagement du Bas-Congo (Bruxelles, 1928).
- [26] VAN DEUREN, Deux facteurs essentiels à l'avenir économique du Bas-Congo : Un bon port maritime à Banane. De l'électricité à projection à Matamba (1936).
- [27] VAN DEUREN, Col. P., Activité du Syndicat d'Études du Bas-Congo (*Bulletin de l'Institut royal colonial belge*, Bruxelles, 1933).
- [28] WIGNY, P., Électrification du Congo (*Bulletin de l'Union des Exploitations électriques en Belgique*, Bruxelles, 1951, n° 1).

LISTE DES TABLEAUX

1. Composition des houilles du Katanga	20
2. Effectifs des motrices des chemins de fer exploités par l'Otraco	23
3. Importance du moteur Diesel dans la traction ferroviaire congolaise	24
4. Puissances des unités de la flotte fluviale Otraco	25
5. Composition du parc des véhicules routiers	26
6. Développement de l'infrastructure routière	27
7. Importation de combustibles et de carburants dans les T. O. M.	34
8. Vitesse du vent dans les principales stations météorologiques	201
9. Vitesse moyenne du vent à 2 m à Yangambi en 1954	202
10. Capacité de production de la Centrale Francqui	242
11. Répartition des puissances en kVA des centrales hydro-électriques et thermiques des T. B. O. fin 1957 par province et pour le Ruanda-Urundi	340
12. Répartition des puissances hydraulique et thermique	341
13. Évolution de la puissance hydroélectrique du Congo belge ..	342
14. Répartition de la puissance des centrales hydroélectriques par secteur	342
15. Évolutions comparées de la consommation d'énergie et du produit national	343
16. Comparaison des évolutions de la production d'énergie électrique et d'éléments de la vie économique	352
17. Évolution de la production d'énergie électrique par travailleur	353

18. Évolution de la production d'énergie électrique par travailleur industriel et minier	354
19. Évolution de la production de la Régie par province	355
20. Comparaison entre la production économique et l'industrie de l'électricité des diverses provinces	356
21. Utilisation des centrales électriques au Congo belge en 1954	357
22. Consommations d'énergie électrique dans l'industrie par ouvrier ou employé effectivement au travail en 1952	357
23. Répartition des ventes Regideso par catégories de consommateurs de 1947 à 1956	358
24. Répartition des ventes Regideso par catégories de consommateurs de 1957 à 1958	359
25. Développement du nombre de raccordements de la Régideso	359
26. Comparaison entre l'évolution du revenu national et celle des prix intérieurs	371
27. Répartition du revenu national entre l'économie indigène et l'économie non indigène	371
28. Barème des prix moyens de fourniture d'énergie électrique aux indigènes	372

LISTE DES GRAPHIQUES

1. Revenu national de 1950 à 1957 (en millions de FC)	345
2. Évolutions comparées du produit national, du produit industriel, des ventes d'énergie électrique de la Régie et de la production totale d'électricité des T. B. O. en valeurs	346
3. Évolutions comparées du produit national, du produit industriel, des ventes de courant de la Régie et de la production totale d'électricité des T. B. O. en indices	347
4. Répartition annuelle des ventes d'énergie électrique de la Régie	349
5. Évolution de la charge totale des centrales de la Régie en 1958	350

6. Évolution de la consommation d'énergie électrique à Léopoldville 360
7. Développement des ventes d'énergie électrique de la Sogelec à Élisabethville, Jadotville, Kolwezi 361
8. Évolution des puissances et de la consommation d'énergie électrique. Ensemble des exploitations de REGIDESO .. 361
9. Évolution des puissances et de la consommation d'énergie électrique Service « A » 365
10. Évolution des puissances et de la consommation d'énergie électrique Service « B » 366
11. Investissements intérieurs publics et privés pour l'ensemble des T. B. O. (bulletin n° 10), oct. 56 ; B.C.C.B.) 368

LISTE DES ANNEXES

TABLEAUX.

29. Synthèse des évolutions démographique et économique du Congo belge et du Ruanda-Urundi entre 1950 et 1958.
30. Centrales électriques du Congo belge et du Ruanda-Urundi. Centrales thermiques — situation arrêtée au 31.12.1957.
- 30*bis* Centrales hydroélectriques.
31. Puissances installées dans les Centrales de la Régie fin 1958.
- 31*bis* Puissances mises à la disposition de REGIDESO par des tiers.
32. Évolutions comparées du produit national, du produit industriel et des consommations d'énergie électrique en T. B. O.
33. Évolution du produit national brut de 1950 à 1955.
34. Le revenu national et sa répartition de 1950 à 1955.
35. Développement des ventes d'énergie électrique de REGIDESO entre 1950 et 1958.
36. Développement des ventes d'énergie électrique à Léopoldville.
37. Développement des ventes d'énergie électrique à Élisabethville, Jadotville et Kolwezi.
38. Consommations de gasoil des centrales Diesels de la Régie en 1958.
- 38*bis* Consommations spécifiques des moteurs Diesel en g/cvh utile à l'arbre du moteur.
39. Bilan énergétique du Congo belge.
40. Investissements intérieurs publics et privés.

TABLE DES MATIÈRES

PREMIERE PARTIE

ASPECT TECHNIQUE DU DÉVELOPPEMENT — ÉVOLUTION DES MODES DE PRODUCTION DE L'ÉNERGIE.

Les prémices	3
1. <i>Le bois</i> , première source d'approvisionnement	5
Effets du déboisement	7
Répartition spatiale des forêts congolaises	10
2. <i>Les déchets fibreux</i>	14
Intervention des combustibles minéraux	16
3. <i>La houille fossile</i>	18
4. <i>Les produits pétroliers d'importation</i>	21
Progrès de la dieselisation	22
La traction routière	23
Les transports aériens	27
Rôle prépondérant des transports	29
Problèmes de distribution	29
Facteurs d'expansion des besoins de carburant	32
Mise en œuvre des combustibles solides et liquides. Parallèle entre les moteurs à huile lourde et les machines à vapeur	35
Prédominance des Diesels en pays tropicaux. Simplifica- tion — Abaissement du coût des constructions	40
Réduction du personnel — Atténuation de l'entretien	40
Diminution de poids et d'encombrement	44
Souplesse et commodité d'exploitation des centrales Diesels	44
Consommations spécifiques comparées — Commodité de stockage	48
Choix du type de moteur	51
La suralimentation — Les moteurs semi-Diesels	53

Les moteurs polycarburants	57
Références d'installations à vapeur (à pistons)	58
Turbines à vapeur	58
Turbines à gaz — Parallèle avec le Diesel	63
Utilisation	66
Le système Pescara	69
Les centrales mobiles	72
5. <i>La force motrice au gaz pauvre</i>	73
Conditions d'approvisionnement du combustible brut	73
Conditionnement et fabrication	74
Conditions de fonctionnement	78
Gazéification directe au bois	80
Critique des résultats	84
Les centrales forestières à Diesels-gaz	87
6. <i>La tourbe</i> — Localisation des gisements	92
Les utilisations	94
7. <i>Les lignites</i>	97
8. Conclusions générales pour orienter le choix de la force motrice thermique	97
9. <i>Les combustibles oléagineux</i> — Propriétés des huiles végétales	100
Résultats d'essais	103
Carburant d'oléagineux valorisés — L'huile de palme éthanolysée	104
Propriétés — Performances	106
Conditions spécifiques de production	107
L'huile méthanolysée	111
Variantes de traitement chimique des oléagineux	113
10. <i>Les alcools carburants</i> — Propriétés des carburants oxygénés	114
Critique des résultats	117
Les lubrifiants d'appoint ou de remplacement	123
11. <i>Les huiles de schiste</i> — Gisements	127
Essais et déterminations analytiques	129
Traitement	130
Propriétés — performances	131
Perspectives	133
12. <i>Les hydrocarbures de synthèse</i> — Objectifs visés	134
Conditions de départ	136

Débouchés	138
Rentabilité	139
Choix d'une technique	141
Variantes	144
Perspectives	145
Conditions générales au sujet des carburants locaux —	
Importance du problème	149
Possibilités locales	150
Éléments d'appréciation	154
13. <i>Le pétrole au Congo</i>	157
1) Dans l'Est	157
2) Dans le Bas-Congo	158
14. <i>Les gaz dissous du lac Kivu</i>	161
Constitution du gisement	163
Stratification	164
Origine du gaz	166
Le problème de l'extraction	171
Mesures de protection — Immersion — Épuration du gaz	174
Possibilités d'utilisation — Fourniture d'électricité à la	
région	180
Usages thermiques	182
Transport du gaz	184
Chauffage domestique	184
Applications chimiques	188
Enrichissement du gaz brut	190
Stockage	192
15. <i>Les gaz liquéfiés</i> — Propriétés du butane	192
Propriétés du propane	194
Carburant	195
16. <i>L'énergie éolienne</i> — Position du problème	196
Conditions et caractéristiques de fonctionnement —	
puissance des moteurs éoliens — rendements	197
Régime des vents dans les T.B.O.	200
Programme d'essais — Insuffisance des données actuelles ..	203
Nécessité d'un réseau d'observation	205
Critères fondamentaux d'observation	206
Conditions d'emploi — Choix du site	208
Choix du type d'appareil	211
Renforcement de la puissance — Régulation automatique ..	213
Sécurité — Systèmes d'accumulation de l'énergie éolienne	216

Production de courant continu — Conditions d'emploi des batteries	217
Choix du type de batterie	220
Production de courant avec accumulation hydraulique — Génération de courant alternatif	221
Applications	223
17. <i>Les sources hydrothermales</i> (énergie géothermique)	225
Localisation en Afrique belge	226
Exploitation de l'énergie endogène	227
Possibilités énergétiques	230
18. <i>L'énergie solaire</i> — Production directe d'électricité	231
Générateurs solaires à vapeur — autres applications	233
19. <i>Les gites d'énergie hydraulique</i> — Les difficultés affrontées ..	234
Insuffisance de données au départ	236
Entraves aux travaux	237
Origine et localisation des gites d'énergie hydraulique	240
L'influence de la pluviosité	240
Influence des facteurs géologiques	243
Localisation des réserves hydrauliques et minières	243
Importance des chutes d'eau du bassin congolais	246
Précidence des sites hydroélectriques du Bas-Congo	248
Le site d'Inga — Perspectives de débouché	250
Les microcentrales hydrauliques: I. Microcentrales autonomes	254
Particularités de construction	257
Facilités d'aménagement	259
II. Microcentrales d'appoint	260
Comparaison entre les sources indigènes d'énergie (Utilité, répartition). I. Ressources d'origine végétale	263
Le bois — les déchets fibreux — les combustibles oléagineux liquides	265
Les alcools carburants	266
II. Les ressources d'origine minérale — La tourbe — le charbon de terre — les hydrocarbures synthétiques	267
Les schistes bitumineux — le pétrole	268
20. <i>L'uranium et ses dérivés fissibles</i>	270
L'énergie géothermique — L'énergie thermique du gaz lacustre	272
Les gaz combustibles issus de la fermentation méthanique	273
III. L'énergie solaire	274

IV. Les ressources d'origine météorique — L'énergie éolienne	276
L'énergie hydraulique	278
Répartition comparée des charges	278
Comparaison des énergies hydraulique et thermique	279
Coût d'installation des petites centrales	280

DEUXIEME PARTIE

ASPECT ÉCONOMIQUE DU DÉVELOPPEMENT

1. <i>Les facteurs de développement</i> et de rétention — les facteurs favorables	285
Les contingences adverses — Difficultés de pénétration ..	288
La faible densité de population et l'effet débilant du climat	290
La structure des agglomérations — problème de financement	293
La cherté des combustibles — problème d'exploitation ..	294
2. <i>Bilan des réalisations</i>	294
3. <i>Politique de l'énergie</i>	297
4. <i>Rôle des industries de transformation</i>	297
5. <i>Mission de l'électricité</i> en particulier de l'hydroénergie	300
6. <i>Primauté économique de l'hydroélectricité</i>	303
7. <i>Quel doit être le rythme des investissements</i>	305
8. <i>Perspectives des besoins énergétiques</i> — Objectif social	310
Applications rurales de l'électricité	314
Débouchés urbains	315
Utilisations industrielles	317
9. <i>Projets d'avenir</i> — Objectifs généraux	321
<i>Aspect économique du problème</i> — Dans le Ruanda-Urundi	322
Au Congo belge	323
Programme d'électrification	326
<i>Aspect financier du problème</i>	327
L'aspect technique du problème: au point de vue de la production — de la distribution	329
Concept d'équipement des petits centres — Usines thermo-	

électriques	331
Centrales hydroélectriques	333
Microcentrales éoliennes et à vapeur	334
Réseaux de distribution	335

Synthèse des évolutions comparées de l'économie et de l'énergie électrique en T. B. O.

— Relations du développement économique avec la production d'énergie	338
— Puissances des centrales	340
— Production d'énergie électrique et produit national brut — évolutions comparées — taux de développement de la prod. hydroél.	343
— Évolutions comparées des product. indust. et d'énergie — répartition des ventes Régie — évolution de la charge des centrales Régie	343
— Production thermoélectrique Régie — Évolution de la prod. d'énergie et d'éléments de la vie économique	347
Taux annuel de croissance économique — évolution de la prod. d'énergie par travailleur	352
Évolution de la prod. d'énergie par travailleur industriel et minier — par province	353
Degré d'électrification des économies provinciales — Utilisation	355
Consommation d'énergie	357
Répartition des ventes Régie par catégories de consommateurs	358
Tendances de la consommation urbaine	360
Évolutions du revenu national et du produit national brut	367
Rythme du développement des ressources	373
Relations entre la structure énergétique et les investissements — Causes de freinage et causes d'expansion	375
Financement. — Ventilation des investissements	377
Besoins potentiels. — Planning de répartition	380
Conclusions de l'étude	384

BIBLIOGRAPHIE :

A. Bibliographie générale	421
B. Publications relatives aux gîtes hydroélectriques du Bas-Congo	425

DU CONGO BELGE ET DU RUANDA-URUNDI	437
LISTE DES TABLEAUX	427
LISTE DES ANNEXES	430
TABLE DES MATIÈRES	431
CARTE	<i>in fine</i>

