

SÉANCE MENSUELLE DU 19 AVRIL 1955.

Présidence de M. J. LEPERSONNE, vice-président.

Le président fait part du décès de M. MAURICE CLEREBEAUX, membre effectif depuis 1947.

Il présente comme nouveau membre effectif :

M. JEAN BRETIN, étudiant, Le Martrat, Marcilly-les-Buxy, Saône et Loire (France); présenté par MM. A. DELMER et R. CAMBIER.

qui est immédiatement admis par l'assemblée.

Dons et envois reçus :

1° De la part des auteurs :

- 11245 *Debnam, A. H.* Geochemical prospecting at Mt. Isa, Queensland. Brisbane, 1955, 14 pages et 1 planche.
- 11246 *Hanlon, F. N., Joplin, G. A. et L. C. Noakes.* Review of stratigraphical nomenclature. Post-Palæozoic Units in the Illawarra district of New South Wales. Canberra, 1953, 3 pages.
- 11247 *Jubelt, R.* Die Metabasitkörper des südwestlichen Sächsischen Granulitgebirges. Beiträge zu deren Petrographie, Geologie und Geomagnetik. Berlin, 1955, 31 pages et 22 figures.
- 11248 *Louis, A.* Étude pédologique en rapport avec la culture de la betterave sucrière dans le Hainaut. Jodoigne, 1954, 12 pages et 1 carte.
- 9017 *Friedberg, H.* Mieczaki miocenske ziem polskich ziem polskich i Krakow sasiednich. Czesc (Poloniae finitiarumque terrarum mollisca miocænica). Czesc I. Slimaki (Pars I. Gasteropoda et Scaphopoda). Varsovie, 1954, 400 pages et 23 planches (2 volumes).
- 10671 *Rospond, S.* Slownik nazw geograficznych polski zachodniej i polnocnej. Czesc I : Polsko-Niemieck. Czesc II : Niemiecko-polska. Varsovie, 1951, 794 pages (2 volumes).

Communications des membres :

A. DELMER. — *Le Westphalien C en Campine. (Sondage n° 424 de Meeuwen).* (Texte ci-après.)

P. MELCHIOR. — *Les diverses manifestations de l'existence des marées terrestres.* (Texte ci-après.)

**Le terrain houiller
au sondage n° 121 (Meeuwen-Bullen).
Le Westphalien C en Campine (*),
par ANDRÉ DELMER.**

§ 1. SITUATION. — MODE D'EXÉCUTION.

Le sondage n° 121 a été planté en zone non concédée, sur le territoire de la commune de Meeuwen, au lieudit Bullen, en un point de coordonnées : $x = 75,769,83$ m (latitude nord); $y = 79.774,92$ m (longitude est). La cote du plancher de travail par rapport auquel les profondeurs ont été mesurées est : + 73,16.

Commencé le 13 août 1952, la sonde a atteint la base des formations crétaciques le 28 janvier 1953 à 704 m de profondeur. Le sommet du terrain houiller était touché le 13 août 1953 à 936,50 m de profondeur. Le 17 novembre 1953, on abandonnait le forage à 1.320,60 m de profondeur.

A travers le terrain houiller, le creusement s'est effectué exclusivement au carottier, soit simple, soit double et les carottes obtenues le furent aux diamètres de :

130 mm de 936,50 m à 1,072,25 m;	110 mm de 1.072,25 m à 1.075,45 m;
130 mm de 1.075,45 m à 1.080,55 m;	110 mm de 1.080,55 m à 1.082,90 m;
130 mm de 1.082,90 m à 1.089,56 m;	110 mm de 1.089,56 m à 1.092,80 m;
130 mm de 1.092,80 m à 1.128,00 m;	110 mm de 1.128,00 m à 1.132,03 m;
130 mm de 1.132,03 m à 1.146,15 m;	110 mm de 1.146,15 m à 1.186,65 m;
130 mm de 1.186,65 m à 1.191,54 m;	110 mm de 1.191,45 m à 1.294,90 m;
90 mm de 1.249,90 m à 1.320,60 m.	

La firme Foraky s'est acquittée avec maîtrise de la tâche que lui avait confiée la Direction des Charbonnages Les Liégeois à Zwartberg (Genk). Sur les 385,30 m forés en terrain houiller, on a recueilli 362,70 m de longueur de témoins, soit plus de 94 % de la longueur forée.

§ 2. BIBLIOGRAPHIE.

Divers résultats concernant cette importante recherche ont déjà fait l'objet de plusieurs publications :

1. J. M. GRAULICH, 1953, Sur la présence d'un caillou de granite dans le Trias de Campine. (*Bull. Soc. Belge de Géol., de Paléont. et d'Hydrol.*, t. LXII, pp. 88-89.)

(*) Note remise le 30 août 1955.

2. M. GULINCK, 1953, Le sondage n° 121 de Meeuwen (titre seul). (*Ibid.*, t. LXII, p. 170.)
3. F. GULLENTOPS, 1954, Sur l'existence du Montien marin en Campine. (*Ibid.*, t. LXIII, pp. 63-66.)
4. R. FLORIN, 1954, Note on *Ullmannia* from the Upper Permian Formation of North-Eastern Belgium. (*Public. Assoc. Étude Paléont., etc.*, n° 18, Bruxelles 1954.)
5. A. DELMER et CH. ANCIEN, 1954, Prodrôme d'une description géologique de la Belgique. Le Westphalien. Liège, 1954, pp. 353-367.
6. A. DELMER et J. M. GRAULICH, Échelles stratigraphiques des gisements houillers de la Belgique et des régions voisines avec notice explicative. (*Ibid.*, Liège, 1954.)
7. J. SCHEERE, 1955, Contribution à l'étude du Tonstein du terrain houiller belge. (*Ibid.*, n° 19. Bruxelles, 1955.)

§ 3. DESCRIPTION DE LA COUPE DU SONDAGE.

Le terrain houiller fut atteint sous 90 cm environ d'un poudingue à gros cailloux roulés, compris entre 935,60 et 936,50 m, par lequel débute le Zechstein (M. GULINCK).

D'après les profondeurs des passes de forage et les longueurs de carottes obtenues, le sommet du terrain houiller est compris entre 936,40 et 936,51. Nous admettrons la profondeur de recoupe de 936,50 (cote : — 863,34).

L'inclinaison moyenne des marnes dolomitiques du Zechstein (de 907,80 à 935,60) est de 22°, celle des joints limitant le sommet et la base du banc poudinguiforme est du même ordre de grandeur (M. GULINCK), de même que celle des schistes houillers sous-jacents. Il y a donc parfaite concordance de stratification entre les schistes houillers et les formations permienes qui les surmontent.

Engrené suivant une surface inclinée à 22°, dans le poudingue de base du Zechstein, schiste très clair finement micacé, décoloré par altération. Quelques radicules de MUR souvent perforantes. Nombreux joints glissés en stratification. Un mince passage de schiste intimement glissé. Joints à paille hachée parmi laquelle une pinnule de *Neuropteris* sp. INCL. : 22°. Vers 936,75, quelques *Anthraconauta phillipsii*. Pyrite cristalline sur certains joints

1,15	937,65
------	--------

Grès quartzitique calcareux à plages noires. Diaclases tapissées de calcite.	0,35	938,00
---	------	--------

Schiste psammitique gris pâle, rubané par barres carbonatées de teinte brun havane. Joints noirs et à paille hachée parmi laquelle une pinnule de *Neuropteris Scheuchzeri*. Progressivement, schiste gris pâle plus doux. Une macrospore. A 939,60, schiste argileux gris clair, rubané. Joints altérés de teinte carton. Nombreux *Spirorbis*, isolés,

sur tige et sur feuille de *Cordaites* cf. *principalis*. Nombreux débris et quelques joints en lumachelles d'*Anthraconauta phillipsii*. Quelques *Planolites ophthalmoides*. Barres carbonatées très compactes. A 939,80, même roche irrégulièrement carbonatée. INCL. : 20°. Dans un banc carbonaté, débris de coquilles naïaditiformes et petites cavités terreuses auréolées de pyrite. *Samaropsis fluitans*. A 940,06, schiste argileux gris. *Anthraconauta phillipsii*, souvent en débris, très abondants sur certains joints. *Spirorbis* sur *Cordaites principalis* ou autre support. *Estheria simoni*, en nombreux exemplaires sur certains joints. Une pinnule macérée de *Linopteris* sp. Lames de calcite le long de quelques joints de stratification. *Planolites montanus*. Vers 940,40, schiste progressivement plus fin et plus foncé. Joints couverts d'*Estheria simoni*, de coquilles naïaditiformes, de *Spirorbis* et d'*Ostracodes* (surtout *Carbonita* sp.). Feuilles aciculaires. A 940,45, schiste noir, bitumineux, à rayure grasse. Taches de pyrite terne. La roche est bourrée de *Spirorbis*, d'*Ostracodes* (le plus souvent, à test conservé), d'*Anthraconauta phillipsii*, d'*Estheria simoni* et d'écaillés de Poisson : *Rhabdoderma elegans*, *R.* sp., *Elonichthys denticulatus*, *Platysomus parvulus*, cf. *Cheirodus* sp., *Acanthodes* sp. et écaillés lisses. A 940,65, schiste très argileux gris sale, marbré, légèrement rubané, moins fossilifère que plus haut. *Ostracodes*, écaillés de Poisson, *Rhabdoderma elegans* et écaillés lisses, feuilles aciculaires, feuilles de *Sigillaria* et autres débris végétaux macérés. *Aulacopteris*, *Stigmaria* en lambeau flotté. Quelques glissements limités. Un caillou gréseux micacé à très nombreuses macrospores. A 940,80, schiste gris clair assez argileux, rubané. Joints à teinte carton. Débris de coquilles naïaditiformes. Galène et Chalcopyrite en mouches dans les nodules et barres carbonatées souvent épaisses. INCL. : 20°. A 941,25, schiste straticulé par minces linéoles de grès grossier. Plages noires avec plaquettes de fusain. A 941,35, à nouveau, schiste plus fin. Paille hachée et barres carbonatées. Coquilles naïaditiformes. Feuilles aciculaires. La roche prend un aspect bréchoïde par de nombreux glissements croisés en tout sens d'origine atectonique, semble-t-il. A la base, schiste très argileux, foncé. Nombreux débris de coquilles : *Anthraconauta phillipsii*, *Ostracodes*, une écaille lisse, cf. *Estheria* sp., *Lepidophyllum triangulare*, *Lepidostrobus* sp., *Lepidodendron* sp., feuilles aciculaires. A 941,74, schiste très glissé transformé en argile onctueuse par une circulation active d'eau 3,94

941,94

HUILLE : Filonnets de calcite. M.V. : 41,85 % ; C. : 3,04 % 0,94

942,88

Schiste gris clair assez argileux pétri de radicules de MUR et *Stigmaria*. Vers 943,00, débris végétaux : *Aulacopteris*, *Calamites*. Nodules carbonatés. Vers 944,30, schiste gris légèrement plus compact. Très nombreux nodules carbonatés souvent à aspect scoriacé. Feuilles de *Cordaites*. Très nombreuses radicules de MUR. Vers 945,25, schiste progressivement plus micacé puis straticulé par minces mises gréseuses. Radicules de MUR plus rares. Paille hachée et feuilles de *Cordaites* sp. A 946,40, joints de glissement inclinés à 45° avec stries de glissement horizontales. INCL. : 22°. Progressivement, roche plus fine. Quelques bandes carbonatées. Parmi paille hachée, pinnules

de *Linopteris* sp. et quelques feuilles de *Cordaites*. Vers 947,00, progressivement, roche plus fine, schiste très finement micacé, gris sale quasi stérile. INCL. : 26°. Pistes soulignées par une décoloration de la roche. Galène et chalcopyrite sur diaclases des bandes carbonatées. A 947,25, schiste plus argileux. Un débris de coquille naïaditifforme. *Lepidophyllum triangulare*, feuilles de *Cordaites* sp. INCL. : 18°. Une « goutte de bitume ». Vers 947,60, cf. *Anthraconauta phillipsii* dans un schiste progressivement très doux puis bitumineux. *Spirorbis*, Ostracodes et débris de coquilles naïaditifformes. Vers 948,35, schiste bitumineux à rayure grasse collant à un schiste argileux gris sale à Ostracodes, *Anthraconauta phillipsii* et cf. *Planolites montanus*. Un amas d'écaillés de Poisson indéterminables. Puis, passage de schiste gris sale, argileux quasi stérile. Quelques feuilles de *Cordaites* et coquilles naïaditifformes. INCL. : 22°. A 948,75, schiste psammitique straticulé avec joints à paille hachée. A 949,00, schiste très argileux noir à rayure creuse ou grasse. *Anthraconauta phillipsii* à test brunâtre, le plus souvent en débris. Tiges enduites de pyrite terne. Ostracodes à test conservé. Écaillés de Poisson, lisses ou non, indéterminables, très nombreuses sur un joint. Blende rose sur diaclases des barres carbonatées. Quelques glissements en stratification 6,32 949,20

PASSÉE DE VEINE : Schiste légèrement charbonneux, pétri de radicelles de MUR. Très nombreuses macrospores éparses dans la masse. Nombreux débris de *Sigillaria* sp. décortiqués. Un débris de cf. *Eurypteris* sp. Taches de pyrite terne. Glissements de MUR. A 949,45, schiste argileux foncé avec nombreuses tubulations pyriteuses suivant les radicelles (?). Très rares débris de coquilles naïaditifformes dans un schiste gris foncé peu fossilifère 0,40 949,60

PASSÉE DE VEINE : Schiste gris clair, argileux, pétri de radicelles de MUR. Nombreux glissements (de tassement). Vers 949,80, quelques *Aulacopteris* charbonneux, *Calamites* sp., *Neuropteris tenuifolia*, *Sphenophyllum cuneifolium*, *Bothrodendron* sp. Vers 950,00, schiste argileux, charbonneux, feuilleté par empilements de débris végétaux macérés. Grands et nombreux lambeaux de *Bothrodendron* sp., *Lycopodites carbonaceus*, *Calamites* sp., *Sphenophyllum cuneifolium*, *Lepidophyllum lanceolatum*, « gouttes de bitume », *Sigillaria tessellata*, *Mariopteris* cf. *latifolia*, *Neuropteris* cf. *tenuifolia*, *N.* sp. Mouches de galène sur surfaces glissées. A 950,50, schiste psammitique à joints à paille hachée. Radicelles de MUR et *Stigmaria*. Nombreux nodules carbonatés. Vers 951,40, la roche devient plus grossière. Barres carbonatées. Quelques glissements en travers. INCL. : 30° 3,50 953,10

Grès à minces linéoles schisteuses. Passages de grès grossier à stratification entrecroisée et irrégulière 0,10 953,20

Schiste micacé, finement straticulé. Linéoles gréseuses. INCL. : 26°. Paille hachée parmi laquelle débris de *Sphenophyllum* sp. 0,50 953,70

Grès à plages noires. 0,13 953,83

Schiste psammitique straticulé à très nombreuses linéoles de grès. Paille hachée sur joints schisteux. INCL. : 21° 0,48 954,31

Grès massif. Vers 954,40, quelques cailloux de schiste. Plages noires et plages à sable de houille. Fissures minéralisées et comblées de pholélite. Vers 954,75, grès grossier massif de teinte claire. Vers 955,60, plusieurs niveaux à cailloux schisteux. Petites géodes et diaclases tapissées de pholélite. Jusqu'à la base, cailloux schisteux épars. Diaclases tapissées de calcite et de chalcoppyrite. Vers 956,75, schiste complètement glissé et laminé puis, schiste micacé, stratifié. A 956,95, grès à minces linéoles de schiste. A 957,20 grès à quelques joints noirs. INCL. : 31°. A 957,65, grès massif à grain plus fin avec passages plus grossiers clairs. A 960,00, grès zonaire à nombreux joints noirs à partir de 960,30. Quelques fissures minéralisées 6,69 961,00

PASSÉE DE VEINE : Brusquement, schiste argileux légèrement brunâtre à nombreux débris végétaux macérés. *Aulacopteris*, souvent dilacérés, graines, *Calamites*, *Linopteris muensteri*. Taches de pyrite terne. Radicelles de MUR 0,09 961,09

HOUILLE : M.V. : 39,08 %; C. : 1,65 % 0,44 961,53

Schiste à structure pseudo-oolithique entourant des nodules pyriteux. A 961,58, schiste argileux, charbonneux. Radicelles de MUR. Pluie de macrospores. A 962,62, schiste argileux gris clair pétri de radicelles de MUR et *Stigmaria*. Enduits jaunâtres ankéritiques (?). *Asterophyllites equisetiformis*, *Annularia radiata*, *Sphenophyllum cuneifolium*, nombreux lambeaux d'écorces de *Lepidophloies* sp., *Bothrodendron* sp., feuilles aciculaires et feuilles de *Sigillaria*, *Calamites*, *Sphenophyllum myriophyllum*, *Linopteris* sp., *Neuropteris* sp. Vers 962,45, nombreux nodules carbonatés. Radicelles de MUR et *Stigmaria*. Progressivement, schiste plus grossier et même gréseux 3,42 964,95

Grès finement stratifié 0,22 965,17

Schiste micacé gris à radicelles de MUR 0,11 965,28

Grès grossier, friable. Quelques radicelles de MUR. Puis, grès finement stratifié, zonaire. Passages quartzitiques à stratification entrecroisée. INCL. : 20°. A 966,00 grès massif assez grossier, légèrement kaolineux. Une cassure inclinée à 70° en sens inverse de la stratification montre un rejet de 21 cm d'après la correspondance de quelques joints noirs. Vers 967,00, lambeaux bréchoïdes de schiste remanié dans le grès. INCL. locale : 28°. A 967,20, grès assez grossier, friable. Diaclases souvent géodiques. Quelques niveaux plus grossiers. Passages avec assez nombreux joints noirs. Vers la base, nombreuses irrégularités sédimentaires 8,72 974,00

PASSÉE DE VEINE : Schiste gris clair, finement micacé. Radicelles de MUR. Nombreux glissements d'origine atectonique. A 974,25, schiste stratifié, gréseux. *Calamites Suckowi* 0,33 974,33

Grès à macules schisteuses. Nombreuses *Calamites* charbonneuses, debout 0,52 974,85

Schiste psammitique progressivement gréseux à stratification irrégulière. Radicelles de MUR. Nombreux débris végétaux : *Cal-*

mites sp., *Asterophyllites equisetiformis*, *Sphenophyllum* sp., *Sphenophyllostachys* sp., *Annularia radiata*, *Lepidophyllum lanceolatum*, feuilles de *Cordaites*. Vers 975,85, schiste gréseux gris clair, finement et irrégulièrement straticulé, peu fossilifère. Feuilles dilacérées de *Cordaites*, feuilles aciculaires, *Calamites* sp. Petits débris de paille hachée épars dans la roche. Par passages, stratification très irrégulière. Vers 976,85, quelques glissements en travers. Vers 977,35, schiste micacé très compact, stérile. Petite penne de cf. *Mariopteris latifolia*, *Sphenophyllum* sp. parmi paille hachée. A 978,05, schiste plus gréseux, irrégulièrement straticulé par linéoles gréseuses et poudingues à cailloux schisteux. Quelques feuilles éparses de *Cordaites*. INCL. : 27°. *Aulacopteris* sp., *Sphenopteris* sp., *Asterophyllites grandis*. Bandes gréseuses à limites très irrégulières. A 978,85, schiste gréseux, irrégulièrement straticulé à prédominance gréseuse. A 979,27, schiste finement micacé. Paille hachée. *Sphenopteris* sp. Assez nombreuses surfaces et joints glissés. Vers 979,77, roche entièrement glissée dans la masse. Passage bréchoïde avec apparence de crochon. A 979,91, schiste gris clair, finement micacé. *Calamites* sp., *Mariopteris* sp. Quelques glissements. Sur un joint, belle penne de *Sphenopteris* cf. *crepini*, *S.* sp. Vers 980,00, schiste très clair, sain. Joints noirs et à paille hachée. Feuilles aciculaires. *Aulacopteris*, *Sphenopteris* sp., *Sphenophyllum cuneifolium* 5,95 980,80

Grès à plages micacées et joints noirs. Passage de grès grossier. Diaclases redressées 0,50 981,30

Schiste psammitique micacé à plages noires et paille hachée. Casures ouvertes géodiques souvent tapissées de calcite verdâtre. *Neuropteris* sp., *Alethopteris* sp., *Sphenophyllum* sp. Vers 982,00, schiste plus doux. *Calamites* sp. INCL. : 22°. A 982,20, schiste argileux à nombreux débris végétaux. Quelques tiges charbonneuses. *Neuropteris* cf. *tenuifolia*, *Trigonocarpus* sp., *Sphenophyllum* sp. Vers 982,40, très nombreux débris de Calamariacées. *Calamites undulatus*, *Sphenophyllum* sp., un strob. A 983,00, *Sinusites* dans une roche moins fossilifère. Slumping. A 983,30, paille hachée. A 983,50, schiste finement micacé, quasi stérile, rubané. Joints à paille hachée. Tiges charbonneuses. *Trigonocarpus*, *Sphenophyllum* sp. A 983,70, coquilles naïaditiformes. Mouches de galène et blende rose sur un joint glissé en stratification. A 983,90, schiste très argileux, irrégulièrement carbonaté. Rares débris végétaux hachés. *Linopteris* sp., *Sphenophyllum* sp. Ostracodes à test conservé. *Anthraconauta phillipsii*. *Neuropteris tenuifolia*, une graine. Quelques nodules carbonatés 3,11 984,41

HOUILLE : M.V. : 37,90 %; C. : 2,30 % 0,60 985,01

Une barre de Tonstein typique, intercalée dans les 60 cm de houille ou, plus vraisemblablement, située sous la houille. Puis, schiste charbonneux, type de faux MUR à nombreux débris végétaux macérés : *Sphenopteris* cf. *striata*, *Pinakodendron*. Radicelles de MUR. A 985,45, schiste argileux pétri de radicelles de MUR. Très nombreux débris végétaux. *Aulacopteris*, *Neuropteris tenuifolia* (très abondant), *Calamites* (abondant). Vers 985,90, nombreux nodules

- carbonatés. Mouches de chalcoppyrite. A 986,50, *Aulacopteris* ponctués, *Calamites* sp. dans un schiste très argileux à radicelles de MUR écrasées. A 988,13, schiste noir, bitumineux à rayure grasse. Radicelles de MUR et *Stigmaria*. Pyrite terne. Coquilles naïaditiformes. Ostracodes à test conservé. Mouches de chalcoppyrite et blende sur diaclases. *Planolites montanus*. A 988,33, schiste finement micacé, rubané. Fines radicelles perforantes. A 988,53, schiste brunâtre, finement micacé. Colonie de coquilles naïaditiformes. A 988,73, schiste bitumineux à rayure grasse. Ostracodes à test conservé. Barres carbonatées. Écailles de Poisson. Taches de pyrite terne. Vers 989,00, schiste argileux ou très finement micacé, quasi stérile. Débris de coquilles naïaditiformes indéterminables. A 989,25, schiste finement micacé gris. *Sinusites*. Quelques rares débris végétaux hachés. A 989,75, quelques joints noirs dans un schiste finement straticulé. Barres carbonatées. A 990,05, brusquement, schiste plus argileux foncé. Un *Spirorbis* et débris de coquilles naïaditiformes dans un passage bitumineux à rayure grasse. Ostracodes. Un joint à nombreuses feuilles aciculaires. *Naiadites* sp. A 990,15, schiste argileux gris. INCL. : 20°. Débris de coquilles naïaditiformes. A 990,25, schiste gris sale, peu fossilifère. Barres carbonatées. *Sinusites*. Une empreinte d'*Anthraconauta phillipsii*. Vers 991,50, nombreux glissements dans même roche 7,24 992,25
- HOUILLE : M.V. : 38,80 %; C. : 3,63 % 0,15 992,40
- Une barre épaisse de 0,10 de Tonstein.
- Grès irrégulièrement straticulé, micacé, pétri de radicelles de MUR et *Stigmaria*. Tiges charbonneuses, débris de *Sphenophyllum* sp. 1,40 993,80
- Schiste micacé gris. Radicelles de MUR. Débris végétaux : *Calamites* debout, *Lepidophlois laricinus*, *Aulacopteris*, *Pinnularia*, *Neuropteris tenuifolia*, tiges de *Sphenophyllum*, *Lepidophyllum triangulare*, *Lepidophyllum lanceolatum*, *Sphenopteris* sp., *Cordiaicarpus*, *Lepidodendron* sp. *Sphenophyllum cuneifolium*. Progressivement, schiste plus foncé à nombreux débris végétaux macérés. Tiges. *Sphenophyllum cuneifolium*, *Cordiaicarpus* 0,60 994,40
- PASSÉE DE VEINE : Schiste très argileux, charbonneux, pétri de radicelles de MUR et *Stigmaria*. Puis, schiste légèrement bistre, plus compact. Macrospores. Mouches de pyrite, galène et chalcoppyrite sur diaclases. Une pinnule de *Linopteris* sp. A 995,50, très nombreux nodules carbonatés. Pinnules de *Linopteris Muensteri*, *Neuropteris tenuifolia*, *Calamites*. Vers 996,10, quelques glissements en travers. Vers 997,00, schiste micacé gris. Radicelles de MUR, rares *Stigmaria*. Barres carbonatées et sidérose brune le long des radicelles perforantes. *Calamites* sp., *Asterophyllites charæiformis* 3,60 998,00
- Grès grossier peu cimenté à plages noires et joints micacés. Diaclases géodiques tapissées de calcite. Joints à sable de houille 1,41 999,41
- Schiste psammitique micacé, straticulé, puis schiste micacé gris, quasi stérile. Assez nombreux glissements. *Lepidophyllum triangulare*. Progressivement, schiste rubané, plus argileux, *Lepidophyl-*

lum triangulare, *Ulodendron* sp., *Pinnularia*, *Asterophyllites* sp. Débris de coquilles. A 1.000,90, schiste bitumineux à rayure brune, grasse, très finement micacé. Ostracodes. *Anthraconauta phillipsii*. Taches de pyrite terne. Barres carbonatées bitumineuses. Pseudo cannel-coal. Nodules pyriteux. A 1.001,00, schiste charbonneux, argileux à joints couverts de débris végétaux macérés. *Bothrodendron punctatum*, *Aulacopteris*, *Neuropteris tenuifolia*, plages couvertes de macrospores 1,89 1.001,30

PASSÉE DE VEINE : Soudé au précédent, schiste charbonneux à très nombreuses radicelles de MUR et *Stigmaria*. Pluie de spores. Débris de *Lepidodendron dissitum*, *Sigillaria* décortiqué. Mince passage de schiste bitumineux avec Ostracodes à test conservé. Vers 1.001,75, schiste argileux gris clair. Radicelles de MUR et *Stigmaria*. Nodules carbonatés. Vers 1.002,35, schiste argileux gris bistre à structure pseudo-oolithique. Vers 1.002,75, schiste finement micacé, bistre clair, stérile. Plages à structure pseudo-oolithique. INCL. : 15°. Vers 1.004,15, roche calcareuse à pseudo-oolithes claires en plages irrégulières. Radicelles plus rares. Vers 1.005,50 assez nombreux glissements avec pholélite. Vers 1.006,00, schiste micacé irrégulièrement carbonaté. Nodules. Joints à feuilles de *Cordaites* et autres débris végétaux flottés. Vers 1.006,20, bandes gréseuses à paille hachée. *Calamites* debout. A 1.006,35, graines parmi paille hachée, peaux de *Calamites*. *Annularia radiata*, feuilles de *Cordaites*. Vers 1.007,00, quelques glissements et mouvements dans la masse. *Calamites*. Très nombreuses feuilles de *Cordaites*. Vers 1.007,50, schiste gréseux straticulé. INCL. : 20°. Nombreux joints à paille hachée. Nombreux débris végétaux dans les passages plus fins : *Calamites undulatus*, *Sphenophyllum majus*, *Sphenophyllostachys* sp., *Asterophyllites equisetiformis*, *Annularia radiata*, *Pecopteris pennæformis*, *P.* sp. (très abondant). Vers 1.009,00, très nombreux débris de *Calamites*, *C. suckowi*, *Asterophyllites equisetiformis*, *Pecopteris* cf. *miltoni*. A 1.009,15, débris de *Mariopteris* sp., *Sigillaria* sp. A 1.009,60, schiste straticulé gréseux. A 1.009,70, schiste micacé. Quelques glissements. A 1.009,75, schiste straticulé gréseux. A 1.010,10, schiste micacé gris. *Calamites* sp., *Aulacopteris*, *Sphenopteris* sp. (pinnules à limbe très découpé). A 1.010,60, grès. A 1.010,65, schiste psammitique straticulé, zonaire. *Artisia transversa*. A 1.010,70, grès. A 1.010,85, schiste gréseux, slumping. A 1.011,15, grès irrégulièrement stratifié, zonaire. A 1.011,41, schiste gréseux. A 1.011,51, grès, à 1.011,67, schiste micacé, puis, schiste gréseux straticulé. A 1.012,90, grès. A 1.012,92, schisté gréseux 2,04 1.013,34

Grès grossier blanc. Quelques plages noires. Diaclases ouvertes et minéralisées en dolomite. Mouches de pyrite. A 1.014,00, schiste psammitique sur 0,13 puis, grès avec fines passées schisteuses. A 1.014,93, schiste gréseux. A 1.015,04, grès. A 1.015,09, schiste gréseux. A 1.015,16, grès à niveaux de cailloux schisteux carbonatés. Diaclases ouvertes, subverticales tapissées de dolomite. *Bothrodendron* sp., *Calamites* sp., *Aulacopteris* (le plus souvent, tubes gommeux dilacérés), *Lepidophloios* sp., *Spirorbis* sur *Neuropteris tenuifolia*

folia (abondants), *Annularia sphenophylloides*. Quelques Ostracodes 2,95 1.029,00

PASSÉE DE VEINE : Dans même roche et sans qu'on puisse déterminer de limite précise, traces d'organismes perforants. *Stigmaria*. Très nombreuses pinnules de *Neuropteris tenuifolia*. Petites nodules carbonatés. A 1.029,05, gros *Stigmaria* implanté. *Mariopteris* sp., *M. cf. Latifolia*, *Linopteris* sp., gouttes de bitume, débris de coquilles à test brunâtre. Nombreux *Spirorbis* fixés sur une pinnule de *Neuropteris tenuifolia*. INCL. : 18°. Macrospores. Joints couverts de tubes gommeux d'*Aulacopteris* sp. A 1.029,90, *Alethopteris decurrens*, *Calamites*. A 1.030,10, *Alethopteris*, sp., *Neuropteris tenuifolia*, *N. pseudogigantea*, *N. rarinervis*, *Radicites*, *Calamites suckowi*, *C. sp.*, *Annularia sphenophylloides*, *Sphenophyllostachys* sp., *Sphenophyllum cuneifolium*, *Lepidophyllum lanceolatum*, *L. waldenburgense*, *Samaropsis* sp. Les radicules sont absentes. A 1.030,20, INCL. : 18°, dans même roche irrégulièrement carbonatée. Feuilles de *Cordaites* sp., une graine. Quelques joints à paille hachée. A 1.031,30, quelques joints à paille hachée. A 1.031,30, quelques linéoles gréseuses dans un schiste moins fossilifère. *Neuropteris cf. tenuifolia*, *Radicites* sp. 4,00 1.033,00

Grès à nombreux joints noirs. Quelques cailloux carbonatés épars. Grosses tiges. Vers 1.034,00, petits cailloux carbonatés. Plaquettes de fusain. Sédimentation irrégulière. Plages à paille hachée 2,00 1.035,00

Schiste micacé gris. Nodules carbonatés. Quelques glissements et cassures sauvages. Mince linéoles gréseuses. INCL. : 23°. Feuilles de *Cordaites* sp., *Cordaicarpus* sp., *Samaropsis* sp. Vers 1.035,60, parmi paille, plages à aspect feldspathique. A 1.016,80, schiste gréseux zonaire. A 1.017,53, grès. Un caillou carbonaté. A 1.018,07, schiste gréseux zonaire. A 1.018,83, grès à linéoles schisteuses. A 1.018,90, schiste gréseux puis, à 1.019,00, grès. Les trois derniers bancs de grès ont un contact net vers le bas, tandis qu'ils passent graduellement au schiste gréseux vers le haut. Quelques joints à paille hachée dans les schistes. Blende rose sur les diaclases. A partir de 1.019,00, grès grossier massif fendu par des diaclases redressées. Apparence feldspathique 9,91 1.023,25

PASSÉE DE VEINE : Schiste gris finement micacé. Nombreuses radicules de MUR et *Stigmaria*. Vers 1.023,40, très nombreux débris végétaux macérés. Feuilles aciculaires. A 1.023,47, schiste gris pétri de radicules de MUR et *Stigmaria*. Nodules carbonatés. Galène et chalcoppyrite sur fissures des nodules. *Calamites* debout, macrospores, graines, cf. *Samaropsis* sp. 2,25 1.025,50

Grès fin, compact. Quelques plages noires. Radicules de MUR plus rares. Cristaux de dolomite dans fissures géodiques. A 1.025,70, schiste finement micacé, quasi stérile. Barres carbonatées. A 1.025,90, grès très fin à plages noires 0,55 1.026,05

Schiste finement micacé. INCL. : 15°. Bandes carbonatées. Une pinnule isolée de *Neuropteris pseudogigantea*, une graine. A 1.026,40, plusieurs feuilles de *Cordaites* sp., *Sphenophyllum myriophyllum*,

Lycopodites carbonaceus, *Cyclopteris*. La roche est carbonatée dans la masse et par bandes. A 1.028,50, une coquille : cf. *Carbonicola* sp. Vers 1.028,60, schiste finement micacé brunâtre. Nombreux débris végétaux macérés et quelque peu charbonneux. *Sigillaria* sp. hachée, feuilles aciculaires, *Neuropteris rarinervis*, *N. tenuifolia*. Très nombreuses feuilles de *Cordaites* sp. Sur quelques centimètres, la roche est un empilement de feuilles de *Cordaites*, cf. *principalis*. *Annularia sphenophylloides*, *Linopteris muensteri*. Vers 1.037,00, schiste légèrement plus fin, quasi stérile. Nombreux nodules carbonatés. Quelques pinnules isolées de *Neuropteris rarinervis*, *Samaropsis* cf. *ingens*, *Lepidophyllum triangulare*. Petits nodules carbonatés. *Neuropteris* sp., *Sphenophyllum cuneifolium*, *Mariopteris* sp., feuilles aciculaires. Plages à paille hachée parmi laquelle *Neuropteris rarinervis*. Vers 1.038,00, quelques joints glissés en travers, plaqués de pholélite. *Cordaites* sp. et *Samaropsis* empilés sur un joint. Paille hachée jetée dans la masse. Dans l'ensemble, roche irrégulièrement carbonatée dans la masse. Quelques minces barres gréseuses. A la base, assez nombreux glissements en travers 3,50

1.038,50

Grès clair, à aspect feldspathique, à plages noires. Passage géodique fissuré. A la base, cailloux schisteux. Cristaux de dolomite dans les géodes et roche terreuse brunâtre dans les fissures 1,50

1.040,00

PASSÉE DE VEINE : Schiste très argileux. Nombreux glissements. Radicelles de MUR. *Lepidostrobus variabilis*, feuilles aciculaires, *Neuropteris* sp., tiges de *Sphenophyllum* sp. A 1.040,50, schiste finement micacé. Nombreuses radicelles de MUR et *Stigmaria*. Nodules carbonatés. Progressivement, schiste plus grossier, straticulé. A 1.041,10, schiste argileux. Nombreux débris végétaux macérés. Nodules carbonatés. Très nombreuses pinnules de *Neuropteris tenuifolia*, peaux de *Calamites* sp., *Calamites* sp., *Lepidophyllum lanceolatum*. Galène et chalcopyrite dans les nodules. Blende rose. Pholélite. Vers 1.042,00, schiste gréseux, straticulé, fissuré. A 1.042,40, schiste gréseux zonaire. Radicelles de MUR progressivement plus rares. Linéoles de grès. Placages de pholélite. Une barre de grès à cailloux schisteux épaisse de 0,10. *Calamites suckowi*, *C.* sp. (souvent debout). A 1.043,40, schiste micacé bréchoïde, faillé. *Sphenophyllostachys* sp. A 1.044,20, grands lambeaux de *Bothrodendron punctatum*, feuilles aciculaires, *Pecopteris miltoni*, *Sphenophyllum cuneifolium*, feuilles de *Sigillaria*, *Calamites*. A 1.044,40, roche gréseuse, straticulée. A 1.044,50, schiste micacé. Très nombreux débris de *Calamites* sp., *C. suckowi*. Nodules carbonatés. Nombreux joints noirs et à paille hachée. *Asterophyllites equisetiformis*, *Sphenophyllum* sp. 5,00

1.045,00

Grès clair géodique à aspect feldspathique. Stratification entrecroisée. Quelques diaclases redressées, géodiques 1,67

1.046,67

Schiste psammitique à paille hachée et joints noirs. INCL. : 22°. 0,47

1.047,14

Grès comme plus haut. 1,36

1.048,50

Schiste micacé à paille hachée. *Calamites* sp. 0,75

1.044,25

Grès à aspect feldspathique 0,05

1.049,30

Schiste psammitique	0,15	1.049,45
Grès à aspect feldspathique, zonaire	0,85	1.050,30
Schiste micacé, carbonaté dans la masse. Cassure sauvage. Plages à paille hachée, <i>Sphenophyllum</i> sp. INCL. : 20°	0,90	1.051,20
Grès carbonaté à joints noirs	0,20	1.051,40

Schiste psammitique carbonaté dans la masse. Fines mises gréseuses. Paille hachée parmi laquelle *Calamites* sp. A 1.052,10, nombreuses mises gréseuses. A 1.052,40, schiste finement micacé à barres carbonatées. Nodules pyriteux. A 1.052,50, schiste argileux gris pâle, rubané, stérile. Barres carbonatées. *Planolites montanus*. A 1.053,30, schiste très argileux, plus fondé. *Lepidodendron dissitum*, *Lepidophyllum triangulare*, une graine

	2,10	1.053,50
--	------	----------

HOUILLE : M.V. : 37,59 %; C. : 1,97 %	0,36	1.053,86
Barre de Tonstein	0,13	1.053,99

HOUILLE	0,20	1.054,19
-------------------	------	----------

Schiste argileux gris. Radicelles de MUR et *Stigmaria*. Très nombreux débris végétaux, le plus souvent indéterminables. *Sigillaria* sp., *Neuropteris tenuifolia*, *Aulacopteris*, *Bothrodendron punctatum*, *Lycopodites carbonaceus*, *Calamites undulatus*, *Annularia sphenophylloides*, feuilles aciculaires. Vers 1.054,60, progressivement, schiste plus fondé, argileux à débris végétaux charbonneux. *Aulacopteris* charbonneux souvent dilacérés, *Ulodendron ophiurus*, *Lepidophloios* sp., macrospores, *Neuropteris tenuifolia*, graines gouttes de bitume. *Neuropteris rarinervis*, feuilles de *Cordaites* sp. Un gros nodule carbonaté géodique renfermant un liquide

	0,54	1.054,73
--	------	----------

HOUILLE	0,02	1.054,75
-------------------	------	----------

Même schiste intercalaire que plus haut	0,40	1.055,15
--	------	----------

HOUILLE : M.V. : 36,97 %; C. : 1,67 %	0,43	1.055,58
--	------	----------

Schiste gris pétri de radicelles de MUR et *Stigmaria*. *Aulacopteris*, *Neuropteris tenuifolia* (très abondant), feuilles aciculaires, feuilles de *Cordaites* sp., *Lycopodites carbonaceus*, strobilus, *Neuropteris* cf. *gigantea*

	0,52	1.056,10
--	------	----------

HOUILLE : M.V. : 35,32 %; C. : 1,63 %	0,65	1.056,75
--	------	----------

Schiste argileux gris pétri de radicelles de MUR et *Stigmaria*. Vers 1.057,05, très nombreux nodules carbonatés. Vers 1.057,35, schiste progressivement micacé plus compact. Joints à nombreuses feuilles de *Cordaites* souvent taraudées. A 1.058,25, nombreuses radicelles de MUR et *Stigmaria*. A 1.059,15, grès sur 0,10 puis schiste micacé à radicelles plus rares. Nombreuses feuilles de *Cordaites*, *Cingularia typica*, *Annularia pilosa*. Vers 1.059,50, joints couverts d'*Annularia radiata* (cf. *pilosa*). Radicelles perforantes. Roche irrégulièrement carbonatée. *Neuropteris* cf. *pseudogigantea*, N. sp., *Calamites* sp., *C. undulatus*, *Asterophyllites equisetiformis*, très nombreux *Spirorbis* sur pinnules de *Neuropteris tenuifolia*, feuilles de *Cordaites*. Vers 1.060,00, linéoles gréseuses. *Calamites*, *Mariopteris* sp. A 1.060,50, dans même roche, une coquille naïaditiforme,

feuilles de *Cordaites*, *Asterophyllites* sp., *Sphenopteris obtusiloba*. A 1.062,50, schiste argileux gris, carbonaté dans la masse. *Spirorbis* sur pinnules de *Neuropteris tenuifolia* (très abondantes sur certains joints). A partir de 1.062,85, dans même schiste, très nombreuses pinnules de *Neuropteris tenuifolia* portant souvent des *Spirorbis*, *Linopteris* sp., *Radicites*, *Cordaites* sp., *Asterophyllites equisetiformis*, *A. charæformis*, *Mariopteris latifolia*, *M.* sp., *Rhabdoderma elegans* 6,60 1,063,35

PASSÉE DE VEINE : Schiste gris légèrement bistre à nombreuses radicules de MUR et *Stigmaria*. Vers 1.063,75, nombreux nodules carbonatés. Végétaux hachés. *Calamites* sp., abondant vers 1.064,00. Strobilus. *Lepidodendron* cf. *dissitum*, *Ulodendron ophiurus*, macrospores, *Calamites*, *Linopteris muensteri*. INCL. : 21°. Vers 1.064,55, rares radicules perforantes. A 1.064,70, schiste argileux rubané. Nombreux débris de coquilles, le plus souvent en débris. *Naiadites* sp., *N. sowerbyi*, Ostracodes, *Spirorbis*, *Planolites montanus*, *Lepidophyllum waldenburgense*. 1,45 1,064,80

PASSÉE DE VEINE : Soudé au précédent, schiste micacé gris bistre à nombreuses radicules de MUR et *Stigmaria*. Linéoles gréseuses dont une, épaisse de 15 cm au contact. A 1.065,85, nombreux nodules carbonatés. Feuilles de *Cordaites* progressivement très nombreuses. Vers 1.066,50, empilement de feuilles de *Cordaites* sp., *Samaropsis fluitans*, *Ulodendron* sp., radicules de MUR. Puis vers 1.066,60, schiste gris très finement micacé. Radicules perforantes. Très nombreuses feuilles de *Cordaites* sp., *Calamites* sp., *Asterophyllites equisetiformis* (très abondant), *Lycopodites carbonaceus*, *Lepidophyllum triangulare*, *L. lanceolatum*. Nodules carbonatés 2,32 1,067,12

PASSÉE DE VEINE : Brusquement, schiste argileux à radicules de MUR et *Stigmaria*. Nombreux débris végétaux. *Bothrodendron punctatum*, *Lycopodites carbonaceus*, *Lepidodendron dissitum* (abondant), *Lepidophyllum triangulare*, feuilles aciculaires, *Cordaites* sp., *Asterophyllites equisetiformis*, *Neuropteris* cf. *rarinervis*. Vers 1.067,62, schiste micacé carbonaté dans la masse, à nombreuses radicules de MUR. Nombreux nodules carbonatés 0,60 1,067,72

Grès zonaire 0,80 1,068,52

Schiste micacé compact, stérile. Barres carbonatées. Progressivement, schiste argileux rubané. Plages à paille hachée. A 1.069,12, schiste plus argileux et plus foncé. *Calamites*, *Lepidophyllum triangulare*. A 1.069,35, schiste finement micacé, rubané. Paille hachée. *Calamites* sp., *Cordaites*, *Samaropsis*, *Lepidophyllum triangulare*, *Neuropteris* sp., *Linopteris* sp. Vers 1.071,20, un débris de coquille. A 1.071,50, un joint a été orienté par un coup de trépan repéré par rapport au Nord vrai. Ce joint, incliné à 22°, a sa plus grande pente orientée Nord 12° Est. La direction des strates, à cette profondeur, est donc Nord 102° Est. Puis schiste franchement bitumineux à rayure grasse. Nodules carbonatés assez nombreux. *Lepidodendron dissitum*, Strobilus, graines, une écaille de *Rhizodopsis sauroides* 3,28 1,071,80

PASSÉE DE VEINE : Schiste gris à radicelles de MUR et <i>Stigmaria</i> .	
Macrospores. Nodules carbonatés	0,25 1.072,05
HOUILLE	0,20 1.072,25
Schiste noir, charbonneux, encombré de débris végétaux charbonneux. Radicelles de MUR. Vers 1.072,45, schiste charbonneux. Une fourrure argileuse suivant un joint de stratification. <i>Lepidodendron</i> sp. A 1.072,70, schiste gris à très nombreuses radicelles de MUR. <i>Sigillaria</i> , <i>Lepidodendron</i> sp., <i>Linopteris muensteri</i> (abondant), <i>Aulacopteris</i> , <i>Calamites</i> sp. Rapidement, schiste micacé à radicelles de MUR et <i>Stigmaria</i> . Nodules carbonatés. <i>Aulacopteris</i> , <i>Neuropteris tenuifolia</i> , <i>N.</i> sp. (très abondant), cf. <i>Alethopteris</i> sp., <i>Linopteris muensteri</i> , feuilles de <i>Cordaites</i> sp., <i>Ulodendron ophiurus</i> (très abondant). Très nombreuses pinnules de <i>Neuropteris tenuifolia</i> . Vers 1.074,45, schiste micacé à joints noirs et nodules carbonatés. Radicelles de MUR encore abondantes. Linéoles gréseuses. INCL. : 20°. Vers 1.075,60, rares radicelles de MUR perforantes. Slumping. A 1.076,75, schiste micacé compact, stérile, à bandes gréseuses. A 1.078,75, schiste légèrement plus argileux	
	6,75 1.079,00
Grès à plages noires	0,50 1.079,50
Schiste finement micacé, stérile, progressivement argileux, rubané. Joints à paille hachée. Feuilles de <i>Cordaites</i> , <i>Neuropteris</i> sp., strobos. Puis, schiste légèrement brunâtre, marbré. Pyrite terne sur débris végétaux macérés. <i>Planolites montanus</i> , <i>Cordaites</i> sp., <i>Lepidophyllum waldenburgense</i> , un débris de coquille. Ostracodes, souvent à test conservé. <i>Lepidodendron dissitum</i> , nombreuses feuilles de <i>Cordaites principalis</i> , <i>Ulodendron ophiurus</i> (abondant), <i>Ulostrobos</i> sp., <i>Ulodendron</i> cf. <i>wortheni</i> , <i>Aulacopteris</i> , <i>Neuropteris</i> sp. A la base, schiste gris argileux à rayure blanche et à nodules carbonatés. A 1.080,30, schiste très charbonneux	
	0,82 1.080,32
HOUILLE : M.V. : 36,52 %; C. : 2,17 %. Houille : 0,45; intercalation : 0,06; houille : 0,08	0,59 1.080,91
Débris de schiste transformé en argile. Une rondelle renferme de très nombreux débris d' <i>Ulodendron ophiurus</i> , <i>Linopteris muensteri</i> . Vers 1.081,50, schiste plus compact à très nombreuses radicelles de MUR et <i>Stigmaria</i> . <i>Calamites undulatus</i> , <i>Bothrodendron</i> sp., <i>Neuropteris</i> sp. Paille hachée. A 1.081,75, un joint couvert de <i>Mariopteris sauveuri</i> , <i>M.</i> sp., <i>Calamites</i> sp. Puis, schiste micacé gris, straticulé à linéoles gréseuses. Très rares radicelles perforantes. Paille hachée et joints noirs, <i>Neuropteris rarinervis</i> sp., <i>Calamites</i> sp. Vers 1.086,50, schiste micacé zonaire. Quelques joints à très nombreuses macrospores. INCL. : 21°. Vers 1.087,00, schiste plus argileux, gris brunâtre. Feuilles de <i>Cordaites</i> sp., <i>Neuropteris rarinervis</i> , <i>N. tenuifolia</i> , <i>Sphenopteris</i> sp., <i>Lepidophloios</i> sp., feuilles aciculaires, strobos	
	7,09 1.088,00
PASSÉE DE VEINE : Dans même schiste argileux, nombreuses radicelles de MUR et <i>Stigmaria</i> . Nombreux nodules carbonatés. <i>Neuropteris tenuifolia</i> (certains joints en sont couverts), <i>Aulacopteris</i> . Puis, schiste légèrement charbonneux, très argileux. Très nombreux nodules carbonatés. <i>Neuropteris tenuifolia</i> , <i>Lepidostrobus variabilis</i> , <i>Lepidophloios</i> sp., <i>Asolanus camptotænia</i>	
	1,52 1.089,52

HOUILLE : M.V. : 38,60 %; C. : 1,73 %. Houille : 107; intercalaire : 0,02; houille : 0,10; intercalaire : 0,02; houille : 0,10 ... 1,31 1.090,83

Schiste argileux gris pétri de radicelles de MUR et *Stigmaria*. *Lycopodites carbonaceus*, *Asterophyllites equisetiformis*. Rapidement, schiste micacé compact à linéoles gréseuses. Diaclasses redressées. Tiges charbonneuses. Vers 1.092,00, une fourrure argileuse, glissée en stratification. Nodules carbonatés ... 1,82 1.092,65

Grès 0,75 1.093,40

Schiste micacé. Un nodule cloisonné. A 1.093,80, schiste psammitique à très nombreuses et minces linéoles gréseuses. Nodules carbonatés ... 0,18 1.093,58

Grès massif ... 0,22 1.093,80

Schiste psammitique. Nombreuses et fines linéoles gréseuses. Mises carbonatées. Encore quelques radicelles de MUR. Un *Stigmaria* ... 0,94 1.094,74

Grès grossier, massif très clair à aspect feldspathique. Cassures ouvertes, géodiques. Joints à grandes paillettes de mica. Vers 1.105,00, nombreux cailloux carbonatés ... 10,75 1.105,49

Schiste micacé légèrement rubané. Plages noires. Barres carbonatées. INCL. : 22°. Parmi paille hachée : *Calamites*. Progressivement, schiste plus argileux gris brunâtre. Joints à paille hachée. Vers 1.106,00, schiste gris foncé, brunâtre, bitumineux à rayure brune grasse. Coquilles souvent pyritisées. *Naiadites* sp., *Ostracodes*. Rares débris végétaux macérés, quelquefois enduits de pyrite terne. *Aulacopteris*. La roche semble carbonatée dans la masse. A 1.106,82, schiste argileux gris à rayure blanche, quasi stérile. *Lepidophyllum triangulare* ... 1,55 1.107,04

HOUILLE 0,18 1.107,22

Schiste argileux pétri de radicelles de MUR et *Stigmaria*. Nodules carbonatés scoriacés. *Aulacopteris*. Vers 1.109,20, plages à structure pseudo-oolithique. A 1.109,70, schiste micacé compact. Débris de *Calamites* sp., *Asterophyllites equisetiformis*, *Aulacopteris* charbonneux, graines. Vers 1.110,35, joints couverts de macrospores et de plaquettes de fusain 3,15 1.110,37

PASSÉE DE VEINE : Brusquement, schiste gris pâle, pétri de radicelles de MUR et *Stigmaria*. A 1.111,00, nombreux débris végétaux : *Aulacopteris*, *Sigillaria* sp., *Neuropteris tenuifolia*, *Linopteris* sp. A 1.111,30, nombreux nodules carbonatés. Empilement de feuilles de *Cordaites* sp., *Cordaicarpus* sp., *Artisia transversa*, *Lepidophloios* sp. A 1.111,50, un *Stigmaria*. Puis, schiste feuilleté, charbonneux. *Neuropteris deliqua*. Progressivement, schiste légèrement brunâtre. Quelques radicelles perforantes. Jusqu'à la base, feutrage de feuilles de *Cordaites* sp., graines. A l'extrême base, schiste franchement charbonneux : *Sigillaria* cf. *scutellata*, *S.* sp., *Neuropteris rarinervis*, *Cordaites* sp. (très abondant), *Cordaicarpus* sp., macrospores 2,15 1.112,52

HOUILLE 0,05 1.112,57

Schiste argileux gris. Radicelles de MUR et *Stigmaria*. *Aulacopteris*, feuilles aciculaires, *Lepidodendron* sp., *Neuropteris tenuifolia*.

Très nombreux débris de *Calamites* sp. A 1.113,00, schiste gris compact. Nodules carbonatés. *Neuropteris tenuifolia* (très abondant), *Cyclopteris orbicularis*, *Aulacopteris*, *Calamites suckowi*, *Lycopodites carbonaceus*, *Radicites* sp., *Mariopteris* sp. A 1.113,50, dans même schiste, *Calamites* sp., radicules plus rares, puis, schiste très argileux gris rubané, quasi stérile. Quelques taches de pyrite terne. Ostracodes. Mince passages bitumineux à rayure grasse ... 2,43 1.115,00

PASSÉE DE VEINE : Après un joint net, schiste gris clair. Nombreuses et fines radicules de MUR. Rapidement, schiste compact, gréseux. A 1.115,35, nombreux nodules carbonatés. *Stigmaria*. Joints noirs. A 1.116,00, schiste gris plus argileux. Radicules de MUR perforantes. Un joint avec macrospores ... 1,50 1.116,50

PASSÉE DE VEINE : Schiste argileux gris clair. Nombreuses radicules de MUR. Barres et nodules carbonatés. Strobilus. Joints couverts de pinnules de *Neuropteris tenuifolia*, *Aulacopteris*, *Lepidophloios* sp., *Calamites*. A 1.118,00, joints couverts de *Neuropteris tenuifolia*, *Radicites*, *Linopteris* sp., *Sphenophyllum cuneifolium*. Feuilles aciculaires. Paille hachée. Nodules carbonatés. A 1.119,00, schiste finement micacé gris clair. Nombreuses pennes et pinnules isolées de *Neuropteris tenuifolia*, *Cyclopteris* sp., *Mariopteris* cf. *sauveuri*, *M.* sp., *Calamites* sp., *Calamostachys germanica*, *Asterophyllites equisetiformis*. Nodules carbonatés brunâtres. Vers 1.119,70, *Annularia* cf. *pilosa*, *Sphenopteris* sp. (pinnules à limbe très découpé), *Mariopteris sauveuri*. A 1.120,40, *Calamites* sp., *Neuropteris tenuifolia* (pennes bien conservées), *N.* cf. *obliqua*, *Cyclopteris orbicularis*, *Pecopteris* sp., *Annularia radiata*. A 1.121,60, même schiste à nombreux débris végétaux : *Calamites* sp., *Annularia sphenophylloides*, *Neuropteris tenuifolia*, *N. rarinervis*, *Pinnularia*, *Sphenopteris obtusiloba*, *Cordaites*. A 1.122,50, feuilles aciculaires, *Calamites* sp., *Neuropteris tenuifolia* portant des *Spirorbis*, *Radicites*, *Neuropteris rarinervis*, *Cyclopteris*, *Pecopteris miltoni*, *Mariopteris sauveuri*, INCL. : 30°. Vers 1.124,00, dans même schiste : *Calamites*, *Neuropteris tenuifolia*, *Samaropsis fluitans*. Vers 1.126,50, *Cordaites*, *Cardaicarpus*, *Calamites* sp., *Annularia sphenophylloides*, *Asterophyllites equisetiformis*, *Sphenophyllum cuneifolium*, *Lepidostrobus ornatulus*, feuilles aciculaires, *Aulacopteris*, *Neuropteris* sp., *Mariopteris* sp., *Sphenopteris* sp. INCL. : 26° ... 11,37 1.127,87

HOUILLE : Houille : 0,13; schiste : 0,02; houille : 0,09 ... 0,24 1.128,11

Schiste intercalaire charbonneux ... 0,32 1.128,43

HOUILLE .. 0,19 1.128,62

Schiste micacé grossier. Radicules de MUR et *Stigmaria*. Nombreux débris végétaux macérés *Neuropteris* sp. ... 0,79 1.129,41

HOUILLE .. 0,53 1.129,94

Schiste argileux. Radicules de MUR et *Stigmaria*. INCL. : 26°. *Lepidodendron dissitum* (très abondant), *Aulacopteris*, *Neuropteris* cf. *tenuifolia*. Nombreux fillets charbonneux visibles sur la tranche ... 0,37 1.130,31

HOUILLE 0,11 1.130,42

Schiste gris à radicules de MUR et *Stigmaria*. Un mince passage à rayure brune. Petits nodules carbonatés. Paille hachée. INCL. : 22°. A 1.130,55, linéoles gréseuses. Bandes carbonatées. A 1.132,10, schiste argileux gris. Rares radicules perforantes. Vers 1.135,00, schiste argileux gris à rayure blanche, rubané. *Lepidophyllum triangulare*, *Ulodendron* sp. Nodules carbonatés. Progressivement, schiste très argileux gras, souvent glissé en stratification. L'INCL. est forte 5,18 1.135,60

HOUILLE : INCL. : 55° 0,01 1.135,61

La houille colle à un schiste micacé pétri de radicules de MUR. *Stigmaria*. Quelques glissements. Nodules carbonatés. A 1.136,20, schiste gréseux, INCLIN. : 70 puis 50°. *Calamites* sp. 1,39 1.137,00

Grès. INCL. : 60° 0,40 1.137,40

Schiste micacé à radicules de MUR. Nombreux glissements. Vers 1.138,00, quelques joints noirs. Progressivement, l'INCL. diminue. *Calamites*. A 1.138,50, INCL. : 30°. Radicules plus rares. *Neuropteris* sp. Barres carbonatées. Vers 1.139,00, schiste très argileux, rubané. Fines et rares radicules perforantes. Quelques glissements. INCL. : 31°. Une graine. Nodules carbonatés. YEUX. A 1.139,50, après une fourrure argileuse, schiste psammitique micacé gréseux. INCL. : 33°. Joints noirs et à paille hachée 3,30 1.140,70

Grès à joints noirs. Barres carbonatées. INCL. : 30° ... 1,30 1.142,00

Schiste gréseux à paille hachée jetée en travers. INCL. : 30°. Vers 1.142,60, schiste psammitique straticulé, à boules irrégulières de grès. Slumping. Vers 1.145,00, schiste micacé progressivement plus fin, stérile. Une graine. Barres carbonatées. INCL. : 30°. Vers 1.146,00, feuilles aciculaires, *Neuropteris* sp. A 1.147,00, schiste finement micacé, rubané, stérile. Vagues pistes. A 1.147,75, schiste argileux. *Planolites ophthalmoides*. Nombreuses barres carbonatées. Un débris indéterminable. Pistes. *Estheria simoni*, *Sinusia*. A 1.149,80, schiste très argileux gris rubané. Nombreux *Planolites ophthalmoides*, *Estheria simoni*. Diaclases redressées. Petits débris indéterminables de Poisson. *Estheria simoni* (souvent à test ridé), Ostracodes. A partir de 1.150,00, schiste très argileux, irrégulièrement carbonaté par bandes et nodules mal délimités. Mouches de galène sur glissements. INCL. : 23°. *Planolites montanus*, *Estheria simoni* (nombreux exemplaires), petites *Guilielmites*, Ostracodes. A 1.150,65, petits clous de pyrite. A 1.150,70, une écaille de Poisson. *Sinusia*. Le schiste prend une teinte plus foncée. INCL. : 30°. A 1.151,00, grosses vermiculations grumeleuses et pyriteuses. A 1.151,10, petites *Guilielmites* sp. A 1.151,30, une graine, cf. *Trigonocarpus* sp. Pyrite terne sur tiges. Quelques joints glissés avec mouches de galène. A 1.151,50, *Planolites ophthalmoides* et taches de pyrite terne 9,60 1.151,60

Dans même schiste, deux empreintes de gastéropodes, Ostracodes, assez nombreuses écailles de Poisson, indéterminables. A 1.151,80, une *Lingula mytilloides*. Nombreux *Planolites ophthalmoides*. A 1.152,10, *Lingula*. A 1.152,15, schiste très argileux, légèrement

grumeleux. Une barre carbonatée irrégulière. <i>Lingula mytilloides</i> , <i>Planolites ophthalmoides</i> , <i>P. montanus</i> , écailles de Poisson. (Banc à facies marin.)	0,90	1.152,50
HOUILLE : Filonnets de pyrite et de calcite. INCL. : 32° ...	0,15	1.152,65
Faux MUR charbonneux sur quelques centimètres puis, schiste gris bistre clair pétri de radicules de MUR et <i>Stigmaria</i> . A 1.152,20, schiste micacé plus compact. INCL. : 32°. A 1.152,30, nodules carbonatés et pyriteux. <i>Calamites</i> . Assez nombreuses feuilles de <i>Cordaites</i> sp. INCL. : 34°. A 1.154,00, schiste straticulé gréseux. INCL. : 42°.		
Radicelles de MUR, perforantes, pyritisées	1,60	1.154,25
Grès micacé	0,50	1.154,75
Schiste gréseux micacé à grandes paillettes de mica, straticulé. INCL. : 40°. Joints à paille hachée. A 1.156,40, schiste plus argileux puis, schiste straticulé, micacé, très pyriteux. Nombreux nodules de pyrite. Vers 1.156,70, schiste très argileux sillonné par des pistes pyriteuses, sortes de fines vermiculations. Feuilles aciculaires. <i>Planolites montanus</i> . Débris de coquilles : cf. <i>Naiadites</i> sp. Une écaille de Poisson. <i>Rhabdoderma elegans</i> . INCL. : 34 puis 32°. A 1.157,40, schiste micacé plus grossier brunâtre. Ostracodes et coquilles à test conservé. Assez nombreux glissements en travers vers 1.157,60, crochon ouvert à axe horizontal dans une brèche de faille à nombreux placages de pholélite. Inférieurement, cette brèche de faille est limitée, à 1.158,40, par une surface glissée, redressée à environ 70°. Puis, schiste finement micacé compact, assez clair. Paille hachée. Barre carbonatée. <i>Sinusia</i> . INCL. : 26 puis 22°. Débris de coquilles indéterminables. <i>Alethopteris</i> sp. A 1.158,60. INCL. : 26°, dans un schiste progressivement plus argileux. Nombreux <i>Sinusia</i> , cf. <i>Mariopteris</i> sp. A 1.158,90, schiste très argileux, carbonaté dans la masse, progressivement brunâtre. Nombreuses coquilles naïaditiformes à test conservé. A 1.159,10, une barre de Tonstein épaisse de 0,03	4,38	1.159,13
Roche intimement glissée réduite en menus débris. Vers 1.159,50, schiste micacé à joints à paille hachée et plages noires. Rares radicules perforantes. A 1.160,10, schiste psammitique zonaire. INCL. : 14°	1,47	1.160,60
Grès straticulé à minces linéoles de schiste	0,50	1.161,10
Schiste micacé rubané, alternant avec de minces passages très argileux (surtout à la base), quasi stérile. Rares coquilles naïaditiformes. <i>Planolites montanus</i> , <i>Lepidophyllum</i> sp. Vers 1.162,20, schiste micacé compact progressivement gréseux. Bandes carbonatées	1,60	1.162,70
Grès de teinte claire. Quelques joints noirs	1,00	1.163,70
Schiste finement micacé, carbonaté, stérile. Plages à paille hachée. <i>Sinusia</i> . Progressivement, schiste argileux. INCL. : 13°. A 1.164,30, schiste très doux à lits carbonatés peu marqués. A 1.164,70, schiste noir, bitumineux à rayure grasse. cf. <i>Naiadites</i> sp., Ostracodes. Barres carbonatées brunâtres. Puis, schiste très charbonneux à filets de houille visibles sur la tranche. Pyrite terne	1,15	1.164,85

HOUILLE	0,41	1.165,29
Schiste charbonneux. Tubes gommeux d' <i>Aulacopteris</i> , <i>Lepidodendron obovatum</i> . <i>Neuropteris tenuifolia</i> . Radicelles de MUR et <i>Stigmaria</i> . A 1.165,40, grès à aspect feldspathique, straticulé		
	0,40	1.165,69
HOUILLE	0,05	1.165,74
Schiste finement micacé à radicelles de MUR et <i>Stigmaria</i> passant au schiste compact, légèrement bistre, carbonaté dans la masse. A 1.166,90, schiste très clair pétri de radicelles de MUR. Nodules carbonatés. Vers 1.167,50, progressivement, schiste à linéoles gréseuses, psammitique, straticulé. INCL. : 12°. Feuilles de <i>Cordaites</i> . A 1.168,10, schiste micacé gris. Nodules carbonatés. <i>Calamites</i> , <i>Asterophyllites equisetiformis</i> (très abondants avec épis de fructification). Paille hachée. Très rares radicelles de MUR		
	3,11	1.168,85
Grès quartzitique. Nombreuses diaclases verticales ...	0,21	1.169,06
Schiste finement micacé et straticulé. Linéoles gréseuses irrégulières, festonnées vers le bas. Nodules carbonatés. Feuilles de <i>Cordaites</i> . Vers 1.170,20, quelques glissements		
	1,21	1.170,27
Grès quartzitique	0,21	1.170,48
Schiste rubané, finement micacé. Feuilles de <i>Cordaites</i> sp. A 1.170,70, schiste psammitique. Très nombreuses linéoles irrégulières de grès. Une penne de <i>Pecopteris miltoni</i> , feuilles de <i>Cordaites</i>		
	0,81	1.171,29
Grès quartzitique.	0,36	1.171,65
Sous un joint irrégulier, schiste micacé à paille hachée. Slumping. Barres et nodules carbonatés. Lambeau de <i>Bothrodendron</i> sp. A 1.171,93, grès quartzitique. A 1.172,06, schiste micacé avec plages à paille hachée. Une pinnule de <i>Linopteris obliqua</i> . INCL. : 6°. <i>Sinusia</i> A 1.172,45, grès quartzitique. A 1.172,60, schiste finement micacé à linéoles gréseuses. Paille hachée parmi laquelle <i>Stigmaria</i> flotté. <i>Neuropteris</i> sp., feuilles aciculaires, tiges de <i>Mariopteris</i> sp. Progressivement, schiste plus argileux. Quelques minces linéoles gréseuses. INCL. : 5°. A 1.173,20, schiste argileux gris. Pistes. Feuilles aciculaires, macrospores. Roche peu fossilifère. A 1.173,40, débris de coquilles indéterminables dans même schiste doux à rayure progressivement grise. A 1.173,50, schiste bitumineux à rayure grasse. La roche passe au pseudo-cannel-coal. Rares et mauvais débris de coquilles <i>Lepidodendron</i> sp. A 1.173,60, roche charbonneuse. Macrospores		
	2,16	1.173,81
HOUILLE (dont 8 cm de cannel-coal au sommet) : M.V. : 34,49 % ; C. : 5,63 %	0,63	1.174,44
Schiste charbonneux feuilleté, type de faux MUR. <i>Aulacopteris</i> dilacérés, <i>Neuropteris tenuifolia</i> , <i>N. hollandica</i> . A 1.174,50, schiste gris bistre, argileux à structure pseudo-oolithique, pétri de radicelles de MUR. Progressivement, schiste plus compact. Nodules carbonatés. A 1.175,40, <i>Calamites</i> sp. A 1.176,40, schiste micacé à fines linéoles gréseuses à stratification entrecroisée. Vers 1.177,40, les radicelles deviennent rares, dans un schiste psammitique gré-		

seux. A 1.178,50, grès micacé. A 1.178,80, schiste psammitique stratulé à stratification entrecroisée et joints noirs. A 1.179,50, grès micacé à grandes paillettes de mica et joints à sable de houille.		
A 1.179,80, schiste psammitique gréseux	6,87	1.181,31
Grès micacé à joints noirs : INCL. : 8° environ	0,69	1.182,00
Schiste, progressivement plus argileux. Bandes carbonatées. Une coquille en position de vie	0,58	1.182,58
Grès grossier	0,25	1.182,83
Schiste argileux rubané. Barres carbonatées. Débris de <i>Naiadites</i> sp., <i>Güthelmities</i> sp. A la base, schiste plus foncé à rayure grise	0,75	1.183,58
HOUILLE : Houille : 0,15; schiste argileux charbonneux : feuilles aciculaires. <i>Neuropteris tenuifolia</i> (abondant), <i>Aulacopteris</i> , radicules de MUR sur 0,27; houille : 0,06; schiste charbonneux sur 0,04; houille : 0,52	1,04	1.184,62
Schiste argileux gris pétri de radicules de MUR et <i>Stigmaria</i> . Rapidement, schiste micacé compact. A 1.184,85, nombreux nodules carbonatés	0,40	1.185,02
Grès. A 1.185,17, schiste micacé à nombreuses radicules de MUR et <i>Stigmaria</i> . A 1.185,27, grès. A 1.185,47, schiste micacé à barres carbonatées. A 1.185,50, grès zonaire. INCL. : 8°		1.186,42
Schiste argileux gris assez clair, rubané. Feuilles aciculaires. <i>Cordaicarpus</i> . Barres carbonatées. INCL. : très faible, environ 3°	0,58	1.187,00
PASSÉE DE VEINE : Schiste très charbonneux avec filets de houille visibles sur la tranche. Radicules de MUR. <i>Ulodendron</i> sp., <i>Aulacopteris</i> , <i>Lepidodendron</i> sp., <i>Lepidophloios</i> sp., <i>Ulodendron ophiurus</i> (très abondant), <i>Ulostrobis</i> sp.	0,15	1.187,15
Grès à radicules de MUR et <i>Stigmaria</i>	0,25	1.187,40
Schiste micacé compact gréseux. Quelques joints très micacés.	0,25	1.187,65
Grès. Rares radicules perforantes	0,67	1.188,32
Schiste micacé compact, stérile. INCL. : 4°. Barres et nodules carbonatés. A 1.188,60, schiste très argileux, rubané. Quelques feuilles aciculaires. <i>Naiadites</i> sp., <i>Calamites</i> sp. A 1.189,00, schiste micacé. Joints noirs. INCL. : 5°. A 1.189,40, schiste gréseux très compact à paille hachée jetée dans la masse. Slumping.	2,42	1.190,74
Grès. Quelques joints noirs.	2,26	1.193,00
Schiste psammitique zonaire. Nombreux joints noirs à grandes paillettes de mica. INCL. : 5°. A 1.193,85, schiste progressivement argileux, rubané. <i>Ulodendron</i> sp., <i>Lepidophyllum waldenburgense</i> , <i>Sinusia</i> , <i>Naiadites sowerbyi</i> , <i>Carbonicola</i> sp. <i>Planolites montanus</i> sur barre carbonatée.	1,40	1.194,40
HOUILLE	0,29	1.194,69
Schiste gris foncé légèrement charbonneux. Macrospores. <i>Neuropteris</i> sp., <i>Aulacopteris</i> . Rapidement, schiste bistre à radicules		

de MUR et <i>Stigmaria</i> . A 1.195,10, plages à structure pseudo-oolithique. A 1.196,00, schiste micacé compact. Rares radicules de MUR. Tiges carbonneuses pyritisées. Barres carbonatées. A 1.199,00, nombreuses et irrégulières linéoles gréseuses. Vers 1.199,50, feuilles de <i>Cordaites</i> . A 1.200,60, schiste micacé à linéoles gréseuses irrégulières. Glissements sous-aquatiques. Nodules carbonatés ..	7,31	1.202,00
Grès minéralisé par de la pyrite et de la chalcoppyrite. Passages quartzitiques. A la base, quelques cailloux schisteux ...	1,00	1.203,00
HOUILLE	0,15	1.203,15
Schiste finement micacé. Quelques miroirs de glissements en travers. Radicules de MUR et <i>Stigmaria</i> . Vers 1.203,70, nombreux nodules carbonatés. Vers 1.204,00, très nombreux glissements. Joints à paille hachée. Macrospores. <i>Neuropteris pseudogigantea</i> . Nodules carbonatés. Mouvements dans la masse. Vers 1.204,30, schiste très argileux. Rares radicules de MUR écrasées. <i>Planolites montanus</i> . Encore quelques glissements	1,57	1.204,72
PASSÉE DE VEINE : Soudé au précédent, schiste très argileux, très clair, légèrement bistre, pétri de radicules de MUR et <i>Stigmaria</i> . A 1.205,20, plages à structure pseudo-oolithique. Progressivement, schiste plus compact. <i>Calamites</i> sp. Vers 1.207,20, petits nodules scoriacés. Vers 1.207,50, nombreuses feuilles de <i>Cordaites</i> sp., <i>Cordaianthus pitcairniæ</i> . A 1.207,80, schiste argileux gris clair, légèrement bistre. Très rares débris végétaux. INCL. : 10° ...	4,38	1.209,10
PASSÉE DE VEINE (?) : Dans même schiste, radicules de MUR. Nombreux et petits nodules carbonatés. <i>Neuropteris</i> sp., <i>Ulodendron</i> sp. A 1.209,50, nombreuses pinnules de <i>Neuropteris</i> sp. Vers 1.209,70, feutrage de feuilles de <i>Cordaites</i> sp. A 1.210,40, schiste gris. Très nombreuses pinnules de <i>Neuropteris</i> sp. Tiges dont une couverte de <i>Spirorbis</i> . Paille hachée. <i>Neuropteris pseudogigantea</i> très abondant; certaines pinnules portent des <i>Spirorbis</i> . Vers 1.211,00, schiste straticulé légèrement gréseux	2,15	1.211,25
Grès assez fin à aspect feldspathique	0,35	1.211,60
Schiste psammitique à joints noirs	0,20	1.211,80
Grès, comme plus haut	0,40	1.212,20
Schiste micacé zonaire. INCL. : 5°	0,55	1.212,75
Grès comme plus haut. Assez nombreuses feuilles de <i>Cordaites</i> sp.	1,75	1.214,50
Schiste micacé gris. Macrospores isolées. <i>Carbonicola</i> sp., <i>Neuropteris pseudogigantea</i> , <i>N. tenuifolia</i> . Bandes carbonatées. Joints noirs	0,15	1.214,65
Grès	0,10	1.214,75
Schiste micacé. Feuilles aciculaires. Progressivement, schiste finement micacé gris brunâtre. Coquilles naïaditifformes. Paille hachée. Quelques macrospores. <i>Spirorbis</i> sur <i>Neuropteris hollandica</i> , <i>N. tenuifolia</i> . A la base, schiste légèrement plus argileux	0,55	1.215,30

- Grès clair, à tiges charbonneuses, assez grossier, à aspect feldspathique. Joints noirs. Au sommet, niveau à petits cailloux carbonatés à cœur pyriteux. Jusqu'à la base, cailloux épars .. 2,00 1.217,30
- Schiste argileux ou micacé, gris, assez pâle, quasi stérile. *Sinusia*. INCL. : 3°. Paille hachée parmi laquelle cuticules brunâtres et peaux. Feuilles de *Cordaites*. A 1.218,20, schiste à linéoles gréseuses et plages noires. Joints à grandes paillettes de mica. INCL. : 5°. Rapidement, schiste plus tendre, très argileux. Barres carbonatées. Coquilles naïaditiformes en débris, *Naïadites sowerbyi*, assez abondantes à la base. *Neuropteris* sp., *Lepidophyllum triangulare* 1,88 1.219,18
- PASSÉE DE VEINE : Schiste argileux à filets charbonneux, visibles sur la tranche puis, rapidement, schiste brunâtre, pétri de radicelles de MUR et *Stigmaria*, progressivement micacé, plus compact. Vers 1.219,60, schiste de MUR à aspect pourri. Très nombreux nodules carbonatés, chalcopryrite et mouches de galène dans les nodules. Tectoniquement, la roche est saine. A 1.220,80, dans même schiste très argileux, nombreuses coquilles naïaditiformes à test brunâtre. *Carbonicola aquilina*, *C.* sp. La rayure devient brunâtre ... 2,02 1.221,20
- PASSÉE DE VEINE : Schiste très argileux à rayure claire. Très nombreuses radicelles de MUR.
A 1.221,50, nombreux et petits nodules carbonatés ... 0,50 1.221,70
- Grès micacé à nombreuses radicelles de MUR et *Stigmaria*. Grandes paillettes de mica ... 0,40 1.222,10
- Schiste argileux gris. Radicelles. Nodules carbonatés. Une graine : cf. *Cardiocarpus* sp., *Calamites* sp. A 1.222,80, schiste progressivement plus compact. A 1.223,23, nombreuses feuilles de *Cordaites* sp. sur un joint, *Neuropteris* sp. A 1.224,75, *Calamites* sp. A 1.224,95, une *Calamites* debout, *Sphenophyllum cuneifolium*, *Annularia radiata*. Puis, schiste micacé plus compact. Rares radicelles. INCL. : 7°. *Neuropteris heterophylla*, *Aulacopteris*, *N. tenuifolia*, *Asterophyllites equisetiformis*. A 1.225,60, feuilles de *Cordaites* sp., *Neuropteris heterophylla*, peaux brunâtres parmi paille hachée, *Asterophyllites longifolius*, *A. equisetiformis*, *Neuropteris scheuchzeri*, *N. heterophylla*. A 1.226,20, schiste psammitique micacé à nombreux joints à paille hachée. A 1.226,40, très nombreux débris de *Calamites suckowi*, quelques pinnules isolées de *Neuropteris* sp. A 1.227,70, dans même schiste micacé gris à paille hachée : *Neuropteris tenuifolia* (très abondant), *Annularia* sp., *Calamites* sp., feuilles de *Cordaites*, *Aulacopteris* charbonneux. INCL. : 7°. Vers 1.228,70, nodules carbonatés. *Neuropteris hollandica*, *N. tenuifolia*, *N. pseudogigantea*, *N.* cf. *rarinervis*, *Cyclopteris* sp., *Calamites suckowi*, *Asterophyllites equisetiformis*, *Mariopteris* sp. A 1.230,70, très nombreuses feuilles de *Cordaites* sp., *Samaropsis fluitans*, tiges et pennes de *Mariopteris sauveuri*. A 1.231,70, une fourrure argileuse suivie d'un schiste disloqué bréchoïde. A 1.231,90, paille hachée jetée en travers 10,15 1.232,25
- Grès finement straticulé à joints noirs ... 0,25 1.232,50
- Schiste micacé. *Cordaites* dilacérées. Joints noirs. Paille hachée jetée en travers. Joints à nombreuses feuilles de *Cordaites* sp., *Samaropsis fluitans*. A 1.233,50, schiste micacé à minces linéoles gré-

seuses. INCL. : 14°. Slumping. *Cordaites*, nombreuses sur certains joints. Vers 1.235,00, certains passages consistent en un véritable empilement de feuilles de *Cordaites*. Vers 1.236,30, nombreux nodules carbonatés. Graines. *Cordaites* sp. Assez nombreux glissements. Slumping 4,90 1.237,40

Grès à aspect feldspathique. Joints noirs. Bandes carbonatées. Cailloux schisteux épars 0,55 1.237,95

PASSÉE DE VEINE : Schiste micacé. Radicelles de MUR relativement peu abondantes. Feuilles de *Cordaites*, *Samaropsis fruitans*. A 1.238,20, schiste micacé rubané. Slumping. Nombreux débris végétaux. *Cordaites* sp., *Neuropteris rarinervis*, *Calamites* sp. Mouvement dans la masse. A 1.239,00, tiges charbonneuses. Linéoles gréseuses. Très nombreuses feuilles de *Cordaites*. A 1.239,30, schiste argileux gris pâle 1,45 1.239,40

PASSÉE DE VEINE : Brusquement, schiste micacé. Rares radicelles de MUR. Nodules scoriacés. *Calamites suckowi*, *Cordaites* sp., *Sphenopteris* sp. 1,20 1.240,60

Grès carbonaté à minces bandes schisteuses. A 1.241,20, cailloux carbonatés empâtés dans le grès 0,70 1.241,30

Schiste micacé très compact. Linéoles gréseuses. Joints desséchés. Pistes. Nodules carbonatés. A 1.242,10, schiste très argileux, rubané. Taches de pyrite terne. Petites tubulations pyriteuses. Barres carbonatées. A 1.242,25, pistes lisses. *Lingula mytilloides* souvent de grande taille. Clous pyriteux. Mouches de galène et blende rose dans nodules carbonatés. Pistes. *Orbiculoidea missouriensis*. A 1.242,80, grosses traînées grumeleuses et pyriteuses. *Orbiculoidea missouriensis* de grande taille, parfois à valves appariées. A 1.243,60, même schiste argileux, rubané. Une coquille indéterminable. Nombreuses valves d'*Orbiculoidea missouriensis Spirorbis*. A 1.243,80, schiste plus foncé, une macrospore. *Lingula mytilloides* très nombreuses, souvent à valves appariées. A 1.244,10, schiste argileux à rayure brunâtre, légèrement pailleté. Débris végétaux flottés et macérés. Progressivement, schiste plus compact et à linéoles gréseuses 3,25 1.244,55

PASSÉE DE VEINE : Brusquement, dans même schiste, radicelles de MUR. Puis, schiste gréseux, micacé. Radicelles perforantes 1,35 1.245,90

Grès massif micacé. INCL. : 10°. Passages quartzitiques. Plages noires 0,30 1.246,20

Schiste psammitique gréseux, irrégulièrement straticulé. Slumping. Paille hachée. Joints noirs. Vers 1.247,00, schiste micacé gris. INCL. : 8°. Paille hachée parmi laquelle YEUX de *Stigmaria* flottés. Feuilles aciculaires. Vers 1.249,50, barres carbonatées, puis, schiste légèrement plus fin. Petit débris de *Sphenopteris* sp. dans paille hachée. A 1.250,60, linéoles gréseuses dans un schiste psammitique gréseux. Paille hachée. *Calamites*. A 1.251,00, schiste très finement micacé, stérile, légèrement rubané. Vagues YEUX, *Naiadites sowerbyi*. *Planolites montanus*. A 1.252,40, un placage de blende rose. Une pinnule isolée de *Neuropteris pseudogigantea*. A la base, rares débris

- de coquilles naïaditiformes. Puis, sur 1 cm, faux toit charbon-
neux 6,94 1.253,14
- HOUILLE 0,03 1.253,17
- Schiste très finement micacé presque argileux, pétri de radicelles
de MUR et *Stigmaria*. A 1.253,60, mince passage, brunâtre à rayure
brune, légèrement bitumineux. Pyrite terne. Ostracodes ... 0,45 1.253,62
- PASSÉE DE VEINE : Soudé au précédent, schiste finement micacé
gris à radicelles de MUR. *Lepidostrobus variabilis*, feuilles aciculaires.
A 1.254,20, schiste micacé plus compact. *Sinusia*, *Sphenopteris* sp.
(grêle à limbe découpé), *Lepidophyllum triangulare*, feuilles de
Cordaites 1,50 1.255,12
- PASSÉE DE VEINE : Schiste bitumineux à rayure brune. Fines et
peu abondantes radicelles de MUR. Nombreuses coquilles naïaditi-
formes, *Carbonicola* sp., *Naiadites* sp., *Planolites montanus*, nodules
carbonatés. A 1.255,20, schiste argileux gris à radicelles perforantes,
puis, rapidement, schiste compact micacé. Paille hachée. Calcite
dans diaclases. A 1.255,75, barre de grès micacé épaisse de 0,10, puis,
même schiste micacé que plus haut. A 1.255,90, cassure redressée
à remplissage bréchoïde d'argile. De part et d'autre, la roche, iden-
tique, consiste en schiste très argileux rubané. Débris de coquilles
naïaditiformes. *Carbonicola* cf. *aquilina*. Vers 1.257,00, joints cou-
verts de coquilles dont certaines portent de *Spirorbis*. *Naiadites*
sowerbyi, *Carbonicola* cf. *aquilina* (petite forme). Puis, schiste bru-
nâtre, légèrement bitumineux. A 1.257,35, schiste argileux gris.
Neuropteris hollandica. *Spirorbis* sur lambeaux de *Calamites* sp.
Puis, dans même roche, très nombreuses coquilles, souvent à test
conservé. *Carbonicola aquilina*, *Naiadites sowerbyi*. Taches de
pyrite terne. Vers 1.257,70, schiste plus foncé à rayure brunâtre.
Neuropteris sp. A 1.257,90, schiste à nouveau de teinte claire. Nom-
breuses coquilles : *Naiadites sowerbyi*, *Samaropsis fluitans*. Puis, à
nouveau, schiste plus foncé. *Spirorbis* sur *Naiadites* sp. A 1.258,00,
schiste bitumineux à rayure brune. Très nombreux *Spirorbis*.
Feuilles de *Cordaites*, *Ulodendron ophiurus* (abondant), Ostracodes;
Lepidophyllum triangulare. INCL. : 10°. A 1.258,10, la roche passe
à un schiste clair, argileux. Nombreuses feuilles d'*Ulodendron*,
Lepidophyllum waldenburgense, *Lycopodites carbonaceus*. Progressi-
vement, schiste finement micacé. Nombreuses feuilles aciculaires
et rameaux d'*Ulodendron ophiurus* dans les passages argileux. A
1.258,50, sous une fourrure argileuse épaisse d'un centimètre, schiste
finement micacé à rayure brunâtre. Nombreux débris végétaux :
Lycopodites carbonaceus, *Calamites*. Progressivement, roche plus
grosnière à joints noirs. A 1.258,80, quelques radicelles flottées
parmi paille hachée, souvent jetée confusément dans la masse.
Sphenopteris cf. *striata*, *Sigillaria* sp. A 1.259,20, roche progressive-
ment gréseuse. Sable de houille sur certains joints. INCL. : 8° 4,18 1.259,30
- Grès zonaire à plages noires 0,30 1.259,60
- Schiste micacé à joints noirs et joints à paille hachée parmi
laquelle : feuilles aciculaires. Barres carbonatées. *Sphenophyllum*

cuneifolium, *Sphenopteris* sp., INCL. : 10°. *Calamites*, *Sphenopteris striata*, *Neuropteris tenuifolia*, *Stigmaria flotté*. A 1.260,50, schiste micacé, psammitique, zonaire, straticulé. *Mariopteris sauveuri*. Feuilles aciculaires. A 1.263,40, assez brusquement, schiste argileux, rubané. Débris de coquilles : cf. *Anthracomya* sp. Radicelles flottées. Vers 1.264,00, schiste très argileux doux, quasi stérile. *Planolites montanus* sur barres carbonatées. *Lepidodendron dissitum*. Feuilles de *Cordaites* sp., *Ulodendron* sp. 5,01 1.264,61

HOUILLE à filets pyriteux 0,40 1.265,01

Schiste très charbonneux, noir à radicelles de MUR. Très nombreuses pinnules de *Neuropteris* sp., *Potonica*. Puis, schiste argileux gris pétri de radicelles de MUR. Quelques glissements. Nodules carbonatés. *Bothrodendron* sp. Puis, schiste légèrement plus compact, glissé en sens divers, progressivement, schiste micacé zonaire et gréseux. Radicelles de MUR. Vers 1.266,80, plages à structure pseudo-oolithique. A 1.267,00, schiste finement micacé. Joints à paille hachée. Fines radicelles perforantes. Vers 1.267,00, sous une fourrure argileuse, schiste argileux à débris de coquilles. *Naiadites* sp. Pyrite terne. A 1.267,40, schiste très argileux. Coquilles naïaditiformes. *Spirorbis*, macrospores. Une barre carbonatée brisée, bréchoïde. Nombreuses surfaces de glissement. A 1.268,15, même schiste argileux, rubané. INCL. : 16°. Nombreuses coquilles naïaditiformes. *Naiadites sowerbyi*, *Carbonicola aquilina*, Ostracodes. A la base, schiste bitumineux à rayure grasse. Débris de coquilles. Un os de Poisson 4,08 1.269,09

HOUILLE 0,10 1.269,19

Schiste charbonneux puis argileux pétri de radicelles de MUR. Quelques surfaces glissées. *Neuropteris hollandica*, *Bothrodendron* sp., *Neuropteris pseudogigantea*, *N. cf. obliqua*, *Radicites*, *Lepidostrobus* sp., feuilles aciculaires, *Stigmaria*, *Alethopteris* sp., gouttes de bitume. Nodules carbonatés. A 1.270,00, schiste argileux. Nodules carbonatés. Radicelles de MUR. Passages de teinte bistre. Glissements. Plages à structure pseudo-oolithique. Mouches de chalcopyrite. Vers 1.270,60, schiste finement micacé. Très nombreux nodules carbonatés devenant jointifs. Parmi paille hachée : *Alethopteris lonchitica*, *Neuropteris* sp., *Radicites*. A 1.271,70, schiste finement micacé. *Aulacopteris*, *Alethopteris* sp., *Neuropteris* sp., *Stigmaria*. Nodules carbonatés. INCL. : 12°. Feuilles de *Cordaites*, tiges de *Mariopteris*, *Calamites* sp. A 1.272,20, gros nodule carbonaté épais de 0,10, *Calamites undulatus*, *Neuropteris parvifolia*, *N. hollandica*, *N. heterophylla*, *Radicites*, *Asterophyllites charæformis*, *Annularia radiata*, *Mariopteris latifolia*. A 1.273, 70, schiste micacé, carbonaté dans la masse. Tiges charbonneuses jetées en travers. Paille hachée. A 1.274,70, nombreux débris de *Calamites* sp. 5,95 1.275,14

Grès straticulé à plages noires 0,36 1.275,50

Schiste micacé à paille hachée. *Calamites* sp. Progressivement, schiste plus argileux. Débris de coquilles naïaditiformes ... 0,84 1.276,34

HOUILLE	0,30	1.276,64
Schiste charbonneux. Empilement de débris végétaux charbonneux. Très nombreux débris de <i>Lepidodendron</i> sp. A 1.276,85, schiste argileux gris, pétri de radicules de MUR. Très nombreuses pinnules de <i>Neuropteris pseudogigantea</i> , <i>Radicites</i> , <i>Aulacopteris</i> , <i>Stigmaria</i> . Nodules carbonatés. A 1.277,35, schiste plus compact à joints noirs. Radicules perforantes		
	1,20	1.277,84
Grès straticulé	0,30	1.278,14
Schiste micacé à très fines radicules perforantes et joints noirs. INCL. : 10°. Vers 1.278,80, schiste, progressivement plus argileux, rubané. A 1.278,90, schiste très argileux. Barres carbonatées. Quelques débris végétaux flottés. <i>Lepidophyllum triangulare</i> , <i>L. waldenburgense</i> , <i>Ulodendron</i> sp. Ce schiste rogne à la houille sous-jacente		
	0,84	1.278,98
HOUILLE	0,10	1.279,08
Schiste charbonneux feuilleté pétri de radicules de MUR. <i>Aulacopteris</i> , nombreuses pinnules de <i>Neuropteris hollandica</i> , <i>Spiropteris</i> , <i>Calamites</i> , <i>Mariopteris</i> , <i>Stigmaria</i> . Nodules carbonatés. A 1.279,50, schiste plus compact à radicules perforantes. <i>Sphenophyllum cuneifolium</i> , <i>Neuropteris</i> sp., <i>Radicites</i> , une graine, <i>Calamites varians</i> . A 1.280,60, schiste plus doux, rubané. <i>Ulodendron</i> sp. ...		
	1,65	1.280,73
HOUILLE	0,15	1.280,88
Schiste très argileux pétri de radicules de MUR et <i>Stigmaria</i> . A 1.281,20, nodules carbonatés. A 1.281,50, schiste légèrement brunâtre. <i>Ulodendron</i> sp. Taches de pyrite terne. Nodules carbonatés. <i>Neuropteris pseudogigantea</i> . A 1.281,90, joints noirs et paille hachée. A 1.282,40, très nombreuses feuilles aciculaires. A 1.282,90, schiste, progressivement argileux. <i>Lepidodendron</i> sp. A 1.283,50, une barre pyriteuse massive		
	2,65	1.283,53
PASSÉE DE VEINE : Grès straticulé à joints noirs et radicules de MUR		
	0,55	1.284,08
Schiste calcareux à stratification entrecroisée, à paille hachée jetée en travers. A 1.284,60, schiste micacé zonaire. Quelques radicules perforantes. Progressivement, schiste plus doux, argileux avec taches de pyrite terne. Nodules carbonatés. A 1.285,40, schiste gris finement micacé. Fines et rares radicules perforantes. Barres carbonatées. Coquilles naïaditiformes. <i>Lepidophyllum</i> sp. <i>L. waldenburgense</i> , <i>Neuropteris pseudogigantea</i> , macrospores. Joints à paille hachée. INCL. : 13°. Taches de pyrite terne. Vers 1.286,40, schiste légèrement brunâtre, plus foncé, nodules pyriteux. Coquilles pyritisées. Ostracodes, une écaille de Poisson indéterminable. Progressivement, schiste légèrement pailleté, micacé. <i>Spirorbis</i> pyritisés, Ostracodes. Débris de coquilles. <i>Ulodendron</i> sp., <i>Samaropsis fluidans</i>		
	2,56	1.286,64
PASSÉE DE VEINE : Soudé au précédent, schiste micacé, pétri de radicules de MUR. Nombreux débris végétaux macérés. <i>Calamites</i> sp., <i>Bothrodendron punctatum</i> . Nodules carbonatés. A 1.286,90,		

schiste psammitique zonaire à linéoles gréseuses. INCL. : 14°. A 1.287,40, nombreux joints à paille hachée. Radicelles perforantes. A 1.287,80, schiste micacé gris. A 1.287,90, vagues pistes. A 1.288,40, schiste psammitique légèrement straticulé	1,96	1.288,60
Grès	0,60	1.289,20
Schiste psammitique à nombreux joints noirs	0,20	1.289,40
Grès clair, diaclases minéralisées en pyrite. Bandes carbonatées. A 1.290,10, grès carbonaté homogène à cassure conchoïdale	1,60	1.291,00
Schiste micacé straticulé. Paille hachée. Pseudo-nodules et slumping	0,90	1.291,90
Grès micacé à minces mises schisteuses. Petits pseudo-nodules	2,10	1.294,00
Schiste micacé à linéoles gréseuses. Progressivement, schiste plus doux, rubané	0,99	1.294,99
PASSÉE DE VEINE : Soudé au précédent, schiste micacé à radicelles de MUR et <i>Stigmaria</i> . A 1.295,20, une barre de grès épaisse de trois centimètres		
	0,21	1.295,20
HOUILLE		
	0,72	1.295,92
Schiste charbonneux à radicelles de MUR et <i>Stigmaria</i> . A 1.296,75, schiste argileux gris pétri de radicelles de MUR. Progressivement, schiste plus compact. A 1.297,40, nodules carbonatés. <i>Neuropteris</i> sp. A 1.298,00, rares linéoles gréseuses. Nodules carbonatés. Joints noirs. <i>Neuropteris</i> sp. A 1.299,20, schiste psammitique zonaire. Radicelles perforantes. Barres et nodules carbonatés. <i>Sphenopteris obtusiloba</i> , <i>Neuropteris hollandica</i> . A 1.300,70, nombreuses pinnules de <i>Neuropteris pseudogigantea</i> , <i>Calamites</i> , <i>Mariopteris</i> sp., <i>Diplotemema furcata</i> , <i>Sphenopteris obtusiloba</i> . A 1.300,90, schiste micacé. Très nombreuses pinnules de <i>Neuropteris</i> cf. <i>tenuifolia</i> , <i>N. hollandica</i> , <i>N. sp.</i> , <i>Mariopteris</i> sp., <i>Radicites</i> , <i>Sphenophyllum cuneifolium</i> , <i>Calamites suckowi</i> , <i>Sphenopteris obtusiloba</i> , <i>Neuropteris hollandica</i> , <i>N. heterophylla</i> , <i>Spirorbis</i> sur <i>Neuropteris</i> sp., paille hachée		
	6,39	1.302,31
HOUILLE : 0,22, intercalaire : 0,12; houille : 0,17		
	0,51	1.302,82
Schiste charbonneux. <i>Aulacopteris</i> . A 1.303,12, schiste plus compact à radicelles de MUR. Taches de pyrite terne. <i>Neuropteris pseudogigantea</i> . Roche brunâtre. A 1.303,40, nodules carbonatés. <i>Aulacopteris</i> , <i>Neuropteris hollandica</i> , <i>N. sp.</i> Progressivement, roche plus micacée et plus compacte. A 1.305,10, schiste micacé gris. INCL. : 38° (?) <i>Neuropteris gigantea</i> , <i>N. sp.</i> Mouvement dans la masse. Localement. INCL. : 48°. Puis, schiste psammitique. Paille hachée jetée dans la masse. <i>Neuropteris pseudogigantea</i> , <i>Mariopteris muricata</i> var. <i>nervosa</i> , <i>Sphenopteris</i> sp., <i>Neuropteris hollandica</i> (abondant), <i>Radicites</i> , <i>Neuropteris scheuchzeri</i> , <i>Mariopteris</i> sp., <i>Lepidophyllum lanceolatum</i> . INCL. : 22°. Vers 1.308,00, <i>Neuropteris scheuchzeri</i> (abondant), <i>N. cf. obliqua</i> , <i>N. pseudogigantea</i> , <i>N. hollandica</i> , <i>Radicites</i> , <i>Mariopteris</i> sp. A 1.309,25, schiste micacé gris. INCL. : 20°. Nombreuses pinnules de <i>Neuropteris</i> sp., <i>N. hollandica</i> , <i>Radicites</i> , <i>Sphenophyllum cuneifolium</i> , <i>Lepidophyllum lanceolatum</i> ,		

Neuropteris scheuchzeri, *Mariopteris* sp., *Radicites*. Quelques glissements en travers. A 1.310,25, schiste très argileux glissé en tout sens. Mouvement dans la masse. *Alethopteris* sp. A la base, schiste bitumineux, noir, à rayure grasse. Nombreux débris de coquilles. *Carbonicola aquilina*. Quelques glissements 7,73 1.310,55

HOUILLE 0,35 1.310,90

Schiste micacé pétri de radicules de MUR. Nodules carbonatés. Progressivement, schiste micacé à linéoles gréseuses. Joints noirs très micacés. INCL. : 10°. Nombreuses et minces linéoles gréseuses. Radicules de MUR. A 1.313,50, grès. A 1.313,60, schiste micacé straticulé. Plages micacées. Joints noirs 4,20 1.315,10

Grès. Quelques minces linéoles schisteuses. Diaclases subverticales 0,60 1.316,70

Schiste psammitique zonaire. A 1.317,70, nombreuses linéoles gréseuses. A 1.319,20, schiste plus argileux, rubané. *Sinusia* 2,97 1.319,67

PASSÉE DE VEINE : Schiste charbonneux. *Aulacopteris*. Joints couverts de *Neuropteris* cf. *hollandica*, *Sigillaria* décortiqué, *Neuropteris pseudogigantea*, tubes gommeux d'*Aulacopteris*, *Alethopteris decurrens* 0,93 1.320,60

Creusement arrêté le 17 novembre 1953, à 1.320,60 m.

§ 4. STRATIGRAPHIE. — INTERPRÉTATION.

Quelques niveaux remarquables rompent la monotonie d'une telle description, ils permettent d'accrocher la coupe à plusieurs autres de cette même région. Ces niveaux intéressants à un titre quelconque sont :

- 1° Toit de la couche de 94 cm à 942,88 m. Faune remarquable.
- 2° Couche de 60 cm à 985,01 m. Barre de Tonstein.
- 3° Couche de 15 cm à 992,40 m. Barre de Tonstein.
- 4° Roches broyées et dérangées vers 1.043 m. Faille possible.
- 5° Couche épaisse en plusieurs laies à 1.056,75 m. Barre de Tonstein.
- 6° Roches broyées et dérangées vers 1.140 m. Faille probable.
- 7° Toit veinette à 1.152,65 m. Faune marine.
- 8° A 1.159,25 m. Barre de Tonstein.
- 9° Toit Passée de veine à 1.244,55 m. Faune marine.

Les deux bancs à faune marine traversés à 1.152,65 m et à 1.244,55 m représentent les traces respectives de l'horizon marin de Maurage et de celui de Lanklaar.

La couche épaisse, en plusieurs laies, avec une barre de Tons-
 tein à 1.056,75 m, serait les couches G + H réunies, reconnues
 toutes deux dans les travaux souterrains du siège de Zwartberg.
 On retrouve sans difficulté, dans le sondage n° 121, les traces
 des couches E, E₁ et F. C'est donc que les roches dérangées,
 traversées vers 1.140 m, sont l'indice du passage d'une faille
 normale dont le rejet atteint 70 mètres environ.

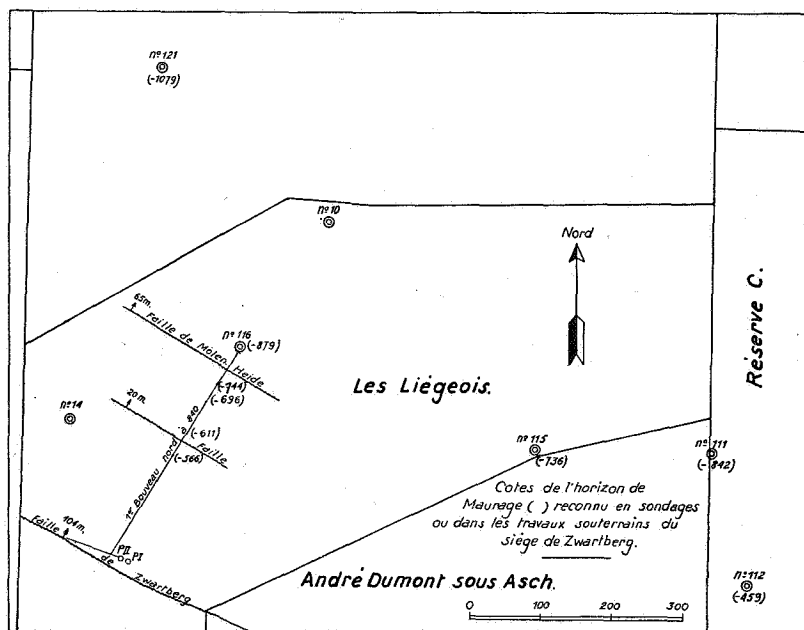


FIG. 1.

Au-dessus de G + H, on ne retrouve pas les couches I et J
 des travaux souterrains mais, à leur place, plusieurs barres de
 grès conglomératiques qui permettent de croire à la disparition
 locale de ces couches par wash-out.

Les soixante mètres supérieurs du sondage comprennent de
 nombreux niveaux à faunes. Ceux-ci se retrouvent au sondage
 n° 116 (Molenheide), ce qui achève le raccord de la coupe du
 sondage n° 121 vers le haut.

Vers le bas, le sommet de la zone d'Eikenberg se raccorde
 facilement à l'aide des horizons marins de Maurage et de Lank-
 laar. Le tableau stratigraphique de la figure 2 résume la situa-
 tion stratigraphique par la comparaison des stampes reconnues

par les travaux souterrains du siège de Zwartberg et par les sondages n° 116 et n° 121.

Étendant cette étude vers l'Est, nous avons tenté d'y inclure les coupes des sondages n° 115 (Opglabbeek) et n° 111 (Nielbij-As). La barre de Tonstein découverte par M. J. SCHEERE au sondage n° 115 (à 634 m de profondeur et non à 643 m comme indiqué dans la publication [7]) serait un premier élément de raccord, en supposant qu'il s'agit de celui qui caractérise la veine G ou la veine H. Cependant, une barre de Tonstein, découverte récemment dans le sondage n° 111 à 727,70 m au sommet d'une couche de cannel-coal de 36 cm, semble nouvelle et se situerait sous le niveau de la veine G. Des failles, dont certaines paraissent inverses, rendent encore douteuse la stratigraphie du Westphalien C dans ces deux sondages.

Enfin, la base du sondage n° 110 (Rotem) semble pouvoir se comparer avec les coupes connues du Westphalien C. Ici aussi, une barre de Tonstein vient d'être découverte, parmi les échantillons conservés par M. A. GROSJEAN, à la profondeur de 1.138,40 m. Ce serait celui de la veine G de Zwartberg auquel cas, l'horizon marin de Maurage passerait sous le sondage à la profondeur de 1.310 m.

§ 5. TECTONIQUE.

D'après les cotes auxquelles l'horizon marin de Maurage a été traversé dans les sondages n° 116, n° 115, n° 111, n° 112 et dans les travaux souterrains du siège de Zwartberg, la recoupe de ce même horizon au sondage n° 121 à 1.152,50 m indique un relèvement anormal de cet horizon vers le Nord. Au sujet de la position et de la direction du ou des accidents qui en seraient responsables, on ne possède aucune information valable en dehors de celles que fournissent les méthodes géophysiques.

§ 6. CONCLUSION.

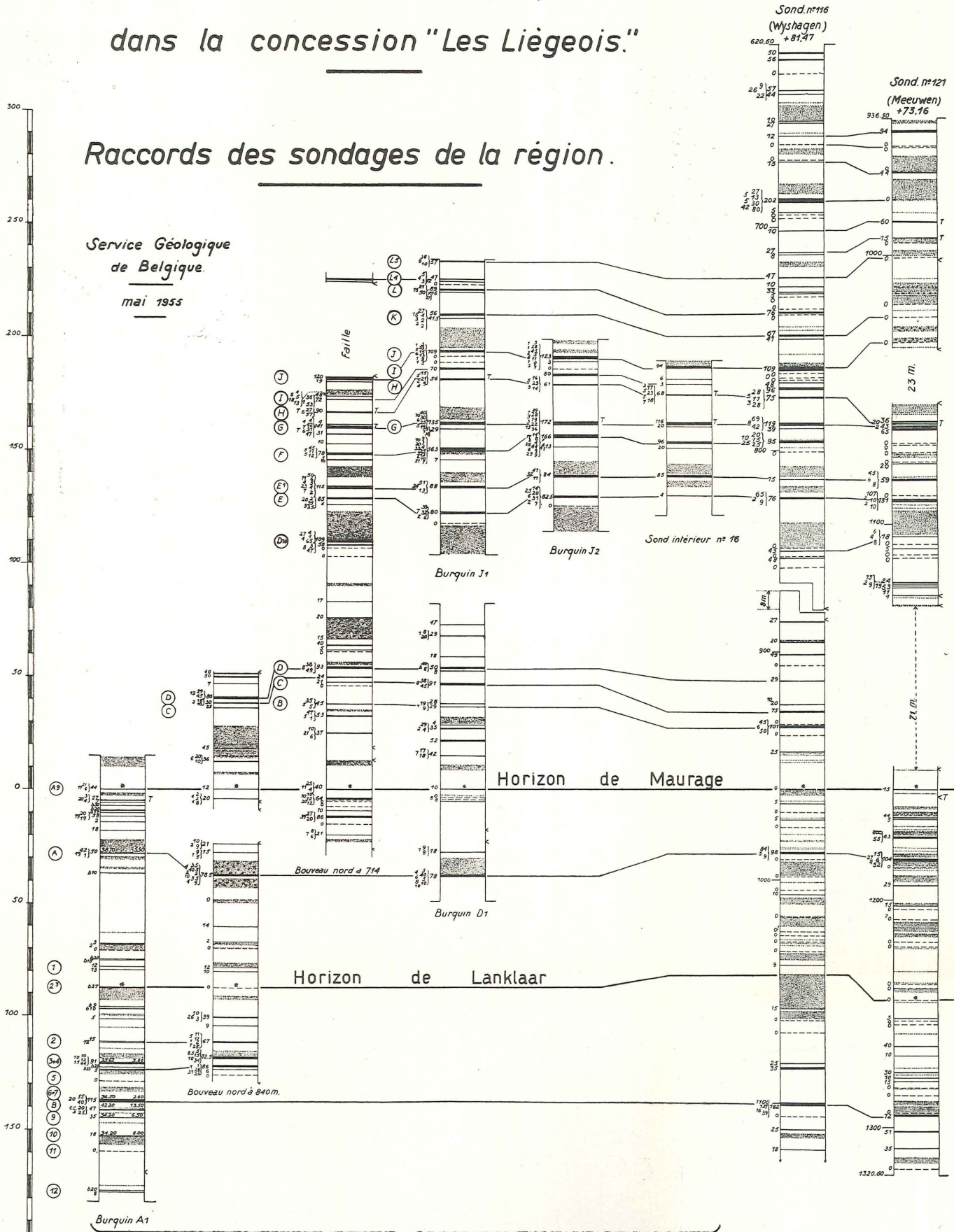
Le sondage n° 121 (Meeuwen) a révélé de façon inattendue, que le riche faisceau de Zwartberg (couches E à J), d'abord découvert au sondage n° 116 puis atteint par les travaux souterrains, se retrouvait vers le Nord à des profondeurs accessibles.

District houiller de Campine.

La Zone de Meeuwen du Westphalien C dans la concession "Les Liègeois."

Raccords des sondages de la région.

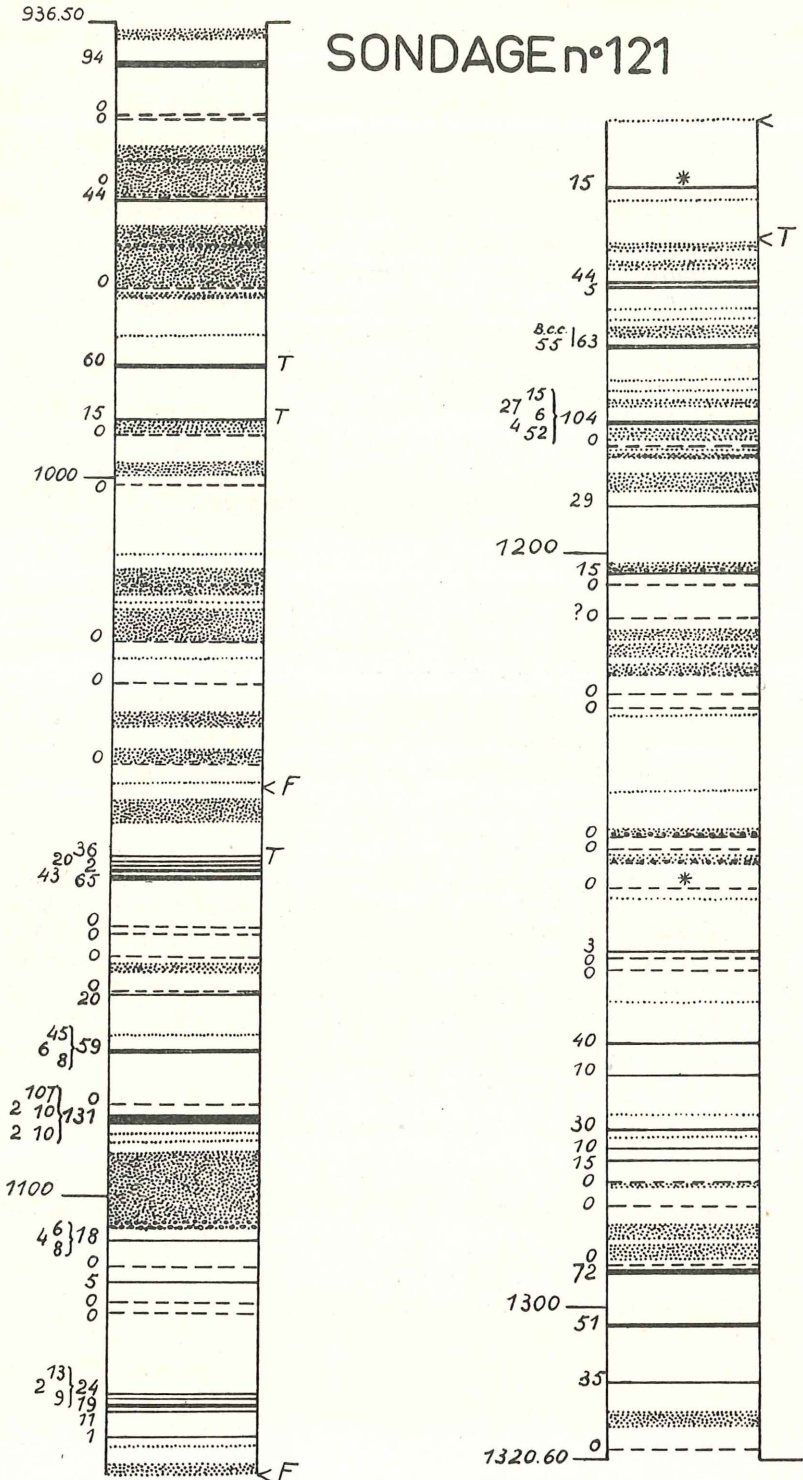
Service Géologique de Belgique.
mai 1955



Siège de Zwartberg — Travaux souterrains

T: Tonstein.
<: Indices de dérangements tectoniques.

SONDAGE n°121



DISCUSSION.

M. René Cambier demande si l'existence de lits de tonstein a été signalée dans le bassin westphalien et dans l'affirmative, si l'on peut tenter le raccord de ces niveaux avec ceux qui viennent d'être découverts en Campine.

M. A. Delmer croit qu'une corrélation entre les tonstein connus de part et d'autre est, dès à présent, prématurée. Il n'empêche que la continuité et l'extension du lit de tonstein immédiatement sous-jacent à l'horizon de Maurage est réellement étonnante à travers les bassins houillers franco-belgo-westphaliens.

M. André Grosjean souligne l'intérêt de la présente contribution pour la stratigraphie du Westphalien de Campine. Il félicite M. Delmer d'avoir entrepris la recherche systématique des niveaux de tonstein, longtemps méconnus en Belgique, et d'avoir mis en évidence leur grande signification stratigraphique.

Les divers aspects des marées terrestres (*),

par PAUL J. MELCHIOR, Doct. Sc.

Rapporteur Général des Marées Terrestres
à l'Union Géodésique et Géophysique Internationale.

RÉSUMÉ. — *On expose successivement les divers phénomènes par lesquels se manifeste à nous l'existence des marées terrestres : réduction d'amplitude des marées océaniques, déviations de la verticale, variations de l'intensité de la pesanteur, tensions élastiques dans l'écorce. L'observation de ces phénomènes conduit à des estimations quantitatives du module de rigidité de la Terre et de la variation de ce module avec la profondeur. Par contre, les marées dans les puits et les sources, dues aux effets alternatifs de compression et de dilatation dans la croûte, ne se prêtent qu'à des interprétations qualitatives.*

INTRODUCTION.

Dans ses grandes lignes, le travail que nous présentons ici résume les idées exprimées dans un ouvrage paru dans la Collection des Monographies de l'Observatoire de Belgique, sous

(*) Texte remis au Secrétariat le 5 mai 1955.

le titre : « Les Marées terrestres », en 1954, et dont les tranches successives ont également été publiées la même année par la revue : « Ciel et Terre ». L'appareil mathématique a cependant été volontairement écourté tandis que nous avons développé, en nous appuyant sur des constatations récentes, le point de vue géologique.

*
**

La conception d'un globe non absolument rigide mais déformable a pris corps en Mécanique céleste au début du XIX^e siècle.

Simultanément, des astronomes commencent à soupçonner l'existence d'une variabilité des latitudes (BRIOSCHI à Naples) et à étudier des variations de la direction de la verticale et des déformations locales de l'écorce : des expériences faites par D'ABBADIE dès 1837 sur des bains de mercure révélèrent des variations assez irrégulières qui, près du golfe de Gascogne en particulier, paraissaient liées aux marées océaniques, bien que d'une manière assez complexe.

Les conceptions théoriques classiques permettaient d'ailleurs de prévoir aussi bien l'existence de petites variations périodiques de la verticale que de petits déplacements périodiques du pôle. Les désaccords que l'on relèvera plus tard entre cette théorie et les observations, dans l'un et l'autre de ces phénomènes, ne font que traduire l'existence de déformations élastiques du globe, dues à l'influence même des forces perturbatrices en cause, et dont il faudrait tenir compte dans les calculs pour obtenir des résultats conformes à l'observation.

Ainsi, la théorie statique des marées montre immédiatement que la direction de la verticale et l'intensité de la pesanteur ne restent pas constantes mais varient sous l'influence de l'attraction luni-solaire.

C'est KELVIN qui attira l'attention sur l'effet des déformations du globe; on ne pouvait en effet imaginer qu'il fût infiniment rigide et dès lors on devait admettre qu'il doit se déformer sous l'influence du potentiel perturbateur produisant le phénomène des marées lui-même, tout comme la couche océanique, mais dans une mesure moindre. L'amplitude observée à la surface de la Terre pour tous les phénomènes dépendant de ce potentiel (marées océaniques, déviations de la verticale, variations de l'intensité de la pesanteur) serait donc affectée par la déformation à la surface sur laquelle sont attachés tous nos instruments de mesure.

Ainsi, les marées océaniques sont observées par rapport à des repères (marégraphes) réputés « fixes » établis sur la « terre ferme ». Ces repères seraient fixes si le globe était parfaitement rigide et l'amplitude observée serait égale à celle calculée. Au contraire, si la croûte elle-même se soulève par suite de l'action du potentiel perturbateur, l'amplitude mesurée sera la différence entre la marée de l'océan et celle de l'écorce. On peut appliquer le même raisonnement aux autres manifestations du phénomène. Depuis plus d'un demi-siècle, des observations de toute nature sont venues confirmer ces vues de KELVIN et, confrontées avec les données de la séismologie et du mouvement du pôle, permettent de faire une étude toujours plus approfondie des propriétés élastiques de notre globe.

§ 1. LA NOTION DE PESANTEUR ET L'EXPLICATION DU PHÉNOMÈNE DES MARÉES.

On définit par pesanteur en un point de la surface terrestre, la résultante de toutes les forces agissant en ce point.

D'une manière usuelle on prendra en considération les deux composantes principales : la gravité (attraction due à la masse terrestre) et la force centrifuge. Mais dans la théorie des marées il convient de tenir compte des forces extra-terrestres, à savoir l'attraction de la Lune et du Soleil. Or, ces forces sont variables pour un point donné à cause du mouvement de rotation de la Terre qui fait varier la position relative des astres par rapport au point d'observation et à cause aussi du déplacement de la Terre autour du Soleil et de la Lune autour de la Terre.

Ainsi, le vecteur représentant la force de pesanteur subira des variations de longueur (intensité de la pesanteur = g) et des variations de son orientation par rapport à un repère réputé fixe sur le sol (déviations de la verticale).

Mais on sait que la surface d'équilibre d'une surface liquide est telle qu'aucune action tangentielle ne s'exerce sur elle, c'est-à-dire que cette surface sera constamment perpendiculaire à la direction de la pesanteur. Ainsi, la surface des océans prendra à chaque instant, en vertu des lois de l'équilibre, une forme telle qu'elle soit perpendiculaire à la distribution instantanée des verticales et c'est la variation de direction des verticales

qui est responsable des marées et non pas, comme on le croit parfois, l'intensité de l'attraction exercée directement par la Lune et le Soleil sur les particules liquides (cet effet existe évidemment, mais son amplitude n'est que de quelques centimètres).

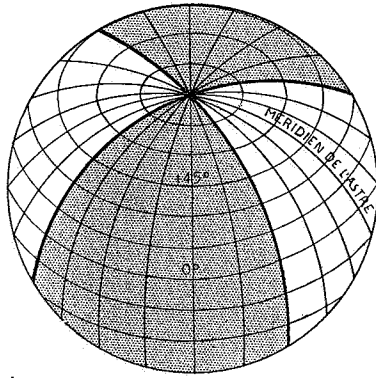
Ce raisonnement constitue ce que l'on appelle la théorie statique des marées. Elle ne permet pas d'expliquer les phénomènes prenant naissance dans les océans pour lesquels il faut recourir à une théorie dynamique : en effet, les molécules d'eau n'ayant pas de lien rigide entre elles dépassent la position d'équilibre et amorcent des oscillations plus ou moins importantes. L'importance de ces oscillations dépend de la forme géométrique du bassin océanique auquel on peut rattacher la région étudiée. Ce phénomène est analogue à celui de la corde de violon ou du tuyau d'orgue qui peuvent produire un son d'une fréquence bien déterminée par leur longueur. De même les dimensions d'un bassin rempli d'eau déterminent une fréquence d'oscillation libre pour l'eau qui y est contenue.

Si cette fréquence est voisine de celle des marées semi-diurnes, celles-ci pourront « par résonance » prendre une grande amplitude (c'est le cas des régions voisines de nos côtes); si par contre la fréquence est voisine de celle des marées diurnes, ce sont celles-ci qui seront favorisées dans le bassin (on rencontre ce cas dans certaines mers du Pacifique). Enfin, si la période propre du bassin est fort différente de celles des ondes de marée, celles-ci resteront très faibles ou inexistantes (cas des lacs, mers intérieures telle que la Méditerranée). Cette théorie a été développée par HARRIS.

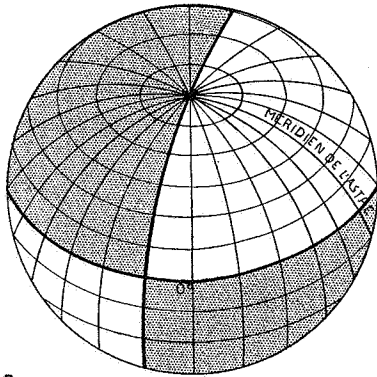
Mais, dans le cas d'un globe solide, les liaisons rigides (nous verrons plus loin que les modules de rigidité sont de l'ordre de celui de l'acier et plus grands) entre les molécules ne permettent pas l'établissement de courants, les particules ne se déplacent que de quelques décimètres et l'équilibre est ainsi rapidement atteint.

D'ailleurs, on démontre que les périodes des ondes de marée sont longues vis-à-vis de la période d'oscillation libre (1 h. 30) d'un globe liquide ayant les dimensions de la Terre; les phénomènes de résonance ne pourront donc prendre naissance.

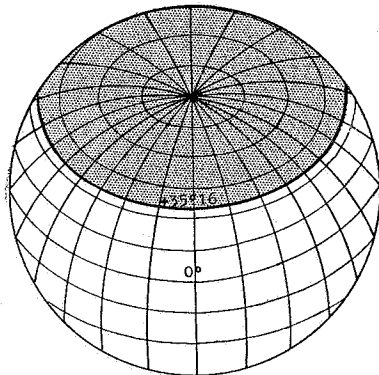
Le potentiel des marées dépend évidemment de la position de l'astre par rapport à la verticale du lieu d'observation. On



A



B



C

FIG. 1.

l'exprime mathématiquement par

$$W_2 = \frac{fm}{2} \frac{a^2}{r^3} (3 \cos^2 z - 1) \quad (1)$$

où f est la constante de gravitation, m la masse de l'astre, celle de la Terre étant prise pour unité, a le rayon de la Terre, r la distance de l'astre à la Terre et z l'angle que fait la direction de l'astre avec la verticale du lieu (distance zénithale).

Mais la distance zénithale d'un astre pour chaque lieu étudié est une quantité peu maniable car il s'agit d'une coordonnée purement locale. Pour utiliser les éphémérides astronomiques il convient de passer aux coordonnées équatoriales de l'astre par la formule

$$\cos z = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos (\theta - \lambda), \quad (2)$$

donnant la distance zénithale de l'astre en fonction de sa déclinaison δ , son angle horaire θ et les coordonnées du lieu (latitude φ , longitude λ). Cette transformation conduit immédiatement à la décomposition du phénomène des marées en trois types d'ondes bien distincts

$$W_2 = \frac{3}{4} fm \frac{a^2}{d^2} \left\{ \cos^2 \varphi \cos^2 \delta \cos 2 (\theta - \lambda) + \sin 2 \varphi \sin 2 \delta \cos (\theta - \lambda) + 3 \left(\sin^2 \varphi - \frac{1}{3} \right) \left(\sin^2 \delta - \frac{1}{3} \right) \right\} \quad (3)$$

Les trois termes contenus dans l'accolade sont des fonctions harmoniques sphériques de surface, leur signification remarquable est mise en évidence par la figure 1 :

A. — La première de ces fonctions n'a comme lignes de nœuds (lignes où la fonction s'annule) que des méridiens : ceux situés à 45° de part et d'autre du méridien dans lequel se trouve l'astre; ces lignes partagent la sphère en quatre secteurs où la fonction est alternativement positive et négative : les régions où W est positif sont celles des marées hautes, les régions négatives sont celles des marées basses. La fonction est appelée *fonction sectorielle*, la période des marées qui y correspondent est semi-diurne et leur amplitude est maximum à l'équateur lorsque la déclinaison de l'astre perturbateur est nulle. Ce sont les marées de 3^{me} espèce de Laplace.

TABLEAU 1. — Termes principaux à courte période du potentiel générateur des marées.

		Coefficient	Valeur moyenne du coefficient	Vitesse par heure
Lunaire semi-diurne	M2	$\frac{1}{2} \left(1 - \frac{5}{2} e^2 \right) \cos^4 \frac{1}{2} i$	0,45426	28998410
Solaire semi-diurne.	S2	$\frac{\tau_1}{\tau} \left(1 - \frac{5}{2} e_1^2 \right) \frac{1}{2} \cos^4 \frac{\omega}{2}$	0,24137	30900000
Lunaire diurne	O	$\left(1 - \frac{5}{2} e^2 \right) \frac{1}{2} \sin i \cos^2 \frac{1}{2}$	0,18856	13994304
	K1	$\left(1 + \frac{3}{2} e^2 \right) \frac{1}{2} \sin i \cos i$	0,18815	15904107 (*)
Grand terme elliptique lunaire ...	N2	$\frac{1}{2} \frac{7}{2} e \cos^4 \frac{1}{2} i$	0,08796	28943973
Solaire diurne	P	$\frac{\tau_1}{\tau} \left(1 - \frac{5}{2} e_1^2 \right) \frac{1}{2} \sin \omega \cos^2 \frac{\omega}{2}$	0,08775	14995893
	K1	$\frac{\tau_1}{\tau} \left(1 + \frac{3}{2} e_1^2 \right) \frac{1}{2} \sin \omega \cos \omega$	0,08407	15904107 (*)
Luni-solaire semi-diurne	K2	$\frac{1}{2} \left(1 + \frac{3}{2} e^2 \right) \frac{1}{2} \sin^2 i$	0,08752	30908214

Il faut tenir compte, en outre, d'un coefficient général pour les termes diurnes : $\frac{3}{2} \frac{1}{m} \left(\frac{a}{c} \right)^3 a g \cos^2 \varphi = \tau \cos^2 \varphi$
 et pour les termes diurnes $\sin 2 \varphi = \tau \sin 2 \varphi$
 } φ : latitude de la station d'observation.

(*) Ces deux termes sont pratiquement impossibles à dissocier par l'analyse harmonique et constituent le terme diurne luni-solaire.

B. — La deuxième fonction a pour ligne des nœuds un méridien (à 90° du méridien de l'astre perturbateur) et un parallèle, l'équateur. C'est une *fonction tessérale*, les régions en lesquelles elle partage la sphère changent de signe avec la déclinaison de l'astre. La période des marées correspondantes est diurne et l'amplitude est maximum à $\pm 45^\circ$ quand la déclinaison de l'astre est maximum, elle est nulle à l'équateur et aux pôles. Ce sont les marées de 2^{me} espèce de Laplace.

C. — La troisième fonction ne dépend que de la latitude, c'est une *fonction zonale*; ses lignes des nœuds sont les parallèles de + et — $35^\circ 16'$. Comme elle n'est fonction en outre què du sinus carré de la déclinaison de l'astre, sa période sera de quatorze jours dans le cas de la Lune et de six mois dans le cas du Soleil. Ce sont les marées de 1^{re} espèce de Laplace. La surface de niveau sera abaissée de 28 cm au pôle et élevée de 14 cm à l'équateur : l'effet de cette marée permanente est d'accroître l'aplatissement constant de la Terre.

Mais ces coordonnées α , δ de la Lune ou du Soleil sont à leur tour des fonctions complexes du temps, et si l'on veut obtenir une formule d'un maniement facile et général il faudra les exprimer en fonction des divers éléments de l'orbite de la Lune (inclinaison i , excentricité e , longitude du nœud ω).

On obtient ainsi pour chaque espèce de marées une série de composantes caractéristiques dont l'amplitude et la phase seront cette fois constantes pour un lieu donné. Les principales de ces composantes sont données dans la table ci-contre.

Déformations des surfaces de niveau dues aux effets luni-solaires.

Nous rappellerons tout d'abord qu'on définit une surface de niveau comme étant en chacun de ses points normale à la direction de la pesanteur, c'est-à-dire à la résultante de la force gravitationnelle due à la masse terrestre et de la force centrifuge due à la rotation de la Terre autour de son axe instantané. On montre qu'une telle surface est équipotentielle et son équation s'écrit :

$$V = C(h) \quad (4)$$

où h est la distance à une surface de niveau choisie comme référence. Helmert a désigné ces surfaces sous le nom de sphéroïdes de niveau (ce ne sont pas des ellipsoïdes mais des surfaces irrégulières différant d'une surface géométrique simple par suite de la répartition hétérogène des densités dans la croûte ter-

restre). Nous appelons « géoïde » le sphéroïde de niveau correspondant à la surface moyenne des océans et son équation est :

$$V_0 = C(0).$$

L'accélération de la pesanteur en un point P s'exprime alors par :

$$g = - \frac{\partial V}{\partial h}, \quad (5)$$

h représentant l'altitude du point P au-dessus du niveau de la mer.

Considérons alors l'effet sur les sphéroïdes de niveau, et en particulier sur le géoïde, d'une perturbation due à l'attraction luni-solaire dont le potentiel serait W_2 (fonction harmonique du 2^{me} ordre).

La surface équipotentielle passant par P est déformée et ζ est l'amplitude de la déformation radiale (hauteur de la marée), le potentiel à la couche $h + \zeta$ est :

$$V + \zeta \frac{\partial V}{\partial h}$$

et l'équation de la surface devient :

$$V + W_2 + \zeta \frac{\partial V}{\partial h} = C(h).$$

Portant dans cette relation les équations (4) et (5), il vient aussitôt :

$$\zeta = \frac{W_2}{g}, \quad (6)$$

c'est la hauteur théorique de la marée observée.

Marées du géoïde.

On en déduit, pour la Lune :

$$\zeta = \frac{W_2}{g} = 26,7 \text{ cm} \left(\cos^2 z - \frac{1}{3} \right), \quad (7)$$

ce qui donne une élévation maximum de 35,6 cm et un abaissement maximum de 17,8 cm, soit une amplitude totale de 53,4 cm, tandis que pour le Soleil l'amplitude est 0,46 fois plus faible. Ainsi, au moment d'une nouvelle ou pleine Lune équinoxiale, les effets lunaire (54 cm) et solaire (25 cm) s'additionnant, on aurait une marée maximum de 79 cm.

Ces résultats s'appliqueraient aux océans si les eaux des mers avaient une densité nulle, si elles étaient dépourvues de viscosité, s'il n'existait pas de barrières continentales ni îles et si la partie solide du globe était une surface de niveau, et en outre si aucune oscillation ne prenait naissance dans la masse liquide.

On peut calculer aussi par la même voie l'amplitude des déviations de la verticale : 0''017 pour la Lune et 0''008 pour le Soleil; la variation de g peut atteindre 0,2 milligals.

§ 2. DÉFINITION DES NOMBRES DE LOVE.

LOVE a introduit, pour caractériser les aspects divers de la marée du globe solide, deux nombres sans dimensions qui portent son nom; SHIDA a montré qu'un troisième nombre était nécessaire pour obtenir une représentation complète du phénomène.

Leur signification est, comme nous allons le montrer, très simple et chaque type de déformation élastique peut être représenté par une combinaison de ces nombres, qui à leur tour sont liés à la répartition des modules de rigidité et des densités dans le globe par des équations différentielles assez complexes qui ont été établies par HERGLOTZ; nous reviendrons plus loin sur cet aspect théorique.

L'idée directrice de la théorie de LOVE est que le potentiel perturbateur pouvant être représenté avec une approximation tout à fait suffisante par la fonction harmonique sphérique du *second ordre*, toutes les perturbations produites par ce potentiel sur la Terre pourront être représentées par la même fonction harmonique affectée d'un coefficient numérique propre à chaque aspect du phénomène : ce coefficient est une combinaison algébrique simple des nombres de LOVE.

Ainsi, le déplacement radial U et la dilatation cubique D , produits en tout point du solide par les forces dérivant du potentiel du second ordre W_2 , s'expriment sous la forme :

$$U = H(r) W_2/g,$$

$$D = f(r) W_2/g,$$

r est la distance du point considéré au centre du globe, les coefficients envisagés dépendent donc seulement de la distance radiale; on peut en effet présumer que sous la couche de compensation isostatique il y a équilibre hydrostatique et répartition symétrique des densités, modules de rigidité et compres-

sibilités autour du centre. De même, le potentiel dû à la variation de densité accompagnant la dilatation cubique et le déplacement superficiel de matière s'exprimera sous la forme :

$$V = K(r) W_2.$$

SHIDA a montré que les composantes du déplacement dans le plan tangent à la surface sont :

suyant le méridien :
$$\frac{L(r)}{gr} \frac{\partial W_2}{\partial \theta},$$

suyant le premier vertical :

$$\frac{L(r)}{gr \cos \theta} \frac{\partial W_2}{\partial \lambda}.$$

Pour la surface de la Terre, où sont faites les observations, on pose alors :

$$H(a) = h$$

$$K(a) = k$$

$$L(a) = l;$$

ce sont les trois nombres de LOVE.

h représente donc le rapport de la hauteur de la marée terrestre à la hauteur de la marée statique océanique correspondante, à la surface.

k représente le rapport du potentiel additionnel engendré par cette déformation au potentiel déformateur.

l représente le rapport entre le déplacement horizontal de la croûte et celui de la marée statique océanique correspondante.

§ 3. RÉDUCTION DE L'AMPLITUDE DES MARÉES OCÉANIQUES A LONGUE PÉRIODE.

Ce phénomène fut le premier moyen d'approche et de mesure des marées terrestres suggéré par KELVIN.

Cette méthode n'a plus qu'une valeur historique car des effets complexes viennent fausser les résultats et il est impossible de les éliminer par le calcul.

D'après les définitions des nombres de LOVE, le potentiel perturbateur total est évidemment $(1 + k) W_2$ et la marée statique océanique aura pour hauteur effective $(1 + k) W_2/g$. Mais la marée observée aux marégraphes est la différence entre

la marée de l'océan et celle de l'écorce hW_2/g à laquelle sont attachés ces marégraphes; l'amplitude observée pour la marée océanique sera donc :

$$\zeta = \frac{W_2}{g} (1 + k) - \frac{hW_2}{g} = (1 + k - h) \frac{W_2}{g} = \gamma \frac{W_2}{g}. \quad (8)$$

La comparaison des observations et de la théorie devrait donc nous permettre de déduire le facteur $(1 + k - h)$, mais cela ne sera pratiquement possible que pour les ondes de marée à longue période qui, par suite de la lenteur des déplacements et la présence des barrières continentales empêchant la formation de courants, sont peu affectées par l'inertie, peu amorties et obéissent ainsi à la théorie statique.

DARWIN analysa en 1881 les enregistrements de 14 ports d'Europe et des Indes répartis sur 33 années d'observations, puis SCHWEYDAR analysa ceux de 43 ports répartis sur tout le globe et couvrant 194 années d'observations.

Leur résultat fut respectivement :

$$\gamma = 0,68 \text{ et } \gamma = 0,62.$$

De très sérieuses objections de caractère théorique peuvent être faites à ce procédé d'évaluation du facteur γ .

En 1925, PROUDMAN suggéra d'essayer de dégager une valeur de γ de l'étude des marées dans des mers étroites ou des grands lacs. GRACE en tenta l'essai pour la Mer Rouge mais ne parvint pas à une détermination significative (le facteur trouvé étant négatif) et la raison peut en être attribuée à la communication de cette mer avec l'Océan Indien.

Par contre, l'étude des marées du lac Baïkal, successivement par STERNECK, GRACE et AKSENTCHEVA, donna un résultat assez satisfaisant : $\gamma = 0,66$ environ.

§ 4. DÉVIATIONS PÉRIODIQUES DE LA VERTICALE PAR RAPPORT A LA GROÛTE.

Les déviations sont affectées par l'addition du potentiel kW_2 , mais aussi par la déformation du sol par rapport auquel elles sont mesurées : les nombres de LOVE permettent encore d'exprimer de manière simple le rapport dans lequel sera modifié l'amplitude de la déviation du pendule.

Il s'agit en fait de mesurer l'angle de la verticale avec la normale à la surface *déformée* : de la force agissant sur le pendule :

$$\frac{1 + k}{g} \frac{\partial W_2}{a \partial \theta},$$

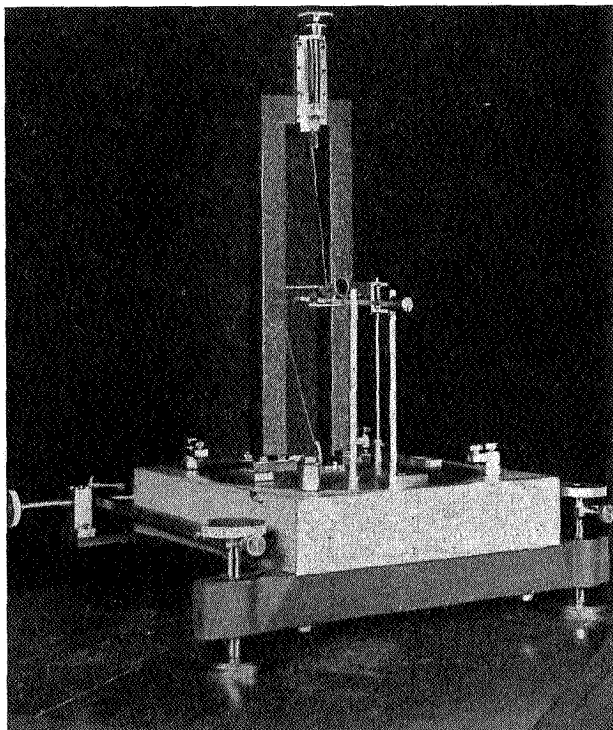


FIG. 2. — Pendule horizontal de Tomaschek.

on devra retrancher cet effet dû à la déformation, de sorte qu'on observera

$$\frac{1 + k - h}{g} \frac{\partial W_2}{a \partial \theta} = \gamma \frac{1}{g} \frac{\partial W_2}{a \partial \theta}, \quad (9)$$

(La déformation de la croûte a le même sens que la force et compense ainsi une partie de l'effet de celle-ci). On retrouve le même coefficient $1 + k - h$ que pour l'amplitude des marées océaniques, ce à quoi on pouvait d'ailleurs s'attendre puisque pratiquement les marées statiques résultent uniquement des déviations de la verticale.

Le rapport de l'amplitude observée, pour les déviations de la verticale, à l'amplitude théorique statique calculée donnera directement le facteur γ .

Les déviations de la verticale sont si minimes (0''02) qu'un dispositif spécial a dû être conçu pour les enregistrer avec une précision suffisante. Si en effet on voulait traduire une variation de 0''02 par un déplacement de 1 cm de l'extrémité d'un pendule ordinaire, la longueur de ce pendule devrait être de 103 km ! Pour accroître considérablement la sensibilité d'un pendule aux petites déviations de la verticale, on a imaginé un mode de suspension nouveau, dont la conception remonte au début du XIX^{me} siècle.

Le bras du pendule AG, d'une longueur moyenne l de 20 cm, est lesté d'un poids p d'une vingtaine de grammes. Ce bras est maintenu par deux fils (de quartz ou de superinvar) de telle sorte qu'il fasse avec l'horizontalé un très petit angle i (de l'ordre de 1').

Ce type de suspension est donc tel que seule la composante $Mg \sin i$ exerce une influence sur le bras du pendule, puisque $Mg \cos i$ lui reste constamment perpendiculaire et que son effet est supporté intégralement par le système de suspension. Par contre, l'angle que fait la composante $Mg \sin i$ avec le bras est variable : c'est l'angle θ . Il faut donc introduire $g \sin i$ au lieu de g dans la formule bien connue donnant la période d'oscillation du pendule. On a donc

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g \sin i}}$$

Or, la sensibilité du pendule est proportionnelle à T^2 , c'est-à-dire à $\coséc i$: l'amplification des variations d'inclinaison est très grande et correspond, tout comme celle de la période d'oscillation, à une amplification fictive de la longueur du bras du pendule par un facteur $\coséc i$.

Un pendule horizontal permet l'étude des déplacements de la verticale suivant la composante perpendiculaire à la direction du bras; si l'on veut restituer la trajectoire complète décrite par le pied de la verticale, il faudra disposer deux pendules horizontaux, de préférence à angle droit, afin d'enregistrer les deux composantes du mouvement (le pendule dirigé suivant Ox permet d'observer la composante suivant Oy et inversement).

L'amplification des mouvements ainsi réalisée doit encore être augmentée optiquement en fixant au bras du pendule un miroir

qui réfléchit un faisceau lumineux sur un tambour entraîné par un dispositif d'horlogerie et portant un papier photographique tandis qu'un autre miroir fixé au bâti de l'appareil réfléchit sur le tambour un autre faisceau lumineux qui servira de repère.

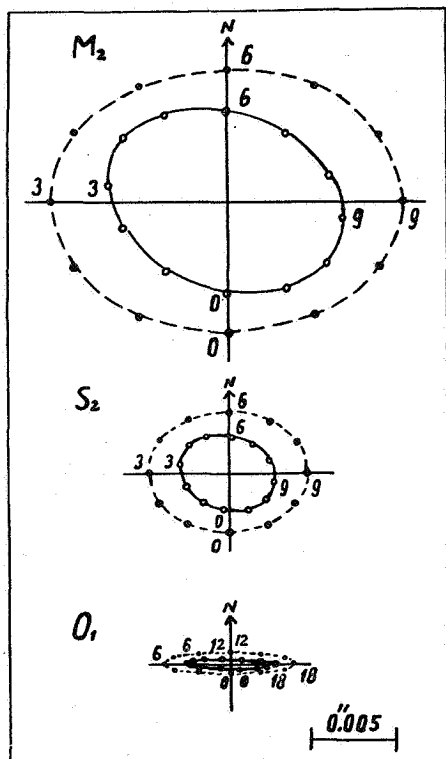


FIG. 3. — Résultats obtenus à Barim par Nishimura.

En 1914, MICHELSON et GALE se sont proposé d'observer le phénomène dans un récipient spécialement construit (de forme géométrique régulière) par des mesures microscopiques puis interférentielles.

Ils ont enfoui à une profondeur de 1 m 80 deux tubes de 150 m de long et de 15 cm de diamètre, à moitié remplis d'eau et orientés suivant le méridien et le premier vertical et ont observé les variations de niveau de l'eau au-dessus d'un miroir immergé sous 1 millimètre d'eau, par un procédé interférentiel.

De tels enregistrements, s'étendant sur des périodes de temps aussi longues que possible, sont analysés suivant les procédés habituels appliqués aux marées océaniques, et l'on en déduit

les amplitudes et phases des diverses composantes (table 1). Ainsi, la figure 3 représente trois de ces composantes obtenues à Barim (Mandchourie). La courbe en trait interrompu est la courbe prévue théoriquement, tandis que la courbe en trait plein est la courbe ainsi déduite de l'observation. L'amplitude est donc réduite dans le rapport $(1 + k - h)$ ainsi que le faisait prévoir la formule (9).

Ainsi, en chaque station on pourra déduire, dans chaque direction (méridien et premier vertical en général), une valeur du coefficient γ et de la phase correspondant à chacune des composantes qui a pu être dégagée de la courbe observée par l'analyse harmonique.

L'examen de la figure 3 révèle immédiatement l'existence d'un déphasage des ondes observées par rapport aux ondes calculées par la théorie statique. Ce phénomène est général pour toutes les stations, mais l'amplitude du déphasage et l'ellipticité de la trajectoire observée varient d'un point à l'autre.

Le premier, nous semble-t-il, HECKER indiqua en 1907 l'origine de ce désaccord en l'attribuant à des « effets indirects » dus à l'influence complexe exercée sur la verticale par les masses d'eau en mouvement dans les mers voisines.

Cette influence présente trois aspects :

- a) l'attraction des masses d'eau sur la verticale;
- b) un fléchissement variable de la croûte sous l'effet de la surcharge d'eau qui lui est imposée (c'est la partie la plus importante de l'influence indirecte, cf. fig. 4);
- c) la variation de potentiel due à cette déformation supplémentaire de la croûte, effet d'ordre inférieur mais de sens contraire aux deux premiers.

C'est T. SHIDA qui a chiffré pour la première fois les effets a et b pour la station de Kamigamo (Kyoto); nous avons reproduit son résultat très frappant à la figure 4.

Deux méthodes de principes essentiellement différents permettent de séparer l'effet direct et l'effet indirect.

La méthode d'évaluation numérique des effets indirects, utilisée par SHIDA et en général par tous les auteurs japonais, comporte trois étapes :

a) *Calcul de l'attraction des eaux.*

La distribution des eaux océaniques varie avec les marées et est figurée sur les cartes cotidales (HARRIS, STERNECK, DIETRICH).

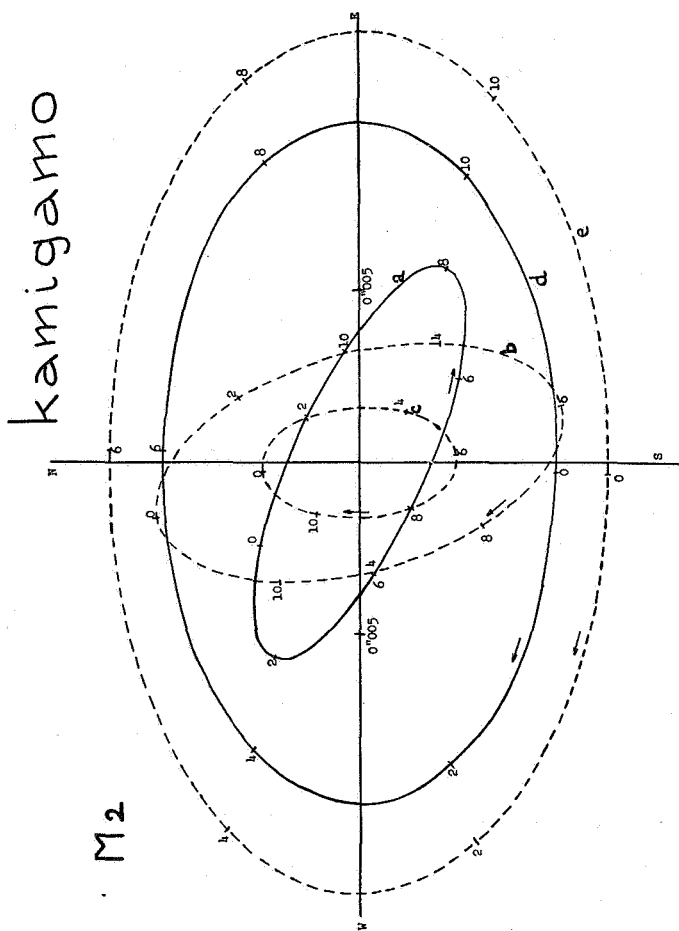


FIG. 4. — Observations de T. Shida.

Courbe a : déviations observées.

Courbe b : effet calculé dû à la flexion de la croûte.

Courbe c : effet calculé dû à l'attraction des eaux.

Courbe d : effet direct = a - (b + c).

Courbe e : déviations calculées par la théorie statique = $dy-1$.

Divisant la surface océanique en petits secteurs de hauteur d'eau uniforme, dont la station occupe le sommet et qui sont limités par des rayons r_1 , r_2 et des azimuts θ_1 , θ_2 (comptés dans le sens des aiguilles d'une montre), on obtient l'attraction qu'ils exercent par des formules classiques de la théorie de l'attraction.

b) *Calcul de la flexion de la croûte due aux charges d'eau.*

Une formule due à J. BOUSSINESQ et donnant la distorsion d'une surface plane élastique sous l'effet d'une surcharge, permet ce calcul. BOUSSINESQ a montré que le déplacement vertical de la croûte était en chaque point proportionnel au potentiel gravitationnel de la charge et fonction des constantes élastiques du milieu (λ , μ constantes de LAMÉ).

c) *Variation de potentiel.*

Cet effet est moindre que les deux autres et agit comme s'il s'agissait d'une masse négative. NISHIMURA, qui paraît être le seul à l'avoir pris en considération dans le cas des marées, admet qu'on peut en première approximation le considérer comme proportionnel à l'attraction. Le facteur de proportionnalité serait d'après lui 0,5.

Ce résultat *expérimental* peut être rapproché d'une recherche théorique plus ancienne due à L. ROSENHEAD. Cet auteur, préoccupé des mouvements des masses d'air mobiles à la surface de la Terre et de leur effet sur les moments d'inertie du globe, tenta en 1929 d'évaluer par la voie *théorique* l'importance de la compensation due à la flexion de la croûte sous le poids de ces masses d'air. Son résultat s'accorde avec celui de NISHIMURA.

L'étude de ces effets indirects conduit à une détermination correcte du module de rigidité du manteau extérieur (de 60 à 1.200 km de profondeur). NISHIMURA, estimant la profondeur des couches affectées par le phénomène à 1.000 km, obtient pour la rigidité locale $\mu = 6,17 \cdot 10^{11}$ dynes, valeur en accord avec celle déjà calculée par T. SHIDA d'après les observations anciennes de KAMIGAMO.

Des objections assez graves ont fréquemment été opposées à cette méthode et à ses applications :

1° la théorie de BOUSSINESQ est relative à la déformation d'une surface plane et n'est donc valable, dans le cas qui nous occupe, que pour une très faible distance étant donné la courbure de la Terre;

2° les roches constituant les couches superficielles n'obéissent pas rigoureusement à la loi de HOOKE sur laquelle est basée la théorie de l'élasticité;

3° les marées sont mal connues en plein océan et le tracé des lignes cotidales y présente bien des incertitudes, ce qui rend l'application de la méthode très incertaine;

4° on n'a pu tenir compte de l'hétérogénéité de la structure géologique de la croûte. Nous reviendrons plus loin sur cet aspect du problème.

La méthode empirique de séparation des deux effets a été introduite par CORKAN et DOODSON. Elle est basée sur une hypothèse fort vraisemblable et présente l'avantage d'une grande simplicité tout en paraissant fort efficace. On remarque que pour de vastes étendues océaniques le rapport des amplitudes de diverses ondes de même type (par exemple des composantes semi-diurnes) reste sensiblement constant; cette constante diffère de celle fournie par la théorie statique et doit être déduite des observations marégraphiques. Ainsi l'on trouve :

$$\frac{A(S_2)}{A(M_2)} = 0,320; \text{ (théorie statique : } 0,465\text{).}$$

L'hypothèse fondamentale de la méthode consiste à admettre que cette circonstance se vérifie dans tous les phénomènes découlant des marées océaniques, donc dans les effets indirects étudiés ici. Nous avons appliqué cette méthode aux enregistrements obtenus par SCHWEYDAR à Freiberg et couvrant 6 années. Nous avons obtenu $\gamma = 0,73$ et en combinant les diverses stations européennes :

$\gamma = 0,725$

valeur qui doit bien être très voisine de la vraie valeur du coefficient γ . ZERBE a obtenu en Amérique 0,742, tandis que l'ensemble des recherches des savants japonais semble indiquer une valeur nettement plus faible, voisine sans doute de 0,68. On peut se demander s'il faut en conclure à l'existence d'une hétérogénéité régionale de la croûte ou plutôt à une élimination incomplète des effets indirects résultant de l'application des formules de BOUSSINESQ et des cartes cotidales.

**§ 5. MESURE DES TENSIONS
ÉLASTIQUES DUES AUX DÉFORMATIONS PROVOQUÉES
PAR LES MARÉES TERRESTRES.**

Les déformations résultant de l'action du potentiel luni-solaire donnent naissance dans la Terre à des tensions élastiques qu'on peut se proposer de mesurer tout au moins à la surface.

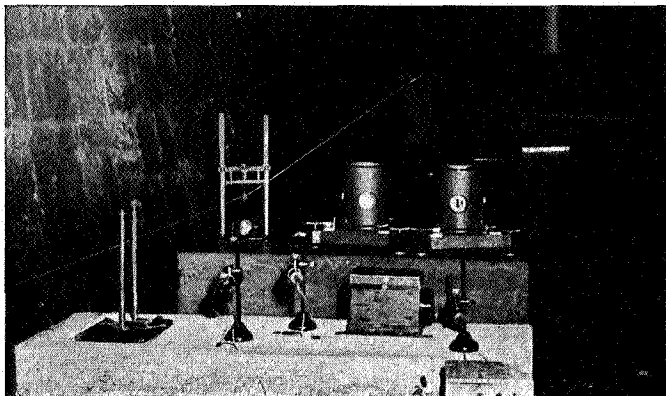


FIG. 5. — Salle d'observation de Makimine (Japon) : extensomètre de Sassa et deux pendules horizontaux de Nishimura.

Dépendant de l'ampleur de la déformation dans le plan tangent à la surface, elles constitueront une nouvelle voie d'approche pour la détermination expérimentale du nombre l .

La mesure de tensions si faibles dans la croûte superficielle n'est pas réalisable, mais le Prof. SASSA de l'Université de Kyoto est parvenu à les mettre en évidence par un procédé très élégant. Son instrument, de conception simple et ingénieuse, est le seul permettant actuellement la mesure directe du nombre l ; jusqu'à présent il a été utilisé exclusivement au Japon. Un fil de superinvar (diamètre de 1,6 mm) est tendu presque à l'horizontale entre deux bases fixes distantes d'environ 25 m et un poids de 350 g est suspendu en son milieu. Les variations de la distance des points d'attache du fil qui résultent uniquement des déformations de l'écorce (les déviations de la verticale ne jouent ici aucun rôle) provoquent des variations de tension du fil qui font osciller verticalement le poids. Ce mouvement « haut

et bas » du poids est converti en une rotation d'un miroir à l'aide d'une suspension du principe bifilaire constituée de deux fils gauches en superinvar de 0,5 mm de diamètre.

La figure 5 montre la disposition d'une partie de l'appareil dans la salle de la station de Makimine (on y distingue également une paire de pendules horizontaux de Nishimura) : dans le fond un des piliers de fixation du fil; au second plan à gauche le dispositif portant la suspension bifilaire sous lequel on distingue aisément le poids et le miroir. Les salles d'observation étant toutes situées à grande profondeur, les variations de température y sont extrêmement faibles (de l'ordre de 0°2 par an).

Les premiers résultats publiés par SASSA, OZAWA et YOSHIKAWA donnent

$$l = 0,05.$$

§ 6. DÉVIATIONS DE LA VERTICALE PAR RAPPORT A L'AXE DU MONDE.

Les déviations de la verticale décelées à l'aide de pendules horizontaux ou de niveaux sont rapportées à *la croûte elle-même* : dans un pendule horizontal les déviations du faisceau lumineux réfléchi par le miroir attaché au bras mobile sont comparées sur le tambour enregistreur à la trace d'un faisceau réfléchi par un miroir fixé au bâti de l'instrument c'est-à-dire à la croûte déformée.

Le cas des instruments astronomiques est tout différent.

Toute variation de la verticale d'un lieu fait varier les coordonnées astronomiques et en particulier la latitude qui est déterminée en rapportant la direction de la verticale matérialisée par deux niveaux d'eau (méthode de TALCOTT) ou par un bain de mercure (tube zénithal, astrolabe) aux directions observées d'une série d'étoiles « fixes » fondamentales.

Ici le mouvement de la verticale n'est pas repéré par rapport à la croûte mais par rapport à la direction dans l'espace de l'axe de rotation de la Terre, dit axe du monde.

Si la Terre était parfaitement rigide il n'y aurait aucune différence entre les résultats des deux méthodes de mesure, mais il est bien clair que dès qu'elle se déforme, le phénomène observé sera différent.

La déviation de la verticale par rapport à l'axe du monde s'exprime :

$$\left. \begin{aligned} \text{dans le méridien par} & \quad (1 + k - l) \frac{1}{ag} \frac{\partial W_2}{\partial \theta}, \\ \text{dans le premier vertical par} & \quad (1 + k - l) \frac{1}{ag \sin \theta} \frac{\partial W_2}{\partial \lambda}. \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

Le facteur intervenant ici n'est donc plus $\gamma = 1 + k - h$, mais

$$\Lambda = 1 + k - l.$$

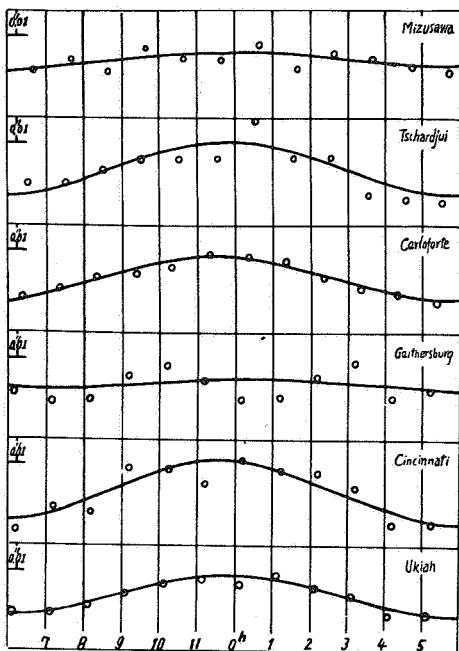


FIG. 6.

Il peut, à première vue, paraître douteux qu'on puisse mettre en évidence un phénomène aussi délicat dans des observations astronomiques méridiennes dont la précision atteint tout au plus le dixième de seconde d'arc.

Malgré cette objection, les observations de très haute précision effectuées à l'aide d'instruments particulièrement équipés pour les déterminations précises de latitude et poursuivies méthodiquement pendant de longues années ont permis de

mettre le phénomène en évidence d'une manière indubitable et de fournir une valeur relativement précise du coefficient Λ qui, tout en n'atteignant visiblement pas le degré de précision des autres procédés d'observation des marées terrestres, n'en est pas moins en bon accord avec ce que les essais de caractère théorique permettent de prévoir.

§ 7. VARIATIONS DE L'INTENSITÉ DE LA PESANTEUR.

Ces variations sont affectées par les déformations élastiques du globe et les variations de potentiel qui en résultent. On calculera encore à l'aide des nombres de LOVE, l'importance de cette modification de l'amplitude calculée par la théorie classique. On trouve pour facteur la combinaison

$$\delta = 1 + h - \frac{3}{2} k, \quad (11)$$

que vont nous permettre de déterminer les observations des variations de g .

La première tentative faite pour déceler ce phénomène est due à W. SCHWEYDAR et date de 1913 : les observations faites à Potsdam avec un gravimètre bifilaire de SCHMIDT donnèrent un résultat ($\delta = 1,2$) que les observations récentes très nombreuses tendent à confirmer. En 1927, R. TOMASCHEK et W. SCHAFFERNICHT ayant réalisé un gravimètre de haute sensibilité, également basé sur le principe bifilaire, firent des mesures à Marburg qui donnèrent au contraire un résultat tout à fait aberrant ($\delta < 1$).

La délicatesse des réglages confine cet instrument dans un laboratoire et ne permet pas son usage sur le terrain.

Le développement de la prospection gravimétrique à des fins industrielles a entraîné de grands progrès dans la sensibilité des gravimètres portatifs : ceux-ci étant destinés à déceler des anomalies inférieures au milligal mettront immanquablement en évidence les phénomènes de marée dont l'amplitude est de 2 dixièmes de milligal.

Les sociétés industrielles intéressées par la prospection gravimétrique ont pris l'initiative de campagnes de détermination du facteur δ dont la connaissance est nécessaire pour corriger leurs levés à partir de tables ou d'abaques donnant l'effet théorique classique.

Aucune évaluation des effets indirects sur la variation de g n'a encore été faite : les écarts entre les valeurs déduites de diverses stations et les phases observées montrent qu'ils ont une influence certaine, bien que proportionnellement plus faible que dans le cas des déviations de la verticale.

Ils se sont manifestés nettement en certaines stations voisines de l'Océan, ainsi que l'ont signalé des prospecteurs dans les environs du Golfe du Mexique. Par contre, BOLLO et GUGENHEIM estiment n'en avoir pas constaté les effets qu'ils présumaient trouver, sous forme d'un déphasage, à La Chapelle Saint-Laurent (France), station très voisine de la côte.

Dans le cas des variations de l'intensité de la pesanteur, les effets indirects comprennent l'attraction due aux masses d'eau océaniques, la variation de distance au centre de la Terre résultant de la flexion de la croûte et la variation de potentiel résultant de cette flexion.

On a conclu de tous les résultats actuellement utilisables, que

$$\delta = 1,18.$$

Observations faites avec des pendules à balancier.

Les premiers, E. BROWN et D. BROUWER se sont proposé de rechercher l'existence des petites variations de g dans la marche diurne de pendules d'observatoire de haute précision. Cette méthode d'observation du phénomène ne peut donner une précision aussi haute que celle du gravimètre que si les observations sont prolongées pendant plusieurs années, mais elle constitue un test remarquable.

BROWN et BROUWER comparaient de manière continue, sur un chronographe Loomis, la marche de trois horloges à balancier Shortt, marche dépendant donc de la valeur de g , à une horloge à quartz basée sur les vibrations élastiques d'un barreau de quartz qui n'ont rien de commun avec les phénomènes de pesanteur. Le phénomène fut nettement mis en évidence.

Le problème a été repris récemment par N. STOYKO avec quatre pendules Leroy et une Shortt comparées à une horloge à diapason Belin à l'Observatoire de Paris. Étudiant les termes du jour sidéral, dont l'amplitude théorique globale est de 0^s0013 , il trouve pour le coefficient $\delta = 1,195$, valeur en excellent accord avec celles conclues des mesures gravimétriques.

§ 8. RÔLE DE LA STRUCTURE GÉOLOGIQUE DE LA CROÛTE DANS LES EFFETS INDIRECTS.

L'étude des effets indirects nous a appris qu'il faut envisager la possibilité de flexions locales de la croûte assez importantes. Si dans le phénomène général de la marée terrestre (effet direct), toute la Terre participe à la déformation et si, par conséquent, les petites inégalités locales de structure n'ont pas d'effet sensible sur l'amplitude de cette déformation, il n'en sera a priori pas de même dans le cas des flexions locales dues aux surcharges océaniques (ou barométriques) où seule la croûte superficielle flottant sur un substratum plus visqueux participe à la déformation.

TOMASCHEK a démontré par une discussion pénétrante de ses observations qu'il faut prendre en considération ici de grands compartiments indépendants, plus ou moins rigidement connectés entre eux. La question revient dans ces conditions à délimiter le plus exactement possible les blocs capables de mouvements propres.

Déviations de la verticale.

Une série d'exemples permettra tout d'abord de se faire une idée de l'importance de tels effets qui se manifestent sous forme de résultats absolument aberrants.

Les îles japonaises présentent une structure exceptionnellement instable : on peut s'y attendre à de telles manifestations.

Nombreuses ont été les recherches effectuées dans ce domaine par les savants japonais, et nous avons mentionné dans les chapitres précédents les résultats concluants auxquels ils étaient parvenus. Mais à côté de ceux-ci, il convient de citer trois stations : Jinsen ($\varphi = 37^{\circ}28'N$, $\lambda = 126^{\circ}38'E$), Misaki ($\varphi = 35^{\circ}10'N$, $\lambda = 139^{\circ}37'E$) et Kawana ($\varphi = 34^{\circ}57'N$, $\lambda = 139^{\circ}8'E$) qui ont donné lieu à des résultats tout à fait aberrants, tandis que l'on remarquait que ces stations étaient situées dans le voisinage de failles. Ainsi faut-il supposer qu'à Jinsen la flexion serait en retard de 2 heures sur la marée haute, tandis que les deux autres stations n'ont pas permis le calcul du facteur γ .

Il est d'ailleurs curieux de remarquer que le calcul des effets indirects pour les stations de Ryozyun (Port Arthur) et Jinsen a été fait par TAKAHASI à partir de la même carte cotidale, la

première station donnant un résultat cohérent et la seconde donnant lieu à l'anomalie que nous venons de signaler.

NISHIMURA a réussi le premier à mettre en évidence le rôle d'une faille active dans les flexions de la croûte superficielle. Son étude se base sur le fait que, tout près de l'océan, l'effet indirect est énorme vis-à-vis de l'effet direct, si bien que la manière dont réagit la croûte sous cet effet est susceptible de nous apporter de précieuses informations concernant la structure des couches superficielles.

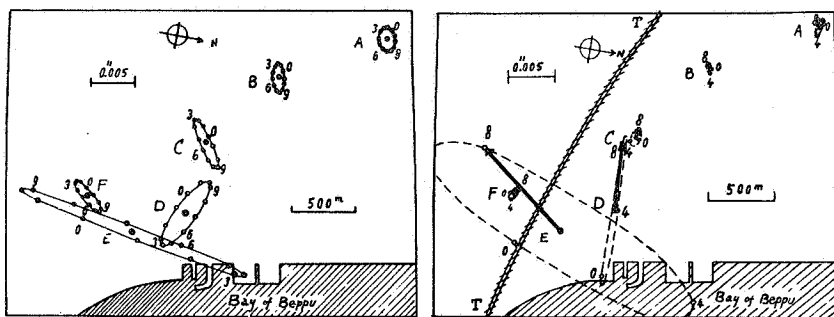


FIG. 7.

A

déviations observées à Beppu.

B

les mêmes courbes débarrassées de l'effet direct et des effets indirects calculables (TT : faille).

NISHIMURA plaça donc six couples d'instruments le long de la faille active de Beppu ($\varphi = 33^{\circ}16'N$, $\lambda = 131^{\circ}30'E$, Kiu Siou) échelonnés de 400 à 1.800 m à partir du rivage. La figure 7 montre, d'une part, l'effet observé aux six points et, d'autre part, le résidu après élimination des effets directs et indirects, ces derniers calculés comme il a été dit plus haut. Les points D et E montrent de très curieuses anomalies. La région située au Sud de la faille (TT) est montagneuse et constituée de roches volcaniques anciennes (point F), tandis que la région Nord est une plaine alluvionnaire (points ABCD). On a détecté un mouvement de subsidence important de la plaine alluvionnaire qui continue encore actuellement d'après les résultats des nivellements de précision.

NISHIMURA estime que, dans ce phénomène, la faille se comporte comme une frontière du plan élastique, si bien que certains

points voisins à la fois de la faille et de la mer fléchissent *vers la faille plutôt que dans la direction de la baie*, comme le montrent sur la figure 7 les flèches qui indiquent l'instant où se produit la marée haute dans la baie de Beppu (le centre de gravité du bloc se trouverait au Nord de la station et de la masse d'eau en surcharge, la faille constituant la limite de ce bloc).

Étudiant également la relation avec la structure géologique, R. TOMASCHEK fait remarquer que pour les quatre stations allemandes de Marburg, Pillnitz, Beuthen et Berchtesgaden, doit intervenir une influence supplémentaire des Alpes sous forme d'une prédominance de la flexion dans le sens NS.

C'est par cet effet que le prof. TOMASCHEK explique l'anomalie présentée par la composante S2 dans le sens NS à Freiberg, attribuant les flexions anormales aux passages de cyclones et d'anticyclones qui peuvent avoir une influence parfois sensible.

On rappellera encore ici le désaccord entre les valeurs de γ déduites des observations effectuées en Europe ou en Amérique ($\gamma = 0,72$) avec celles déduites des observations japonaises ($\gamma = 0,66$), avec cette réserve que la méthode de séparation utilisée n'a pas été la même. Toutefois il ne serait pas étonnant qu'on soit là en présence d'un effet tectonique non éliminé.

Variations de l'intensité de la pesanteur.

L'effet indirect dû aux marées océaniques paraît généralement beaucoup plus faible dans l'accélération de la pesanteur que dans la direction de la verticale.

Un objectif essentiel des campagnes entreprises à l'aide des gravimètres est précisément de fixer le rôle des conditions locales, mais, malgré les efforts déployés, on n'est encore parvenu à aucune conclusion définitive. Quelques faits méritent cependant d'être signalés. BOLLO et GOUGENHEIM ont remarqué que les observations effectuées dans la partie centrale du Bassin Parisien, sur une grande épaisseur de terrains sédimentaires, conduisent à une valeur de δ (1,15) inférieure à celle conclue des observations effectuées sur sol granitique (1,30).

R. TOMASCHEK lie les effets régionaux à l'idée de mouvements de *blocs tectoniques*. Parlant des observations effectuées à Peebles et Kiklington, il s'exprime comme suit : *Le bloc tectonique auquel ces stations appartiennent est la structure Calédonienne, comprenant les montagnes du Pays de Galles et la chaîne Pennine. Kiklington est située à l'Est tandis que Peebles se trouve au Nord*

de la chaîne Pennine. Les observations faites à Winsford à l'aide des pendules horizontaux montrent, comme les observations de Gnass dans les Alpes, que cette structure tectonique agit comme une sorte de longue barre rigide, qui fléchit plus aisément autour d'un axe parallèle à sa longueur qu'autour d'un axe qui lui est perpendiculaire. Peebles est situé sur l'axe longitudinal tandis que Kirklington se trouve sur un axe qui est perpendiculaire à l'arc Pays de Galles — chaîne Pennine. Nous avons pour cela à nous attendre à une réponse différente vis-à-vis de l'effet de surcharge des marées océaniques en ce sens que Kirklington serait plus influencé que Peebles.

La valeur de δ plus forte à Kirklington indique que le mouvement s'effectue dans le sens opposé à la surcharge provenant de la mer d'Irlande (comme l'a observé NISHIMURA, à Beppu), c'est-à-dire que l'axe de ce mouvement coïncide pratiquement avec la région de plus grande épaisseur verticale des montagnes.

En relation avec les anomalies déjà signalées en bordure des Alpes il convient de rappeler la valeur très anormale (0,57) trouvée pour δ à Berchtesgaden.

Effets atmosphériques.

On imagine aisément que les masses atmosphériques en mouvement peuvent affecter la direction de la verticale et l'intensité de la pesanteur aussi bien que les masses océaniques mobiles. Toutefois on peut s'attendre à ce que l'amplitude de ces effets soit beaucoup plus faible. Ainsi il ne semble pas que la marée atmosphérique puisse donner un effet actuellement mesurable et les influences atmosphériques détectées seront soit de période diurne ou semi-diurne solaire, soit accidentelles et dues à une situation météorologique exceptionnelle. Les premières constatations précises paraissent avoir été faites par H. LETTAU. Mais déjà en 1882 cet effet était soupçonné et G. H. DARWIN pouvait écrire « *Il n'apparaît pas absolument chimérique que, dans quelques temps futurs, quand à la fois les observations de marée et du baromètre auront atteint une grande précision, une estimation pourrait être faite de la valeur du module de rigidité des 500 miles supérieurs de la masse de la Terre* ». (Sc. Papers I, p. 448.)

En supposant la croûte superficielle d'une rigidité un peu supérieure à celle du verre, cet auteur avait calculé que pour une variation de pression de 50 mm de mercure, la surface de la lithosphère pourrait s'incliner de 0''012.

Une récente publication du prof. TOMASCHEK soulève à nouveau ce problème. Cet auteur a relevé une perturbation dans les enregistrements des pendules horizontaux de Winsford, perturbation qui est en relation directe avec le passage d'une forte perturbation atmosphérique sur les îles britanniques (front chaud suivi immédiatement d'un front froid et d'une zone de basses pressions). L'inclinaison calculée le plus soigneusement possible à partir des formules de DARWIN ne rend pas compte du phénomène observé qui est bien plus ample et de sens opposé à cette petite correction.

Ce phénomène à première vue paradoxal, qu'à Winsford l'inclinaison de la surface s'opère *vers le centre de basses pressions*, ne peut trouver son explication que dans l'existence d'un effet de type tout différent et que TOMASCHEK compare avec celui mis en évidence par les observations faites au gravimètre. Il s'agirait ici encore d'un mouvement de compartiments individuels sous l'influence des masses mobiles (air ou eau). L'auteur envisage des blocs d'un diamètre de l'ordre de 1.000 km et donne l'explication du phénomène observé à Winsford (53°N) en admettant que cette station se trouverait, ainsi que le centre de basses pressions observé par 58°N, au Sud du centre de gravité du bloc si bien que cette partie Sud se soulève avec Winsford.

Cette interprétation s'accorde avec la structure géologique calédonienne de la Norvège vers les îles britanniques, autour d'un axe parallèle aux monts calédoniens et parallèle aux grandes failles des Highlands écossais.

On a vu qu'une direction privilégiée apparaît également dans les Alpes. Nous rappellerons à cet égard la conclusion analogue à laquelle est parvenu le P. TEDDE en étudiant la fréquence des microséismes à Gênes, laquelle est maximum pour une direction privilégiée du vent, qui correspond précisément à celle trouvée de l'autre côté des Alpes dans les observations allemandes de marées : la direction NS.

On trouvera encore une confirmation indépendante de l'existence de ces phénomènes dans la découverte par KAWASAKI d'un effet systématique du vent dans les observations de latitude de haute précision (stations de Carloforte, Mizusawa, Greenwich), effet maximum pour une direction privilégiée du vent et ne dépendant pratiquement pas de la force de ce dernier. A Greenwich, l'effet est maximum pour des vents de SW et son amplitude est de 0''1.

On voit toute l'importance de ce problème des mouvements de grands « blocs tectoniques » pour l'Astronomie de position, en particulier les phénomènes de variation des latitudes : on peut soupçonner à cet égard que les écarts parfois constatés ne doivent pas être attribués à des imperfections instrumentales (notamment des niveaux) mais bien à des phénomènes réels du genre de ceux mis en évidence par le prof. TOMASCHEK.

§ 9. CONCLUSIONS A TIRER DE L'ENSEMBLE DES OBSERVATIONS.

La description des méthodes d'observation des marées terrestres et de leur discussion montre combien il est difficile de déterminer avec précision la valeur numérique des coefficients qui affectent les amplitudes des diverses manifestations des déformations dues aux marées terrestres.

L'importance de l'étude des effets indirects, qui sont responsables de cette imprécision, vient tout récemment d'être mise en évidence. Mais si les premiers résultats obtenus par E. NISHIMURA et R. TOMASCHEK présentent un intérêt considérable pour l'étude des structures locales de la croûte, on n'a pas encore trouvé le moyen de calculer rigoureusement ces effets.

Ces restrictions étant faites, on peut résumer comme suit les résultats des mesures relatives aux marées terrestres pour ce qui concerne la modification de l'amplitude théorique des phénomènes, effet résultant de l'élasticité de la Terre :

$\gamma = 1 + k - h = 0,725$	(pendules horizontaux, niveaux)	} (12)
$\delta = 1 + h - \frac{3}{2}k = 1,18$	(gravimètres, garde-temps)	
$\Lambda = 1 + k - l = 1,15?$	(lunettes zénithales)	
$l = 0,05$	(extensomètre)	

Les deux premières relations, qui sont les mieux établies, donnent immédiatement :

$$k = 0,190 , \quad h = 0,465 ,$$

et si l'on admet la valeur de l mesurée à l'extensomètre, on obtient :

$$\Lambda = 1 + k - l = 1,14 \quad ;$$

les quatre procédés de mesure des marées terrestres donnent donc des résultats cohérents.

Mais il conviendra, avant de tirer toute conclusion, de vérifier s'ils sont compatibles avec les résultats d'observations relatives à d'autres phénomènes liés directement aux propriétés élastiques du globe : la période du mouvement du pôle, qui fournit une détermination indépendante du nombre k , et les vitesses de propagation des ondes sismiques.

En ce qui concerne le déphasage subi par le phénomène observé et qui serait dû à la *viscosité de la Terre*, nous sommes malheureusement beaucoup moins bien renseignés, et l'on peut seulement dire qu'aussi bien en ce qui concerne les déviations de la verticale que les variations de l'intensité de la pesanteur le retard de phase est très faible, certainement inférieur à 1° .

Ce résultat pourra être rapproché des phénomènes attribuables à l'état visqueux du Globe : relèvement du continent finno-scandinave, accélération séculaire de la Lune, amortissement éventuel du mouvement du pôle, déphasage éventuel de la nutation luni-solaire.

Nous envisagerons successivement le problème de l'élasticité de la Terre et le problème de sa viscosité.

§ 10. ÉLASTICITÉ DE LA TERRE.

La théorie de l'élasticité de la Terre repose évidemment sur la théorie classique de l'élasticité qui est elle-même basée sur la « loi de Hooke ».

D'une manière simplifiée, nous l'énoncerons en disant que l'on admet que la composante tangentielle X de la tension est proportionnelle au glissement.

KELVIN a étudié les oscillations d'une sphère de matière homogène isotrope parfaitement élastique (loi de HOOKE) et incompressible ($\lambda = \infty$) soumise à l'influence d'un potentiel perturbateur extérieur.

Il a démontré qu'avec ces hypothèses le rapport de la marée de l'écorce à la marée de l'océan ζ sera :

$$h = \frac{5}{2} \left(1 + \frac{19 \mu}{2 g \rho a} \right)^{-1} \quad (13)$$

(μ : module de rigidité, ρ : densité, a : rayon).

et si ρ est constant :

$$k = \frac{3}{5} h. \tag{14}$$

On aurait de même

$$l = \frac{3}{10} h$$

Les relations (14) permettent d'écrire les coefficients γ , δ , Λ , en fonction d'un seul paramètre, h par exemple :

$$\gamma = 1 - 0,4 h,$$

$$\delta = 1 + 0,1 h,$$

$$\Lambda = 1 + 0,3 h,$$

et en remplaçant h par μ à l'aide de la formule de KELVIN (13), on obtiendra des relations du second degré :

$$\gamma \mu + G \gamma - \mu = 0,$$

$$\delta \mu + G \delta - \mu = \frac{5}{4} G, \quad \left(G = \frac{2g \rho a}{19} \right)$$

$$\Lambda \mu + G \Lambda - \mu = \frac{7}{4} G.$$

qui sont représentées par les hyperboles de la figure 8.

Cette figure 8 montre que les valeurs numériques conclues des observations sont incompatibles avec les formules de KELVIN et qu'il est impossible de se faire par ces formules une idée exacte de la rigidité d'ensemble de la Terre.

Le défaut provient évidemment de ce que l'approximation consistant à supposer la Terre homogène est beaucoup trop grossière au regard de la précision des mesures.

Théorie de Herglotz.

Les hypothèses faites ici sont les suivantes :

1. On admet que la Terre est constituée de matière parfaitement élastique, c'est-à-dire vérifiant la loi de HOOKE (frottement interne nul).

2. La densité et le module de rigidité ne sont fonction que de la distance r au centre de masse (symétrie sphérique).

3. Le Globe est incompressible ($\lambda = \infty$).

4. L'état d'équilibre hydrostatique est réalisé à l'instant initial.

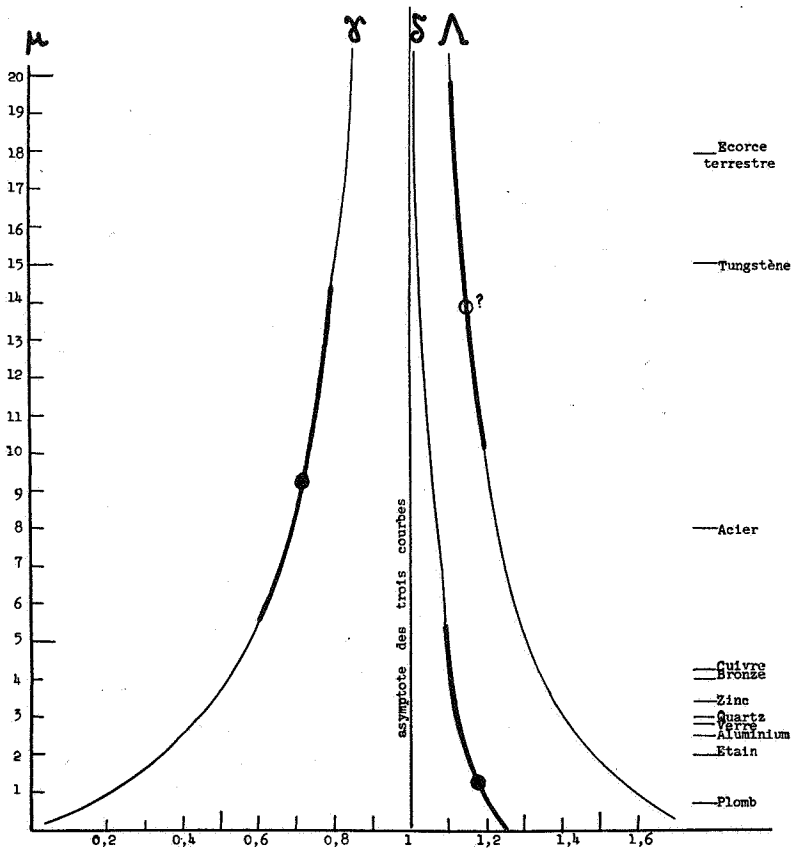


FIG. 8.

5. Les forces extérieures sont développables en séries de fonctions harmoniques sphériques.

6. Le module de rigidité est supposé très élevé et on néglige les effets d'inertie (théorie statique).

Se limitant au cas d'une densité fonction de la distance r (avec loi de ROCHE ou constitution de WIECHERT), HERGLOTZ n'a pas traité le cas d'un module de rigidité variable avec la distance au centre et ces développements ont été introduits par W. SCHWEYDAR et A. PREY.

HERGLOTZ est parvenu ainsi à écrire une équation différen-

tielle du sixième ordre en h et où interviennent les répartitions internes de la densité et des constantes élastiques de LAMÉ λ , μ .

Lois de répartition de μ et ρ continues.

Les résultats obtenus en introduisant dans l'équation d'HERGLOTZ des fonctions continues pour représenter la répartition des densité et module de rigidité dans la Terre n'ont qu'un intérêt didactique car la sismologie a démontré la présence de plusieurs surfaces de discontinuité dont la plus importante est celle qui sépare la coque du noyau à 2.900 km de profondeur.

La forme adoptée pour ces fonctions continues est toujours celle de ROCHE. La loi de ROCHE est une loi mathématique « idéale » qui permettrait l'intégration de l'équation différentielle de CLAIRAUT. Du point de vue géophysique, elle n'a par contre aucun sens. Sa forme est la suivante :

$$\rho = \rho_0 (1 - \beta r_1^2).$$

Pour la répartition des modules de rigidité, PREY a adopté une forme analogue par simple analogie :

$$\mu = \mu_0 (1 - \eta r_1^2)$$

et a traité 26 cas correspondant à diverses valeurs données aux constantes ρ_0 , β et μ_0 , η .

La forme qui donnerait la meilleure représentation des phénomènes serait :

$$\mu = 16 \cdot 10^{11} (1 - 0,83 r_1^2) \text{ cgs.}$$

pour laquelle :

$$h = 0,54 \quad k = 0,28 \quad \gamma = 0,74 \quad \delta = 1,12 \quad k/h = 0,518.$$

Un très remarquable travail a été accompli par H. TAKEUCHI qui, développant les équations d'HERGLOTZ en tenant compte de la compressibilité de la Terre, est parvenu à en faire l'intégration numérique pour différents modèles répondant aux caractéristiques suivantes :

Modèle 1 : deuxième loi de densités de BULLEN (publiée en 1940), compressibilité et rigidité déduites des vitesses des ondes sismiques d'après GUTENBERG, RICHTER et WADATI. Rigidité nulle dans le noyau.

Modèle 2 : première loi de densités de BULLEN (1936), compressibilité et rigidité déduites des vitesses des ondes sismiques d'après JEFFREYS pour la partie de 0 à 500 km, avec discontinuité à 500 km puis vitesses de GUTENBERG et WADATI. Rigidité nulle dans le noyau.

Modèles 3, 4, 5 et 6 : même constitution pour la coque que le modèle 2, mais dans le noyau (de 2.900 km au centre) :

	$\lambda = 11 \cdot 10^{12}$
modèle 3	$\mu = 10^7$
modèle 4	$\mu = 10^9$
modèle 5	$\mu = 10^{11}$
modèle 6	$\mu = 10^{13}$ c.g.s.

Les résultats numériques sont les suivants :

Modèle	1	2	3	4	5	6
k	0,290	0,281	0,275	0,275	0,243	0,055
h	0,587	0,606	0,601	0,600	0,530	0,109
k/h	0,494	0,464	0,457	0,458	0,458	0,504
l	0,068	0,082	0,081	0,081	0,083	0,092
γ	0,703	0,675	0,674	0,675	0,713	0,946
δ	1,152	1,188	1,189	1,188	1,167	1,127
Λ	1,22	1,20	1,19	1,19	1,16	0,96
μ_N	0	0	10^7	10^9	10^{11}	10^{13}

TAKEUCHI constate que les résultats ne varient guère pour des rigidités du noyau variant de 0 à 10^9 . Les résultats que nous avons conclus des observations les plus récentes indiquent que la meilleure valeur pourrait être comprise entre 10^9 et 10^{11} . Mais cette table montre surtout, à notre sens, que les observations de marées, perturbées par les effets indirects et le mouvement du pôle, dont la période apparaît comme variable, ne sont pas connus avec assez de précision pour permettre d'en déduire à présent des informations plus précises sur la constitution interne de la Terre.

Avec l'important travail de H. TAKEUCHI, la théorie paraît plus avancée que les mesures et de nouveaux développements de celles-ci sont au plus haut point souhaitables.

Mais une objection sérieuse a été faite à tous les développements basés sur l'hypothèse d'un noyau fluide. On a en effet négligé l'inertie du fluide dans tous les développements théoriques, postulant que les rigidités doivent être très élevées : il est donc illicite de poser ensuite la rigidité nulle pour le noyau !

JEFFREYS, qui a développé cet argument, est parvenu à des conclusions très importantes. On sait depuis POINCARÉ et HOUGH que si le noyau était fluide et la coque absolument rigide, la période d'EULER du mouvement du pôle ne serait pas allongée mais raccourcie (à environ 270 jours); JEFFREYS a montré que l'élasticité de la coque diminuerait les mouvements du noyau et qu'on pourrait rétablir l'accord entre les données du mouvement du pôle, des marées et de la sismologie en adoptant pour la coque un module de rigidité de $19 \cdot 10^{11}$ dynes/cm². Mais ici encore surgit une nouvelle difficulté : la fluidité du noyau a une influence sur la nutation luni-solaire : l'amplitude théorique de la nutation, calculée par la mécanique classique, est de 9''2272, tandis que les valeurs déduites des observations sont systématiquement plus faibles, leur moyenne étant de 9''2109. La fluidité du noyau a pour effet de diminuer la valeur théorique mais dans des proportions trop fortes, si bien qu'elle devient cette fois trop faible !

La question en est là et l'on voit qu'elle est loin d'être résolue de manière satisfaisante : un grand nombre de phénomènes entrent en jeu et pour chacun d'eux l'effet étudié est à l'extrême limite de la précision actuelle des instruments de mesure. Un grand obstacle est constitué par la constitution mystérieuse du noyau terrestre et les récentes découvertes de BULLEN sur la graine sont à cet égard de la plus haute importance.

D'autre part, le problème du mouvement du pôle (en particulier ses variations de période) n'est pas résolu de manière convaincante. L'état de la matière n'est d'ailleurs certainement pas parfaitement élastique et il faudrait tenir compte d'une certaine viscosité, c'est-à-dire de frottements internes. Avant d'aborder ce dernier chapitre, nous ferons encore une remarque sur une relation liant les nombres de LOVE.

Remarque sur la relation liant les nombres h et k :

KELVIN avait obtenu une relation simple entre les deux nombres de LOVE, h et k :

$$k = \frac{3}{5} h = 0,6 h.$$

Cette relation n'est évidemment pas vérifiée puisqu'elle n'est valable que pour un globe parfaitement homogène. Nous avons recherché nous-même si, en se libérant de cette hypothèse, il est possible d'obtenir une relation nouvelle, qui serait évidemment en meilleur accord avec les résultats des observations. Nous y sommes parvenu en utilisant la répartition des densités de BULLEN et en procédant par intégration graphique, tout en conservant l'hypothèse que les déformations élastiques sont homothétiques par rapport au centre du Globe. Nous avons obtenu ainsi :

$$k = 0,504 h.$$

Reprenant cet argument, G. JOBERT a montré que si l'on s'affranchit de l'hypothèse d'homothétie des déformations, on ne peut plus déterminer le rapport k/h mais *la valeur 0,504 constitue une limite supérieure du rapport*. Cette condition peut constituer un critère intéressant. Seule la théorie de TAKEUCHI y satisfait.

§ 11. VISCOSITÉ DE LA TERRE.

Les derniers développements de la théorie, et principalement ceux dus à H. TAKEUCHI, montrent que l'identification de la Terre à un modèle idéal obéissant à la loi de HOOKE donne des résultats satisfaisants au regard de la précision actuelle des observations. Les désaccords entre les phénomènes réels et les déductions basées sur l'adoption de ce « modèle » n'apparaîtront que lorsque la précision des méthodes de mesure sera accrue mais surtout lorsque la connaissance des effets indirects sera meilleure.

Toutefois, comme nous savons très bien que les substances constituant la Terre n'obéissent certainement que de façon imparfaite à cette loi mathématique idéale, il est dès maintenant légitime de se demander comment se manifesteraient dans les phénomènes que nous observons l'existence de frottements internes dus à la viscosité de la matière.

Nous n'aborderons pas ici ce problème et renvoyons le lecteur à notre ouvrage déjà cité [1]. Nous signalerons simplement que le coefficient de viscosité ne peut être déterminé qu'à partir de phénomènes à très longue période, c'est-à-dire à l'échelle géologique, car pour les phénomènes à courte période la Terre se comporte comme un corps parfaitement élastique. C'est le phénomène du relèvement finno-scandinave qui a donné

jusqu'ici la meilleure détermination du coefficient de viscosité : $\nu = 3.10^{22}$ poises (à titre de comparaison, le plomb a un coefficient de viscosité égal à 10^{16} poises).

Ce résultat implique, si l'on admet la théorie de l'élastico-viscosité de MAWXELL-BUTCHER (à défaut d'autre théorie), un temps de relaxation de 800 ans, ce qui signifie que le déphasage des marées terrestres doit être actuellement inobservable (inférieur à 1'') et que l'amortissement du mouvement du pôle est également inobservable.

§ 12. MARÉES DANS LES PUIITS ET LES MINES.

On observe fréquemment des phénomènes de marées dans des puits ou des mines inondées et il s'agit là, sans conteste, d'une nouvelle manifestation de l'action du potentiel luni-solaire.

Mais il est absolument exclu que les marées parfois assez importantes de nappes d'eau d'aussi faible étendue soient attribuables à l'action directe du potentiel luni-solaire : elles n'en sont que des manifestations dérivées.

Il convient d'en analyser avec prudence les caractéristiques car elles peuvent être dues à des causes diverses.

Ainsi, en ce qui concerne les puits très voisins de la côte, peut-on soupçonner l'existence d'une communication avec la mer ou d'une porosité des couches les séparant de l'océan : leurs marées sont en général peu déphasées par rapport à celles de l'océan.

Mais les variations de niveau de ces puits côtiers peuvent être également dues à l'effet de compression de la poche d'eau, effet « indirect » provenant des surcharges variables d'eau sur la côte, par suite des marées océaniques (par exemple au puits de Longport étudié par P. SCHUREMAN). Ces phénomènes sont très fréquents.

Le cas le plus intéressant est celui des puits éloignés de tout océan et par conséquent affranchis aussi bien de cette nouvelle manifestation de l'effet indirect que de tout effet de communication. Ces puits, dont plusieurs exemples sont cités ci-dessous, subissent des marées qui sont systématiquement en *opposition* de phase avec celles que l'on peut calculer par la théorie statique, pour leur position géographique.

W. D. LAMBERT a montré qu'il devait bien en être ainsi car la marée haute terrestre provoque une dilatation de l'écorce et

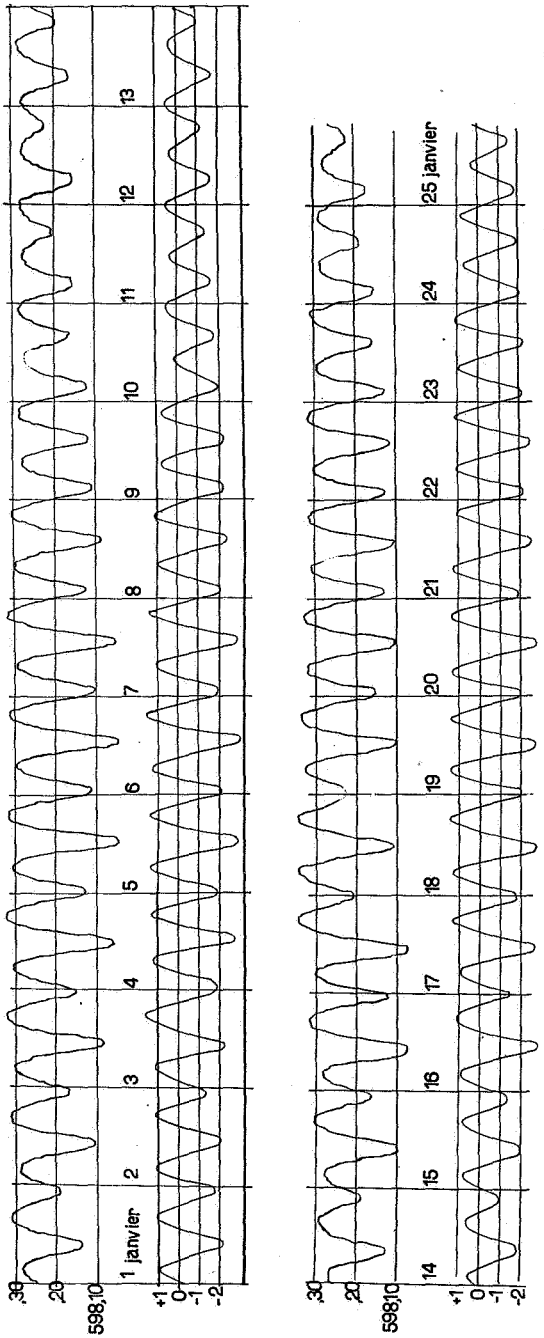


FIG. 9. — Variations de débit de la source d'eau chaude de Kiabukwa (Congo belge), du 1^{er} au 25 janvier 1954.
 Au-dessus : courbe enregistrée; au-dessous : courbe calculée (échelle arbitraire).

par conséquent une augmentation de volume du puits contenant la masse d'eau, ce qui en fait baisser le niveau tandis que la marée basse terrestre conduit à une compression, donc à une diminution de volume et par suite à une hausse du niveau d'eau.

Il n'est malheureusement pas possible de tirer une conclusion théorique de ces phénomènes étant donné que nous sommes dans l'ignorance complète de la forme du « récipient » et que d'ailleurs fût-elle connue que sa forme certainement irrégulière en rendrait impossible la théorie.

PEKERIS a confirmé mathématiquement le raisonnement de LAMBERT et a proposé la construction d'un « dilatomètre », récipient sphérique dont la théorie serait possible. Il semble bien toutefois que rien n'a été tenté en ce sens sur le plan pratique.

Les exemples connus de ce type de marées en opposition de phase sont, dans l'ordre chronologique de leur découverte :

Duchov (Bohème) ($\varphi = 50^{\circ}37'N$, $\lambda = 13^{\circ}44'E$) mines inondées en 1879, distance à l'océan : 300 km.

Tarka Bridge (Cradock district, Afrique du Sud) ($\varphi = 32^{\circ}10'S$, $\lambda = 25^{\circ}37'E$) 1913, distance à l'océan : 100 km.

Carlsbad (New Mexico, U.S.A.) ($\varphi = 32^{\circ}18'N$, $\lambda = 104^{\circ}0'W$) distance à l'océan : 500 km.

Iowa City (Iowa, U.S.A.) ($\varphi = 41^{\circ}30'N$, $\lambda = 91^{\circ}34'W$) distance à l'océan : 500 km.

Conchas Dam (New Mexico, U.S.A.) ($\varphi = 35^{\circ}24'N$, $\lambda = 104^{\circ}11'W$) 1939, distance à l'océan :

Tooele County (Utah, U.S.A.) ($\varphi = 40^{\circ}36'N$, $\lambda = 112^{\circ}21'W$) 1941, distance à l'océan : 1.000 km.

Pecos (Texas, U.S.A.) ($\varphi = 31^{\circ}0'N$, $\lambda = 104^{\circ}W$) 1951, distance à l'océan : 700 km.

Kiabukwa (Congo Belge) ($\varphi = 7^{\circ}47'S$, $\lambda = 27^{\circ}13'E$) 1953, distance à l'océan : 1.500 km.

Est Tennessee (U.S.A.). Plusieurs sources présentant les mêmes caractéristiques viennent d'être signalées par R. M. RICHARDSON (Trans. Amer. Geoph. Union, program 36^e Meeting, May 2-4, 1955, p. 44).

La figure 9 illustre le cas de Kiabukwa : il s'agit là d'une source d'eau chaude (91° C) dont les variations de débit ont été mesurées sous les auspices de l'Institut pour la Recherche

Scientifique en Afrique Centrale (I.R.S.A.C.) par M. ROLLET, tandis que la courbe des dilatations théoriques était calculée indépendamment par nous-même. Pour confronter les deux courbes sur la figure 9, on n'a pas tenu compte des variations de la pression atmosphérique dont l'influence apparaît bien secondaire.

Nous avons procédé à une analyse harmonique suivant la méthode de DARWIN et portant sur trois intervalles indépendants de mesures : décembre 1953, janvier 1954, février 1954. Nous avons obtenu pour les diverses ondes de la table I, les amplitudes suivantes, exprimées en centimètres.

	I	II	III	Moyenne
Ondes semi-diurnes				
M_2	14,77	14,75	14,22	14,58
S_2	6,99	6,91	7,35	7,08
K_2	1,67	1,65	1,77	1,70
N_2	—	2,63	2,80	2,72
Ondes diurnes				
P	0,90	1,03	1,09	1,01
K_1	2,68	3,10	3,26	3,01
O	2,35	2,80	1,95	2,37

Les phases de ces ondes sont :

	I	II	III	Moyenne
M_2	177°7'	180°26'	187°05'	181°33' } 180°0'
S_2-K_2	186°49'	173°15'	175°15'	
N_2	—	198°03'	184°13'	191°08'
P- K_1	322°0'	313°28'	314°57'	316°48'
O	335°10'	347°48'	348°15'	343°44'

Rappelons ici que la méthode de DARWIN postule l'identité de phase pour les ondes S_2 et K_2 d'une part et P et K_1 d'autre part.

On voit que les ondes semi-diurnes sont *exactement* en opposition de phase, ce qui justifie la théorie de Lambert.

On ne doit pas attacher trop de signification aux ondes diurnes qui sont à la limite des possibilités de mesure et sont perturbées

par des effets dus aux variations de pression atmosphérique, que nous n'avons pas pu éliminer, faute de données ; il semble bien à l'examen des courbes que ces effets doivent être extrêmement réguliers car aucune perturbation n'est décelable. La régularité des variations de pression au cours de la journée est caractéristique dans ces régions équatoriales.

L'intérêt de l'étude réside dans le calcul des rapports des diverses ondes à l'onde principale M_2 et la comparaison de ces rapports à leurs valeurs dans la théorie statique :

	Observations	Théorie statique
S_2/M_2	0,486	0,465
(K_2/M_2)	0,417	0,127
N_2/M_2	0,188	0,194
(P/M_2)	0,068	0,047 ⁽¹⁾
K_1/M_2	0,206	0,143 ⁽¹⁾
O/M_2	0,162	0,102 ⁽¹⁾

on peut considérer que les ondes semi-diurnes obéissent exactement à la théorie statique (dans les océans, on a en général $S_2/M_2 = 0,30$); les ondes diurnes sont toutes un peu supérieures à leur valeur théorique et l'on peut supposer qu'il s'agit là d'une composante due aux variations de pression; les rapports de ces ondes entre elles sont :

$$\begin{aligned} O/P &= 2,346 && \text{en théorie } 2,148 \\ O/K_1 &= 0,787 && 0,711 \end{aligned}$$

étant donné la précision des mesures cet accord doit être considéré comme satisfaisant (le rapport P/K — de même que K_2/M_2 — ne peut être pris comme argument car la méthode de séparation de ces ondes fait intervenir leur rapport théorique a priori).

Enfin, nous noterons que la courbe du niveau à Kiabukwa ne présente aucune dérive sensible comme c'est le cas pour toutes les autres manifestations du phénomène; nous avons trouvé en effet pour ce niveau moyen dans chaque intervalle :

$$\begin{aligned} \text{I} &= 598,4617 \text{ m.} \\ \text{II} &= 598,4659 \text{ m.} \\ \text{III} &= 598,4725 \text{ m.} \end{aligned}$$

⁽¹⁾ Les ondes diurnes ont une amplitude faible aux basses latitudes, leur coefficient étant affecté du terme $\sin 2\varphi$ tandis que pour les ondes semi-diurnes ce terme est $\cos^2 \varphi$ (cf. table 1).

soit une variation de 1 centimètre seulement, ce qui n'est pas significatif.

Les puits d'Afrique du Sud.

A. YOUNG a étudié le phénomène des marées dans le puits n° 5 de Tarka-Bridge (Cradock). Parmi un ensemble de 6 puits forés pour des usages agricoles, on signala à l'auteur la présence de marées dans le puits n° 5. Il s'agit d'un puits d'un diamètre de 15 cm, foré à la profondeur de 20 m à partir d'un niveau du sol de 834 m au-dessus du niveau de la mer. Le terrain est

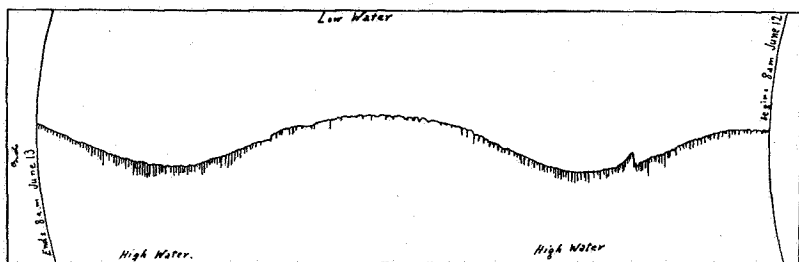


FIG. 10.

constitué d'argile schisteuse et de grès avec des intrusions de dolérite. L'eau est sulfureuse et a une température de 27° C, elle est réputée pour ses propriétés thermales. Cette eau est accompagnée d'une grande quantité de gaz inflammable qui bouillonne à la surface avec une forte odeur d'hydrogène sulfureux (ce gaz peut être enflammé à la surface). L'analyse chimique a donné 94 % de méthane, 2,7 % d'hydrogène, 3,2 % de nitrogène.

Ce puits a été surveillé depuis 1903 jusque 1912 sans que le caractère des fluctuations soit altéré. Deux enregistrements ont été pris; l'un, en 1905, se prête bien à l'examen (14 jours), l'autre, en 1908 (2 mois), est défectueux par suite de la présence de frottements dans l'appareil qui fut installé à cette époque.

Une constatation du plus haut intérêt a été faite à partir de l'enregistrement de 1905 dont une partie est reproduite à la figure 10 : les échappements de gaz se marquent par des mouvements brefs du flotteur (et par suite de la plume), et l'on voit qu'ils sont beaucoup plus fréquents à marée haute qu'à marée basse.

YOUNG n'a pas procédé à une analyse harmonique des courbes par la méthode de DARWIN estimant que cela postulait a priori qu'il s'agissait de marées luni-solaires. Il a appliqué une méthode

d'analyse due à CHRISTEL et sans en calculer les amplitudes a retrouvé par cette voie les périodes correspondant aux marées lunaires et solaires. Disposant d'un enregistrement convenable, couvrant plusieurs mois, on aurait pu appliquer la méthode de DARWIN à chaque mois séparément, et la concordance des résultats aurait tout aussi bien montré que l'on se trouvait en présence d'un phénomène de marées. Mais on ne dispose que d'une durée utile de 15 jours (1905) à partir de laquelle nous espérons personnellement tirer quelques résultats par la méthode de DARWIN.

YOUNG note que les puits 3 et 6 présentent également des fluctuations analogues mais plus faibles. Il annonce que des observations systématiques y seront faites. Enfin, il signale avoir reçu avis que plusieurs sources sulfureuses de la partie Est de la colonie du Cap présentent également des fluctuations analogues. Rien ne paraît avoir été publié dans la suite sur ce problème.

YOUNG note encore que les plus grandes amplitudes correspondent exactement aux époques de pleine ou nouvelle Lune (quand l'attraction lunaire et l'attraction solaire agissent dans le même sens) et que les fluctuations faibles correspondent aux premier et dernier quartier de la Lune (quand les attractions des deux astres se contrarient).

Les puits des U. S. A.

1. *Carlsbad* (New Mexico). Ce puits a une profondeur de 87 m, l'eau y a une densité de 1,20 à cause du chlorure de sodium qui y est dissous. Ce puits est extrêmement sensible aux variations de pression atmosphérique qui ont été éliminées. Sur la courbe résiduelle apparaissent clairement des fluctuations semi-diurnes dont l'amplitude est maximum aux époques de pleine et nouvelle Lune et minimum aux époques des quartiers. TH. W. ROBINSON a noté en outre les instants de passage de la Lune au méridien et l'on constate aussitôt qu'il y a systématiquement opposition de phase, la marée basse correspondant au passage de la Lune au méridien. Il y a, à Carlsbad, trois puits, nos 1, 4, 5 où l'on décèle de telles fluctuations, mais elles ne sont sensibles qu'au puits n° 4. L'auteur estime qu'au puits n° 5 l'appareillage n'était pas à même de donner de bons enregistrements car le niveau est à 46 m sous la base de l'instrument et il y a un fort amortissement provenant de frottements dans le dispositif.

2. *Iowa City*, décrit par le même auteur, présente exactement les mêmes caractéristiques que celui de *Carlsbad*, à une profondeur de 256 m.

3. *Conchas Dam* (New Mexico) a été signalé par C. V. THEIS et présente des fluctuations dues aux marées d'une amplitude d'environ 0,035 pieds.

La phase des marées par rapport au passage de la Lune au méridien n'est pas indiquée et l'existence de ce puits a simplement été signalée par W. D. LAMBERT dans son rapport sur les marées terrestres de 1939.

4. *Tooele County*. L'amplitude des marées est de 0,3 cm dans ce puits et la phase est exactement inversée.

5. *Pecos* (Texas). Puits dont les variations de niveau ont été observées par GEORGE et ROMBERG en même temps qu'ils procédaient à une observation des variations de la pesanteur à l'aide d'un gravimètre La Coste Romberg : les deux courbes ont été trouvées exactement en phase et ceci confirme encore l'interprétation de LAMBERT, car les variations de g sont de signe opposé aux dilatations de l'écorce ainsi que le montrent les formules fondamentales de la théorie des marées statiques (cf. [27], pp. 9 et 88); le puits a une profondeur de 73 m et est situé à une altitude de 906 m.

Le Vésuve.

Le Prof. G. IMBO, directeur de l'Osservatorio Vesuviano vient de publier une très intéressante étude sur l'activité sismique lors de la période de paroxysme de mars 1944. Il a pu démontrer l'existence, au cours de chaque phase successive de ce paroxysme, d'une variation à période semi-diurne lunaire.

Cette onde lunaire est fortement déphasée par rapport à l'onde théorique de marée statique. Le phénomène le plus remarquable paraît être que l'amplitude de ces ondes croît en même temps que l'indice moyen d'intensité éruptive. Le Prof. IMBO exprime l'avis que « cette action lunaire est indirecte en ce sens qu'elle est subie par les masses magmatiques par suite des marées de la croûte. » Il interprète ce résultat comme suit : « le résultat obtenu s'expliquerait par une variation périodique de l'état de compression du magma d'où dériverait, dans les conduits fermés, des variations dans l'excitation des phénomènes provoquant les séismes et, dans les conduits ouverts, une éléva-

tion de la colonne magmatique avec la tendance à une accentuation en fréquence et en violence des phénomènes explosifs lorsque diminue la profondeur. »

Le cas de Duchov.

Ce premier cas signalé est celui d'une mine de lignite accidentellement inondée. Le niveau présenta de nettes oscillations de caractère semi-diurne lunaire absolument indiscutables. L'analyse harmonique en a été faite par GRABLOVITZ et appuie l'interprétation de LAMBERT. Il y a opposition de phase.

BIBLIOGRAPHIE.

1. THOMSON, W., Dynamical Problems regarding Oscillations of a Liquid Sphere. (*Math. and Phys. Papers*, III, pp. 384-386, Cambr. U.P. 1890.)
THOMSON, W. et TAIT, P. G., A Treatise on Natural Philosophy (§ 834 à 838). Oxford 1867.
2. LOVE, A. E. H., Some problems of Geodynamics (chap. 4, p. 49 : General theory of Earth tides), 1911.
3. GOUGENHEIM, A., Les marées terrestres. (*Bull. d'Inform. du Comité central d'Océanographie et d'Étude des Cotes*, III, 8, 1951.)
4. SCHWEYDAR, W., Lotschwankung und Deformation der Erde durch Flutkräfte-gemessen mit zwei Horizontalpendeln im Bergwerk in 189 m tiefe bei Freiberg i. Sa. (*Zentralbureau der Intern. Erdmessung N.F.*, n° 38, 1921.)
5. SHIDA, T., Horizontal Pendulum Observations of the Change of Plumb Line at Kamigamo-Kyoto. (*Memoirs of the College of Sc. and Engin.*, Kyoto Imp. Univ. IV, pp. 23-174, 1912.)
6. CORKAN, R. H., The Analysis of Tilt Records at Bidston. (*M.N.G.S.*, 4 n° 7, pp. 481-497, 1939.)
7. NISHIMURA, E., On Earth Tides. (*Trans. Amer. Geoph. Union* 31, n° 3, pp. 357-376, 1950.)
8. CORKAN, R. H., A Determination of the Earth Tide from Tilt Observations at two places. (*M.N.G.S.* 6, n° 7, pp. 431-441, 1953.)
9. TOMASCHEK, R., The Tides of the solid Earth and their geophysical and geological Significance. (*Nature*, vol. 173, n° 4395, pp. 142-145, 23 janvier 1954.)
— Non-elastic tilt of the Earth's crust due to meteorological pressure distributions. (*Geofisica pura e applicata*, Milano, 25, pp. 17-25, 1953.)
— Variations of the total vector of gravity at Winsford (Cheshire). (*M.N.G.S.* 6, n° 9, pp. 540-556, 1954.)
10. MELCHIOR, P.-J., Application de la méthode de Corkan à l'analyse des observations de marées terrestres à Freiberg (Saxe). (*Acad. R. Belg.*, *Bull. Cl. Sc.*, XL, pp. 382-388, 1954.)

11. SASSA, K., OSAWA, I. et YOSHIKAWA, S., Observation of Tidal Strain of the Earth. (*Disaster Prevention Research Institute, Kyoto Univ., Bull. n° 3, 1, pp. 1-3, décembre 1952.*)
OSAWA, I., Observation of Tidal Strain of the Earth by the Extensometer, (*Disaster Prevention Research Institute, Kyoto Univ., Bull. n° 3, 2, pp. 4-17, décembre 1952.*)
12. GOUGENHEIM, A., Étude pratique de la marée gravimétrique. (*Bull. Géod., n° 20, pp. 170-187, 1951.*)
13. TOMASCHEK, R., Harmonic Analysis of Tidal Gravity Experiments at Peebles and Kirklington. (*M.N.G.S. 6, n° 5, pp. 286-302, 1952.*)
— Tidal Gravity Observations at Winsford. (*M.N.G.S. 6, n° 6, pp. 372-382, 1952.*)
14. STOYKO, N., L'attraction luni-solaire et les pendules. (*Bull. Astron., XIV, pp. 1-36, 1949.*)
15. SCHUREMAN, P., Tides in Wells. (*The Geogr. Rev., 16, p. 479, 1926.*)
VEATCH, A. C., Fluctuations of the water level in wells, with special reference to Long Island New York. (*Un. States Geological Survey Water-Supply and Irrigation Paper, n° 155, 1906.*)
16. LAMBERT, W. D., Report on Earth Tides, 1936-1938. (*U.S. Coast and Geodetic Survey, Sp. Publ. n° 223, pp. 1-22, 1940.*)
PEKERIS, C. L., Note on Tides in Wells. (*U. S. Coast and Geodetic Survey, Sp. Publ. n° 223, pp. 23-24, 1940.*)
17. GEORGE, W. O. et ROMBERG, F. E., Tide-Producing forces and artesian pressures. (*Trans. Amer. Geoph. Union 32, n° 3, pp. 369-371, 1951.*)
18. ROBINSON, T. W., Earth Tides as shown by fluctuations of water levels in wells in New Mexico and Iowa. (*Trans. Amer. Geoph. Union, Part IV, pp. 656-666, 1939.*)
19. IMBO, G., Sismicità del parossismo vesuviano del marzo 1944. (*Annali dell' Osservatorio Vesuviano, Série 6, vol. I, 1954.*)
20. MELCHIOR, P. J., Composantes harmoniques de la marée dans la nappe chaude de Kiabukwa. (*Bull. Acad. R. Belg., Cl. Sc., XLI, pp. 204-208, 1955.*)
21. HERGLOTZ, G., Ueber die Elastizität der Erde bei Berücksichtigung ihrer variablen Dichte. (*Zeitschrift für Math. und Phys., 52, pp. 275-299, 1905.*)
22. SCHWEYDAR, W., Theorie der Deformation der Erde durch Flutkräfte. (*Veroff. K. Preuss. Geodatischen Institutes, neue Folge n° 66, Potsdam, 1916.*)
PREY, A., Ueber die Elastizitätskonstante der Erde. (*Gerl. Beitr. Geoph., 23, pp. 379-429, 1929.*)
23. TAKEUCHI, H., On the Earth Tide of the compressible Earth of variable Density and Elasticity. (*Trans. Amer. Geoph. Union 31, n° 5, pp. 651-689, 1950.*)

24. JEFFREYS, H., The Earth Core and the Lunar Nutation. (*M.N.* 108, n° 2, pp. 206-209, 1948.)
 Dynamic Effects of a Liquid Core. (*M.N.* 109, n° 6, pp. 670-687, 1949);
 (*M.N.* 110, n° 5, pp. 460-466, 1950.)
- POINCARÉ, H., Sur la précession des corps déformables. (*Bull. Astron.* 27, pp. 321-356, 1910.)
25. MELCHIOR, P.-J., Sur l'influence de la loi de répartition des densités à l'intérieur de la Terre dans les variations luni-solaires de la gravité en un point. (*Geofisica pura e applicata* XVI, fasc. 3-4, pp. 105-112, 1950.)
26. JOBERT, G., Marées terrestres d'un globe fluide hétérogène. (*Annales de Géophysique*, 8, n° 1, pp. 106-111, 1952.)
27. MELCHIOR, P.-J., Les marées terrestres. (*Obs. R. Belg. Monographie*, n° 4, 132 pp., 1954.) (On trouvera une bibliographie complète dans cet ouvrage.)

DISCUSSION.

M. Grosjean demande des précisions sur les caractéristiques du gisement aquifère où des marées auraient été mises en évidence. Quelle est la profondeur moyenne du niveau hydrostatique ? S'agit-il d'eaux très profondes que l'on pourrait considérer comme juvéniles ? Ou bien s'agit-il d'une nappe aquifère classique (alimentée par les précipitations météoriques) ? Dans ce dernier cas, s'agit-il d'une nappe artésienne ou d'une nappe libre ?

Des précisions seraient précieuses parce que les hydrologues répugneront certainement à admettre la généralité d'une explication qui exigerait le recours à un modèle en « poches d'eau » fermées.

Quant aux failles qui joueraient sous l'effet des marées terrestres, M. Grosjean rappelle qu'une distinction s'impose certainement entre les grands phénomènes à échelle planétaire (tels les failles bordières des grands grabens africains) et les multiples petits accidents que le géologue rencontre à chaque pas.

M. Rollet estime utile de donner quelques précisions au sujet du captage de la source de Kiabukwa.

Cette source est captée près d'un exutoire abandonné, situé à 65 m du griffon actuel.

La chambre de captage en béton, ancrée au bed-rock, est établie à l'endroit où la venue principale d'eau chaude (à 90° C) jaillit d'une fissure dans le granite (à 4,30 m au-dessous du niveau du sol). Le tuyau de départ vers la centrale géothermique est placé à 0,25 au-dessous du niveau d'écoulement normal d'eau au griffon.

Le limnigraphe de l'I.R.S.A.C., qui enregistre les variations du niveau d'eau, a été installé d'abord sur un petit puits communiquant avec la chambre de captage, puis déplacé vers le griffon actuel utilisé comme trop-plein. Ce griffon débite, par intermittence, aux marées hautes ou quand la vanne de captage est fermée.

Le débit de la source a été mesuré par la méthode de déversoir en mince paroi au trop-plein. Le débit d'eau prise à la centrale est enregistré par un débit-mètre à Venturi. Ce débit varie entre 32 et 52 litres/occ.

M. Liégeois ne trouve rien à redire à l'exposé savant de M. Melchior, sauf qu'il assimile les gisements d'eau à des poches dont l'enveloppe subirait l'effet des marées terrestres, faisant ainsi varier le niveau et le débit des sources ou des putis.

Je me rallie à ce que vient de dire notre confrère M. Grosjean et comme hydrologue, je ne crois pas que l'on puisse généraliser des faits qui me paraissent locaux ou exceptionnels.

Il est possible que l'attraction luni-solaire agisse sur des gisements souterrains directement, malgré les pertes de charge imposées aux mouvements de l'eau dans la plupart des terrains, mais jusqu'ici, des milliers d'observations ont montré que les cas analogues provenaient des variations :

- a) annuelles, dues au climat;*
- b) saisonnières, dues aux précipitations météoriques;*
- c) journalières ou à plus faibles périodes, dans le cas des siphons intermittents;*
- d) journalières ou horaires, pour des sources minérales gazeuses influencées par la pression atmosphérique.*

Dans les cas considérés, ne s'agirait-il pas de phénomènes volcaniques, souvent pulsatifs ?

Il serait étrange que des usagers innombrables n'aient jamais constaté de variations quotidiennes ou biquotidiennes régulières dans leurs puits.

M. Melchior répond à MM. Liégeois et Grosjean de la façon suivante :

On a employé le mot poche pour faire image. S'il paraît inacceptable aux hydrologues, ne peut-on suggérer plutôt l'image d'une éponge ? Il est indubitable que les marées produisent des compressions et des dilatations dans l'écorce, et les expériences faites avec l'extensomètre de Sassa les mettent bien en évidence. Ces

compressions et dilatations ont certainement un effet sur les nappes d'eau, mais il se peut que la structure et la disposition de celles-ci jouent un grand rôle dans la manifestation de ce phénomène. Le fait qu'on n'a pas observé ces marées dans plus de sources ne prouve pas qu'elles n'y existent pas mais, sans doute, qu'elles sont très faibles et que seul un instrument très sensible les mettrait en évidence. On constate en effet que cette amplitude est très variable d'une source à l'autre. Les cas signalés ici ne paraissent pas susceptibles d'une autre explication que celle des marées : les chiffres cités plus haut montrent en effet que l'analyse indépendante de trois intervalles donne avec un accord parfait les amplitudes et phases prévues par la théorie des marées, en particulier pour des termes qui dépendent de l'excentricité et de l'inclinaison de l'orbite lunaire ainsi que de la vitesse de révolution de cet astre autour de la Terre (ondes M2 K2 N2). Il n'est pas possible d'attribuer le phénomène à l'attraction directe luni-solaire sur la nappe d'eau à cause du peu d'étendue de celle-ci (cf. théorie de la résonance de Harris) et à cause de l'opposition de phase relevée. On ne voit donc que l'effet des marées de l'écorce dans le sens décrit pour expliquer le phénomène.
