

SÉANCE MENSUELLE DU 19 OCTOBRE 1954.

Présidence de M. A. GROSJEAN, président.

Sur la proposition du Président, sont déclarés membres effectifs de la Société :

MM. ALAIN TEDESCO, 332, boulevard du Souverain, à Auderghem; présenté par MM. P. Fourmarier et R. Cambier.

DR A. A. THIADENS, Dr. Geologische Bureau, Ackerstraat, 86-88, à Heerlen (Pays-Bas); présenté par MM. A. Grosjean et R. Cambier.

ROGER VAN DEN HENDE, étudiant en Sciences géologiques et minéralogiques, 51, avenue Van Goolen, à Woluwe-Saint-Lambert; présenté par MM. M. Denaeyer et G. Mortelmans.

JACQUES LORMAND, Ingénieur civil (A.I.Lg.), Moulin de l'Église, à Vernou-sur-Seine (Seine-et-Marne), France; présenté par MM. L. Cahen et J. Leperonne.

Dons et envois reçus :

De la part des auteurs :

- 10987 *Arkell, W. J.* Two jurassic ammonites from South Island, New Zealand, and a note on the Pacific Ocean in the Jurassic. Wellington, 1953, 6 pages et 3 figures.
- 10988 *Besairie, H.* Carte tectonique de Madagascar. Echelle : 1/3.500.000^e. Tananarive, 19 4 (1 feuille).
- 10989 *Besairie, H.* Carte géologique de Madagascar (mise à jour en 1951). Echelle : 1/1.000.000^e. Tananarive, 1954 (3 feuilles).
- 10990 *Bowen, F. E.* Late pleistocene and recent vertical movement at the Alpine Fault. Wellington, 1954, 8 pages et 3 figures.
- 10991 *Brunnschweiler, R. O.* Notes on the geology of Dampier Land, North-Western Australia. Adelaide, 1951, 3 pages.
- 10992 *Brunnschweiler, R. O.* Discovery of the late jurassic Genus *Calpionella* LORENZ (*Oligotric infusoria*) in Australia. Adelaide, 1951, 1 page.

- 10993 *Brunnschweiler, R. O.* Mesozoic stratigraphy and history of the Canning Desert and Fitzroy Valley, Western Australia. Adelaide, 1953, 20 pages.
- 10994 *Cambier, R.* Le cinquantième anniversaire de la mort de Stanley. Bruxelles, 1954, 6 pages.
- 10995 *Castany, G.* Carte géologique de la Tunisie au 1/500.000^e. Deuxième édition. Notice explicative. Tunis, 1953, 143 pages et 14 planches.
- 10996 *Condon, M. A.* Nomenclature of the Fragmental Silicate Rocks. Adelaide, 1952, 2 pages.
- 10997 *Couper, R. A.* Distribution of *Proteaceæ*, *Fagaceæ*, and *Podocarpaceæ* in some Southern Hemisphere Cretaceous and Tertiary Beds. Wellington, 1953, 4 pages.
- 10998 *Couper, R. A.* Plant microfossils from New Zealand. Wellington, 1954, 3 pages et 9 figures.
- 10999 *Couper, R. A.* Pliocene and Pleistocene plant fossils of New Zealand and their climatic interpretation. Wellington, 1954, 23 pages.
- 11000 *Fisher, N. H.* Report of the subcommittee on vulcanology 1951. Napoli, 1954, 10 pages et 6 planches.
- 11101 *Fleming, C. A.* Lower jurassic fossils from *Taneatua*, Bay of Plenty, New Zealand. Wellington, 1953, 5 pages et 9 figures.
- 11102 *Fleming, C. A.* A triassic oyster from New Zealand. Wellington, 1953, 3 pages.
- 11103 *Fleming, C. A.* Collections of Mollusca in the New Zealand Geological Survey. 3 pages et 1 figure.
- 11104 *Hanlon, F. N., Joplin, G. A. et Noakes, L. C.* Permian units in the Illawarra District. Sydney, 1953, 4 pages.
- 11105 *Hornibrook, N. de B.* Some New Zealand tertiary marine *Ostracoda* useful in stratigraphy. Wellington, 1953, 7 pages et 10 figures.
- 11106 *Hornibrook, N. de B.* Jurassic Foraminifera from New Zealand. Wellington, 1953, 4 pages et 2 figures.
- 11107 *Kroeber, A. L.* Paracas cavernas and chavin. Berkeley, 1953, 24 pages et 7 planches.
- 11108 *Kuenen, H.* Recent advances in Deep-Sea sedimentology. Cambridge, 1954, 7 pages.
- 11109 *Kuenen, H.* Eniwetok drilling results. Salisbury, 1954, 3 pages et 1 figure.
- 11110 *Laing, A. C. M.* Note on Tsunamis reaching. Wellington, 1954, 3 pages.
- 11111 *Laing, A. C. M.* Note on Kerikeri basalt (Sheet *N11*). Wellington, 1954, 2 pages.

- 11112 *Leslie Adkin, G.* Late pleistocene and recent faulting in the Otaki-Porirua and Delafield Waipoua-District of South Wellington, North Island, New Zealand. Wellington, 1954, 18 pages et 14 figures.
- 11113 *Marchant, R.* De l'exécution des calculs de triangulation dans le système de coordonnées rectangulaires de la projection conique conforme de Lambert. Bruxelles, 1953, 15 pages.
- 11113 *Marchant, R.* De l'emploi de procédés approchés pour le rajustement des points de troisième ordre et des points de détail dans un réseau triangulé. Méthode différentielle. Transformation affine. Bruxelles, 1953, 24 pages.
- 11113 *Levêque, W.* Sur le calcul des points levés par le Service photographique de l'I.G.M. Préparation. Méthodes de calcul. Contrôle. Enseignements. Bruxelles, 1953, 12 pages.
- 11114 *Mc Queen, D. R.* A fossil flora from the upper pliocene of Rangitikei valley. Wellington, 1953, 7 pages.
- 11115 *Mc Queen, D. R.* Palæozoic plants from New Zealand. St-Albans, 1954, 1 page.
- 11116 *Picciotto, E.* et *Wilgain, S.* Thorium determination in Deep-Sea sediments. St-Albans, 1954, 3 pages.
- 11117 *Raggatti, H. G.* A.N.Z.A.A.S. Standing Committee on Stratigraphic Nomenclature, First and second meetings. Wellington, 1953, 4 pages.
- 11118 *Tabernier, R.* et *Moormann, P.* Les changements du niveau de la mer dans la plaine maritime flamande pendant l'Holocène. La Haye, 1954, 6 pages et 3 figures.
- 11119 *Taylor, G. A.* Vulcanological observations Mount Lamington 29 th May 1952. Naples, 1954, 11 pages.
- 11120 *Union Minière du Haut-Katanga.* Monographie 1954. Bruxelles, 1954, 154 pages et 2 photos.
- 11121 *Van der Straeten, J.* Les travaux géodésiques du Service Géographique et Géologique. Rapport présenté à la dixième Assemblée Générale de l'Union Géodésique et Géophysique Internationale (tenue à Rome en septembre 1954). Bruxelles, 1954, 19 pages et 1 carte.
- 11122 *Van Straelen, V.* Discours prononcés à la manifestation d'hommage au Directeur de l'Institut Royal des Sciences Naturelles de Belgique (1925-1954). Bruxelles, 1954, 39 pages.
- 11123 *Van Straelen, V.* Volume jubilaire Victor Van Straelen, Directeur de l'Institut royal des Sciences natu-

- relles de Belgique (1925-1954). Bruxelles, 1954, 1213 pages, nombreuses planches, figures et 1 photo (en 2 volumes).
- 11124 *Vella, P.* Tertiary Mollusca from South-East Wairarapa. Wellington, 1954, 19 pages et 1 planche.
- 11125 *Wellman, H. W.* et *Reed, J. J.* Marine pliocene at resolution Island, Dusky Sound, Fiordland (S156). Wellington, 1954, 12 pages et 21 figures.
- 11126 *Wellman, H. W.* et *Brodie, J. W.* A note on the geology of Cape Palliser, New Zealand (Sheet N168). Wellington, 1954, 10 pages et 5 figures.
- 9935 *Institut National pour l'Etude Agronomique du Congo Belge.* Flore du Congo Belge et du Ruanda-Urundi. Vol. V. *Spermatophytes*. Bruxelles, 1954, 377 pages et figures.
- 10269 ... Technische Hogeschool te Delft. Programma van de lessen voor het studiejaar 1954-1955. Delft, 1954, 284 pages.
- 10843 *De Menezes Correa Acciaiuoli, L.* Le Portugal hydro-minéral. 11^e volume. Lisbonne, 1953, 572 pages et 260 figures.

Communications des membres :

Lieutenant R. THONNARD. — *Utilisation de la photographie aérienne nadirale en géologie.* (Texte ci-après.)

C. CAMERMAN. — *Affaissements dus à d'anciennes exploitations de calcaire lédien dans les terrains du Solbosch à Bruxelles.* (Texte ci-après.)

A. GROSJEAN. — *Un soufflard dans un puits creusé dans le Cambrien.* (Texte ci-après.)

A. GROSJEAN. — *Nouvelle mesure de température au sondage de Turnhout.* (Texte ci-après.)

Utilisation de la photographie aérienne nadirale en géologie (*),

par R.-L.-G. THONNARD.

SOMMAIRE. — *Après avoir défini la « photogéologie », dont il fixe immédiatement les possibilités, l'auteur fait la critique de cette nouvelle méthode en fonction des utilisateurs et des buts poursuivis.*

Il passe ensuite à l'examen des matériaux mis à la disposition du géologue interpréteur (photos aériennes nadirales ou obliques, redressées ou non, en couleurs ou en noir et blanc ; mosaïques, photo-plans, etc.). Il fait ressortir l'importance de l'observation stéréoscopique de couples de photos et donne à cette occasion un rappel de la théorie de l'effet stéréoscopique. Puis il fait la critique du matériel d'interprétation stéréoscopique actuel (stéréoscopes de poche ou à prismes, avec ou sans jumelles, etc.).

Il étudie ensuite les éléments sur lesquels on peut baser l'interprétation géologique des photos aériennes et insiste sur le fait que ces éléments n'ont rien d'absolu ; il rejette les « clefs » sous leur forme anglo-saxonne.

Il expose quelques méthodes d'interprétation, les résultats qu'on peut obtenir et la façon la plus simple, selon lui, de cartographier ces derniers.

Enfin, à titre d'exemple, il développe les résultats obtenus par l'étude des photos aériennes, dans quelques régions très différentes, notamment en Belgique (Dinant, Frasnes, Olloy, Spa) et au Katanga (Nord de Mitwaba).

**

Les numéros entre [] se réfèrent à la bibliographie placée à la fin du texte. Ceux entre () renvoient à d'autres passages du texte.

AVANT-PROPOS.

Nous remercions M. M.-G.-C. Dubois, Directeur du Service géographique et géologique du Comité Spécial du Katanga, l'un des pionniers de la photogéologie en Belgique, qui a mis les photos de Mitwaba à notre disposition, et qui nous a aidés de ses précieux conseils.

Nous remercions également l'Institut géographique militaire, qui nous a aimablement ouvert sa photothèque.

(*) Remis au Secrétariat le 21 octobre 1954.

Nous regrettons de ne pouvoir joindre les photos aériennes citées en référence qui ont été projetées lors de la communication du 18 octobre 1954, mais ces documents sont encore soumis à de sévères restrictions de la part de l'État.

11. Définitions.

1. GÉNÉRALITÉS.

La photogéologie est une méthode géologique dans laquelle la plupart des opérations sur le terrain sont remplacées par des *observations sur des photographies*.

Quand les clichés sont pris à partir de points fixes au sol, il s'agit de *photogéologie terrestre*; s'ils sont pris à partir d'avions, c'est de la *photogéologie aérienne*.

Cette dernière, de loin la plus intéressante, fait l'objet de la présente communication.

12. Importance de la méthode.

Remarquons tout de suite que la photogéologie ne doit pas remplacer la géologie classique. C'est une nouvelle méthode qui vient *s'ajouter*, au même titre que les méthodes géophysiques, à la liste des moyens mis à la disposition du prospecteur et de l'ingénieur des mines ⁽¹⁾.

Mais cette méthode, comme nous le verrons par la suite, peut servir de base pour un travail de prospection plus rationnel, plus rapide et plus économique, et c'est en cela que réside son principal avantage.

13. Avantages de la méthode.

131. La photogéologie, qu'elle soit terrestre ou aérienne, présente, par rapport aux observations directes sur le terrain, l'avantage considérable de pouvoir *poursuivre le travail quelles que soient les circonstances atmosphériques et climatiques*.

132. En outre, *on dispose en permanence de documents objectifs* qu'on peut consulter en tous temps et qui permettent, par les grandes zones de terrain qu'ils couvrent, de *faciliter la synthèse* des diverses observations.

(1) « The present status of photo interpretation in earth science may be summarized as that of an essential and indispensable tool, ranking with the use of the planetable, the microscope and the various geophysical techniques [1].

Comme le dit très bien le Docteur Helbling [2], « l'énorme avantage de la photogéologie, c'est de fournir à l'œil exercé, au moyen de vues aériennes, une quantité de renseignements et critères d'ordres topographique, morphologique et géologique qui ne se remarquent pas lors d'une visite du terrain ou dont on ne saisit pas l'ensemble ».

133. Toutefois le travail en chambre que nous permet *la photogéologie n'exclut pas le travail direct sur le terrain*. Au contraire, ces deux techniques sont, comme nous le verrons par la suite (6), complémentaires et n'ont guère de sens l'une sans l'autre.

134. Mais lors de la visite sur le terrain, la vue aérienne ne fournit pas seulement de précieuses possibilités de comparaison entre l'image et la réalité, un aperçu sur l'ensemble de diverses observations particulières, mais aussi *un plan pour l'enregistrement des résultats de la visite*.

Pour cet enregistrement du terrain, les agrandissements et les assemblages de photos aériennes constituent le plan et la carte dont il ne faut plus attendre l'établissement pour commencer le travail sur le terrain.

135. Enfin, lors de la restitution de photos aériennes dans les appareils de photogrammétrie, on peut enregistrer *simultanément* les éléments topographiques et ceux d'ordres géologique et morphologique.

On se sert des instruments les plus simples de projection jusqu'aux instruments les plus compliqués, notamment l'autographe universel, dont l'industrie optique et mécanique met toute une série à la disposition des techniciens.

Cette association de la topographie à la géologie n'est pas seulement rationnelle, elle assure une homogénéité du contenu de la carte quant à la précision et à la forme.

Les autographes universels ne permettent pas seulement la cartographie par projection verticale, mais aussi des projections horizontales (*profils*), ce qui est du plus grand intérêt pour le géologue.

136. Les avantages généraux inhérents à l'aérophotographie comme moyen de représentation de la surface terrestre sont

depuis longtemps connus et utilisés aujourd'hui dans presque tous les pays (1).

Ce qui est moins connu, c'est que l'*observation stéréoscopique* (3) de paires de vues obtenues par aérophotographie permet d'accroître notablement la richesse de détails.

Or c'est vrai dans tous les domaines d'application : le stéréogramme révèle, vis-à-vis de l'image unique, si « plate », la configuration du terrain; de plus, il facilite, et, dans de nombreux cas, rend seul possible l'identification correcte des détails les plus fins.

Actuellement, comme l'écrit le colonel Baetslé [3], « qui dit interprétation d'une photo sous-entend étude par voie stéréoscopique ». Ce procédé est de fait à la base de la photogéologie. En quoi consiste-t-il ? Quand la même portion de terrain est photographiée à partir de deux points différents par un avion et que ces photos sont examinées simultanément sous un stéréoscope (41), l'image unique obtenue donne l'impression du relief (32).

En résumé, grâce à ce procédé, on peut embrasser une région étendue avec les formes les plus variées de la surface du sol. L'aérostéréogramme se prête même mieux pour l'examen d'ensemble qu'une excursion sur le terrain. De plus, on aura la possibilité d'effectuer sur ce modèle, avec rapidité, un grand nombre de mesures (46), même à des endroits dont l'accès direct présente des difficultés, pour ne pas dire davantage : parois rocheuses, crevasses, etc.

(1) « A l'Institut Géographique Militaire, la carte militaire belge est faite entièrement à partir de clichés aériens... »

» Le Service de Topographie et de Photogrammétrie du Ministère des Travaux Publics établit... (d'après photos) les plans à grande échelle nécessités par les diverses activités de ce Ministère et par les services d'urbanisme.

» L'Institut Géographique du Congo Belge possède également un Service de Photogrammétrie.

» Des travaux systématiques de recherche sont effectués à l'Université de Liège, qui possède un important laboratoire de Photogrammétrie.

» L'utilisation de la photographie pour la revision des plans cadastraux est actuellement à l'étude (Ministère des Finances; Direction du Cadastre).

» La Société Belge de Photogrammétrie, créée en 1931, constituée sur le plan scientifique un lien important entre les institutions s'occupant de photogrammétrie (et d'interprétation des photos)... et groupe les chercheurs qui consacrent leur activité au progrès de cette Science » [3].

14. Utilisateurs.

Les utilisateurs possibles de la photogéologie sont aussi nombreux que variés. En dehors du géologue et du géographe, citons en ordre principal : 1^o l'ingénieur des mines et le prospecteur pétrolifère; 2^o l'ingénieur des constructions civiles; 3^o le forestier; 4^o l'ingénieur agronome; 5^o l'ingénieur hydrographe; 6^o l'ingénieur militaire, etc.

141. L'application la plus importante de la photogéologie à l'heure actuelle est la recherche de zones riches en l'un ou l'autre minéral [4 et 5] et notamment en pétrole [6, 7, 29]. L'étude des photos aériennes permet d'éliminer les zones qui, d'évidence, sont stériles, et de délimiter celles qui semblent exploitables, en se basant, comme nous le verrons (5), sur l'interprétation des caractères géomorphiques, des types de végétation, etc. et en comparant le plus souvent les résultats obtenus par cette méthode avec ceux provenant de méthodes géophysiques (magnétomètre et compteur Geiger aérotransportés, par exemple [8 et 9]), pour arriver à ce que les Américains appellent une « *convergence of evidence* ».

142. *L'ingénieur des constructions civiles*, de son côté, apprend, grâce à l'étude des photos aériennes, comment peut se faire, en même temps, des points de vue topographique et géologique, le travail préparatoire pour des installations hydro-électriques, la construction de routes, de chemins de fer [10], de pipelines [11], d'aérodromes [12, 31], etc. [13, 32].

143. La photo aérienne est utilisée depuis longtemps, surtout au Canada et aux U.S.A. [10, 14], par les *forestiers* pour déterminer les différentes essences d'arbres, leur densité et leur taille. Les techniques utilisées par les photogéologues pour interpréter les formations géologiques peuvent aider les forestiers à reconnaître des espèces de végétation associées sélectivement à ces formations. Inversement, les techniques utilisées par les forestiers peuvent aider le géologue à reconnaître certaines espèces indicatrices, et par conséquent la roche associée. Le rôle considérable de ces « *indicator plants* », notamment dans la recherche de zones minéralisées, sera développé ultérieurement (53).

144. *L'ingénieur agronome*, en tant que pédologue, est aussi un utilisateur de la photo aérienne [15 et 16]. Les cartes pédologiques sont exclusivement faites par interprétation photo-

graphique [15 et 16]. On les trace en partant de la forme du terrain, de l'écoulement des eaux, de l'érosion, des nuances de couleur, de la végétation qui les recouvre, etc., tous caractères également utilisés par le géologue. On voit donc qu'ici aussi les techniques utilisées par les photogéologues et les photopédologues sont complémentaires.

145. *L'ingénieur hydrographe* commence à utiliser la photo aérienne, qui lui permet d'étudier par observation directe le fond des rivières, des mers et même des océans jusqu'à plusieurs milliers de pieds [14]. La photo lui montre les lignes exactes des cotes, les bancs de sable ou de boue, les channels, les courants, etc., toutes indications du plus haut intérêt pour la navigation, la création et l'entretien d'installations portuaires, etc.

Remarquons que la profondeur d'eau est directement mesurable sur photo par simple utilisation d'un stéréomicromètre (46).

146. L'identification de la végétation et la prédiction des conditions du sol en territoire ennemi au moyen de la photographie aérienne constituent un problème d'importance primordiale pour le militaire [17 et 33].

Il y aurait intérêt à faire une reconnaissance sur place pour suppléer aux renseignements venant de l'interprétation photographique, mais c'est le plus souvent impossible.

Pendant la deuxième guerre mondiale, les photos aériennes furent le plus souvent la seule source d'information concernant les conditions du sol en territoire ennemi. Ce fut spécialement vrai dans le Sud-Ouest du Pacifique, où la plupart du temps la guerre fut conduite dans des régions très peu connues si pas inexplorées.

Une connaissance très exacte de la nature du sol et des possibilités du terrain est essentielle pour de nombreuses opérations où il est nécessaire de construire des aérodromes, de grands dépôts ou des installations portuaires, toutes constructions qui s'étendent sur de grandes superficies et exigent des caractéristiques bien déterminées du sol et du sous-sol.

De même, la photo aérienne seule peut donner la réponse aux questions et aux exigences des militaires, comme, par exemple, déterminer la force et la hauteur des vagues et des bancs, la profondeur de l'eau aux plages de débarquement, les possibilités de traverser ou de contourner les récifs de coraux,

la nature du sol et son influence sur la manœuvrabilité des fantassins et des engins motorisés ou chenillés.

Nous ne citerons ici qu'un exemple, choisi entre cent, où cette méthode réussit pleinement : grâce aux photos aériennes, il fut possible de sélectionner quelques endroits sur l'île de Mindoro (Philippines) susceptibles d'être transformés en aérodromes, et ceci bien longtemps avant le débarquement américain du 15 décembre 1944. Ces aérodromes servirent notamment de base aux avions qui couvrirent l'assaut de l'île de Luçon [18, 19 et 20].

2. MATÉRIAUX MIS À LA DISPOSITION DU PHOTOGÉOLOGUE.

21. Photos simples.

211. *Photos verticales et obliques.* — Les photos aériennes peuvent être de deux types : vertical ou oblique.

Les « *verticales* » ou « *nadirales* » sont des photos prises avec la caméra pointée vers le bas, aussi verticalement que possible (grâce à des dispositifs stabilisateurs gyroscopiques spéciaux).

Les « *obliques* » sont des photos prises avec la caméra pointée suivant un angle déterminé avec la verticale (certaines obliques sont prises à l'aide d'appareils photographiques à main, mais n'ont qu'un but purement documentaire et ne peuvent en aucune façon servir de base à des mesures).

Des photos obliques de régions délimitées sont parfois d'une aide très précieuse pour le géologue, car elles peuvent lui montrer en une fois des relations structurales (ou autres) qui n'apparaîtraient autrement qu'après un long examen de multiples photos nadirales. Toutefois ces photos sont moins faciles à interpréter que les verticales, à cause de la distorsion due à la perspective, des angles morts et du manque de précision des points éloignés.

C'est une des raisons pour lesquelles le système *Trimétrogone* n'est employé que dans des missions de reconnaissance. Il consiste en un ensemble de trois caméras qui fonctionnent simultanément et arrangées de telle sorte que la caméra centrale prenne une verticale, et les deux autres des « *high obliques* », c'est-à-dire des obliques comprenant l'horizon. Les trois caméras sont disposées sur une même ligne perpendiculaire à la ligne de vol et de telle sorte que les photos présentent des parties communes.

L'avantage du système trimétrigone est que chaque ensemble de trois photos couvre une immense région, ce qui diminue le nombre de photos nécessaires et diminue d'autant le prix de revient.

212. *Photos en noir et blanc, photos en couleurs et procédés spéciaux.* — Les photos aériennes les plus couramment utilisées sont des *épreuves en noir et blanc* de verticales faites avec des caméras automatiques de distance focale variant généralement entre 6 et 12 inches ⁽¹⁾ et utilisant des films panchromatiques avec filtre minus-bleu.

L'armée américaine fait de nombreux essais de *photographie en couleurs*. A la fin de la deuxième guerre mondiale, elle photographiait déjà en couleurs les zones industrielles allemandes endommagées par les bombardements, et les documents « rendaient si bien la réalité, qu'on nous a accusés, dit le général G. W. Goddard, d'avoir photographié des maquettes merveilleusement confectionnées » [21].

Malgré son coût relativement élevé et la nécessité d'un équipement spécial, la photographie en couleurs semble ouvrir la voie à de nouvelles possibilités. Ici plus qu'ailleurs se fait sentir le besoin de standardisation. Laylander [22] a longuement expérimenté le film en couleurs pour l'étude de la géologie minière et considère les résultats comme très prometteurs.

Parmi les procédés nouveaux, citons la photographie sur *bande continue* (continuous strip photography), qui semble, jusqu'à présent, n'avoir trouvé d'emploi que dans les opérations militaires [1 et 21], et la photographie sur films sensibles aux *infra-rouges*, qui n'a guère encore été utilisée, si ce n'est par les forestiers ⁽²⁾. Remarquons que la strip camera, dont nous venons de parler, « se prête admirablement à la photographie aérienne stéréoscopique en couleurs » [21].

213. *Conditions exigées des photos.* — Il faut que la photo donne une grande finesse de détail et un *haut degré de contraste*.

Mais ce dernier point dépend aussi du *moment* auquel on aura pris la photo : heure, date et conditions atmosphériques.

⁽¹⁾ La caméra K. 30 américaine a une distance focale de 100 pouces (2,54 m). Le négatif des photos prises avec cet appareil a les dimensions 9 × 18 pouces (23 × 46 cm). Son pouvoir séparateur est supérieur au 1/10.000^e [21].

⁽²⁾ La « Royal Canadian Air Force » utilise, en forêts, des films infra-rouges et des filtres rouge sombre qui permettent de différencier par le ton les diverses espèces de forêts [4].

Il faudra les choisir en fonction des conditions de végétation, de drainage et de relief imposées par le terrain.

Ainsi, il sera intéressant de photographier un terrain relativement plat le matin ou le soir, un jour de soleil, afin que les moindres détails accusent une ombre maximum. Par contre, en terrain fortement accidenté, les ombres étendues sont à éviter, car elles risqueraient de recouvrir et de cacher d'autres détails. Il sera donc préférable dans ce cas de photographier au milieu de la journée [4].

Ces conditions ne sont naturellement remplies que par les missions photographiques exécutées à posteriori.

La photo ne respecte pas toujours la valeur des *tonalités*, mais cela n'a guère d'importance pour le photogéologue, du moment que les *contrastes* sont respectés. On va même jusqu'à employer des filtres qui changent la valeur des tons de façon à accentuer les contrastes.

214. *Échelle des photos.* — Les échelles utilisées varient le plus souvent du 1/10.000^e au 1/50.000^e : le 1/10.000^e et plus grand sont indiqués pour l'étude détaillée en régions limitées, tandis que le 1/40.000^e et moins sont utilisés pour des travaux de reconnaissance.

En Amérique, l'échelle du 1/20.000^e est celle qui est la plus utilisée, mais cela tient surtout à ce que de nombreuses photos existent à cette échelle et qu'elles sont d'une acquisition facile [1]. Il en va de même en Belgique, où les photos fournies par l'Institut Géographique Militaire sont également au 1/20.000^e.

Cette échelle n'est pas adaptée aux besoins du photogéologue, parce qu'elle ne permet pas de vues d'ensemble suffisantes.

Par contre, l'échelle du 1/40.000^e au 1/50.000^e adoptée par le Comité Spécial du Katanga convient admirablement au travail de reconnaissance et de dégrossissage géologiques qui est demandé au Katanga.

De telles échelles exigent des objectifs à courte distance focales si l'on veut voler à des altitudes raisonnables. En effet, si S est l'échelle, f la distance focale et H la hauteur de vol (au-dessus du sol), on a $S = f : H$, ce qui signifie que pour obtenir des photos au 1/50.000^e avec un objectif de 125 mm de distance focale, nous devons voler à 6.250 m.

215. *Dimensions des photos.* — L'ancien format 11,5 × 17 cm utilisé par l'I.G.M. ne convient pas pour l'interprétation géologique. Par contre, le 18 × 18 cm actuellement employé par le

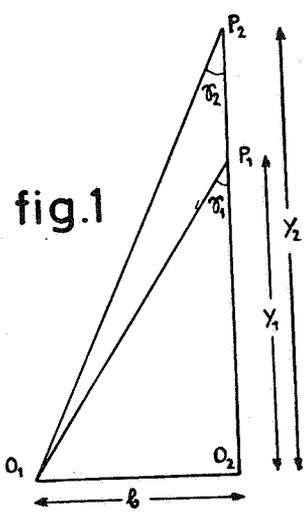


fig.1

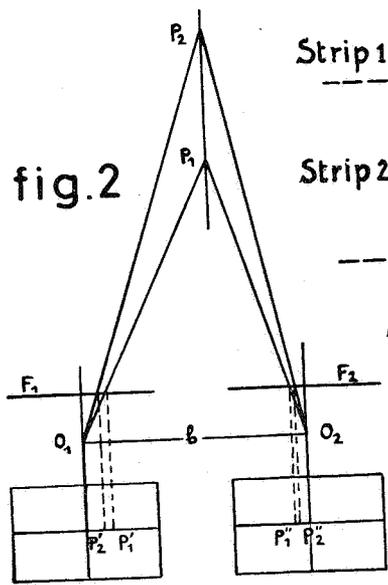
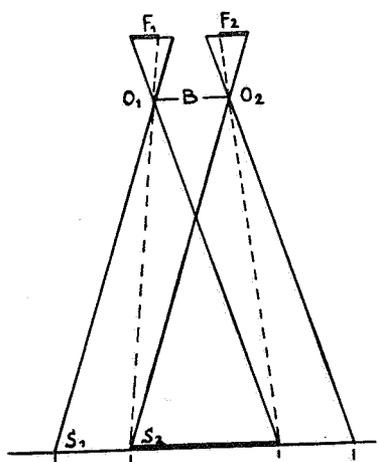


fig.2

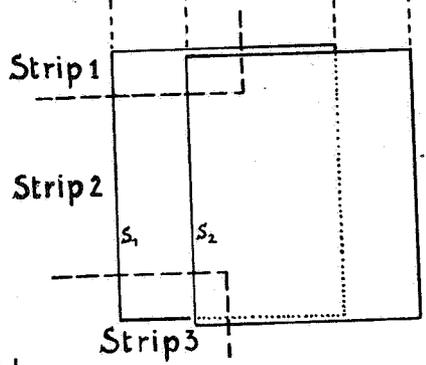


fig.3

Stereoscopie

C.S.K. et par l'I.G.M. est déjà un excellent outil de travail. Un format plus grand, tel le 9×9 inches (c'est-à-dire 23×23 cm), préconisé par les Anglais [4], permettrait de réduire au maximum le maniement des photos et de faciliter l'interprétation par l'augmentation substantielle des vues d'ensemble (1). Ce format est actuellement essayé par l'I.G.M.

22. Autres documents photographiques.

On peut assembler les photos d'une même région en une « mosaïque » ou en « photo-plan », suivant l'échelle utilisée et le degré de précision de l'assemblage (2).

Ces documents, qui constituent somme toute la carte de la région étudiée, sont, comme nous le verrons au (6), du plus grand intérêt pour le photogéologue.

3. OBSERVATION STÉRÉOSCOPIQUE.

31. Comme nous le disions plus haut (136), « il est impossible à un chercheur de comprendre le parti qu'il peut tirer de l'exploitation des vues aériennes tant qu'il ne les a pas examinées en vision stéréoscopique » [23]. Mais qu'est-ce que la vision stéréoscopique, et comment l'obtient-on ?

32. Si l'on observe un objet avec les *deux* yeux, on a un effet de relief, parce que les images formées dans chaque œil sont légèrement différentes, et que les rayons visuels dirigés vers l'objet en question convergent selon un angle γ , appelé angle parallaxique. Le cerveau interprète ces deux images pour ne plus nous en restituer qu'une seule, mais en relief; on dit qu'il y a eu « fusion stéréoscopique ».

Si nous supposons les yeux en O_1 et O_2 , et deux points P_1 et P_2 , situés, pour la facilité, sur une droite perpendiculaire à la base b des yeux (fig. 1), on a

$$\gamma_1 = \frac{b}{Y_1} \quad \text{et} \quad \gamma_2 = \frac{b}{Y_2}$$

(1) Pour un couple de photos en 18×18 cm, au $1/50.000^e$, la zone vue en stéréoscopie est de 54 km^2 , elle est de 90 km^2 environ pour des photos en 9×9 inches.

(2) Les clichés étant pris à partir de points de l'espace non repérés à priori, les orientations et les échelles de deux photos successives peuvent être notablement différentes. Il sera donc nécessaire de leur faire subir certaines préparations avant de pouvoir les assembler.

L'effet de relief nous permet de dire que P_1 est plus rapproché de nous que P_2 , parce qu'il existe une différence de convergence :

$$\Delta\gamma = \gamma_1 - \gamma_2 = b \left[\frac{1}{Y_1} - \frac{1}{Y_2} \right] = b \frac{Y_2 - Y_1}{Y_1 Y_2}.$$

Si la distance P_1P_2 est petite par rapport à celle qui sépare ces points de la base, on peut écrire

$$\Delta\gamma = b \frac{\Delta Y}{Y^2}.$$

REMARQUE. — On démontre [3] que l'effet de relief disparaît dès que Y atteint 1.000 m.

Si nous interposons maintenant en F_1 et en F_2 des photos reproduisant l'image de l'ensemble P_1P_2 respectivement vu de O_1 et de O_2 (fig. 2), et que nous ne *changeons rien à l'accommodation de nos yeux*, nous avons exactement la même impression que précédemment : nous reconstituons l'image de P_1P_2 en relief.

Autrement dit, l'œil gauche regarde la photo de gauche, l'œil droit celle de droite, mais en accommodant non pas sur la distance réelle y , mais bien sur la distance moyenne fictive Y .

Afin de faciliter la fusion stéréoscopique, on se sert d'appareils appelés stéréoscopes qui suppriment la difficulté d'accommodation ci-dessus (4).

33. Dans le cas qui nous occupe, les photos F_1 et F_2 sont prises successivement à partir de deux points O_1 et O_2 distants de $B \gg b$ (fig. 3). En effet, il faut que la couverture stéréoscopique soit obtenue pour la zone entière, et aux moindres frais. Pour cela, les photos sont prises en bandes (ou stips) qui se recouvrent de $1/6^e$ environ latéralement, et, dans chaque strip, le temps entre deux prises de photo consécutives est calculé de telle sorte que chaque photo recouvre sa voisine d'environ 60 %. De cette façon, il y a toujours une zone d'au moins 60 % commune et par conséquent visible en relief sous le stéréoscope pour deux photos consécutives.

On démontre [3] que l'effet de relief est multiplié dans le rapport des bases $\frac{B}{b}$, ce qui est très heureux, car nous savons que tout effet de relief disparaît à partir d'une altitude de 1.000 m pour une base normale de 65 mm.

34. L'image ainsi obtenue par l'interpréteur différera toutefois sensiblement de celle qu'il aurait eue du même terrain s'il l'avait directement observé de l'avion photographe : il y a d'abord une exagération du relief, parfois très importante, due, comme nous venons de le voir, à la longueur B de la base photographique; ensuite la photo ne reproduira généralement pas les couleurs du terrain, et même ne respectera pas toujours la valeur des tonalités; mais cela n'a guère d'importance, comme nous l'avons vu (213), à condition que la photo respecte les contrastes. Quant à l'exagération du relief, elle est très intéressante pour le photogéologue dans les régions de pentes douces, où elle met les pendages les plus faibles en évidence; par contre, dans les régions à fort relief naturel, cet avantage peut devenir un inconvénient au point de rendre impossible l'utilisation stéréoscopique des photos aériennes.

35. Remarques pratiques.

Si, ayant obtenu la fusion stéréoscopique, on modifie légèrement la position d'un cliché par rapport à l'autre, on constate que l'on garde la fusion. Cela provient de ce que les yeux corrigent automatiquement ces perturbations jusqu'à une certaine limite, variable selon les observateurs. Cette correction automatique fatigue toutefois les yeux, et il y a intérêt à convenablement orienter les clichés de la façon suivante :

Placer les photos sous le stéréoscope, puis pointer l'index de chaque main sur un détail caractéristique visible sur les deux photos; à partir de ce moment, garder les yeux au stéréoscope et déplacer les photos au moyen des index jusqu'à ce que ces derniers viennent en coïncidence : à ce moment la fusion stéréoscopique est réalisée.

Il est parfois intéressant d'inverser le relief pour vérifier tel ou tel détail dont on n'est pas certain. Il suffit de placer le cliché de droite d'un couple sous l'oculaire de gauche du stéréoscope et vice versa, et de réaliser, dans ces conditions, la fusion stéréoscopique. « Les différences de convergence ont les mêmes valeurs absolues que dans l'observation normale, mais elles se présentent dans l'autre sens. S'il s'agit de clichés aériens, les creux apparaissent comme des élévations et vice versa : c'est l'inversion du relief, encore appelée effet pseudoscopique » [3].

Il y a enfin intérêt à regarder les photos, les ombres étant dirigées vers l'observateur. Mais l'examen dans les deux positions peut, ici aussi, aider à lever une incertitude.

4. MATÉRIEL D'INTERPRÉTATION.

41. Ce matériel se compose essentiellement de *stéréoscopes*, autrement dit d'appareils optiques facilitant la fusion stéréoscopique en éliminant la difficulté d'accommodation signalée en (32).

Les modèles les plus courants sont le stéréoscope de poche et le stéréoscope à prismes (ou à miroirs).

42. Les stéréoscopes de poche sont de petits appareils construits de telle sorte que les photos se trouvent dans le plan focal de deux lentilles identiques ($f = 90$ mm) distantes de 65 mm (base des yeux). Sur certains modèles cette distance est réglable. L'observateur place un œil au-dessus de chaque lentille. Les rayons issus d'un même point sont, après passage dans les lentilles, parallèles, et l'accommodation se fait sur l'infini, ce qui correspond bien à l'observation directe dans le cas des photos aériennes.

43. Mais il est bien évident que de tels stéréoscopes ne permettent pas d'observer en entier des clichés dont le format est supérieur à la base des yeux. Or l'un des principaux avantages de l'interprétation photogéologique réside dans l'observation de grandes superficies. On augmente donc artificiellement la base des yeux en interposant un système de quatre miroirs à 45° qui coude les rayons lumineux. Parfois les deux miroirs les plus proches des yeux sont remplacés par des prismes (stéréoscope de Zeiss). Les deux lentilles du stéréoscope de poche existent toujours, mais leur f est augmenté en proportion de l'allongement du chemin optique (environ 30 cm), de telle sorte que les photos se trouvent toujours dans le plan focal.

Ces lentilles sont parfois remplacées par des jumelles grossissant 4 ou 6 fois. Elles ne sont que de très peu d'intérêt pour l'interpréteur, car elles réduisent le champ d'observation dans des limites inacceptables.

44. Les deux types de stéréoscopes décrits ci-dessus sont utiles au photogéologue, car ils sont employés dans des domaines différents : celui à miroirs pour l'étude générale de zones étendues, le petit de poche pour l'examen d'un détail.

45. Ces stéréoscopes sont loin d'être parfaits. A côté de déficiences purement techniques (mauvaise transparence, défor-

mation de l'image, oculaires non ajustables à la base des yeux, distance d'observation trop grande avec le stéréoscope à miroirs, champ trop réduit si l'on emploie des jumelles), soulignons, avec L. J. Reyna [24], les erreurs de construction qui obligent l'interpréteur à travailler dans une position inconfortable : oculaires placés horizontalement et beaucoup trop bas, nécessité de déplacer le stéréoscope par rapport au couple stéréoscopique, etc.

46. Il existe également de petits appareils relativement simples qui permettent d'effectuer des *mesures altimétriques* sur le modèle spatial examiné au stéréoscope. Nous citerons le *stéréo-micromètre* (ou parallax-bar), basé sur le principe de l'index spatial ⁽¹⁾, qui permet de mesurer une dénivellation de 0,80 m sur des photos prises à 4.000 m d'altitude, avec une chambre photographique de $f = 10$ cm, la base étant égale à 2.000 m. Cet appareil peut aussi bien mesurer la hauteur d'eau libre dans un channel que la différence d'altitude existant entre deux sommets voisins. Malheureusement, avec des photos ordinaires, les mesures ainsi obtenues n'ont qu'une valeur locale ⁽¹⁾.

5. ÉLÉMENTS SUR LESQUELS ON PEUT BASER L'INTERPRÉTATION DES PHOTOS AÉRIENNES.

51. Généralités.

Les procédés d'interprétation sont en principe très simples, mais d'une infinie complexité en pratique, et l'on peut dire que l'interprétation est plus un *art* qu'une science.

Les critères utilisés sont nombreux et variés. En général, ce sont les mêmes que ceux utilisés par le géologue de terrain, mais appliqués d'un nouveau point de vue : on passe de l'observation horizontale à l'observation verticale. Les données immédiates sont donc la *forme* et la *couleur*.

En pays découvert, ce sont les formes qui sont les éléments les plus parlants. C'est pourquoi les premiers éléments fournis par toute observation aérienne sont des données de géographie physique : formes du relief, des réseaux hydrographiques, des lignes littorales, etc. Or ces formes sont presque toujours sup-

⁽¹⁾ Voir, pour plus de détails, un traité de photogrammétrie.

portées par un substratum géologique qui les explique. Les relations de la morphologie et de la géologie sont étroites, et le mérite de la photo aérienne est de les rendre directement perceptibles. Là où il faudrait quelquefois des semaines de travail au sol pour les faire ressortir, une série de photos en donne la perception directe.

En régions boisées, l'interprétation reste souvent possible, car la végétation est en relations beaucoup plus étroites que l'on ne pense d'habitude avec la géologie : les différentes espèces (caractérisées par leurs couleurs), les densités relatives, les alignements sont autant de caractéristiques interprétables par le géologue. De plus, une forêt, même tropicale, ne parvient jamais à masquer complètement le relief.

52. Morphologie.

521. *Relief*. — Sous l'action de l'érosion, les roches réagissent différemment suivant leur nature. A grande échelle nous avons les collines *anticlinales* et les vallées *synclinales* avec leurs combes et leurs cluses; à petite échelle nous avons les *rides* et les escarpements provoqués par les niveaux résistants.

Ces niveaux résistants apparaissent souvent en relief suivant des lignes plus ou moins continues que l'on peut suivre parfois sur de très grandes distances. Nous les appelons alors « *lignes de stratification* ».

L'avantage de la photo aérienne est de pouvoir relier entre elles, sans hésitation, différents tronçons de lignes de stratification, car les directions en sont très précises.

L'observation stéréoscopique permettant de juger du sens et de la valeur du *pendage* des différents niveaux résistants, nous voyons qu'un ensemble de lignes de stratification complétées par des fléchettes de pendage permet de se faire une idée très exacte de la tectonique d'une région.

Un des buts essentiels de la photogéologie sera donc de fournir des *cartes structurales*.

522. *Failles et filons*. — C'est peut-être ici que se marque le mieux l'avantage de la photo sur l'observation directe. En effet, ces accidents tectoniques ne sont en général décelables sur le terrain que par une vision d'ensemble suffisante pour mettre en lumière les *rejets* caractéristiques. Et quand il n'y a pas de rejet, ou qu'il a été effacé par l'érosion, la découverte d'un filon, même important, devient un pur hasard.

Par contre, la photo donne toujours la vision générale de la région, et les accidents tectoniques y sont immédiatement décelables, car 1° les rejets crèvent l'œil, et 2° ces phénomènes apparaissent comme des lignes continues, le plus souvent rectilignes, par conséquent *anormales* dans un paysage.

D'autres facteurs, comme nous allons le voir, viennent encore nous aider à déceler failles et filons : ce sont la végétation et les cours d'eau.

523. *Cours d'eau et réseaux hydrographiques.* — Les *cours d'eau* nous renseignent sur la nature même des roches traversées. Dans les granites, par exemple, les vallées sont étroites avec une rivière présentant des sinuosités tout à fait caractéristiques.

Quant à l'allure du *réseau hydrographique*, elle dépend de la tectonique du terrain traversé. R. N. Colwell ne cite pas moins de dix types caractéristiques [25].

De même, dans une région faillée, les cours d'eau ont tendance à suivre les lignes de moindre résistance qui leur sont offertes. von Toni Hagen met très bien le phénomène en évidence dans le chapitre « *Kluftsysteme und Gewassernetz* » de l'étude remarquablement illustrée qu'il a publiée sur l'interprétation des photos aériennes [26].

L'avantage, encore une fois, de la photo aérienne est de faire saisir d'un seul coup d'œil l'allure générale du réseau hydrographique, avant même qu'une carte ait été publiée.

53. Végétation.

La végétation varie nettement avec la nature du sous-sol au point de pouvoir déceler une faille en pleine forêt par la seule différence de teinte entre les arbres situés respectivement à gauche et à droite de la faille (1).

La *répartition* et le *genre* de végétation sont également d'une aide précieuse. En Belgique, par exemple, dans la région de Matagne-la-Petite, les calcaires formant surélévation sont incultes, de surface rugueuse très claire, avec une maigre végétation (arbustes, touffes d'herbes, parfois des arbres sur la pente Nord); les schistes, au contraire, sont cultivés, d'allure pseudo-horizontale, sans végétation, et de teinte sombre (2).

(1) Photos IGM, vol B 14/52, nos 55/023 et 55/024.

(2) Photos IGM, vol B 4/48, nos 128 et 129. Mission Givet.

D'autre part, on peut citer de nombreux exemples d'« *indicator plants* » confinés aux régions riches en un minerai déterminé. Par exemple le « daisy », qui caractérise les zones riches en bore, probablement parce que cet arbre est celui qui est le moins susceptible à l'action toxique du bore [10]. Le « zinc pausy » est un bon indicateur de sols riches en zinc; on trouve des indicateurs équivalents pour la galène et le cuivre. D'autres espèces indicatrices sont décrites par Colwell [34] et Cameron [35].

Enfin, dans des régions relativement découvertes, les arbres peuvent nous apparaître *groupés* selon certains alignements ou selon certaines plages, qui à l'examen mettront le plus souvent en évidence des failles, des zones failleuses ou des filons [26].

54. Conclusions.

Nous ne comptons pas épuiser ici toutes les sources d'interprétation. Nous n'en avons cité que quelques-unes, à notre avis les plus importantes. Elles suffisent cependant à nous faire remarquer qu'un même élément (faille, par exemple) peut être mis en évidence par de multiples facteurs. Leur réunion est-elle indispensable pour assurer une bonne interprétation? Pas nécessairement; tout dépend du cas examiné. L'interprétation, comme nous l'avons déjà dit, est plus un art qu'une science.

Et c'est pourquoi nous sommes adversaire des *clefs* telles que les conçoivent les Anglo-Saxons [25], c'est-à-dire établies par des personnes qualifiées (géologues, etc.), mais utilisées par des personnes non qualifiées ⁽¹⁾, pour qui un alignement de broussailles équivaldra d'office à une faille.

Nous ne sommes donc pas opposé au principe des clefs, mais seulement à la façon dont on les utilise en Amérique. D'ailleurs, tout interpréteur se sert inconsciemment d'une clef quand il compare les photos de ce qu'il étudie aux photos précédentes. Toutefois cette comparaison n'a pas de valeur absolue; ce n'est qu'une indication qu'il faudra interpréter. Autrement dit, tout interpréteur devrait être hautement qualifié, capable de faire la synthèse d'une foule de données parfois contradictoires et d'en tirer l'essentiel.

(1) Les Américains considèrent que quelques semaines suffisent pour former un interpréteur de photos aériennes [p. 384 de 25].

6. MÉTHODES D'INTERPRÉTATION.

Maintenant que nous connaissons quelques éléments sur lesquels nous pouvons baser notre interprétation, voyons comment les utiliser pratiquement.

Les méthodes sont assez différentes suivant que l'on dispose ou non de documents-terrain sur la région étudiée et suivant le but poursuivi.

1^{er} cas : Exploration.

On ne dispose d'aucun document sur la zone à étudier, à part la couverture photographique.

Il faut commencer par établir sur papier transparent un fond topographique à l'échelle des photos, sur lequel on pourra reporter les résultats de l'interprétation géologique.

La carte obtenue sera essentiellement *structurale*, avec peut-être l'indication de zones de terrains identiques mais non identifiés. De telles cartes sont du plus grand intérêt pour la recherche pétrolifère et minière dans des régions inconnues (1). En effet, elles permettent de localiser à priori les zones intéressantes et d'éliminer celles qui manifestement ne le sont pas. En outre, elles permettent d'établir un *programme de prospection-terrain* plus *rationnel* et peuvent enfin, sur le terrain, servir de carte pour le report des indications complémentaires.

2^e cas : Étude d'une région déjà parcourue au sol.

On réunit tout d'abord la documentation la plus complète possible concernant la zone à étudier : photos, mosaïques (22), rapports d'itinéraires, croquis et cartes si elles existent.

On commence par étudier les *cartes* éventuelles pour se faire une première idée de la région, puis on passe à la *mosaïque*, qui donne le plus souvent les grands traits de la géologie locale : grandes lignes structurales, limites entre zones pétrographiques nettement distinctes, etc. On passe enfin à l'*étude stéréoscopique* des *photos*. On y repère tout d'abord les lignes structurales de premier ordre décelées sur la mosaïque, puis, les prenant comme point de départ certain, on étend l'étude au reste de la zone.

(1) Premier exemple connu d'exploration d'un territoire entièrement vierge : 100.000 km² en Nouvelle-Guinée, par la « Bataafse Petroleum My », de 1935 à 1939.

Le *report des résultats* de l'interprétation pourra se faire, comme nous le verrons par la suite (7), soit sur les photos elles-mêmes, soit sur la mosaïque, soit sur un calque à l'échelle des photos, soit éventuellement sur une carte topographique existante.

De toute façon, la carte obtenue sera, elle aussi, *structurale*, mais nous pourrons la *compléter* par les renseignements d'ordre pétrographique extraits des rapports d'itinéraires, et la transformer ainsi en une vraie carte géologique. Malheureusement, les itinéraires n'ayant pas été choisis en connaissance de cause, les renseignements qu'ils fournissent sont, la plupart du temps, insuffisants, tout au moins localement, et l'on est obligé de renvoyer un géologue sur place, pour « *habiller* » la carte, comme disent les cartographes.

Dans ces conditions, il semble que pour de telles régions (1) la meilleure méthode consiste à faire une première étude structurale en salle d'après photos, mosaïques et cartes existantes, d'y choisir les itinéraires les plus intéressants, et de les faire parcourir par le photogéologue lui-même, photos en main. Ce dernier reviendrait enfin, muni de tous les renseignements nécessaires, achever sa carte d'après photos.

Un premier pas dans ce sens a déjà été effectué par le Comité Spécial du Katanga. Jusqu'à présent, la carte géologique a été directement levée au Congo par une équipe de spécialistes, mais depuis moins d'un an, l'étude géologique préalable est effectuée en chambre, en Belgique, sur photos aériennes au 1/40.000^e. Les résultats de cette étude sont reportés sur carte et le tout (essai géologique sur carte, mosaïques, photos aériennes) est envoyé à l'équipe géologique congolaise. Le Comité Spécial du Katanga espère gagner ainsi beaucoup de temps. Ce n'est malheureusement qu'à la fin de cette année qu'on pourra évaluer ce gain de temps et discuter les différences éventuelles d'interprétation.

Remarquons ici que le travail en chambre est continué sur le terrain par un autre géologue. Cette façon de procéder nuit à l'unité d'action : on doit repenser deux fois l'interprétation d'une même région.

Il serait souhaitable qu'on établisse une sorte de roulement entre le Congo et la Belgique, c'est-à-dire qu'un même géologue

(1) Le Congo Belge par exemple.

étudie une région sur photos en Belgique (pendant la préparation de la carte topographique), puis aille lui-même à la Colonie continuer son travail, le vérifier, le contrôler. En fin de terme, il pourrait déjà jeter un coup d'œil sur la région suivante qu'il va devoir étudier sur photos en Belgique.

7. DESSIN D'UN SCHÉMA TOPOGRAPHIQUE ET REPORT DES RÉSULTATS DE L'INTERPRÉTATION.

Nous développons ci-après deux méthodes pratiques rapides pour le dessin d'un schéma topographique à partir des photos aériennes, suivant que l'on possède ou non une mosaïque. Il existe, bien entendu, d'autres méthodes, mais nous ne pouvons toutes les citer ici. La précision d'un tel schéma est faible (erreurs allant jusqu'à 2 cm aux extrémités d'une feuille de 1,50 m de long, soit une erreur relative de 1/75), mais cela n'a guère d'importance, car le report des détails géologiques par rapport aux détails topographiques se fera, *par rectangle* 6 × 9 cm, *sans erreur*. Cela nous permettra de reporter par la suite dans un bureau de dessin les résultats de l'interprétation sur une carte topographique exacte, et d'obtenir ainsi la carte géologique définitive.

71. Soit une région dont on ne possède pas encore la mosaïque.

1. Au moyen du tableau d'assemblage des bandes photographiées, déterminer le numéro des bandes et si possible des photos à utiliser.

2. Sélectionner les photos en question et les étaler sur une table, de façon à constituer plus ou moins la mosaïque de la région à étudier.

3. Couper une feuille de papier transparent (ou mieux de codatrace, d'astralon ou de copyright) aux dimensions de la zone à interpréter (à l'échelle des photos). Ce transparent sera notre principal instrument de travail.

4. Choisir une photo à peu près au centre de la zone à étudier.

5. Suivant la valeur des recouvrements, se définir sur cette photo une zone centrale que l'on estime sans erreur (par exemple, pour une photo en 18 × 16 cm avec un recouvrement longitudinal de 12 cm et un recouvrement transversal de 2 × 4,5 cm, on choisira un rectangle central de 6 × 9 cm).

6. Dessiner ce rectangle de 6×9 cm au centre du transparent. L'appliquer concentriquement à la photo et dessiner au crayon, par transparence, les principaux caractères topographiques contenus dans ce rectangle (routes, rivières, etc.). Inscrire au bas de ce rectangle le numéro de la photo.

7. Appliquer le transparent sur une photo immédiatement voisine, par exemple celle de droite, de façon à faire coïncider les repères tracés au point 6 avec les repères topographiques correspondants que nous retrouvons sur cette deuxième photo.

8. Construire un deuxième rectangle de 6×9 cm au centre de cette deuxième photo (remarquons qu'il peut parfois empiéter sur le cadre précédent et ne pas avoir la même orientation que lui).

Reporter au crayon à l'intérieur de ce nouveau rectangle les principales données topographiques et numéroter suivant le numéro d'ordre de la photo.

9. Opérer de même, successivement, pour toutes les autres photos, en ayant soin de développer d'abord les deux bandes de photos se coupant perpendiculairement sur la première choisie. Ce travail de préparation est assez long et très délicat pour peu que l'on veuille obtenir un ensemble cohérent.

10. Le transparent étant prêt, on peut enfin commencer l'interprétation. Ce travail sera conduit rectangle par rectangle, de façon à introduire le moins d'erreurs possible.

72. Si l'on possède la ou les mosaïques de la région étudiée, le travail est grandement facilité, et les erreurs sont moindres.

1. Prendre les deux photos extrêmes d'un strip. Choisir sur chacune d'elles un repère topographique voisin du centre.

2. Repérer les points équivalents sur la mosaïque et les joindre par une droite.

3. Tracer une droite sur le transparent, plus ou moins parallèle à celle tracée sur la mosaïque.

4. Prendre la première photo et la placer sous le transparent de telle sorte que les détails intersectés par la ligne soient les mêmes que ceux intersectés sur la mosaïque.

5. Tracer un rectangle de 6×9 cm, le remplir d'un fond topographique, le numéroter, etc.

6. Opérer de même pour chaque bande de photos.

8. EXEMPLES D'ÉTUDES PHOTOGÉOLOGIQUES.

81. Les quelques études reprises ici ont pour but de démontrer les *possibilités* de la méthode dans *diverses contrées* et à *diverses échelles*.

Nous montrons d'abord ce que l'on peut retirer d'un simple couple de photos aériennes pour une étude fouillée à grande échelle (région de Dinant). Puis nous passons à une région de plus grande étendue et insistons sur la rapidité d'exécution (Frasnes-Olloy). Nous ne craignons pas ensuite de citer un cas d'étude négatif (Spa); comme nous l'avons déjà dit, la méthode n'est pas toujours applicable.

Enfin, nous nous étendons un peu plus sur l'étude d'une grande région (1.000 km²) située au Nord de Mitwaba (Katanga), dont nous avons réalisé la carte structurale.

82. Étude de la région de Dinant.

Documents à consulter :

1. Photos IGM, vol. B 6/52, nos 53/060 et 53/061.
2. Cartes géologiques 166 (3/4) et 175 (7/8).

Figures :

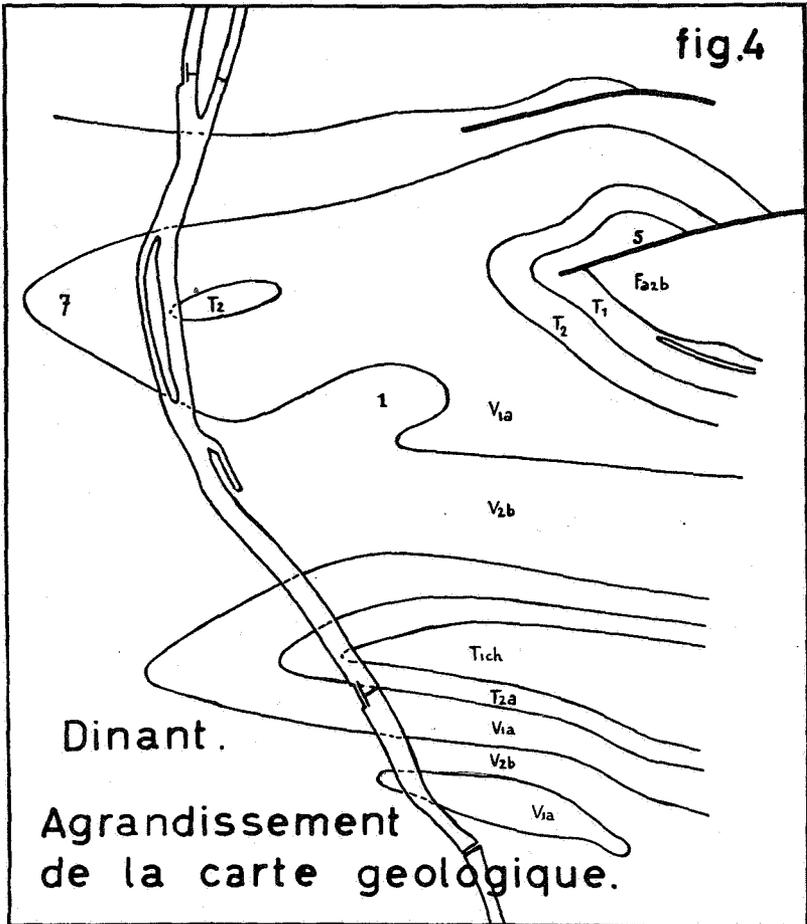
5. Interprétation d'après photos.
4. Agrandissement de la Carte géologique belge à l'échelle de la figure précédente.

Les photos nous montrent, sans discussion possible, que la hernie 1 du V_{2b} dans le V_{1a}, donnée sur la carte géologique comme un simple pli, est en réalité un pli faillé.

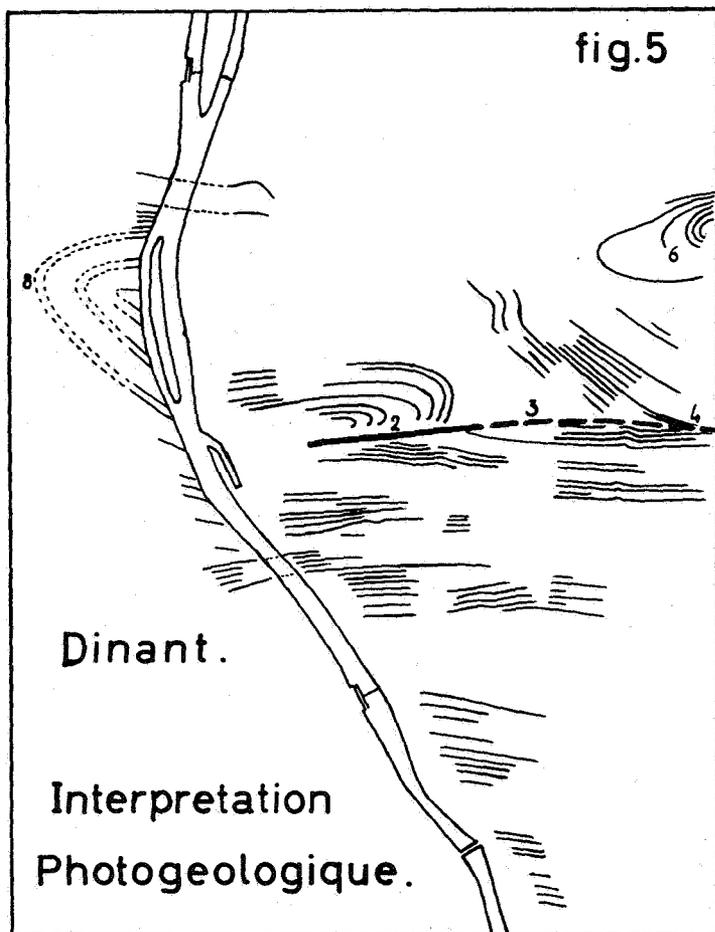
La faille, très nette en 2, se perd en 3. Mais nous observons en 4 un contact anormal dans les lignes de stratification : sans doute est-ce la continuation de notre faille perdue.

Par contre, la faille 5 indiquée sur la carte géologique n'apparaît nulle part sur les photos. Au contraire, les lignes de stratification 6 semblent affirmer l'inexistence de cette faille, ou tout au moins prouver qu'elle ne s'étend pas si loin.

Il est à remarquer que toutes ces lignes de stratification sont visibles dans des champs où la roche n'affleure nulle part : ce sont en réalité les diverses tonalités des différentes roches désagrégées que nous observons. Nous opérons ainsi une sorte de « radiographie » du sol.



Enfin, tout au long de la Meuse, les affleurements sont très nets et donnent avec précision la direction des lignes de stratification. Malheureusement, ces lignes se perdent rapidement sous le manteau de terre végétale. Toutefois, les directions sont amorcées et montrent que si l'allure générale du dessin de la carte géologique est exacte, il n'en subsiste pas moins de nombreuses erreurs de détail. Comparer à cet effet les envoies 7 et 8.



83. Étude de la région de Frasnes-Olloy.

Documents à consulter :

1. Photos IGM, vol B 14/1948, mission Givet, n^{os} 220 à 228.
2. Cartes géologiques n^{os} 191 (7/8) et 192 (5/6).
3. Cartes au 1/20.000^e, feuilles n^{os} 57 (8) et 58 (5).
4. Notre carte interprétative dessinée dans [27].

Les photos de cette région se prêtent admirablement bien à l'interprétation du point de vue géologique. Le Frasnien, le Givetien et le Couvinien s'étalent en bandes parallèles continues de direction régulière presque Est-Ouest.

Les zones calcaires apparaissent nettement en relief par rapport aux zones schisteuses. La morphologie est ici en liaison directe avec le sous-sol, au point de pouvoir tracer la *Carte géologique* sans erreur possible en se basant uniquement sur le relief.

La comparaison que nous avons faite *après coup* avec la Carte géologique nous a permis de constater la similitude quasi absolue entre les deux tracés.

Ajoutons que notre étude, qui couvrait environ 29 km², a pu être entièrement achevée en neuf heures; ceci montre à quel point le procédé a sur les méthodes classiques l'avantage de la rapidité, sans diminution, bien au contraire, de la précision.

84. Étude de la région de Spa.

L'examen des photos de cette région a été absolument négatif. Nous n'avons pu, en aucun point, confirmer ou infirmer l'interprétation récente donnée par M. Graulich [28]. De façon générale, l'étude photogéologique des terrains paléozoïques belges semble ne devoir donner que très peu de renseignements.

85. Étude d'une région de 1.000 km² au Nord de Mitwaba (Katanga).

Documents à consulter :

1. Photos CSK, Mitwaba, 2128 à 2140, 2224 à 2236, 2322 à 2335 et 2428 à 2435.
2. Schéma géologique au 1/200.000^e « Katanga, feuille Mitwaba $\frac{\text{Sud — C — 35}}{\text{D}}$ », publié par le Comité Spécial du Katanga, 1953.
3. Levés récents de M. B. M. Aderca.

Il est remarquable de constater combien la carte d'une région aussi travaillée sur le terrain que celle de Mitwaba est incomplète, tant du point de vue topographique que du point de vue géologique. Le manque d'homogénéité est flagrant.

CARTE STRUCTURALE DE MITWABA — KATANGA

Echelle approximative 1/150.000

Cours d'eau.

Route.

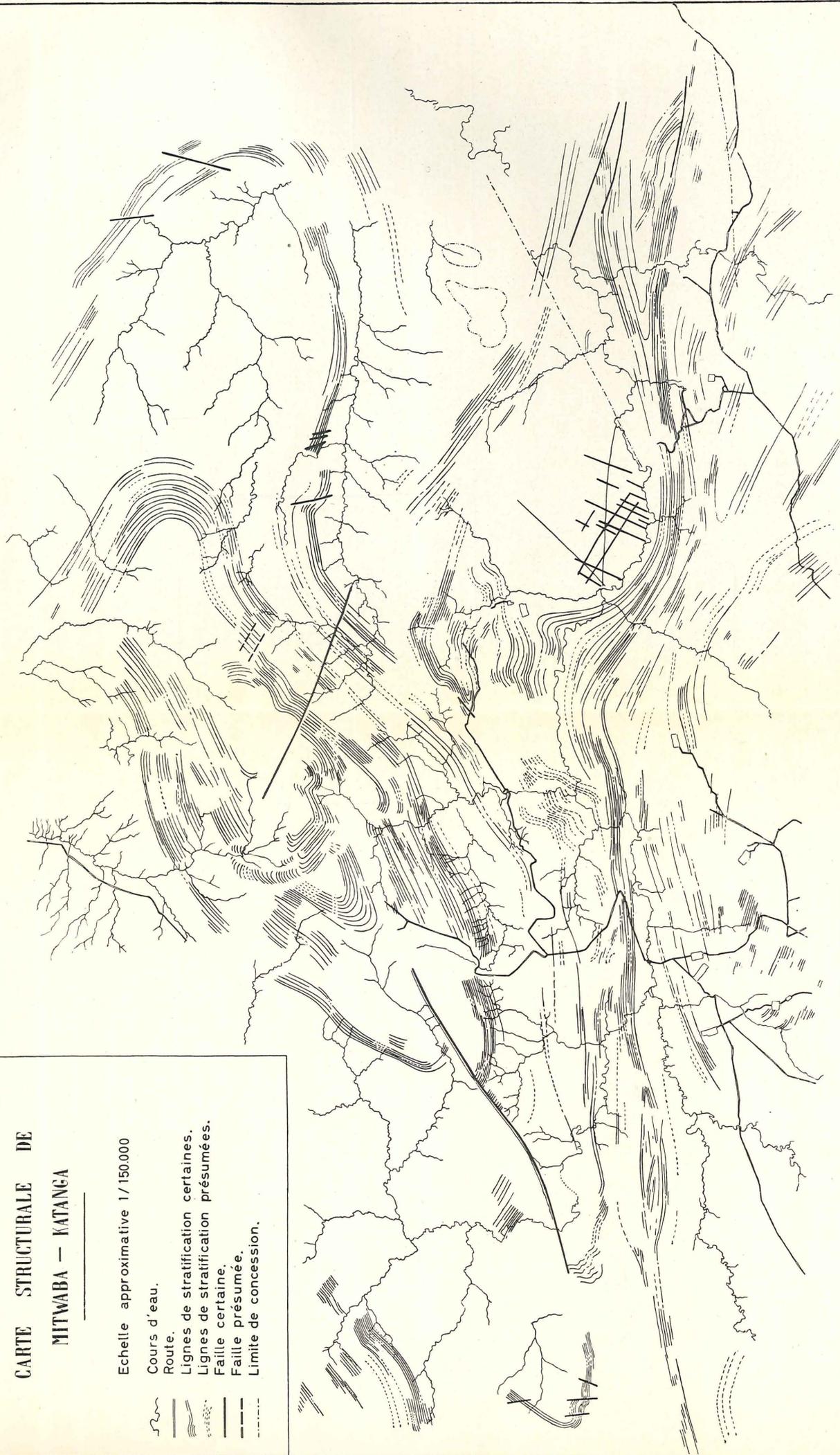
Lignes de stratification certaines.

Lignes de stratification présumées.

Faïlle certaine.

Faïlle présumée.

Limite de concession.



La photo aérienne, au contraire, permet de dessiner un fond topographique exact et homogène et de lui superposer une interprétation également homogène et complète.

Les terrains dans cette région sont suffisamment redressés pour donner des lignes de stratification bien nettes qui se poursuivent en bandes parallèles souvent sur de très grandes distances. Il est relativement facile d'en tirer une carte structurale.

De nombreuses failles sont visibles dans les Kibara, dont certaines, très importantes, non reportées sur le schéma géologique du Comité Spécial du Katanga. Les Kibara se différencient nettement des zones granitiques, en général plus claires, avec des taches blanchâtres caractéristiques, une végétation rabougrie typique et des rivières extrêmement sinueuses. Deux réseaux conjugués de cassures sont nettement visibles dans le petit massif granitique bordant les rives Est de la Shembio et Nord de la Kalumengongo.

Les divers petits massifs granitiques indiqués aux alentours de Mitwaba doivent être réunis en un seul massif (relevés de M. Aderca confirmés par la photo).

Les terrains sédimentaires compris entre les massifs granitiques de la Shembio et de Mitwaba ont été plissés et redressés en un synclinal écrasé ⁽¹⁾ qui s'ouvre progressivement vers l'Est et vers l'Ouest. Ce synclinal est évident sur les photos aériennes. L'hypothèse d'un tel synclinal avait déjà été émise et vérifiée par M. Aderca.

Le massif quartzitique Kibara 2 doit être notablement réduit vers l'Ouest. Une faille importante qui y provoque un rejet de plus de deux kilomètres n'est reportée sur aucune carte.

Sinon dans son ensemble, notre carte structurale correspond au schéma géologique du Comité Spécial du Katanga. On ne peut certes pas dénier l'intérêt qu'il y aurait eu de posséder une telle carte structurale *avant* de commencer l'étude-terrain. Que de temps n'aurait-on pas gagné ! Surtout si l'on songe que l'établissement de cette carte ne nous a demandé que quelques jours.

(1) M. Mortelmans pense qu'il s'agit plutôt de couches simplement redressées dont les inclinaisons variables donnent au premier abord l'impression d'un synclinal, mais reconnaît l'existence de ce dernier à l'extrémité Est de cette zone écrasée.

9. CONCLUSIONS.

Les renseignements fournis par l'examen stéréoscopique permettent de dessiner une carte structurale qui sera plus ou moins complète suivant le terrain observé et la qualité de l'interpréteur. Certaines régions même ne livrent aucun indice au photogéologue (84).

De toutes façons, pour « habiller » la carte, choisir une limite avec précision parmi plusieurs lignes de stratification, etc., il est nécessaire de se rendre sur le terrain. Il est donc impossible de remplacer entièrement le travail de terrain par un examen en salle.

Mais la carte structurale fournie par l'interprétation des photos aériennes peut servir de base pour un travail de prospection plus rationnel, plus rapide et plus économique, et c'est en cela surtout que la photogéologie ouvre des perspectives nouvelles.

10. BIBLIOGRAPHIE.

1. SMITH, H. T. U., Geology Department. University of Kansas. Lawrence. Kansas. Present status of photo interpretation in earth science (*Photogrammetric Engineering*, March 1953, pp. 137-143).
2. HELBLING, R., Application de la photogrammétrie pour la construction de cartes géologiques (*Bulletin de la Société Belge de Photogrammétrie*, 1935, S 96/110).
3. BAETSLE, P. L., Cours de géodésie pratique et de topographie. II. C. Photogrammétrie (*École Royale Militaire*, n° 1247, 14/31, CDU 526.918 [075.8]).
4. FITCH, A. A., CHRISTIE, D. F., JOHNSTONE, W. E. and WHITTLE, G., Aerial Photography in Petroleum and Mineral Prospecting (*Fourth Empire Mining and Metallurgical Congress*, Great Britain, July 1949, London, published at the office of the Congress, Salisbury House, Finsbury Circus, London, EC2, 1949).
5. LUNDAHL, A. C. and others, Symposium. Information relative to uses of aerial photographs by geologists (*Photogrammetric Engineering*, vol. 16, n° 5, pp. 721-806, 1950).
6. BRUNDALL, L., Photogeology aids oil exploration (*Photogrammetric Engineering*, vol. 13, n° 2, pp. 275-285, 1947).
7. WASEM, A. R., Petroleum photogeology (*Photogrammetric Engineering*, vol. 15, n° 4, pp. 579-589, 1949).
8. BURCH, J. E., Fairchild Aerial Surveys Inc., Cartographic aspects of the airborne magnetometer (*Photogrammetric Engineering*, vol. 13, n° 4, 1947, pp. 633-639).

9. ANONYME, Aerial Prospecting with Geiger-Muller tubes (*Military Review U.S.A., Command and general staff college*, Fort Leavenworth, Kansas, April 1952, vol. 32, n° 1, pp. 68).
10. COLWELL, R. N., University of California, Photographic interpretation for civil purposes (*Manual of Photogrammetry*, chap. XII, pp. 535-602, seconde édition édité par l'American Society of Photogrammetry, 1952).
11. DA SANTOS, AUBREY H., Vice President Lockwood Kessler and Bartlett Inc., Photogrammetry as applied to pipeline location (*Photogrammetric Engineering*, March 1953, pp. 85-88).
12. WITENSTEIN, M. M., Principles of application of photo interpretation to engineer intelligence (*Photogrammetric Engineering*, vol. 17, n° 3, pp. 349-355, 1951).
13. HITTLE, J. E., Air photo interpretation of engineering sites and materials, (*Photogrammetric Engineering*, vol. 15, n° 4, pp. 589-603, 1949).
14. OWEN, D. M., Deep sea underwater photography and some recent stereoscopic applications (*Photogrammetric Engineering*, vol. 16, n° 3, pp. 387-409, 1950).
15. LOMMASSON, T. and WALDO, C. E., Abstract of interpretation of aerial photographs for range and agricultural inventories (*Photogrammetric Engineering*, vol. 18, n° 3, pp. 454-455, juin 1952).
16. BELCHER, D. J., Professor of Civil Engineering, Cornell University, N.Y., Abstract of aerial photo interpretation in soils and minerals inventories (*Photogrammetric Engineering*, vol. 18, n° 3, pp. 456-457, juin 1952).
17. COLEMAN, C. G. and LUNDAHL, A. C., Symposium, Military photo interpretation (*Photogrammetric Engineering*, vol. 14, n° 4, pp. 453-521, 1948).
18. DIRMEYER, R. D., Military applications of photogeology (*Military Engineering*, 1945, vol. 37, pp. 392-397).
19. LOBECK, A. K. and TELLINGTON, W. I., Military maps and air photograph (Mc Graw Hill Book Co Inc., 1944, p. 256).
20. PUTNAM, W. C., Military Geology (*Photogrammetric Engineering*, 1947, vol. 13, n° 4, p. 564).
21. GODDARD, Colonel GEORGE W., La reconnaissance aérienne subit des changements fondamentaux (*Signals*, U.S.A., janvier-février 1949).
22. LAYLANDER, P. A., How colored aerial photographs make newest ore-search method (*Mining World*, June 1952, pp. 41-42).
23. CHOMBART DE LAUWE, P., Photographies aériennes, Librairie Armand Colin, 1951.
24. REYNA, L. J., The psychologist interprets the photo interpreter (*Photogrammetric Engineering*, 1952, n° 3, p. 467).
25. COLWELL, R. N., President of Commission VII, U. S. Naval Photo Interpretation Center, Report of Commission VII (Photographic Interpretation) to the International Society of Photogrammetry. Part I : General (*Photogrammetric Engineering*, vol. 18, n° 3, pp. 375-400, 1952).

26. HAGEN, VON TONI, Wissenschaftliche Luftbild-Interpretation (*Geographica Helvetica*, V, n° 4, 1950).
 27. THONNARD, R.-L.-G., Interprétation des photos aériennes verticales du point de vue géologique. Non publié. Déposé à l'Université Libre de Bruxelles, Faculté des Sciences appliquées.
 28. GRAULICH, J.-M., Recherches géologiques sur les terrains paléozoïques des environs de Spa (*Publication mensuelle de la Société Géologique de Belgique*, t. 72, 1949, fasc. 1).
 29. ANDERSON, R. L., Geophoto Services, Denver, Colorado, Abstract of the status of photo interpretation in petroleum geology (*Photogrammetric Engineering*, vol. 18, n° 3, pp.460-461, juin 1952).
 30. CAMERON, H. L., Abstract of air-photo-interpretation in mining and engineering geology in Canada (*Photogrammetric Engineering*, vol. 18, n° 3, pp. 458-459, juin 1952).
 31. ELIAS, M. M., U. S. Geological Survey, Abstract of use of aerial photo interpretation for airfield engineering (*Photogrammetric Engineering*, vol. 18, n° 3, pp. 459-460, juin 1952).
 32. HALL, W., Chief engineer, Air Surveys Division, Department of Lands and Forests Victoria, B. C., Abstract of aerial photo-interpretation in water en snow inventories (*Photogrammetric Engineering*, vol. 18, n° 3, pp. 455-456, juin 1952).
 33. TRUESDELL, P. E., Naval Photo Interpretation Center, Abstract of the military problem of vegetation and terrain analysis by air photo-interpretation (*Photogrammetric Engineering*, vol. 18, n° 3, pp. 462-463, juin 1952).
 34. COLWELL, R. N., The estimation of ground conditions from aerial photographic interpretation of vegetation types (*Photogrammetric Engineering*, vol. 12, n° 2, pp. 151-161, 1946).
 35. CAMERON, H. L., The use of aerial photography in seaweed surveys (*Photogrammetric Engineering*, vol. 16, n° 4, pp. 493-501, 1950).
-

**Affaissements dus à d'anciennes exploitations
de calcaire lédien dans les terrains du Solbosch
à Bruxelles (*),**

par C. CAMERMAN.

Ma communication est assez brièvement résumée ici, parce qu'une note plus détaillée et d'un caractère plus technique paraîtra dans un des prochains fascicules des *Annales des Travaux Publics de Belgique*.

Les travaux de construction des nouveaux laboratoires du Génie Civil de l'Université Libre de Bruxelles ont débuté il y a quelques mois. Ce bâtiment est situé au Solbosch (Ixelles), à front de l'avenue Adolphe Buyl, sur le versant d'une butte, au lieu dit « Villa Capouillet ».

La butte que surmonte cette ancienne villa atteint la cote 108 et est constituée par l'argile glauconifère d'Assche (Bartonien supérieur), jusqu'à la cote 100 à 101. Cette argile repose sur le Sable de Wemmel (Bartonien inférieur), verdâtre à sa partie supérieure, jaunâtre ou brunâtre à sa partie inférieure. Ces terrains sont recouverts par le loess calcareux pléistocène, la partie supérieure, décalcifiée, du loess ayant été enlevée par d'anciennes briqueteries. L'épaisseur du loess, nulle au sommet de la butte, atteint 2 à 10 m à l'emplacement du nouveau bâtiment. Le terrain a été nivelé au moyen d'excavateurs à la cote 100,75. La fouille proprement dite du bâtiment fut ensuite poursuivie, atteignant, à l'emplacement des caves, des profondeurs de 4 à 5 m.

Je fus appelé à examiner diverses cavités qui apparurent dans le terrain au cours de cette fouille. Elles présentaient la forme de cloches de 2 à 3,50 m de diamètre et d'environ 1,50 m de hauteur. La principale (fig. 1) était située dans le sable de Wemmel, à 1,50 m environ sous la base du loess; deux autres se trouvaient à la base du loess.

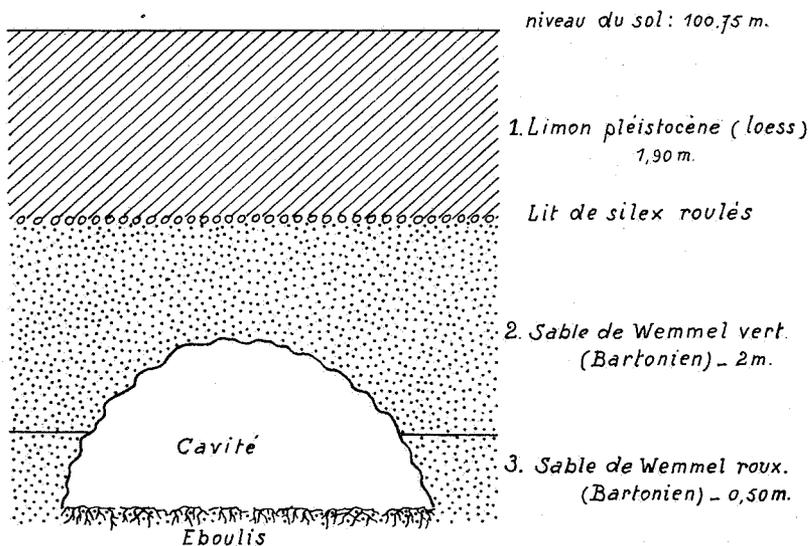
A la base de ces cavités, les éboulis de sable et de loess sont tout à fait meubles et l'on peut y enfoncer à la main, sans effort,

(*) Texte remis au Secrétariat le 30 octobre 1954.

sur plusieurs mètres, une barre à béton. Les affaissements ayant donné lieu aux cavités paraissent donc très récents.

L'hypothèse d'affaissements dus à la dissolution de roches calcaires situées à un niveau inférieur (calcaires sableux lédiens et bruxelliens) doit être rejetée en raison de la parfaite régularité des assises et du fait que le loess n'est pas décalcifié au droit des cavités.

Fig. 1 Cavité n° 1



larité des assises et du fait que le loess n'est pas décalcifié au droit des cavités.

Il me parut éminemment probable que les affaissements étaient dus à d'anciennes exploitations, par puits et galeries, des bancs de calcaire sableux situés à la base du Lédien, bancs qui furent très recherchés dans l'ancien temps pour la production de pierres de taille. Ces bancs étaient, autant que possible, extraits à ciel ouvert, mais lorsqu'ils se trouvaient à trop grande profondeur (plus de 10 à 15 m), on les extrayait par puits et galeries. De telles exploitations, notamment à Etterbeek et à Laeken, sont signalées par Burtin dans *Oryctographie de Bruxelles*, 1784.

La coupe d'un puits situé à une centaine de mètres de la fouille, décrite par F. Halet, montre que la base du Lédien se

trouve vers la cote 80 à 81, et j'en déduis que les anciennes galeries se trouvaient probablement entre les cotes 80 et 85.

Interrogé par moi, l'entrepreneur, M. Goes, se souvint que l'on avait rencontré, au cours des travaux, un ancien puits comblé de terres, que l'on avait pris pour un puits perdu.

Quelques jours après le dépôt de mes conclusions, un éboulement de la paroi Sud de la fouille, provoqué par de fortes pluies, laissa apparaître très nettement, dans l'argile verte



FIG. 2.

d'Assche, un puits comblé au moyen de sable brun (fig. 2). L'emplacement de ce puits est nettement visible au centre de la photo.

Ces deux puits sont sans aucun doute d'anciens puits d'extraction du calcaire.

L'architecte et les ingénieurs dirigeant les travaux, tous éminents spécialistes, avaient soigneusement étudié le terrain avant d'élaborer le projet de construction, au moyen de sondages et de mesures de la force portante du sol. Aucun de ces sondages n'ayant eu la chance, du reste très minime, de tomber sur une cavité, le terrain fut jugé bon.

L'apparition tout à fait imprévisible de cavités disséminées dans le terrain crée l'obligation d'apporter certaines modifications aux fondations, en vue de les renforcer.

A cet effet, les dirigeants des travaux résolurent de procéder à une prospection minutieuse du terrain en criblant celui-ci de

sondages d'une quinzaine de mètres de profondeur. Ces sondages sont encore en cours. Plusieurs de ceux déjà effectués ont rencontré des cavités à diverses profondeurs et certaines de celles-ci semblent se placer suivant des alignements qui correspondraient vraisemblablement au parcours d'anciennes galeries.

On peut s'étonner que de telles cavités n'aient pas été rencontrées plus fréquemment dans le sous-sol de l'agglomération et notamment au quartier du Solbosch, où beaucoup de grands immeubles ont été construits au cours de ces dernières années. Je vois à cela deux raisons :

Premièrement, les surfaces où le niveau des bancs de calcaire lédien a justifié une exploitation souterraine sont assez restreintes; elles se situent au sommet des plateaux élevés se trouvant à la périphérie de l'agglomération bruxelloise.

Secondement, les travaux des nouveaux laboratoires du Génie Civil ont nécessité des terrassements particulièrement importants où le passage de lourds camions et le travail des excavateurs ont fortement ébranlé le sous-sol. Cet ébranlement a provoqué, au cours des travaux, la descente du sable de Wemmel dans les vides laissés par les anciennes galeries, non ou insuffisamment remblayées.

ADDENDUM.

Au cours de l'impression de cette note, il m'a été signalé que dans une fouille pratiquée récemment à la rue Meyerbeer, à Uccle, on avait rencontré deux grandes chambres d'exploitation, dans le calcaire lédien. Ces chambres, hautes de 3,50 m, vides, avaient leur toit à 7 m sous le sol.

**Mesures de température
aux profondeurs de 2.185 et 2.225 m dans le sondage
de Turnhout (Campine belge) (*),**

par ANDRÉ GROSJEAN,
Directeur du Service géologique de Belgique.

ABSTRACT. — *By using the indicated method, it appears possible to reduce to a few tenths of one degree the approximation of the actual temperature at a certain depth.*

It is shown how old figures given in reference books ought to be corrected even up to 6° C.

Data collected from the Turnhout boring are summed up in the table page 200. They confirm that the geothermic degree of namurian strata amount to less than 18 meters per 1° C corresponding to a geothermic gradient of more than 5,55° C per 100 meters.

Une note précédente ⁽¹⁾ a montré comment l'usage simultané de *plusieurs* thermomètres coupés et l'observation des températures d'émission de *plusieurs* gouttes de mercure par chacun de ces thermomètres permettent de limiter assez étroitement l'imprécision affectant les mesures de température dans les sondages.

Deux nouveaux essais ont été exécutés par le Service géologique de Belgique, en juillet et en septembre 1954, dans le même sondage de Turnhout, aux profondeurs de 2.185 m et de 2.225,35 m; leurs résultats sont consignés ci-après.

En vue de faire bénéficier nos confrères de l'expérience acquise et pour permettre une estimation plus nuancée des données géothermiques éparses dans la littérature, nous n'avons pas jugé inutile d'exposer dans un certain détail les corrections appliquées et les difficultés rencontrées.

(*) Texte remis au Secrétariat le 26 octobre 1954.

⁽¹⁾ ANDRÉ GROSJEAN, Sur une mesure assez précise de la température à 1.877 m de profondeur dans le sondage de Turnhout (Campine belge) (*Bull. Soc. belge de Géol., de Paléon. et d'Hydrol.*, t. LXIII [1954], pp. 69-73).

1. ESSAI A LA PROFONDEUR DE 2.185 m.

Une bombe étanche contenant trois thermomètres coupés a été descendue à 2.185 m, pendant la nuit du samedi 17 au dimanche 18 juillet 1954. A ce moment, la profondeur atteinte était de 2.194 m. La bombe a été relevée le vendredi 23 juillet à partir de 6 heures du matin, soit cinq jours pleins après sa descente.

Cependant, par suite de certains essais hydrologiques qui ont occupé les journées du lundi 19 juillet et du mardi 20 juillet, cette période de cinq jours a été troublée par des injections d'eau froide et même par un relèvement momentané de la bombe jusqu'à la profondeur de 1.000 m.

En fait, les thermomètres n'ont disposé, pour réaliser leur équilibre thermique, que d'une période de repos absolu de 58 heures, savoir du mardi 20 avant 20 heures jusqu'au vendredi 23 à 6 heures. Pendant toute cette période, le sondage n'a pas débité.

Les trois thermomètres utilisés étaient du même type que pour l'essai pratiqué en avril 1954 à la profondeur de 1.877 m (échelle de 225 mm environ pour 100 degrés centigrades); ils avaient été coupés en biseau respectivement au voisinage des graduations de 85° C, 90° C et 89° C.

La restitution des températures de débordement du mercure a été exécutée au Laboratoire du Service des Poids et Mesures, à Bruxelles, au moyen d'un vaste bain d'huile, chauffé électriquement, agité mécaniquement et contrôlé par des thermomètres-étalons gradués en vingtièmes de degré centigrade. Sur ces thermomètres-étalons, les spécialistes entraînés du Laboratoire peuvent faire les lectures à 5/1.000 de degré centigrade près (1).

Cependant, par suite d'un concours de circonstances malheureuses, l'essai a échoué pour deux des thermomètres utilisés (2), en sorte qu'on ne dispose finalement que des indications d'un seul thermomètre.

(1) Nous réexprimons ici au Directeur du Laboratoire des Poids et Mesures, à ses collaborateurs et tout spécialement à M. SPAEPEN, chargé de la section thermométrie, ainsi qu'à M^{lle} RAEYMACKERS, son assistante, nos remerciements très vifs pour leur collaboration compétente, dévouée et amicale.

(2) Avant l'essai de restitution des températures, on avait constaté que les colonnes mercurielles des trois thermomètres remontés étaient scindées en

Le tableau ci-après donne les températures du bain d'huile aux instants où les trois premières gouttes de mercure se sont détachées du thermomètre :

| | Températures | Différences |
|---|--------------------|-------------|
| 1 ^{re} goutte détachée à | 103°555 | |
| 2 ^e goutte détachée à | 103°930 | 0°375 |
| 3 ^e goutte détachée à | 104°280 | 0°350 |
| Moyenne des différences de température | 0,36° C par goutte | |

plusieurs tronçons séparés par des gouttelettes d'eau qui s'étaient condensées dans les tubes capillaires.

L'élimination de cette eau et la réunion des divers tronçons n'ont pu être obtenues que par une succession de réchauffements et de refroidissements intenses (mélange d'alcool et de neige carbonique), accompagnés d'aspiration d'éther sulfurique dans les tubes capillaires.

C'est au cours de ces tentatives que le thermomètre n° II a été mis hors d'usage : après un refroidissement dans la neige carbonique et avant toute injection d'éther, la colonne mercurielle s'est brusquement élevée au-dessus du niveau de débordement, bien que la température de réchauffement soit restée inférieure à 25° C.

Quant au thermomètre n° I, il s'est comporté d'une manière absolument anormale au cours de l'essai de restitution des températures.

La température du bain d'huile fut d'abord poussée jusqu'à 107,450° C, sans que la première goutte ne se détache.

A ce moment on dut remplacer le thermomètre-étalon — dont la température maximum ne dépassait pas 108° — par un étalon permettant de monter jusqu'à 126°.

Le thermomètre n° I fut retiré du bain avec précaution et la goutte de mercure, qui avait perlé à l'orifice, fut réaspirée dans le tube capillaire.

Pendant le changement de thermomètre-étalon, on laissa refroidir le bain d'huile jusqu'à environ 100° C.

Après modification de l'installation, on reprit le chauffage à allure légèrement accélérée, dans la conviction que rien ne pouvait se produire au début; mais, en fait, la première goutte se détacha brusquement à une température voisine de 105° C mais non relevée avec précision.

La température du bain d'huile fut ensuite poussée jusqu'à 126°, sans que la seconde goutte ne se détache.

L'essai fut arrêté à 126° et la goutte qui avait perlé à l'orifice se trouva réaspirée dans le tube capillaire.

Dans ces conditions, on a jugé ne pouvoir faire confiance qu'aux seules indications du thermomètre n° III.

Les températures figurant à ce tableau correspondent aux lectures du thermomètre-étalon plongeant dans le bain d'huile, augmentées de 0,18 °C, savoir :

a) correction de + 0,090 °C pour l'erreur de l'étalon, vérifié à la lecture de 97,700 °C;

b) correction de + 0,09 °C pour l'effet de contraction résultant de la longueur de colonne mercurielle émergeant du bain d'huile.

Les deux corrections ont été calculées par M. SPAEPEN, métrologue spécialisé du Laboratoire des Poids et Mesures, qui nous a fait remarquer que, compte tenu de l'imprécision affectant la deuxième correction, les températures citées ne peuvent être regardées comme exactes qu'au centième de degré près.

Pendant, comme les deux corrections n'affectent pas les *différences* de température, la précision de ces dernières atteint également le centième de degré (savoir le double de l'erreur affectant les lectures brutes : $2 \times 5/1.000 = 1/100$).

Une troisième correction qu'il convient d'appliquer ⁽¹⁾ résulte de ce que, au cours de l'essai de restitution des températures, une certaine longueur du thermomètre coupé émerge nécessairement du bain d'huile, tandis que, pendant la station au fond du sondage, la colonne mercurielle toute entière se trouvait portée à la température à mesurer; ceci se traduit par un certain retard à l'émission des gouttes de mercure.

M. SPAEPEN a calculé que, dans les conditions de l'expérience, ce retard pouvait être évalué à 0,5 °C, en signalant toutefois que les incertitudes entourant cette correction réduisent sa précision au dixième de degré centigrade.

Finalement, on est donc fondé à écrire que la température cherchée est inférieure à la température d'émission de la première goutte de mercure :

$$t < (103,55 \pm 0,01) - (0,5 \pm 0,1) \text{ °C,}$$

c'est-à-dire

$$t < 103,16 \text{ °C,}$$

⁽¹⁾ On remarquera que, au cours de l'essai à 1.877 m, dont mention au début de la présente note, les trois corrections en question avaient été négligées.

et que, d'autre part, cette température est supérieure à la température d'émission de la dernière goutte qui s'était détachée dans le fond, savoir

$$t > (103,55 \pm 0,01) - (0,5 \pm 0,1) - (0,36 \pm 0,01) \text{ } ^\circ\text{C},$$

c'est-à-dire

$$t > 102,57 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

En sorte que la température cherchée est soumise à la double inégalité

$$102,57 < t < 103,16.$$

En conclusion, la température régnant à la profondeur de 2.185 m sous Turnhout peut être fixée à $102,865 \pm 0,295 \text{ } ^\circ\text{C}$.

2. ESSAI A LA PROFONDEUR DE 2.225,35 m.

Trois thermomètres enfermés dans une bombe étanche sont restés en station à la profondeur de 2.225,35 m, depuis le vendredi 24 septembre à 4 h 20, jusqu'au samedi 25 septembre 1954 à 22 h 30, soit pendant 42 h 10.

A ce moment le trou était foré jusqu'à la profondeur de 2.234,35 m au diamètre de 5 pouces (couronnes de 133 mm de diamètre); il était encore dépourvu de tout revêtement à partir de la base des tubes de 6 pouces, établie à 1.859,20 m.

Pendant les 42 heures de station, le sondage est resté en repos hydrostatique complet; mais il y a lieu de noter que, pendant toute la semaine du mercredi 15 septembre au mercredi 22 septembre au soir, les formations aquifères du fond du sondage avaient été soumises à un pompage presque continu, à des régimes variant de 30 à 10 m³/heure. Il est certain que cette opération doit avoir *réchauffé* les terrains, alors que, avant la plupart des autres essais de température, le sondage se trouve soumis à un *refroidissement* par la circulation des boues d'injection. Quoi qu'il en soit, la mesure proprement dite a été précédée d'une période de repos commençant le mercredi 22 septembre à 20 h 35; pendant ce repos préliminaire de 31 h 45, la réalisation des équilibres n'a été troublée que par le prélèvement (au câble), à la profondeur de 900 m, de trois cuillers d'eau destinée à l'analyse, ainsi que par la descente des tiges portant la bombe thermométrique.

Les trois thermomètres utilisés étaient du même type que pour les mesures faites à 1.877 et 2.185 m; ils avaient été coupés en biseau respectivement au voisinage des graduations de 96, 96 et 94 degrés centigrades. Instruits par les essais précédents, nous avons veillé à maintenir dans la bombe une atmosphère très sèche, ce qui a empêché toute condensation dans les tubes capillaires, en sorte que la colonne mercurielle n'était tronquée dans aucun des trois thermomètres.

L'essai de restitution des températures, exécuté dans les mêmes conditions que pour la mesure de 2.185 m, a donné les résultats consignés au tableau ci-après.

| | Thermomètre A | | Thermomètre B | | Thermomètre C | |
|---------------------------------|-------------------|------------------|-------------------|------------------|-------------------|------------------|
| | Tempé- ratures | Diffé- rences | Tempé- ratures | Diffé- rences | Tempé- ratures | Diffé- rences |
| 1 ^{re} goutte à | 105°15 | | 104°23 | | 106°18 | |
| | | 5°81 | | 5°26 | | 2°61 |
| 2 ^e goutte à | 110°96 | | 109°49 | | 108°79 | |
| | | 5°83 | | 5°36 | | — |
| 3 ^e goutte à | 116°79 | | 114°85 | | — | |
| | | 6°13 | | 5°78 | | — |
| 4 ^e goutte à | 122°92 | | 120°63 | | — | |
| Moyenne des différences : | | 5°92 | | 5°47 | | 2°61 |

Les températures citées au tableau ont subi les deux corrections signalées sous *a*) et *b*) dans le paragraphe relatif à l'essai de 2.185 m; dans le cas présent, elles ne peuvent être regardées comme exactes qu'à 5/100 de degré près, et l'imprécision des différences de température pourrait atteindre le double, soit 1/10 de degré.

Il faut noter la valeur élevée des différences de température nécessaires à l'expulsion d'une goutte de mercure; en moyenne, cette différence est ici de 5,92 °C, 5,47 °C et 2,61 °C, alors que, dans les essais à 1.877 et 2.185 m, elle n'était que 1,52 °C, 2,14 °C, 2,06 °C et 0,36 °C. La cause de cette augmentation nous échappe, car, comme signalé, les thermomètres utilisés dans les trois essais étaient du même type. Mais il est très important de savoir que les mesures géothermiques faites jadis au moyen d'un seul thermomètre coupé pourraient être entachées d'erreurs atteignant presque 6° C!

Dans la nouvelle technique mise en œuvre au cours des essais sous revue, la température du fond peut être fixée avec beaucoup plus de précision.

En effet, l'utilisation simultanée de trois thermomètres coupés et la détermination de l'écart de température nécessaire à l'expulsion d'une goutte de mercure permettent d'écrire trois doubles inégalités dont l'ensemble enferme la température cherchée dans des limites relativement étroites.

Il suffit pour cela d'exprimer, pour chaque thermomètre, que la température cherchée est inférieure à la température observée à l'émission de la première goutte, tout en étant supérieure à la température calculée pour l'émission de la goutte précédente.

Cependant les températures à introduire dans ces inégalités ne sont pas les températures du bain d'huile, mais des températures légèrement inférieures, par suite du retard à l'émission résultant de la longueur du tronçon de thermomètre coupé émergeant nécessairement du bain d'huile (effet décrit ci-avant comme troisième correction). M. SPAEPEN a calculé que, dans les conditions de l'expérience, ce retard à l'émission de la première goutte était de :

$$\begin{aligned} 0,15 \pm 0,03 \text{ } ^\circ\text{C} & \text{ pour le thermomètre A,} \\ 0,19 \pm 0,04 \text{ } ^\circ\text{C} & \text{ pour le thermomètre B,} \\ 0,36 \pm 0,06 \text{ } ^\circ\text{C} & \text{ pour le thermomètre C.} \end{aligned}$$

Les résultats de l'essai s'expriment donc par les six inégalités ci-après :

Thermomètre A :

$$\begin{aligned} (105,15 \pm 0,05) - (0,15 \pm 0,03) & > t > \\ (105,15 \pm 0,05) - (0,15 \pm 0,03) - (5,92 \pm 0,1) & \end{aligned}$$

c'est-à-dire :

$$105^{\circ}08 > t > 98^{\circ}90.$$

Thermomètre B :

$$\begin{aligned} (104,23 \pm 0,05) - (0,19 \pm 0,04) & > t > \\ (104,23 \pm 0,05) - (0,19 \pm 0,04) - (5,47 \pm 0,1) & \end{aligned}$$

c'est-à-dire :

$$104^{\circ}13 > t > 98^{\circ}38.$$

Thermomètre C :

$$(106,18 \pm 0,05) - (0,36 \pm 0,06) > t > (106,18 \pm 0,05) - (0,36 \pm 0,06) - (2,61 \pm 0,1)$$

c'est-à-dire :

$$105^{\circ}93 > t > 103^{\circ}00.$$

L'ensemble de ces six conditions impose finalement

$$104^{\circ}13 > t > 103^{\circ}00.$$

En définitive, la température régnant à la profondeur de 2.225,35 m sous Turnhout peut être fixée à $103,565 \pm 0,565$ °C.

3. DEGRÉ GÉOTHERMIQUE.

En rapprochant les deux températures ainsi fixées de celles qui ont été rapportées dans la note prémentionnée, on obtient les indications ci-après pour le degré géothermique sous Turnhout :

| Profondeur | Température | Degré géothermique |
|------------|-------------------|--------------------|
| 25 m | 10°00 (estimée) | |
| 687 m | 29°50 (approchée) | 34,00 m/°C |
| 1.000 m | 38°70 (calculée) | 34,00 m/°C |
| 1.877 m | 85°43 (observée) | 18,77 m/°C |
| 2.185 m | 102°86 (observée) | 17,67 m/°C |
| 2.225 m | 103°56 (observée) | 57,10 m/°C |

Le lecteur notera tout d'abord que, sur les bases adoptées, le degré géothermique entre les profondeurs de 1.000 et 1.877 m s'établit à 18,77 m par degré centigrade, et non à 18,98 m par degré centigrade, ainsi que nous l'avions écrit par erreur (1).

(1) A. GROSJEAN, *loc. cit.*, p. 73. Le degré géothermique indiqué au haut de cette page 73 a été calculé en fonction d'une température de 85°43 attribuée à la profondeur de 1.887 m, alors qu'en réalité cette température avait été mesurée à la profondeur de 1.877 m.

Cette valeur anormalement basse du degré géothermique restait un peu sujette à caution, parce qu'elle était basée sur une température à 1.000 m calculée en supposant le degré géothermique constant entre 25 et 1.000 m.

Elle est maintenant solidement confirmée par l'évaluation tirée des températures réellement observées à 1.877 et 2.185 m : entre ces profondeurs le degré géothermique s'abaisse même à 17,67 m par degré.

Sous la profondeur de 2.185 m, la valeur du degré géothermique paraît se relever nettement : sur la base des températures retenues à 2.185 et 2.225 m, il atteindrait 57,10 m par degré. Ceci s'explique peut-être par le passage des roches schisteuses du Namurien aux roches calcaireuses du Viséen, contact qui se produit vers la profondeur de 2.175 m. Mais compte tenu du faible intervalle de profondeur et de température qui sépare ces deux mesures, il convient d'attendre confirmation.

Bruxelles, le 19 octobre 1954.

SERVICE GÉOLOGIQUE DE BELGIQUE.

Sur un soufflard dans le Massif cambrien du Brabant (*),

par ANDRÉ GROSJEAN,

Directeur du Service Géologique de Belgique.

Le 18 août 1954, le Service Géologique était alerté pour le comportement anormal d'un puits tubé en creusement à Saintes-lez-Hal (Brabant) : des grondements inquiétants, audibles à vingt mètres de l'orifice, faisaient supposer la recoupe d'une puissante « cascade souterraine ».

Au cours d'une visite faite sur place dans l'après-midi du même jour, nous avons constaté qu'il s'agissait en réalité d'un

(*) Texte remis au Secrétariat le 8 novembre 1954.

fort dégagement de gaz souterrains dont le barbotage entretenait au fond du puits un bouillonnement à la vérité assez spectaculaire. Ces gaz, par ailleurs inodores et incolores, remplissaient le tubage d'une atmosphère incombustible et non comburante, provoquant l'extinction graduelle d'une bougie dès la profondeur de quelques centimètres.

DESCRIPTION DU PUITS.

Le puits en question, creusé par le foreur DELOBELLE, de Zottegem, est établi dans les anciennes dépendances du Château de Saintes, à quelques mètres de l'habitation du jardinier, récemment acquise par M. Raoul DERO, de Rebecq (1).

Sur le creusement de ce puits, nous avons recueilli les renseignements suivants.

Le forage proprement dit a commencé, par la méthode du trépan à injection, dans l'après-midi du mardi 10 août 1954; au soir de ce premier jour, un tubage de 127 mm de diamètre extérieur se trouvait enfoncé à la profondeur de 4,65 m.

Le mercredi 11 août, on a traversé, vers 9 m de profondeur, une argile contenant de petits graviers, puis, jusqu'à 9,50 m environ, de l'argile noire, onctueuse.

Le jeudi 12 et le vendredi 13 août, les travaux ont été suspendus; le puits ne donnait pas encore d'eau.

Le samedi 14 août, on a touché le roc dur à la profondeur de 11,60 m; après avoir enfoncé le tubage de quelques centimètres dans ce rocher, on a poursuivi le creusement à travers du schiste gris clair, jusqu'à environ 12,60 m, et recoupé des fissures aquifères dont le niveau hydrostatique s'établissait vers 5 m de profondeur. Dès ce soir du samedi 14 août, les ouvriers avaient signalé les grondements insolites qui se sont poursuivis le dimanche 15 et le lundi 16 août, jours fériés pendant lesquels le niveau d'eau s'est maintenu vers 5 m de profondeur.

Le mardi 17 août, les travaux ont été suspendus.

Le mercredi 18 août au matin, on avait tenté un essai d'épuisement à la cuiller, ce qui avait provoqué l'accentuation des grondements et l'appel téléphonique au Service géologique. Au moment de notre arrivée, le niveau d'eau, sans doute encore déprimé par les essais de la matinée, se tenait à 7,85 m.

(1) Puits recensé dans les Archives de la Carte géologique de Belgique sous la référence 115 g — N° 168.

COUPE GÉOLOGIQUE.

Aucun échantillon de terrain n'ayant été conservé, on ne possède d'autre coupe géologique que les notes du sondeur résumées ci-dessus; la constitution géologique générale de la région conduit à l'interprétation suivante :

de 0 à 9 m : formations meubles de l'Holocène, du Pléistocène et de l'Éocène, avec argile graveleuse à la base;

de 9 m à 11,60 m : socle paléozoïque altéré;

de 11,60 à 12,60 m : schistes devilliens (?) inaltérés.

OBSERVATIONS PNEUMATOLOGIQUES.

Nous avons immédiatement établi les plans d'une tête étanche, munie d'ajutages qui auraient permis de prélever des échantillons à analyser et de mesurer la pression ainsi que le débit de l'émission gazeuse. Malheureusement, ces instructions n'ont pas été exécutées.

Lorsque nous sommes retournés sur place, le jeudi 7 octobre 1954, le puits avait été abandonné, après que le tubage eut été relevé d'un mètre environ. Le niveau d'eau se tenait alors à 6,30 m sous l'orifice; aucun dégagement gazeux n'était plus observable mais l'atmosphère régnant dans les tubes suffisait encore à éteindre la flamme d'une bougie dès la profondeur de 3,75 m.

Le vendredi 8 octobre, nous avons ranimé l'émission gazeuse par le simple rabattement de la nappe aquifère au moyen d'une pompe à moteur munie d'une colonne d'aspiration d'environ 8 m. Puis le tubage a été fermé par un bouchon de fortune en bois, percé d'un orifice traversé par un tuyau de caoutchouc; les gaz chassés par le relèvement de la nappe ont provoqué un léger trouble dans un flacon d'eau de chaux.

Malgré la faiblesse de ce précipité, nous croyons pouvoir conclure à la présence certaine d'anhydride carbonique, car l'eau de chaux — que nous nous étions procurée sur place — devait être assez largement épuisée puisqu'elle ne réagissait que très faiblement au barbotage de l'expiration humaine.

Nous regrettons que les essais très fragmentaires qui ont pu être réalisés ne permettent aucune conclusion quant à la pré-

sence ou à l'absence d'autres gaz, tels que l'Azote, l'Hélium, l'Argon, le Xénon, le Krypton, le Radon, etc.

L'attention doit également être fixée sur la vraisemblance d'une relation entre le phénomène constaté et la proximité de la roche éruptive exploitée à Bierghes.

OBSERVATIONS HYDROLOGIQUES.

Le 18 août 1954, à 15 h 10, le niveau d'eau se trouvait à 7,85 m sous l'orifice, mais, vu les essais de la matinée, ceci n'était peut-être pas le niveau d'équilibre. Après extraction de 21,12 litres (11 cuillers de 1,92 litre extraites en 8 minutes), le niveau est remonté de 8,85 m à 8,35 m entre 15 h 23 et 15 h 44; la capacité du tubage étant de 10,4 litres au mètre courant, ceci correspond à un débit de 5,2 litres en 21 minutes, ou 14,8 litres à l'heure.

Le 8 octobre 1954, à 15 h 20, le niveau hydrostatique s'établissait à 6,25 m sous l'orifice. Après épuisement à la pompe aspirante, l'eau est remontée de 7,91 m à 6,32 m entre 15 h 51 et 16 h 29; ceci correspond à un débit de 16,5 litres en 38 minutes, ou 26 litres à l'heure.

L'augmentation de débit constatée le 8 octobre par rapport à la mesure du 18 août, et ce malgré la mise en œuvre de rabattements moindres, est vraisemblablement attribuable à un certain appel des eaux superficielles qui aurait été provoqué par le relèvement des tubes intervenu entre ces deux dates ⁽¹⁾.

Un échantillon d'eau prélevé le 8 octobre, lequel pourrait donc résulter d'un certain mélange de la nappe tertiaire et de la nappe paléozoïque, a été analysé par notre collègue M. C. CAMERMAN, qui nous a remis les résultats ci-après :

| | | |
|-------------------------|--------|-----------------|
| Résidu sec à 180 degrés | | 1,7850 gr/litre |
| Ca | | 0,3500 gr/litre |
| Mg | | 0,0518 gr/litre |
| SO ₄ | | 0,2885 gr/litre |

(1) Il est également possible que le puits ait en outre subi un approfondissement de quelques décimètres à la fin du mois d'août. Le propriétaire pense, en effet, que l'abandon définitif n'est intervenu qu'après une courte reprise du creusement, lequel aurait été arrêté sur une roche très dure, assimilée au « porphyre »; mais il n'a pu nous fournir aucun échantillon. De plus la profondeur mesurée le 7 octobre 1954 était de 12,30 m.

| | |
|--|----------------------------|
| Cl | 0,2870 gr/litre |
| Si O ₂ | 0,0100 gr/litre |
| Fe | 0,0025 gr/litre |
| CO ₃ | 0,4920 gr/litre |
| Alcalinité totale en H ₂ SO ₄ N/10 . | 164 cm ³ /litre |
| Dureté totale | 109 degrés français |
| pH au potentiomètre | 8,35 |

Exprimée en milliéquivalents, la composition serait donc :

| | | | |
|-----------------------|------|----------|---------------|
| m CO ₃ ... | 16,4 | m Ca ... | 17,5 |
| m SO ₄ ... | 6,0 | m Mg ... | 4,3 |
| m Cl ... | 8,0 | m Na ... | 8,6 (calculé) |
| | 30,4 | | 30,4 |

ce qui donne pour valeurs respectives des titres hydrotimétrique, natronique et de chloruration calcique :

$$\begin{aligned} \text{Th} &= 5 (m \text{ Ca} + m \text{ Mg}) = 109^{\circ}; \\ \text{Tn} &= 5 (m \text{ Na} - m \text{ Cl}) = + 3^{\circ}; \\ \text{Tb} &= 5 m \text{ Ca} - 5 (m \text{ CO}_3 + m \text{ SO}_4) = - 24^{\circ}5. \end{aligned}$$

L'application brutale des critères proposés par notre confrère J. DELECOURT ⁽¹⁾ conduit donc à ranger cette eau tout au début de la *zone des échanges de bases*.

Eu égard à la position géographique du puits, cette conclusion pourrait apparaître comme tout simplement normale.

Cependant le total de 30,4 milliéquivalents-anions par litre est nettement plus élevé que les totaux que l'on peut considérer comme normaux dans la zone des échanges de bases de la région bruxelloise.

Pour établir la véritable signification de l'analyse ci-dessus, il y aura donc lieu de la comparer à celles des puits voisins dépourvus de gaz carbonique.

SERVICE GÉOLOGIQUE DE BELGIQUE,

7 novembre 1954.

(1) J. DELECOURT, Géochimie des Océans, des Bassins clos et des Gîtes salifères (*Mém. Soc. belge de Géol., etc., Série in-8°, n° 1, p. 32, Bruxelles, 1946*).

DISCUSSION.

M. P. Dumon souhaite que l'analyse puisse être faite et que l'on détermine les gaz rares qui pourraient aussi se trouver avec l'acide carbonique, ainsi que la radioactivité s'il s'en trouve (en millimicrocuries).
