

SÉANCE MENSUELLE DU 28 JUILLET 1896

Présidence de M. L. Dollo.

La séance est ouverte à 8 h. 35.

Correspondance.

La famille du D^r *J. G. Bornemann*, membre associé étranger de la Société, fait connaître le décès de notre collègue, mort à Eisenach le 5 juillet.

La famille du Prof. D^r *E. Beyrich*, membre honoraire de la Société, annonce le décès de notre collègue, mort à Berlin, à l'âge de 81 ans, le 9 juillet. — *Des lettres de condoléances seront envoyées aux familles respectives de nos regrettés collègues.*

M. le Commandant *E. Cuvelier* fait excuser son absence et attire l'attention de l'assemblée sur les résultats d'une expérience qu'il a faite d'accord avec M. *Van den Broeck* en vue d'un des objets à l'ordre du jour de la séance. Il s'agit du projet d'*étude du sous-sol primaire de la Basse et de la Moyenne Belgique*, présenté par M. Van den Broeck, étude basée sur l'examen des échantillons rocheux profonds, d'*âge primaire*, triturés ou brisés, ramenés au jour par les forages et les puits artésiens.

Afin d'obtenir des *repères, ou matériaux de comparaison*, non sujets à fournir des assimilations erronées, M. Cuvelier a fait concasser dans deux états de division différents, un certain nombre d'échantillons authentiques, recueillis en affleurements bien déterminés, des divers types et niveaux stratigraphiques des roches primaires que l'on peut espérer rencontrer sous le recouvrement tertiaire et crétacé de nos plaines de la Moyenne et de la Basse Belgique. Le pilon employé ne donne assurément pas des fragments ni des grenailles rocheuses identiques aux mêmes éléments que provoque l'action du *trépan* et que ramène la cuiller des appareils de sondage ; cependant l'analogie est suffisante pour que la détermination précise par comparaison puisse se faire assez sûrement. La collection soumise à l'assemblée par le Commandant Cuvelier se compose de 12 boîtes de débris et est

accompagnée de 10 échantillons de roches non pulvérisées. Des étiquettes indiquant la nature de la roche et le niveau stratigraphique accompagnent les échantillons, qui peuvent ainsi servir de repères pour l'étude des débris primaires (en fragments, en fines grenailles, ou en boues), ramenés du fond des forages ayant, dans nos plaines, atteint le Primaire.

Dans cette première série, quelques types seulement, comme les quartzites de Blanmont, ont été concassés à deux degrés différents. Cette dualité d'aspect devra être obtenue pour toute la série. De plus il y aura lieu, d'après le Commandant Cuvelier, de constituer des échantillons-repères formés 1° par le mélange de la roche décomposée avec la roche intacte; 2° par des matériaux provenant exclusivement de roches *décomposées*, cas qui se présente parfois dans les niveaux de contact du Primaire recouvert de dépôts perméables de la série secondaire ou tertiaire.

De plus, pour compléter systématiquement la collection de repères, il faudra créer une série contenant le *mélange* de fragments menus avec les boues ou résidus d'un même échantillon. D'autres combinaisons sont encore possibles.

Dans sa communication, M. Cuvelier attire particulièrement l'attention de l'assemblée sur les *Phyllades de Tubize* (Devillien supérieur) très décomposés et passant positivement à une argile plastique, ce dont on peut s'assurer en mouillant les échantillons. Il a trouvé ceux-ci à Tubize même, en dessous du sable landenien, dans une tranchée récemment ouverte.

Dons et envois reçus.

1° De la part des auteurs :

2210 **Cornet (J.)**. *Le Tanganika est-il un Relicten-See?* Extr. in-8°, 12 pages. Bruxelles, 1896.

2211 **Lang (O.)**. *Ueber die Form-und Massenverhältnisse der Salzlager*. Extr. in 4°, 11 pages. Essen, 1896.

2212 **Vincent (J.)**. *Examen critique de la carte pluviométrique de la Belgique de M. A. Lancaster*. Extr. in-8°, 30 pages, Bruxelles.

2° Extraits des publications de la Société :

2213 **Rutot (A.)**. *Note sur quelques points nouveaux de la Géologie des Flandres*. 2 exemplaires,

2214 **Van Overloop (E.)**. *Quelques mots de rappel au sujet de l'hydrologie du Bassin de l'Escaut*. 2 exemplaires.

Présentation de nouveaux membres.

Sont présentés et admis à l'unanimité en qualité de membres effectifs :
MM. le Dr J. CROCQ, ancien sénateur, docteur en médecine, professeur à l'Université de Bruxelles, 138, rue Royale, à Bruxelles.

G. RAMOND, assistant au Museum, 25, rue Jacques Dulud, à Neuilly-sur-Seine.

ERNEST LARMOYEUX, ingénieur des mines, Boulevard Dolez, à Mons.

ÉDOUARD DE PIERPONT, au château de Rivière, par Profondeville sur Meuse.

La section des Sciences à l'Exposition internationale de Bruxelles.

M. le Secrétaire rappelle l'accueil favorable qui fut réservé à sa proposition d'adjoindre une *Section scientifique* ayant à la fois un caractère international et gratuit, à l'Exposition de Bruxelles. A la suite de la réunion préparatoire officieuse du 15 février, dont le compte rendu, extrait du *Journal de Bruxelles*, a paru à la suite du Procès-Verbal du 30 juin dernier, la Section projetée fut subdivisée en deux groupes et en sept classes, conformément aux décisions prises le 15 février.

D'accord avec le vœu exprimé par M. le Ministre A. *Nrssens*, de voir constituer une Section internationale aussi vivante que possible, il fut décidé que les objets à exposer, instruments et collections, seraient, autant que possible, accompagnés de « commentaires » consistant en séances de projections, en expériences et démonstrations, en promenades techniques et scientifiques à l'Exposition et surtout en un étiquetage abondant, complété par des brochures explicatives.

Bientôt le Gouvernement, de concert avec les promoteurs, s'occupa de donner rang à la Section dans les cadres déjà tracés de l'Exposition. Il fallut pour cela régler de nombreux points administratifs, arrêter les voies et moyens, se préparer à un fonctionnement inédit, en rapport avec le caractère tout spécial des exposants, enfin s'occuper, pour cette Section, comme pour les autres, de la constitution d'une importante Commission d'organisation.

Au commencement du présent mois de juillet, parut au *Moniteur* l'arrêté annonçant la création de la Section des Sciences, dont les organisateurs vont avoir fort à faire, se trouvant plus de six mois en retard sur les Sections qui constituaient le cadre primitif de l'Exposition, cadre dans lequel la *Science* était restée absolument à l'écart ou tout au moins pitoyablement morcelée et représentée seulement par une minime fraction de ses éléments.

L'arrêté du 3 juillet nommait Président de la Section M. le général *De Tilly*, commandant de l'École militaire. Le Commissaire du Gouvernement pour la Section était M. *Eug. van Overloop* et les Secrétaires MM. *Gilson*, Professeur à l'Université de Louvain et *Van den Broeck*, premier auteur du projet (1).

Les membres de la Commission organisatrice viennent, il y a peu de jours, de constituer leurs Bureaux et ils ont pour rôle de déterminer, pour chacune des sept classes de la Section des Sciences, ce qui leur semble de nature à pouvoir être *utilement réclamé des exposants*, ainsi que de formuler une série de *desiderata* et de *questions de concours* en vue desquels le Gouvernement, pour récompenser les réponses primées, met à la disposition de la Section des Sciences, une somme de 40,000 francs.

Il est fâcheux, fait observer M. E. Van den Broeck, que les vacances vont bientôt interrompre les travaux à peine commencés de la Commission et peut-être conviendrait-il que, en vue d'aider et assurer le succès de la Section, les Sociétés scientifiques, qui comptent d'ailleurs dans leurs rangs la majeure partie des membres de la Commission organisatrice, se mettent à l'œuvre sans tarder.

La besogne sera ainsi facilitée aux Comités des diverses classes, lorsque se présenteront la rentrée et la reprise des travaux.

L'Assemblée, appuyant cette manière de voir, aborde immédiatement la discussion d'un *Programme d'exposition* pour la *Classe de Géologie* de la *Section des Sciences*, programme dont un projet est présenté par M. Van den Broeck.

Projet de programme d'une Exhibition Géologique.

A. PHOTOGRAPHIES DE PHÉNOMÈNES NATURELS.

Structure des roches. Types divers de stratifications ou dépôts. Failles, fentes et diaclases. Contacts et Jonctions. Clivage. Anciennes surfaces avec indication de phénomènes divers (ripple-marks, gouttes de pluie). Surfaces de retrait, etc. Altération des dépôts (aspects des poches, puits naturels, orgues géologiques, zones d'altération simulant des ravinelements ou superpositions).

Érosions et dépôts. Cañons. Gorges. Ravins, etc. Types de vallées diverses. Barrages. Dunes. Érosions éoliennes. Cascades et chutes d'eau. Résultats d'actions torrentielles, d'inondations, de divagations d'eaux sauvages. Deltas, etc.

(1) Un voyage prolongé de M. Gilson à l'étranger ne lui a pas permis, en fait, de s'occuper de l'organisation de la Section des Sciences.

Phénomènes glaciaires. Stries. Moraines. Blocs erratiques. Aspect de glaciers et de leurs divers phénomènes.

Sédimentation. Dépôts marins, fluviaux, lacustres et torrentiels.

Dépôts chimiques. Aspects de geysers, solfatares, tufs calcaires et dépôts siliceux. Sources minérales. Poches de phosphate. Accumulations de silex, résidus de roches crayeuses dissoutes.

Phénomènes sismiques. Effets des tremblements de terre. Crevasses et dénivellations.

Phénomènes et aspects spéléologiques. Grottes et cavernes. Engouffrements et sorties d'eaux souterraines sous forme de sources ou de réapparitions de rivières. Stalactites et stalagmites. Aiguigeois. Cheminées, etc.

Phénomènes volcaniques. } Phénomènes classiques et aspects divers

Phénomènes geysériens. } produits par ces phénomènes.

Ce qui précède étant plutôt donné comme *exemples* des diverses catégories de phénomènes géologiques pouvant être représentés par la photographie, que comme *cadre complet* de ce qui pourrait être fait dans cette direction.

B. APPAREILS ET DISPOSITIFS DE GÉOLOGIE EXPÉRIMENTALE.

— Dispositifs servant à rappeler les expériences classiques du genre de celles de Daubrée, Heim, Lory, Munier-Chalmas, Stanislas Meunier, et appareils pour obtenir les effets des plissements, clivages, formation de la houille, les phénomènes glaciaires, les dépôts chimiques. Capillarité et porosité des roches, Géotectonique (Modèles etc.). Métamorphisme.

C. CARTES GÉOLOGIQUES, D'ENSEMBLE ET DÉTAILLÉES. — Sol.

Sous-sol. Sol et sous-sol en représentations simultanées. Cartes géologiques présentées comme base de cartes agronomiques. Services géologiques des diverses nations européennes et autres. Spécimens des divers types de cartes. Cartes souterraines faites à l'aide des données des forages et puits artésiens.

D. APPAREILS DE SONDAGES. — Appareils portatifs pour recon-

naissances et levés géologiques. Appareils pour forages profonds, avec les types des principaux systèmes employés. Matériel et outillage d'exploration géologique en contrées peu ou point connues. Forage au diamant (appareils Nordenskiöld). Traversée des sables bouillants. Divers systèmes employés. Procédé par congélation. Échantillons des divers types de roches et terrains recueillis dans les forages et puits artésiens, en comparaison avec les échantillons des zones d'affleurement. Exposé

graphique de divers cas d'étude géologique du sol pour établissement de cimetières ; établissement d'écluses, de travaux d'art, de fondation ; établissement de tunnels, de travaux d'intérêt public, et mise en relief des services rendus par ces reconnaissances géologiques préalables.

E. ÉCHANTILLONS en séries locales, régionales ou autres, de roches constituant des types de formations diverses, des cas de métamorphisme, de pseudomorphose. Séries doubles, montrant les phénomènes d'altération des roches et dépôts. Phosphates. Minerais divers et roches exploitées en général. Marbres et calcaires disposés en lames minces pour montrer la structure interne et le mode de formation.

F. TRAVAUX ET PUBLICATIONS, surtout représentés par des planches, cartes, figures et diagrammes. Travaux des Institutions et Sociétés et des particuliers.

G. GÉOLOGIE, PALÉONTOLOGIE, HYDROLOGIE ET GÉOGRAPHIE PHYSIQUE DU CONGO (au point de vue purement scientifique). — Travaux, cartes, collections et matériaux utiles.

H. ÉTUDES, RECHERCHES ET CONSTATATIONS HYDROLOGIQUES. — Recherches d'eaux alimentaires en terrains meubles et en terrains rocheux. Captage des sources. Eaux minérales considérées au point de vue de leur origine géologique et de leur captage. Drainage des nappes aquifères. Pluviométrie. Perméabilité des terrains.

I. MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION. — Réunion des matériaux d'origine belge servant ou pouvant servir de matériaux de construction. Matériaux étrangers utilisés en Belgique. Série de matériaux étudiés dans leur degré de résistance aux intempéries et provenant d'édifices anciens. Pierres artificielles fabriquées avec des matériaux belges. Collection spéciale des calcaires de la Belgique. Marbres, etc.

J. PALÉONTOLOGIE. — Ensembles fauniques de divers niveaux stratigraphiques offrant un intérêt spécial. — Documents pour l'étude de l'évolution des faunes. — Reconstitutions paléontologiques. — Moulages de types vertébrés intéressants ou peu connus. — Déformations mécaniques des fossiles. — Minéralisation, dissolution et pseudomorphose dans leurs rapports avec les fossiles. — Traces de pas ou de reptation d'animaux prises pour empreintes (travaux de M. Nathorst). — Collections et documents paléontologiques en réponse aux questions de concours et de desiderata.

L'assemblée est d'accord pour adopter les données qui précèdent comme éléments dont le Comité organisateur de la *Classe de Géologie*

de l'Exposition de 1897 pourrait utilement s'inspirer dans la confection de son programme définitif d'exhibition géologique.

De même, diverses questions seront signalées comme pouvant faire l'objet de recherches s'appliquant aux *Concours* et aux *Desiderata*.

Question mise à l'ordre du jour.

Examen critique et contradictoire de la thèse de M. Worré sur la profondeur de pénétration de l'eau pluviale dans le sol et sur le rôle de la vapeur d'eau atmosphérique dans l'alimentation des eaux souterraines (1).

M. A. RUTOT fait à ce sujet la communication suivante :

A propos d'un travail de M. J. Worré sur la profondeur de pénétration de l'eau pluviale dans le sol, par A. RUTOT.

M. J. Worré, ingénieur en chef honoraire des travaux publics, à Luxembourg, vient de publier, dans les « Publications de l'Institut grand-ducal de Luxembourg », t. XXIV, 1896, un travail intitulé : « *Profondeur de pénétration de l'eau pluviale dans le sol, aux environs de la ville de Luxembourg, et question annexe de la génération des eaux souterraines.* »

Dans ce travail, l'auteur énumère un certain nombre d'observations, faites à l'aide de trous de sonde dans des terrains de natures diverses et dans des saisons différentes, à l'effet de constater jusqu'à quelle profondeur l'eau avait pénétré dans chacun d'eux à la suite de précipitations atmosphériques continues.

Ces expériences, faites aux environs de la ville de Luxembourg, ont eu pour sujet des emplacements variés, tels que :

- Un champ, terrain végétal.
- Id., terrain argileux.
- Un pré plat, terrain végétal.
- Id., terrain argilo-sableux.
- Un pré en talus, terrain végétal.
- Une forêt à surface couverte.
- Un sol pavé.
- Un sol empierré.

(1) Voir les Publications de l'Institut Grand-Ducal de Luxembourg, t. XXIV, 1896, pp. 71-89.

Ayant noté la quantité d'eau tombée pendant un nombre de jours déterminé (environ un mois), les vents dominants et la température moyenne, l'auteur a donc effectué, à la fin des diverses périodes d'observations, des sondages dans le but de voir jusqu'où l'humidité par pénétration d'eau pluviale avait pénétré, et il se fait qu'en aucun cas l'humidité n'avait pénétré plus bas que 1^m.79.

Dans d'autres expériences, il a déterminé le temps nécessaire à l'assèchement complet de la partie imprégnée, à la suite d'une période de sécheresse.

De ses expériences, l'auteur conclut : 1° Que sur tous les terrains sur lesquels ont porté ses observations, la pluie n'a pu pénétrer suffisamment pour pouvoir alimenter la nappe aquifère sous-jacente ; 2° en généralisant — et croyant avoir expérimenté sur tous les sols non rocheux — il admet que la pénétration des eaux de pluie dans le sol ne peut alimenter directement les nappes souterraines que dans les seuls cas de sol rocheux fissuré, et 3° que tous les sols non rocheux ne peuvent contribuer à l'alimentation des nappes souterraines que par la condensation de l'eau renfermée à l'état de vapeur dans l'atmosphère.

L'auteur ajoute, du reste, que ces conclusions ont été émises d'une manière plus radicale encore avant lui par divers auteurs et notamment par le Dr *G. Vogler* qui, lui, arrive à déclarer sans ambages que « aucune eau souterraine (de l'intérieur de la terre) ne provient de l'eau de pluie ».

M. Worré trouve l'opinion du Dr *Vogler* un peu absolue et il admet, sans hésiter, que les terrains formant le sol peuvent se diviser en deux catégories : *A.* les terrains rocheux très fissurés, où l'on voit clairement les eaux de pluie s'engouffrer directement et s'écouler immédiatement dans la profondeur et qu'il appelle « terrains perméables en grand » ; *B.* les terrains non rocheux, qu'il appelle « terrains perméables en petit ».

A la suite de ses expériences, l'auteur admet donc la théorie du Dr *Vogler* pour les terrains perméables en petit.

Or, si nous en revenons à ces expériences, que constatons-nous ?

C'est qu'il y manque un des facteurs les plus importants du problème : le facteur géologique.

Parmi les terrains perméables en petit, quelles sont les divisions du sol qu'il aurait fallu étudier séparément au point de vue d'un résultat scientifique sérieux à obtenir ; c'est évidemment la gamme suivante :

Sable quartzeux pur,
Sable argileux,

Argile sableuse,
Argile plastique pure.

Ces types renferment tous les degrés, depuis la perméabilité jusque l'imperméabilité; et des sols très répandus, comme les limons et les alluvions, peuvent facilement y être rattachés.

Quelle signification précise peut-on accorder aux divisions de l'auteur :

Un champ, terrain végétal.
Id., terrain argileux.
Un pré plat, terrain végétal.
Etc. (Voir succession donnée ci-dessus.)

Où pouvons-nous reconnaître nos types si nets et si facilement appréciables énoncés ci-dessus ?

Y a-t-il eu, parmi les terrains soumis aux expériences, une surface de sable quartzeux meuble ? Il y a lieu d'en douter.

Nous possédons également, comme géologues leveurs de cartes, qui nous servons constamment de la sonde depuis 1880, une expérience de quelque valeur et, d'autre part, dans nombre de nos coupes, ne voyons-nous pas, tracés en caractères remarquables, les effets évidents d'une pénétration longue et continue de nos sols sableux par les eaux de pluie.

En Belgique, sur d'énormes surfaces, le sable pur, quartzeux, meuble, existe en affleurement.

En Flandre, nous trouvons le sable flandrien ; en Campine, le sable campinien ; en Brabant, les sables wemmeliens, lediens, laekeniens, bruxelliens ; dans le Hainaut, les sables ypresiens et landeniens.

Or, depuis 1880, nous avons effectué des milliers de sondages dans ces sables et jamais, pendant la sécheresse, à partir d'une certaine profondeur, c'est-à-dire en dehors de la zone d'évaporation, nous n'avons trouvé de sable sec. Notre vrille pénètre dans les sables les plus meubles, et cependant nous retirons toujours l'échantillon, grâce à la cohésion que donne la pression et une certaine humidité constante.

Nous nous sommes trouvés, marchant sur ces sables par des pluies torrentielles, et nulle part nous ne trouvions trace de boue ou de ruissellement ; l'eau de pluie, à mesure qu'elle tombe, s'infiltré dans le sable ; on voit l'eau de chaque large goutte disparaître instantanément et nos sondeurs savent parfaitement que, dans ce cas, ils trouvent le sol mouillé à toutes profondeurs, le niveau des nappes liquides peu profondes s'élevant alors rapidement.

La vérité est que, dès que l'argile se trouve en proportion même

faible, mêlée au sable, la perméabilité disparaît avec une rapidité bien plus grande que celle de l'augmentation de la proportion d'argile.

C'est ainsi que nos limons fluviaux gris peuvent être considérés comme à peu près imperméables et qu'il faut une période de pluie très longue pour percer entièrement notre limon poussiéreux éolien et l'ergeron.

Toutefois, les preuves palpables de l'infiltration, c'est-à-dire du passage complet de l'eau de pluie au travers de toute la couche de limon, existent dans le terrain même. Ce sont les effets de la dissolution du calcaire pulvérulent renfermé dans le limon.

Lorsque le limon éolien présente des épaisseurs de 5 à 6 mètres et plus, comme le long de la Nouvelle Avenue de Tervueren, qu'observons-nous : d'abord, au sommet du limon, une zone assez régulière de 2 à 3 mètres du limon entièrement décalcarisée, constituant la terre à briques, puis, bien au-dessous de cette zone, souvent près du cailloutis de base du limon ou de l'ergeron, un niveau abondant de petites concrétions calcaires, qui ne sont que le calcaire dissous dans la zone supérieure, grâce à la faible proportion d'acide carbonique contenu dans l'eau de pluie, entraîné vers le bas, à travers toute l'épaisseur du limon par l'eau qui s'infiltré dans toute la masse et qui vient se concrétionner par suite de l'excès de calcaire en présence du bicarbonate dissous.

Si les eaux de pluie n'avaient pu pénétrer dans le limon plus profondément que deux ou trois mètres, puis qu'elles se seraient évaporés dans la période sèche, les couches supérieures du limon seraient-elles radicalement décalcarisées comme elles le sont ? Évidemment non.

A plus forte raison si c'était une simple condensation de la vapeur atmosphérique, celle-ci ne pourrait fournir dans le sol que de l'eau distillée, qui n'aurait aucun effet dissolvant sur le carbonate de chaux.

Mais dans les sables, les effets sont encore bien plus prononcés.

Nous avons largement représentés aux environs de Bruxelles, les sables calcaireux des étages ledien, laekenien et bruxellien.

Or, il y a longtemps que M. *Van den Broeck* nous a fait connaître tous les phénomènes qui se produisent par l'infiltration des eaux de pluie chargées d'acide carbonique au travers de ces sables calcaireux, leur décalcarisation complète en poches irrégulières, la dissolution des bancs de grès, la décalcarisation des graviers de base des étages, etc.

Ces effets, qui peuvent s'observer dans chaque coupe faite sur un vaste territoire, montrent à l'évidence les résultats de l'infiltration des eaux de pluies au travers de la masse totale des sables et leur contribution directe, après filtration, à l'alimentation de nos nappes aquifères.

A mon avis, les expériences faites par M. Worré sont loin d'avoir la portée qu'il leur donne.

Elles peuvent tout au plus montrer que les seuls terrains sur lesquels ont porté ses essais sont inaptes à l'infiltration profonde des eaux de pluie et par conséquent inaptes à l'alimentation des nappes aquifères par infiltration verticale.

Il nous serait très facile de montrer exactement les mêmes résultats dans certaines régions limoneuses, alluviales et argileuses des environs de Bruxelles.

Il n'en est pas moins vrai que l'eau de pluie s'infiltré avec la plus grande facilité dans les affleurements de sables purs et, plus difficilement, dans les sables légèrement argileux et que ce sont ces eaux, filtrées au travers des sables, qui alimentent directement les nappes aquifères.

A part ce fait principal, le travail de M. Worré est intéressant en ce qu'il fournit des coefficients d'infiltration, d'évaporation, etc. qui peuvent être utiles aux ingénieurs pour la solution d'un certain nombre de problèmes locaux.

M. Van den Broeck présente sur l'objet à l'ordre du jour les réflexions suivantes :

Quelques considérations sur la perméabilité du sol, sur l'infiltration pluviale et sur la condensation souterraine des vapeurs d'eau, à propos des recherches et exposés de MM. Worré et Duclaux.

Tout en étant d'accord avec mon collègue et ami M. A. Rutot sur l'utilité qu'il y a, dans des recherches et expériences comme celles qu'a faites M. Worré sur la profondeur de pénétration de l'eau pluviale dans le sol des environs de Luxembourg, de bien définir, au point de vue lithologique et géologique, les sols ayant servi de champs d'expérience, il me semble que ce travail, malgré les petites imperfections de méthode signalées par M. Rutot, mérite d'attirer sérieusement notre attention. Certains des faits qu'il expose montrent que la question de *descente verticale* des eaux pluviales allant alimenter, simplement d'après les lois de la pesanteur, les nappes souterraines *ne constitue nullement la très simple solution* d'un problème, qui paraît en réalité *très complexe et très intéressant à étudier sous ses diverses faces*. Divers éléments importants viennent le compliquer : l'évaporation, les condensations de vapeur d'eau et la capillarité.

D'ailleurs si une thèse aussi hardie, aussi exagérée il faut bien le dire, que celle du Dr *Vogler*, disant qu'*aucune* eau souterraine n'émane

de l'infiltration pluviale, a pu trouver des partisans et surtout des défenseurs, qui en ont adopté une expression plus mitigée, cela veut dire que tout au moins, certains faits ont été constatés montrant que le problème est moins simple qu'il n'en a l'air.

M. *Van den Broeck* se propose à ce sujet de résumer l'intéressant article que M. *E. Duclaux*, Membre de l'Institut et Professeur à la Sorbonne, a consacré, dans l'un de ses chapitres REVUES et ANALYSES des *Annales de l'Institut Pasteur* (3^e année, 1890, pp. 172-184) aux *Relations du sol et de l'eau qui le traverse*. Cette étude est bien apte à montrer qu'il y a beaucoup à faire avant d'arriver à une certitude absolue de la connaissance du mécanisme complexe de l'alimentation des nappes souterraines imprégnant les dépôts meubles. Mais auparavant l'orateur désire signaler quelques-uns des faits les plus saillants résultant de l'exposé de M. *Worré*.

Il y a d'abord le maximum de 1^m.79 d'épaisseur du sol traversé par les eaux pluviales, à mettre en regard du fait que l'imprégnation du sol, d'après les expériences de M. *Worré*, ne persiste pas d'une pluie à l'autre. Au bout de 7 à 20 jours, suivant la nature du terrain, l'imprégnation d'humidité du sol provenant de chutes pluviales, avait disparu même en saison froide. Par capillarité, dit l'auteur, l'eau monte progressivement jusqu'à la surface du sol, où elle s'évapore sous l'action du soleil et du vent. L'évaporation de l'eau, par le sol, peut être comparée, dit M. *Worré*, à ce qui se passe dans une lampe à huile. L'huile du réservoir monte dans la mèche au fur et à mesure qu'elle se consume en haut.

Parmi les exemples que donne l'auteur du peu de contribution que fournit parfois l'eau pluviale aux eaux de fond, il convient de citer le suivant, qui est parfaitement d'accord avec des observations du même genre qu'a faites notre collègue M. *Moulan*, dans la région de la Gileppe, dont il a fait depuis de longues années une étude approfondie. « On a constaté, qu'en été, quand la végétation est luxuriante, » les eaux de drainage sont rares, la plus grande partie de l'eau tombée » étant rejetée dans l'atmosphère par la transpiration formidable des » végétaux.

» On a de même constaté, qu'après une ondée, à la suite d'une » période de sécheresse prolongée, il se produit une *diminution* dans » le débit de la plupart des sources superficielles et des petits cours » d'eau. C'est que la végétation languissante, réveillée subitement par » ce bienfaisant arrosage, acquiert une vigueur soudaine et absorbe non » seulement toute la quantité d'eau tombée, mais une portion plus » grande de la nappe souterraine, à laquelle les racines peuvent

» atteindre. » (Il s'agit ici bien entendu de la nappe superficielle ou phréatique).

Une affirmation importante émise par M. Worré et qu'il doit être facile de vérifier, est celle consistant à dire « qu'en fouillant le sol jusqu'à » l'eau souterraine quelque temps après une pluie, on l'a trouvé : » d'abord sec, ensuite humide, après sec, puis l'eau de fond ».

Le facteur *évaporation* est étudié avec quelques détails par M. Worré et on ne peut nier son importance. Il dit avec raison que l'évaporation « varie suivant la nature du sol, sa capacité d'absorption par l'eau et la difficulté qu'il éprouve à se dessécher ; suivant l'inclinaison des coteaux qui peuvent retenir les eaux plus ou moins longtemps sur leurs versants ; suivant la nature de la végétation qui recouvre le sol et surtout suivant la violence des vents et leur degré d'humidité ».

La végétation, ajoute-t-il, modère l'évaporation du sol ; mais, en revanche, elle y ajoute un contingent plus ou moins considérable par sa transpiration et sa nourriture. » « Selon les circonstances, dit l'auteur, l'évaporation représente de 10 à 80 pour cent de la quantité d'eau tombée ; à son *maximum* au mois d'août, elle serait quatre fois plus considérable en été qu'en hiver. » Voici les chiffres donnés comme coefficients moyens d'évaporation annuelle (en millimètres de hauteur d'eau) pour divers types de surfaces libres. Un pré, 1200 à 1800 mm ; un terrain marécageux, 639 mm ; une surface liquide, de 600 à 1050 (1), une terre labourée, 600 mm ; un terrain saturé d'eau, 409 mm ; un sol drainé, 507.5 mm ; une forêt à surface peu couverte, 159 mm ; une forêt à surface fortement couverte, 70 mm.

La *végétation* joint parfois son action évaporante très active, à celle de l'évaporation de surface, pour enlever du sol l'eau qu'y ont versée les chutes pluviales.

Partant de ce fait qu'une plante herbacée évapore environ 300 grammes d'eau pour élaborer 1 gramme de matière sèche, M. Worré fait remarquer que la récolte, sur un hectare de froment, des 8000 kilogs de matières sèches que produit la pousse d'une année représente la circulation dans les tissus du froment d'environ 2,400,000 kilogrammes d'eau. Cela correspond, par mètre superficiel, à une hauteur d'eau de 240 millimètres.

Un hectare de bois de hêtres, suivant que les arbres ont de 30 à 40 ans, de 50 à 60, ou plus d'un siècle d'existence, représentera un

(1) Les études hydrologiques faites par le Service géologique des États-Unis et relatives à l'évaporation de la surface liquide de certains lacs ont fourni un chiffre analogue (1078^{mm}) dans l'Utah et un chiffre presque double (2182^{mm}) dans le Texas.

soutirage annuel s'élevant respectivement par mètre carré à 68, 133 et 358.7 millimètres d'eau.

Mais ce n'est pas tout : la *nutrition* de la plante agit dans le même sens que le phénomène d'évaporation de ses tissus. M. Worré signale, en effet, que les plantes herbacées contiennent jusque 90 % de leur poids d'eau, les plantes ligneuses jusque 50 %, et les arbres fruitiers de 56 à 60 %.

L'auteur a raison de dire qu'une faible partie de la pluie qui tombe est encore absorbée, fixée d'une manière durable par la transformation de certaines roches.

La transformation chimique des sels ferreux et leur fixation sous forme d'hydroxydes, qui produit les minerais de fer, les oxydations et rubéfections de roches, les concrétionnements ferrugineux, si abondants dans les dépôts meubles de tous âges : tout cela concourt à fixer les éléments chimiques d'une certaine quantité d'eau tombée.

Mais un autre phénomène chimique : la dissolution des sels et éléments calcaires de certains sables en dépôts meubles sous l'action de l'acide carbonique des eaux pluviales doit cependant être considéré comme un facteur amenant, après un certain temps, par le fait même de la disparition de l'élément calcaire, une facilité d'imprégnation plus grande pour la descente ultérieure des eaux pluviales, au sein des sables ainsi décalcarisés.

La correspondance bien établie qui existe entre le degré hydrotimétrique des eaux de la nappe souterraine sous-jacente à ces sables calcarifères — comme ceux de Bruxelles par exemple — et la présence ou plutôt la préexistence des éléments calcaires sus-jacents aux dites eaux montre, contrairement aux vues singulièrement exagérées du Dr Vogler — et que d'ailleurs n'admet pas M. Worré — qu'il y a une correspondance fondamentale, en dépit des facteurs adventifs et des complications du problème, existant entre la chute pluviale et l'alimentation des nappes souterraines.

Parmi les facteurs qui tendent à diminuer la quantité d'eau pluviale qui filtre au travers de la terre, M. Worré n'a garde d'oublier le *ruissellement*, estimé au tiers environ de l'eau tombée. Le coefficient du ruissellement doit, en réalité, dit M. Van den Broeck, présenter une certaine élasticité. Il suffit pour cela de comparer ce qui se passe dans les régions schisteuses ou phylladeuses des Ardennes par exemple, où le ruissellement est énorme, sauf sur les plateaux marécageux et absorbants des Hautes-Fagnes; avec ce que l'on voit dans les régions calcaires du Condroz et de l'Entre-Sambre-et-Meuse, où il y a une multiplicité considérable de puits d'engouffrement et d'absorption

d'eau alimentant directement les réservoirs souterrains, et enfin avec ce qui se passe aussi bien dans nos régions limoneuses, relativement absorbantes, que dans nos sols sableux, où le ruissellement est nul.

A ces divers types de sols doivent évidemment correspondre des différences *considérables* dans le coefficient du facteur éliminatoire du ruissellement ; ce qui s'oppose à l'adoption d'un *chiffre unique* tel que celui fourni par M. Worré.

L'auteur ici analysé continue son étude en signalant la moyenne annuelle de la chute pluviale mesurée en millimètres, dans les divers pays d'Europe, et les chiffres qu'il produit varient de 400 à 800 millimètres. La rosée et les brouillards doivent encore être adjoints à l'eau des pluies, et l'auteur signale que, d'après Dalton, ces éléments réunis constituent pour le sol de l'Angleterre un rapport annuel de 742 millimètres, dont une quarantaine seraient dus à la rosée seule.

Armé des divers éléments comprenant l'*apport* des eaux venant de l'atmosphère et admettant que les $\frac{2}{3}$ des eaux pluviales pénètrent dans le sol, l'auteur est arrivé à calculer que le sol des forêts du Luxembourg ne laisse guère annuellement filtrer à demeure, au profit des nappes aquifères et des sources qui en constituent le trop plein, qu'environ *200 millimètres d'eau*. En regard de la chute annuelle (qui, abstraction faite de l'apport des brouillards et de la rosée, s'élève à 746^{mm}.8 pour la ville de Luxembourg), c'est donc un facteur d'alimentation très *peu élevé* pour la nappe souterraine.

Mais ce qui doit donner plus à réfléchir et engager à rechercher l'action concomitante d'autres bases d'alimentation, c'est le fait qu'en de nombreuses régions il semble établi que l'évaporation annuelle soutire à la terre *plus d'eau* que n'en apportent les chutes pluviales ! Ainsi, à Marseille, l'évaporation serait de 2300 millimètres, tandis que la pluie n'amène sur le sol que 523 millimètres d'eau.

Ce n'est pas là une observation localisée et exceptionnelle, puisqu'un savant professeur hydrologue de Carlsruhe, M. *Buker*, déclare dans un de ses ouvrages « qu'il résulte de nombreuses observations » faites dans différents pays de la terre, le fait important que l'évaporation dépasse la quantité de pluie qui tombe. » M. *F. E. Schulze* confirme le même fait.

Ceci établi, il n'est plus possible, semble-t-il, d'attribuer à l'eau pluviale *seule* l'alimentation souterraine des nappes aquifères. Nous laissons ici la parole à M. Worré, qui termine son étude par les pages suivantes :

« Dans ces circonstances, il faut bien qu'il existe, indépendamment

de l'eau de pluie, une autre cause encore des eaux souterraines, et on ne peut la trouver, d'accord avec Vogler, que dans la condensation de la vapeur d'eau contenue dans l'air.

» Rappelons d'abord, à cet effet, quelques données de physique :

» Un mètre cube d'air contient de 3 à 50 grammes de vapeur d'eau, selon la température.

» D'après Dalton, la quantité d'eau en suspension dans l'atmosphère, est de soixante-dix millions de tonnes, correspondant à une couche de 14 à 15 centimètres de profondeur, étalée sur la surface de la terre.

» L'air n'est pas toujours saturé, mais il peut le devenir par refroidissement.

» A chaque température correspond un état déterminé de saturation de la vapeur, c'est-à-dire un maximum de tension ; en abaissant cette température, on ramène partiellement une vapeur saturée à l'état liquide.

» Pendant l'été, aussi longtemps que la température moyenne de l'air ambiant est plus élevée que celle de l'intérieur du sol, l'air qui y pénètre, se refroidit, la vapeur qu'il renferme se rapproche donc toujours davantage du maximum de tension et, si le refroidissement est assez grand, elle l'atteint, et la vapeur passe partiellement à l'état liquide, ainsi que nous la voyons se déposer, p. ex., sur la surface d'un vase plein d'eau froide, placé dans de l'air chaud, ou sur la surface intérieure des vitres des appartements, lorsque l'air extérieur est beaucoup plus froid que l'air intérieur ; c'est une espèce de rosée interne qui se produit dans le sol, dont les gouttelettes descendent de plus en plus bas, d'une manière continue, par l'action de la pesanteur.

» Pendant l'hiver, tant que la température de l'air ambiant est, au contraire, plus basse que celle de l'intérieur du sol, c'est la réfrigération de l'air renfermé dans le sol, par suite de son mélange avec l'air plus froid de l'extérieur, qui donne naissance à de l'eau, par la condensation d'une partie de sa vapeur.

» Comme c'est sur la poussière de l'air que se fait la condensation de la vapeur d'eau, puisque sans elle, il n'y aurait ni brouillards, ni nuages, ni brumes, etc., ne peut-on pas en inférer que les vapeurs d'eau trouvent dans les particules terreuses du sol un milieu favorable à leur condensation.

» Mais une condensation continue et abondante de la vapeur d'eau de l'air dans l'intérieur du sol, suppose un échange continu entre l'air intérieur et l'air extérieur, échange qui s'effectue réellement, en vertu de la diffusion des gaz de natures, de compositions, et de tensions différentes.

» On sait que l'air atmosphérique est composé, en volumes, de 20,8 d'oxygène, de 79,2 d'azote, de 3 à 6 dix-millièmes d'acide carbonique et de 6 à 9 millièmes de vapeur d'eau (1).

» Or, l'oxygène, qui s'accumule dans la terre poreuse, s'attaque aux substances organiques et les minéralise ;

» L'acide carbonique aide l'eau à dissoudre les carbonates de calcium, de magnésium et de fer ;

» L'azote est assimilé, entre autres, par les légumineuses, au moyen des nodosités à bactéries que portent leurs racines ;

» La vapeur d'eau disparaît en partie par condensation ;

» La tension se trouve abaissée par le refroidissement ;

» Il en résulte que l'air, après quelque séjour dans l'intérieur de la terre, se trouvant gravement altéré, sous tous les rapports, dans sa constitution initiale, tend à se mêler, par voie de diffusion, avec l'air atmosphérique, pour reformer un tout homogène ; et comme l'atmosphère est presque infinie par rapport au volume de l'air altéré du sol, cet air doit se dégager presque en totalité, pour que l'équilibre devienne stable ;

» Immédiatement après, le même processus se répète, et ainsi de suite.

» Le calcul fait voir, qu'en été, avec une température de 30 à 35 degrés, les deux tiers de la vapeur d'eau de l'air, qui est entré dans le sol, se résolvent en eau ; et, qu'en hiver, avec une température de -10° , le mélange d'un mètre cube d'air extérieur et d'air intérieur, produit 1^{er}.5 d'eau.

» L'air étant 800 fois plus léger et plus fluide que l'eau, possède probablement une faculté de pénétration en rapport ; aussi la météorologie d'aujourd'hui enseigne que l'océan aérien s'étend jusqu'à des profondeurs inconnues dans la terre.

» L'air humide pouvant ainsi pénétrer dans le sol à des profondeurs bien plus considérables que l'eau de pluie, il s'ensuit que le produit de la condensation de la vapeur d'eau, à ces profondeurs, sera mieux protégé que l'eau de pluie, contre l'évaporation superficielle ; l'eau de pluie, en effet, n'imprègne le sol, comme nous l'avons vu, que sur une assez faible épaisseur, et dont l'effet disparaît souvent avant qu'une nouvelle pluie tombe.

» On sait, du reste, que toutes les roches contiennent de l'humidité naturelle, que l'on appelle *eau de carrière* ; la proportion de cette eau

(1) On a découvert naguère un troisième gaz dans l'air atmosphérique, entrant dans sa composition pour un centième ; il est plus dense que l'azote, neutre et inerte, nommé pour cela *Argon*.

varie, des roches granitiques bien compactes jusqu'aux marnes, de quelques dix-millièmes à 40 pour 100; c'est une preuve que l'humidité pénètre partout.

» Comme l'action humidifiante de l'air est continue et plus persistante que celle de l'eau de pluie, elle est, par là, plus propre à engendrer, dans les terrains perméables en petit, des nappes souterraines aquifères. Dans ces terrains, la pluie ne jouerait plus que le rôle d'augmenter l'humidité de l'air; mais son rôle direct, dans les régions à terrains perméables en grand et dans les forêts, reste considérable.

» Du temps de Descartes, on expliquait l'origine des sources par l'introduction des eaux de mer dans la croûte terrestre, à travers les fractures et les fissures dont elle est entrecoupée, par l'évaporation de ces eaux, grâce à la chaleur interne, leur ascension, et puis leur condensation au contact des couches froides supérieures du sol. S'il en était ainsi, le débit des sources devrait augmenter avec le froid, tandis que l'on a constaté le contraire.

» Néanmoins, les eaux de mer pénètrent dans le sol des continents. J'en donne comme preuve le tremblement de terre qui détruisit Smyrne, en 1688, pendant lequel des crevasses qui s'étaient formées dans l'intérieur du pays, rejetaient et vomissaient des vapeurs et de l'eau de mer avec des poissons.

» Du reste, nous ne savons pas ce qui se passe dans les profondeurs mystérieuses de la terre. Les investigations de l'homme n'ont pas été poussées assez profondément; les sondages qui ont été faits jusqu'à présent, n'atteignent pas, si je ne me trompe, deux kilomètres.

» Pourtant, il n'est pas impossible que les eaux qui peuvent pénétrer jusqu'au bas de la croûte solide, ne remontent en partie, par suite de leur évaporation.

» Notons que les grandes quantités d'eau qui existent dans les entrailles de la terre, y ont été, sans doute, emmagasinées pendant l'immense durée des périodes géologiques, de sorte qu'elles n'ont plus besoin, aujourd'hui, que d'être alimentées, au fur et à mesure des déperditions, au moyen des météores aqueux.

» Si j'incline en partie vers l'hypothèse Vogler, c'est la logique des faits qui m'y entraîne.

» Quoi qu'il en soit, la lumière n'est pas encore suffisamment faite sur la question. Bien des mystères restent à percer. »

Sans entrer actuellement dans la discussion de certains points de l'exposé final qui précède du mémoire de M. Worré, M. *Van den Broeck* passe directement à l'étude de M. *Duclaux* mentionnée plus haut, parue il y a six ans dans les *Annales de l'Institut Pasteur* et inti-

tulée : *Sur les relations du sol et de l'eau qui le traverse*. L'auteur rappelle d'abord les théories de *Pettenkofer* (*Zeitschrift für Biologie et Archiv. für Hygiene*) dont l'apparition provoqua en Allemagne des discussions animées, et il résume les résultats acquis.

M. Duclaux examine d'abord ce qui se passe au contact avec le sol, d'eau distillée, c'est-à-dire privée d'éléments minéraux, organiques et de germes vivants.

La première action, la plus intense, la plus générale, c'est le *mouillage* des corps, à la surface desquels il y a une telle *adhérence liquide*, que ni pesanteur ni force centrifuge intense ne peuvent la vaincre. C'est l'expérience du tube capillaire plongé dans l'eau. D'après la loi de Jurini, la hauteur de la colonne soulevée est en raison inverse du diamètre du tube. Si l'on remplace le tube étroit par les interstices irréguliers, mais plus fins, d'une masse cendreuse disposée dans un large tube on obtiendra une masse terreuse humectée sur une hauteur d'autant plus grande que les éléments cendreaux seront plus ténus.

Comme dans le tube capillaire, la hauteur d'ascension ne dépend que, de la résistance de la membrane élastique couvrant le liquide et qui est en contact avec l'air (membrane formée par le jeu naturel de l'adhérence des molécules d'eau avec les molécules d'air) et ne dépend nullement de la nature du solide. Une fois le corps mouillé ce sont les seules forces moléculaires du liquide qui entrent en jeu.

Donc l'*attraction* capillaire — cause première du phénomène — dépend à la fois de la nature du solide et de celle du liquide, mais la *hauteur d'ascension* capillaire et, en général tous les *phénomènes capillaires*, ne dépendent plus ensuite que de la *nature du liquide*.

Cette distinction est importante à retenir. En ce qui concerne le sol pulvérulent, dont tous les éléments se laissent mouiller, les phénomènes d'ascension capillaire dépendront de la *grosseur* et non de la *nature* des éléments. De la grosseur des éléments dépend aussi la dimension des espaces lacunaires. Il est à remarquer que le volume total des vides entre les grains d'une masse sableuse ou pulvérulente ne varie pas beaucoup avec la grosseur de ces grains. Ce qui varie c'est la *dimension* de ces vides et la valeur moyenne de la distance des parois irrégulières.

Dans une masse sableuse filtrante quelconque, il y a environ $\frac{1}{3}$ de vide, occupé par l'air quand la masse est sèche, par l'eau quand elle fonctionne comme filtre. Avec des grains égaux, quelle que soit leur grosseur, il y aurait théoriquement 500 litres d'air ou d'eau *par mètre cube*. Mais dans la pratique il y a généralement mélange de grains plus petits ; ce qui diminue, quoique faiblement, ce rapport.

M. C. *Piefke* a étudié cinq espèces de sables de finesse croissante; l'espace vide a seulement varié de 29 à 34 % (au lieu de 50 %). D'une manière générale, on peut admettre que pratiquement il y a *un tiers* de vide.

La résistance à la circulation et à l'infiltration s'accroît avec la diminution des espaces lacunaires. Pour mesurer cette résistance (ou degré de perméabilité) on peut faire traverser un mètre carré de terre d'une épaisseur donnée, soit par de l'eau, soit par de l'air et voir, en un temps donné avec une pression déterminée, ce qui aura passé. Cette résistance au mouvement est distincte de la *capacité* absorbante, que l'expérience de Biot a fait constater. Dans cette expérience un entonnoir chargé de matières meubles reçoit l'eau du bas. Quand, sous l'action de la capillarité, l'affleurement liquide apparaît à la surface du dépôt, l'excédent liquide s'écoule par le bec laissé alors libre. Quand l'équilibre est établi, toute goutte d'eau ajoutée en haut s'échappe en équivalence de volume par le bas. Cette masse mixte, liquide et solide, remplissant le récipient a les propriétés des solides et des liquides en même temps; elle est *liquide* pour la transmission des pressions et *solide* au point de vue de la pesanteur. C'est là la donnée de la *capacité pour l'eau*.

Dans les sables et dans les corps analogues, cette capacité mesure à peu près le volume total des espaces lacunaires. Mais pour une même substance, cette capacité varie suivant le degré de finesse et de tassement. D'une substance à une autre, elle varie avec la densité et avec la tendance particulière à l'agglutination avec l'eau.

Cette capacité du sol pour l'eau est ce que *Schuller* a mesuré sous le nom d'*hygroscopicité*. Les chiffres obtenus sont de 25 à 60 % pour le sable; 27 % pour le sol calcaire; 40 à 70 % pour la glaise et l'argile; 190 % pour le terreau. De ce dernier chiffre on peut conclure à une relation générale entre la quantité totale des matières organiques contenues dans un sol et la résistance de celui-ci au dessèchement.

Après cette entrée en matière, l'auteur examine le cas de l'*eau de pluie* tombant sur le sol. Il a d'abord en vue un cas simple: celui d'une couche sableuse très perméable, supposée sèche et ayant toute sa capacité pour l'eau. On pourrait croire, au premier abord, que l'eau va s'y engouffrer tant que cette capacité ne sera pas satisfaite et qu'ensuite vont se produire les phénomènes de déplacement du haut vers le bas, dont il a été question ci-dessus à propos de l'expérience de Biot. L'auteur montre pourquoi il n'en sera d'ordinaire pas ainsi. Il faut tenir compte de l'*air* contenu dans la masse des sables et que les premières couches d'eau auront isolé de la masse aérienne; cet air fera

de la *résistance*, gênera le passage sur divers points, à moins qu'il ne trouve des issues pour s'échapper par places et rendre très irrégulière l'humectation de la masse de sable. Il n'y aura donc qu'une portion de cette masse qui sera mouillée et qui pourra livrer passage à l'eau sollicitée par la pesanteur.

Si le débit par le total des sections mouillées est suffisant pour laisser passer l'eau qui tombe sur toute la surface, le sable restera absorbant et il n'y aura pas d'eaux superficielles. Si ce débit est insuffisant au contraire, une partie plus ou moins considérable de la pluie tombée coulera à la surface du sol suivant les lignes de plus grande pente et s'en ira directement dans les ruisseaux et les rivières.

Si cette couche sableuse repose à son tour sur une couche imperméable, on verra apparaître au bas de la couche une source, qui débitera la quantité d'eau qui aura pénétré. A chaque nouvel apport d'eau à la surface, correspondra, dit M. Duclaux, par suite de déplacements successifs du haut en bas, un écoulement égal par la partie inférieure ; si bien que connaissant le volume emmagasiné et la hauteur annuelle de la pluie, on pourra facilement calculer le temps au bout duquel reparaît au jour l'eau qui tombe, à un moment donné, à la surface de la couche. Il faudra évidemment que la quantité totale de pluie tombée pendant ce temps soit égale au volume d'eau emmagasiné.

M. Hoffmann a fait pour Leipzig le calcul de ces éléments. Il a trouvé que la pluie mettait *114 jours* à traverser *1 m. de sable fin* dont les grains avaient de $\frac{3}{10}$ à $\frac{5}{10}$ de millimètre de diamètre. Il lui faudrait donc *plus d'un an* pour atteindre la nappe souterraine alimentant les puits de Leipzig..... Mais les eaux paraissent devoir se réunir plus rapidement en zones utilisables.

Avec des inégalités de grain dans le sable, il y a des inégalités (M. Hoffmann l'a constaté lui même) dans les veines descendantes.

Mais dans d'autres sols que les sols sableux, ces divergences s'accroissent encore.

« Dans les calcaires, même les plus poreux, la finesse des pores et leur pénétration habituelle par l'air font que cet air ne se laisse pas déplacer. Il suffit de creuser à quelques centimètres, une couche de CRAIE *exposée depuis des semaines à la pluie*, pour la trouver *sèche*, ou au moins réduite au degré d'humidité qu'exige l'équilibre des tensions de la vapeur en ses divers points. Ces couches calcaires voisines de la surface sont *stériles*, comme l'ont montré les expériences de MM. Roux et Chamberland. Elles ne sont pas dans les conditions de perméabilité d'une couche sableuse de même profondeur et l'eau ne circule guère qu'au travers des *fissures* nombreuses qui pénètrent ces

couches calcaires, fissures que du reste les eaux élargissent constamment, ajoute M. Duclaux, *en dissolvant leurs parois*.

« Les eaux de la Vanne empruntent ainsi 10 m³. par jour de matériaux au sol crayeux qu'elles traversent. Il ne faut plus dans ces conditions parler de retard au passage et d'années de pénétration à faible profondeur. Les eaux de la Vanne traduisent, à un ou deux mois de date, l'effet de la pluie d'automne sur les coteaux assez élevés qui dominent les sources. Dans le Jura, au travers de couches perméables et plus fissurées, le gonflement d'une source dans la plaine suit parfois, à *quelques heures de distance*, un orage dans la montagne, et vient en apporter la nouvelle à l'habitant de la vallée, qui ne l'a pas entendu. »

L'auteur parle ensuite des *terrains granitiques*, tantôt très impénétrables, tantôt parcourus par des fissures fines et nombreuses, permettant le suintement. Par la *régularité de l'action de leurs parois*, que l'eau ne corrode pas, ils peuvent être rangés à côté des terrains sableux. Par leur *circulation fissurale*, ils sont voisins des terrains calcaires.

L'imperméabilité des terrains argileux a une tout autre origine.

« Celle des calcaires compacts, des andésites volcaniques, des granits des terrains primaires vient de ce que la roche est impénétrable pour l'eau. Sa capacité pour l'eau est nulle. Elle reste constamment sèche. L'*argile* est au contraire perméable lorsqu'elle est sèche, imperméable lorsqu'elle est mouillée. De l'argile délitée au soleil, mise dans un entonnoir de verre (expérience Biot) arrosée d'eau, se laisse traverser très rapidement par les premières portions versées, qui trouvent un facile chemin au travers des fragments irréguliers; mais peu à peu cette argile foisonne, comme on sait, et forme une pâte liante et homogène. A ce moment elle est devenue tout à fait impénétrable. On a beau remplir d'eau et même exercer une pression sur l'entonnoir qui la contient, elle ne laisse transsuder aucune goutte d'eau au travers de sa masse, ce qu'il faut attribuer d'abord, à ce que les molécules d'argile très ténues (il y en a dont la dimension est inférieure à un millième de millimètre) ne laissent entre elles que des intervalles presque infranchissables pour l'eau; mais cela ne suffit pas. Il faut aussi admettre que l'atmosphère d'eau, dont s'entoure par attraction chaque molécule d'argile, est plus fortement retenue, et devient par là plus difficile à déplacer de proche en proche qu'avec d'autres corps. »...

L'argile a une attraction toute spéciale pour l'eau, qu'elle emprunte aux corps les plus divers et elle est très sensible à l'action des mordants... Une eau chargée de particules argileuses et restant trouble, se clarifie sous l'influence de quelques millièmes d'alun ou de chlorure de magnésium.

L'argile, soit pure, soit contenant même de la craie (et alors à l'état de marne) est un bon type de terrain imperméable. Quand les eaux ayant traversé des couches sableuses perméables, rencontrent de l'argile, elles coulent à sa surface en suivant sa ligne de plus grande pente. Elle produit ainsi cette nappe souterraine, cette « untergrund wasser », à laquelle la théorie Pettenkofer fait jouer un si grand rôle dans l'étiologie de certaines maladies.

L'auteur montre que les conditions spéciales qui existent à Munich, n'existent pas partout. Le cas se rencontre principalement sous les nappes d'alluvions des grandes vallées actuelles. Les affleurements de cette nappe forment, selon le cas, des étangs, des marais ou des sources. Cette nappe, à moins qu'elle ne soit très superficielle, traduit avec lenteur l'effet de la chute des pluies. C'est au bout d'un mois, de deux ou de six mois après les pluies, que grossissent les sources qui constituent le trop plein de ces nappes. « Dans la région du Havre, *M. Meurdra* porte à 30 mois la durée d'écoulement fournie aux sources par les pluies des hivers les plus humides. La nappe souterraine a donc parfois un volume égal à celui de la totalité de la pluie tombée pendant plus de deux ans sur la surface sur laquelle elle s'alimente. »

Pettenkofer a donc *exagéré* l'influence des causes de contamination, qui en réalité ne cesse d'être faible qu'à petite distance de l'émergence de l'eau, soit dans une source soit dans un puits. Mais il faut tenir compte, dans toute étude sur ce sujet, du volume de cette source, de son mouvement continu et des phénomènes d'absorption qu'elle peut subir sur son parcours de la part des sols poreux qu'elle traverse.

En ce qui concerne les relations de la nappe avec les cours d'eau, le cas *général* est que le lit du fleuve est imperméable parfois par nature, parfois par formation, comme dans les filtres, de végétations cryptogamiques ou microbiennes formant un feutrage infranchissable. Mais, en cas de crues, souvent les communications s'établissent. On s'en aperçoit par la température et la composition de l'eau des puits et des galeries souterraines. La nappe souterraine d'une vallée d'alluvion est toujours plus haute que le niveau moyen du fleuve... EXEMPLE : la Seine à Paris est à la cote 25. La nappe aquifère est à la cote 40 à Belleville; à 36 au boulevard Magenta; à 33 aux Buttes Chaumont; à 25 à la Barrière de l'Etoile. La pente de la nappe aquifère est forte sur la rive droite, elle suit celle des terrains imperméables de son substratum. Sur la rive gauche elle est moins élevée : 26 m. au Quai des Grands-Augustins; 30 à l'Observatoire; 29 à la Barrière Montparnasse...

Les sources et les fleuves emportent donc à la mer toute la pluie *moins l'évaporation*. Passant au phénomène de l'*évaporation* l'auteur

se demande comment l'on peut se faire une idée de ce facteur important. « La meilleure manière d'en mesurer l'effet *in toto* est, dit-il, de comparer la quantité d'eau tombée à celle que la totalité des fleuves ou des rivières de la région a roulée vers la mer. Dans ces calculs il faut embrasser des périodes aussi longues que possible, de manière à éliminer les influences des étés sur les hivers et des années sèches sur les années humides. Une cause d'erreur quelque peu notable est l'eau des couches *artésiennes*. Elles vont d'ordinaire à l'Océan et sont comptées dans les calculs comme eaux évaporées.

Mais l'erreur provenant de cette perte n'est pas grande. En la négligeant on trouve qu'en France les fleuves et rivières n'amènent à la mer que 57 % de l'eau tombée; donc l'évaporation enlève les 43 centièmes de l'eau pluviale.

Mais il n'y a pas de proportion absolue. Ce chiffre est très variable et repose sur divers facteurs. Les terres évaporent moins qu'elles ne reçoivent puisqu'elles donnent naissance aux fleuves et rivières, tandis que les mers évaporent plus qu'elles ne reçoivent.... La mesure de l'évaporation a déjà donné lieu à bien des mécomptes et des résultats inexacts.... Il est aisé de constater des défauts absolus de principes dans l'étude des variations d'une surface d'eau, dans l'évaporimètre....

« Pour arriver à une mesure plus précise de ces relations, nous n'avons, dit l'auteur, qu'à répéter sur une petite surface ces mesures de quantité de pluie tombée et d'eau drainée superficiellement ou dans la couche souterraine, qui nous ont servi à nous faire une idée de l'évaporation totale en France. Ces mesures ont été faites par M. E. Risler à Callères, sur le sol de sa propriété, dans une terre dont il connaissait bien la constitution, reposant sur une couche imperméable et bien drainée. La moyenne de l'évaporation en 3 années, pendant lesquelles la terre a porté des cultures diverses, a été de 75 % de l'eau tombée. Sur d'autres cultures, à Callères, le chiffre d'évaporation a été de 84 % de l'eau tombée en 1879. On peut admettre le chiffre de 80 % comme assez voisin de la *réalité* (1).

» Il se rapporte, remarquons-le, à des terres mises *en culture* et dans lesquelles à l'évaporation du sol nu, diminuée par la couverture végétale, vient s'ajouter mais de façon à combler et au delà la perte, la *transpiration du végétal*, qui dépend à la fois de sa surface foliacée et de la lumière qui tombe sur lui et du degré d'humidité de l'air qui le baigne. L'évaporation en sol nu, ne monte pas à un chiffre aussi élevé. M. Marié-Davy, qui a essayé de la mesurer en constatant

(1) C'est précisément le chiffre maximum fourni par M. Worré dans son étude.

chaque jour la perte de poids d'un wagonnet rempli de terre maintenue stérile, l'a fixée à environ la moitié de la hauteur de pluie reçue; mais ce sol artificiel n'était pas dans les conditions du sol naturel; il n'était jamais à la même température, et surtout il ne recevait pas des profondeurs, *par capillarité*, ses provisions d'humidité que le sous-sol fournit constamment aux couches superficielles et à l'aide desquelles la région pénétrée par la chaleur du soleil organise sa résistance aux longues sécheresses.

Il y aurait des détails intéressants à donner sur le mécanisme qui préside à cette restitution et par suite à l'évaporation de la nappe souterraine, qui semble cependant si bien protégée contre elle. Il n'y a pas seulement, comme on le croit d'ordinaire, ascension capillaire de l'eau, comme dans une couche de sable fin contenu dans un tube qu'on plonge dans l'eau par le bas. Pour que cette ascension se produise, il faut qu'il y ait quelque part une surface libre et, par suite, que le pied de la colonne soit largement baigné; ce qui n'est pas toujours le cas. De plus, l'ascension capillaire dépend uniquement de la grandeur des lacunes capillaires qui sont au sommet de la colonne et il suffirait que celle-ci, en s'élevant, rencontrât seulement un millimètre d'épaisseur de terrain à éléments grossiers, pour que son ascension fût arrêtée. L'irrégularité dans la constitution des couches terrestres est telle qu'on peut croire que cela arrive souvent et conclure que la communication capillaire liquide entre la nappe des puits et la couche superficielle n'existe quasi jamais. Ce n'est donc pas *par ascension directe* que se fait le transport à la surface des eaux profondes.

Mais les *effets capillaires* s'exercent aussi sur les *vapeurs*. Sir *W. Thomson* a montré que si l'on suspend dans un tube contenant un peu d'eau, fermé, soustrait à toute cause d'évaporation, et maintenu à la même température, un tube de verre capillaire fermé par le bas et s'ouvrant en haut dans la vapeur d'eau contenue dans le grand tube, ce tube capillaire condense cette vapeur et se remplit d'eau jusqu'à une hauteur *précisément égale* à la hauteur d'ascension capillaire de l'eau dans ce tube, s'il était ouvert par le bas dans le liquide. De même, *dans le sol*, les vapeurs des portions imprégnées d'eau vont, de proche en proche, se condenser dans les espaces capillaires des portions les plus sèches.

Il convient, fait observer *M. Van den Broeck*, de prêter une sérieuse attention à la curieuse et suggestive expérience de *W. Thomson*, rapportée par *M. Duclaux*. Cette obéissance, stricte et incontestablement démontrée, des *vapeurs de condensation aux lois de la capillarité* nous

ramène aux considérations finales de l'étude de M. *Worré* et montre qu'il y a là une cause générale et importante. sous cette forme inattendue de la condensation et du cheminement capillaire souterrain de la vapeur d'eau atmosphérique, d'alimentation des eaux souterraines, complètement indépendante de l'action des infiltrations pluviales.

Le sujet réclame encore bien des études et des expériences. M. *Worré* a eu raison d'attirer l'attention de ses lecteurs sur ces voies intéressantes et son travail, nonobstant certaines petites imperfections de détail et de méthode d'expérimentation, justement critiquées par M. Rutot, constituera pour beaucoup de nos collègues un précieux enseignement dévoilant combien il reste encore à apprendre sur la question qui paraissait si simple, sur la notion qui semblait si nettement acquise, du MODE D'ALIMENTATION DES NAPPES AQUIFÈRES.

La discussion sera rouverte ultérieurement sur cet intéressant sujet.

M. E. *Van den Broeck* fait la communication suivante :

Exposé préliminaire d'un projet d'étude du sous-sol primaire de la Moyenne et de la Basse Belgique à l'aide des matériaux fournis par les puits artésiens,

par ERNEST VAN DEN BROECK.

M. *Van den Broeck* expose que les péripéties du creusement du puits artésien de la ville de Gand ont attiré son attention et l'ont engagé à développer devant la Société un projet d'étude du sous-sol primaire de nos plaines basses devant, d'après lui, amener de multiples avantages scientifiques et utilitaires.

Voici ce qui s'est passé à Gand : La ville avait voté un crédit de 30,000 francs en vue d'obtenir, par le creusement d'un puits artésien, un supplément d'eau potable devant enrichir sa distribution qui, comme qualité et quantité, ne répond pas aux nécessités locales.

D'après l'avis de plusieurs géologues, paraît-il, et en application des idées émises par M. le Prof. *Lambert* au sujet des ressources aquifères de la craie, on avait espéré trouver dans la craie servant de substratum au terrain tertiaire de la plaine flamande une forte quantité d'eau. Le diamètre du puits : 0.^m40 au sommet, paraissait suffisant pour assurer le débit considérable attendu. Mais la craie, restée compacte et non fissurée — comme c'est d'ailleurs le cas à Ostende, à Menin, à Roulers et Courtrai, n'a pas répondu aux espérances des promoteurs et parrains de l'entreprise.

Même la couche de cailloux de sa base, en contact avec le sous-sol

primaire, n'a pas amélioré la situation, car les dits cailloux se sont trouvés empâtés dans un dépôt de craie marneuse empêchant la circulation d'une nappe souterraine à ce niveau. On s'est alors adressé à des spécialistes afin de savoir si un approfondissement dans le terrain primaire sous-jacent était conseillable. Notre collègue M. A. Renard, professeur à l'Université de Gand, en présence des résultats aléatoires si souvent constatés lorsqu'on tente de trouver des venues d'eau au sein des roches primaires profondes, déclara ne pouvoir se prononcer d'une manière catégorique.

L'Administration communale s'adressa ensuite à M. le baron van Ertborn, spécialiste distingué en matière de forages profonds et qui a creusé le puits Van der Smissen, à Alost. Dans cette localité, un puits tubé, de moins de moitié du diamètre de celui de Gand, a traversé 40 mètres de roches primaires parcourues de fissures aquifères et a fourni 240 litres à la minute au sol et 450 à 500 litres par pompage abaissant le niveau de l'eau à 4^m.50 sous le sol. Se basant sur cette donnée, considérée comme encourageante (1), l'Administration communale de Gand décida de descendre au sein du terrain primaire et, vers la fin du mois de mai, les journaux locaux ayant suivi et exposé les travaux signalaient que cet approfondissement avait déjà causé une assez inutile majoration de dépense de 27,500 francs.

Une succession de phyllades, verts bleuâtres et rouges, appartenant à l'assise devillienne du Cambrien, a été rencontrée et, comme on pouvait s'y attendre, la nature schisteuse de la roche n'a guère été favorable à un résultat rémunérateur. A 217 mètres cependant, il a été rencontré une crevasse assez considérable, constituant une sorte de chambre d'environ 1^m.40 et dont il a été retiré des cristaux de quartz nombreux. De la pyrite a également été rencontrée à ce niveau. Depuis la découverte de cette fissure, un certain afflux d'eau a été constaté. Toutefois, le débit de 300 mètres cubes par jour, obtenu vers la fin mai lorsque le puits était arrivé à la profondeur de 234 mètres, n'est nullement en rapport avec les espérances primitivement formulées, ni avec les dépenses effectuées.

Il importait d'obtenir, coûte que coûte, une quantité d'eau plus

(1) Il eût cependant été bon de faire observer qu'à Alost c'est l'heureuse rencontre d'environ 9 mètres d'une sorte d'arkose fissurée, englobée au sein du schiste silurien ou cambrien (percé en tout sur 40 mètres d'épaisseur, y compris le banc d'arkose), qui a fourni les venues d'eau. La rencontre à Gand de ces mêmes bancs d'arkose ne pouvait raisonnablement être espérée et les chances de réussite ne se bornaient nullement à une simple question d'égalité d'approfondissement au sein du massif primaire.

sérieuse, car outre la question d'apport numérique en mètres cubes, l'adjonction des eaux profondes, qui sont nettement alcalines, à l'eau superficielle de la distribution gantoise, aurait eu l'avantage d'abaisser considérablement le degré hydrotimétrique, affreusement élevé, des eaux de la distribution. En effet, alors que la dureté des eaux artésiennes obtenues était seulement de 4°, celle des eaux d'alimentation est de 45° ! Le mélange des deux eaux devait encore avoir pour résultat la précipitation d'une grande partie du fer contenu dans les eaux alimentaires et une réaction favorable pouvait éventuellement s'en suivre sur la teneur des matières organiques.

Déjà avec les 300 mètres cubes actuellement obtenus du puits artésien, M. *Nelissen*, Directeur du laboratoire communal de Gand, prétend pouvoir, à l'aide de bassins de décantation convenablement disposés, purifier 1000 à 1200 mètres cubes d'eau de la distribution actuelle et fournir 1500 mètres cubes d'eau de très bonne qualité.

Au commencement de juin dernier, la question posée était celle-ci : Ne conviendrait-il pas, en vue de l'éventualité d'un résultat analogue à celui constaté à Alost, par un approfondissement sérieux dans le primaire, de risquer encore une somme supplémentaire de 3000 à 5000 francs, permettant de percer encore une trentaine de mètres supplémentaires dans le terrain primaire ?

M. *Van den Broeck* ignore la réponse qui a été donnée à la dite question, mais il fait remarquer qu'une situation analogue se présente bien souvent dans le creusement des puits artésiens de nos régions de plaines et de formations crétacées et tertiaires horizontales. Fréquemment, en effet, les dépôts meubles où l'on avait espéré trouver des ressources aquifères ne répondent pas aux espérances émises (1).

Lorsqu'on arrive au substratum primaire, le coût et les difficultés du forage augmentent. L'insuccès, bien connu, de certaines tentatives, décourage les uns; les venues inespérées qui, en d'autres cas, plus

(1) Deux *Notes successives sur le forage d'un puits artésien pour la distribution d'eau de Gand* ont été publiés par M. G. COUNE, Ingénieur de la ville, dans les *Annales de l'Association des Ingénieurs sortis des écoles spéciales de Gand* (Voir t. XX, 1896-97, 1^{re} et 4^e livr., pp. 65-71 et 232-236.

Il résulte de ces notices qu'un subside de 5000 francs a été accordé pour la continuation des travaux d'approfondissement qui, de 250 mètres ont été portés, toujours dans les phyllades devilliens, jusqu'à 276^m.50. Ces 37 mètres d'approfondissement n'ont produit aucun résultat utile, au point de vue du débit du puits.

Quant au débit, mesuré par des essais de pompage à air comprimé, il a augmenté avec la longueur des tubes ascensionnels et avec le nombre des compresseurs.

Le chiffre maximum de débit a été de 936m³ par jour.

(Note ajoutée pendant l'impression.)

rare d'ailleurs, ont fait jaillir d'abondantes « sources » de certaines fissures heureusement rencontrées dans le sous-sol primaire, font croire à d'autres qu'il suffit de percer avec confiance et persévérance le sol rocheux, quel qu'il soit, pour obtenir des venues d'eau, compensant les forts débours d'un approfondissement important en sol rocheux. Bref, le *hasard* et la *fantaisie* règnent en maîtres, aussi bien dans les *avis donnés*, que dans les *résultats acquis*, et ce manque de méthode et de guide est des plus hautement regrettable.

Lorsqu'on examine les données lithologiques fournies par la roche primaire de nos puits artésiens ayant atteint et entamé ce substratum rocheux de nos dépôts meubles, secondaires et tertiaires, on constate un premier fait, d'accord d'ailleurs avec une saine appréciation des choses. C'est surtout dans les niveaux de *grès*, d'*arkoses*, de *quartzites* et de *quartzophyllades*, mais particulièrement dans les trois premières catégories de roches, que les venues d'eau, les « sources » comme on les appelle, se présentent le plus fréquemment. La raison en est que c'est dans cette nature de roches que les fentes, failles et diaclases se présentent en plus grand nombre et avec le plus d'ampleur et de continuité. Dans ces terrains, les fentes n'ont pas non plus la tendance à se boucher, à se refermer, comme c'est le cas pour les *schistes*, *phyllades* et autres roches analogues. La circulation des eaux souterraines y est donc mieux établie, plus générale et les chances de rencontrer l'une ou l'autre fissure aquifère, en communication avec un lacin de fentes analogues constituant un réservoir d'eau, y sont assez grandes.

Dans les terrains schisteux, dans les phyllades, bien que les fentes puissent s'y rencontrer aussi et fournir de l'eau, témoin les puits d'un certain nombre d'usines sucrières de la Hesbaye, le cas est moins fréquent et les chances deviennent moins grandes. Toutefois ces chances augmentent pour les niveaux stratigraphiques où se présentent des alternances de *bancs durs gréseux* ou de *quartzites*, épars ou en récurrences au sein des phyllades ou des schistes. Ces bancs sont souvent parcourus de fentes et l'une ou l'autre de leurs surfaces jalonne parfois des sources aquifères. La connaissance préalable du *niveau stratigraphique* du sous-sol primaire serait donc un élément précieux d'appréciation; malheureusement elle fait presque toujours défaut! Dans d'autres cas, les chances d'obtention d'eau sont au contraire réduites à un minimum absolu, lorsque se présentent certaines manières d'être du schiste ou des phyllades. En effet la *décomposition* de ces roches donne assez souvent lieu à la formation d'une couche d'*argile* parfois *très plastique*, qui recouvre comme d'un *manteau imperméable* de vastes étendues souterraines de surfaces primaires et empêche

toute infiltration des eaux descendantes au sein de la roche intacte sous-jacente.

Ceci amène M. Van den Broeck à dire quelques mots des deux puits naguère creusés aux gares du Midi et du Nord, à Bruxelles, lesquels n'ont rien donné de favorable ni l'un ni l'autre. S'il y avait lieu de poursuivre le creusement de l'un d'eux avec l'espoir qu'un approfondissement ferait se produire quelque venue d'eau, le choix serait bientôt fait. Au puits de la gare du Midi, établi à la cote 20, et où manque le terrain crétacé, on a rencontré le schiste silurien à la cote — 50^m.50. Ce schiste, percé sur une épaisseur de plus de 25 mètres, était, à sa surface, très altéré, « décomposé » et partiellement transformé en une argile plus ou moins imperméable, schisteuse et micacée, épaisse de 5 mètres. Le puits a été abandonné, le débit étant pour ainsi dire *nul*. Non loin de là, à la grande distillerie belge de la rue de Russie (cote 21.50), le Silurien, ou plus probablement le Cambrien, a été rencontré à 60 mètres seulement de profondeur (cote — 40^m environ). La roche est représentée par des schistes avec bancs de *quartzites* et le puits, actionné par une pompe, débite 3300 litres à l'heure.

A la place des Nations, devant la gare du Nord, un puits commencé en 1846 et s'alimentant d'abord au Landenien, à la profondeur de 57 mètres, a été approfondi ultérieurement jusqu'à environ 107 mètres. On y a percé 30^m.50 de phyllades cambriens, tendres et multicolores, ne contenant pas d'eau, mais au fond il a été rencontré *une roche dure*, un banc de quartzite sans doute, ayant fourni un niveau aquifère, jaillissant au début.

Le puits n'est plus utilisé, mais la démonstration a été faite. Après plus de 30 mètres de schistes compacts, non fissurés ni aquifères, dès qu'un banc dur, et évidemment crevassé, a été rencontré, l'eau est venue et il paraît fort probable que le puits serait facilement productif à nouveau si l'on descendait quelque peu *au sein* du banc dur qui naguère a arrêté les travaux et qui nécessite un outillage et des dépenses devant lesquels on a sans doute reculé lors du travail d'approfondissement dans le Primaire.

La présence des bancs durs, surtout non gréseux, comme par exemple ceux formés par le quartzophyllade n'est pas toujours une garantie de venue d'eau. C'est le degré de *fissuration* des roches plutôt que leur dureté qui est en relation avec les venues d'eau et ce degré de fissuration est lui même sous l'influence des *phénomènes de plissement*, de *contournement* et de *faillage* des dépôts rocheux souterrains. A l'Usine à gaz de Bruxelles, un puits artésien, tout récemment creusé, a rencontré, sous 17 mètres de craie peu aquifère, 19 mètres de phyllades et de quartzo-

phyllades, avec intercalation vers le haut, de roches dures de quartzite et de quartz pyriteux et cependant le débit *de la source primaire* n'est guère considérable car, par écoulement naturel, cette source ne donne guère par 24 heures qu'une vingtaine de mètres cubes. Le Landenien fournissait 30m³ et après la traversée de la craie, on obtenait 54m³. Pour élever le débit à 5 ou 600 m³, le niveau d'eau a dû être abaissé par pompage à environ une vingtaine de mètres sous un niveau hydrostatique qui s'élevait à 1^m.66 au-dessus du sol. Le bicarbonate de soude s'est montré assez abondant dans cette eau.

Les forages profonds de Bruxelles ont montré l'action d'un autre élément dont il convient également de tenir compte dans les prévisions de rendement des puits. Très généralement la surface souterraine des terrains primaires, au contact des couches secondaires ou tertiaires recouvrantes, se présente avec un caractère d'arasement régulier, atteignant parfois une grande régularité d'allures. C'est alors une sorte de table, de *surface plane* indépendante de la diversité et des irrégularités d'allures des strates rocheuses sous-jacentes. Parfois aussi la surface du terrain primaire est *vallonnée* ou *sillonée* d'ondulations correspondant souvent à des plis synclinaux et anticlinaux. Dans certaines régions où se présentent des alternances de roches *solubles* sous l'action des eaux d'infiltration (comme les calcaires), et de roches insolubles (comme les schistes ou phanites), il se forme de véritables *vallées souterraines*, régionales ou localisées, amorçant des sillons superficiels correspondants, créés par des actions spéciales dont il a été question ailleurs (1). Enfin il existe parfois en plein massif relativement homogène dans ses propriétés dissolvantes, des crêtes en relief très accentuées, ayant une grande importance dans les questions d'études préalables d'emplacement et de débit des puits artésiens cherchant à s'alimenter dans les terrains meubles et localement aquifères qui recouvrent à la fois ces crêtes souterraines et les vallées qu'elles bordent, ou bien qui sont localisés dans celles-ci seulement (2).

Au sein des dépôts anciens : cambriens et siluriens on peut encore rencontrer des zones intrusives ou interstratifiées de roches cristallines : arkoses, tufs volcaniques sous-marins, etc. Ce cas s'est présenté dans certains sondages de la Flandre.

(1) *De l'extension des sédiments tongriens sur les plateaux du Condroz et de l'Ardenne et du rôle géologique des vallées d'effondrement dans les régions à zones calcaires de la Haute Belgique*, par E. VAN DEN BROECK et A. RUTOT (Bull. Soc. belge de géol., t. II, 1888. Pr. verb., pp. 9-25).

(2) *Le puits artésien du nouvel Hôtel des Postes de Bruxelles*, par A. RUTOT et E. VAN DEN BROECK (Bull. Soc. belge de géologie, t. III, 1880. Pr. Verb. pp. 99-105).

Des eaux souterraines abondantes se présentent parfois en concordance avec de pareils facies locaux ou régionaux, dont il importerait de connaître l'étendue, la direction et l'allure par un ensemble de renseignements que pourrait fournir un réseau bien étudié de puits plus ou moins voisins. Bref, de très nombreux cas pourraient être énumérés, dit M. *Van den Broeck*, montrant l'importance pratique que pourrait acquérir, tant au point de vue de nos connaissances géologiques, que de leurs applications hydrologiques, la notion aussi précise que possible — et approfondie au point de vue de la détermination exacte des significations stratigraphiques et lithologiques, — des *roches du sous-sol primaire* de la moyenne et de la basse Belgique, retirées par les travaux de forage de nos puits profonds, dits artésiens.

De cette connaissance sortiront sans nul doute des enseignements précieux, des déterminations précises et de tels repères, mis aux mains des spécialistes, leur permettront de dresser au moins une esquisse et peut-être ultérieurement une carte des allures et de la répartition des différentes zones stratigraphiques, lithologiques — et par conséquent à propriétés hydrologiques spéciales — de nos terrains primaires, profondément cachés, de la moyenne et de la basse Belgique. Dans les parties méridionale et orientale de la moyenne Belgique, les *vallées* permettent d'observer un certain nombre d'*affleurements*, où peuvent s'étudier, dans une certaine mesure, les allures générales et les grands plissements de couches. En utilisant ces diverses données, réunies en une vaste synthèse, on se trouvera bientôt en possession de documents du plus haut intérêt pratique.

Lorsqu'alors le géologue aura à se prononcer sur le point de savoir s'il y a quelque chance sérieuse de rencontrer de l'eau en approfondissant un puits ayant atteint la roche primaire: cambrienne, silurienne ou devonienne, voire même cristalline ou éruptive, il aura à sa disposition des *éléments d'appréciation* qui, il faut bien le dire, lui manquent d'une manière absolue actuellement.

L'un des premiers articles d'un pareil programme d'étude consisterait à obtenir par voie artificielle de concassage et de broyage, une série de roches primaires bien déterminées, prises dans les points d'affleurement classiques et recueillies à l'état intact, ainsi qu'à l'état altéré, voire même décomposées. De tels échantillons, concassés et broyés à divers degrés par voie mécanique, devront servir de repères pour la détermination des fragments : cailloutis, résidus et boues retirés des forages profonds de nos plaines.

Toutefois il convient de ne pas s'illusionner sur la valeur des généralisations qui ne seraient pas basées sur de multiples données.

Ainsi, si l'on voulait étendre largement à droite et à gauche d'une série linéaire de sondages ou bien d'une vallée d'affleurement en roches primaires, les données fournies par les allures générales, les plissements des couches, avec leurs synclinaux et anticlinaux parfois localisés, et cela sans faire appel à des observations complémentaires, on s'exposerait souvent à des mécomptes dans l'établissement des synthèses. Celles-ci réclament *un réseau* de multiples faits, qu'il faudra certainement du temps et des circonstances favorables pour réunir en nombre suffisant. Il convient donc de se mettre sans tarder à l'œuvre et de ne négliger *aucune occasion* d'accumuler ces précieux matériaux d'étude.

C'est en suite de l'exposé de ces vues, que M. *Van den Broeck* avait fait à notre collègue M. le Commandant *Cuvelier*, que ce dernier, vivement intéressé par les utiles résultats que l'on est en droit d'attendre de l'exécution d'un tel projet, a eu l'amabilité de faire préparer l'intéressante série préliminaire des roches concassées et triturées, soumise à l'assemblée de ce jour et dont parle la correspondance, lue tantôt, de M. *Cuvelier*.

L'assemblée, par l'organe de divers membres présents, fait bon accueil au projet d'études préconisé par M. *Van den Broeck* et décide que la question sera remise à l'ordre du jour dès que la série des éléments de comparaison aura pu être complétée et sera en état de servir de repère.

5° M. *V. Dormal* présente, au nom de MM. *D. Muysse* et *Gérard*, ainsi qu'au sien, le *compte rendu*, détaillé et avec figures, d'une *excursion faite par la Société géologique du Luxembourg, dans les bassins miniers d'Esch et de Pétange*.

L'assemblée, par suite de la présence de collaborateurs étrangers à la Société, dans ce travail, décide qu'il sera soumis à l'examen de trois rapporteurs, qui sont MM. *Blanchart, Rutot* et *Stainier*.

V. DORMAL. Les Ammonites du Jurassique belge. — Liste préliminaire.

Sous ce titre, M. *V. Dormal* présente une liste, qu'il a rendue aussi complète que possible, des Ammonites, au nombre de 85, recueillies ou confrontées par lui des étages hettangien, sinémurien, charmoutien et toarcien du Jurassique inférieur belge et de l'étage bajocien du Jurassique moyen.

Il énumère également, mais en dehors de cette liste, vingt-quatre formes d'Ammonites signalées en 1868, par M. *Dewalque*, dans les listes de son *Prodrome*, mais dont l'existence, restée douteuse, réclame une confrontation qui a fait défaut jusqu'ici.

L'assemblée vote l'impression de cette note dans les *Mémoires*.

La perte récente de plusieurs de nos membres honoraires et associés étrangers, des plus distingués, amène MM. *Dollo* et *Jottrand* à faire les communications suivantes :

GUSTAVE JOTTRAND. Joseph Prestwich (1815-1896).

M. G. Jottrand fait, au sujet de la vie et des travaux de M. le professeur *J. Prestwich*, une communication orale, qui sera complétée et rédigée ultérieurement.

L. DOLLO. H.-E. Beyrich (1815-1896).

L'auteur signale la perte considérable que la science vient de faire en la personne de M. *Beyrich*, professeur à l'Université de Berlin.

Il rappelle brièvement la longue et brillante carrière de ce célèbre géologue, et insiste, notamment, sur ce qu'il fut le créateur de l'Oligocène.

L. DOLLO. J.-G. Bornemann (1831-1896).

L'auteur appelle également l'attention sur la mort de M. *Bornemann* d'Eisenach, géologue distingué, qui se fit remarquer par ses travaux sur les Foraminifères et sur la faune des terrains primaires et secondaires.

L'ordre du jour de la séance se termine par le choix de la date et l'établissement du programme définitif de la *Session extraordinaire annuelle* de la Société dans le Limbourg belge et hollandais, Aix-la-Chapelle, Bonn et aux Siebengebirge.

Il est décidé que l'excursion aura lieu du 23 au 29 août, et sera successivement dirigée par MM. *Rutot* et *Van den Broeck*, *Erens*, *Holzappel* et *Stürtz*.

La première journée, du dimanche 23 août, sera consacrée à l'étude des dépôts oligocènes du Limbourg, et le lendemain permettra d'effectuer l'exploration de la vallée du Geer. Le mardi 25 sera utilisé pour la visite du gîte d'Elsloo, des carrières de Fauquemont, etc.

L'étude des terrains crétacés d'Aix-la-Chapelle prendra la quatrième journée du 26 août et une partie de la journée suivante, dont l'après-midi permettra d'aller visiter la célèbre mine de lignite, de Roddergrube, près Brühl.

Le vendredi, 28, sera consacré à l'étude des roches éruptives (trachytes et basaltes) et à celle du Diluvium du Rhin, et enfin la septième et dernière journée, du samedi 29 août, permettra d'aborder, dans des conditions exceptionnellement favorables et agréables, le superbe et intéressant massif volcanique des Siebengebirge, et ses remarquables carrières basaltiques.

L'exposé de ce beau programme, qui est adopté par l'assemblée, est suivi, sur la proposition du Président, de chaleureux remerciements, votés par acclamation, à notre collègue M. Stürtz, de Bonn, au zèle et à l'obligeance duquel la Société est redevable des plus vives attractions de ce remarquable programme d'excursion.

La séance est levée à 11 heures.

NOUVELLES ET INFORMATIONS DIVERSES

Note préliminaire sur la constitution des phosphates de chaux suessonniens du Sud de la Tunisie, par M. CAYEUX.

Je dois à l'obligeance de M. Parran, ingénieur en chef des mines et de M. Douvillé, professeur à l'École des mines, de pouvoir communiquer à l'Académie quelques données préliminaires sur les phosphates de la vallée de la Seldja, à l'ouest de Gafsa (Tunisie). On sait que ces phosphates, découverts par M. Ch. Thomas, sont d'âge suessonien.

Les échantillons qui ont été mis à ma disposition par MM. Parran et Douvillé rappellent à s'y méprendre les sables phosphatés cohérents de la Somme. A la loupe ils se décomposent en grains arrondis, ovoïdes, quelquefois anguleux, mesurant de un à plusieurs dixièmes de millimètres de diamètre. Quelques-uns dépassent un millimètre; ils ne sont jamais calibrés.

Les sections minces pratiquées dans ces échantillons montrent que les éléments phosphatés sont uniformément colorés en jaune pur ou chargés d'un pigment brunâtre. Ils paraissent homogènes aux faibles grossissements. Un petit nombre — quelques individus par préparation — renferment en leur centre soit un *Foraminifère*, soit un *Radiolaire*.

En s'aidant de forts objectifs et d'une bonne lumière, on constate que l'aspect homogène des grains n'est qu'une apparence. En réalité, la plupart des éléments représentent un véritable nid de microorganismes. On y trouve pêle-mêle des carapaces complètes et fragmentaires de *Diatomées*. C'est par dizaines que l'on compte

les restes de *Bacillariacées* dans beaucoup de grains de phosphates. Certains éléments se résolvent même en un véritable feutrage de cuirasses de Diatomées. Le nombre de vestiges laissés par ces Algues dans la petite masse de matière phosphatée dont est faite une seule préparation est incalculable. Diatomées et Radiolaires ont conservé intacts les détails les plus minutieux de la structure de leur squelette. J'ai reconnu des genres connus : *Triceratium*, *Coccinodiscus*, etc., qui vivent à la fois dans les eaux maritimes et saumâtres.

Avant d'inférer que cette composition organique si particulière s'étend à tout le gisement, il serait nécessaire d'examiner un plus grand nombre d'échantillons. De cette étude préliminaire et très incomplète, on peut déjà conclure :

1° Qu'il existe, dans la vallée de la Seldja, un phosphate de chaux issu, non pas d'une boue à *Foraminifères*, comme le phosphate sénonien du bassin de Paris et de Belgique, mais d'une boue à *Diatomées*. C'est un *tripoli phosphaté*.

2° Tandis que chaque grain des phosphates de la Somme et de la Belgique correspond généralement à un seul *Foraminifère* qui a servi de centre d'attraction à la matière phosphatée, chaque élément des échantillons considérés est le produit, non du *remplissage* d'un organisme, mais de l'*épigénie* d'une petite portion de boue de Diatomées, organisme et ciment compris.

Le Suessonien phosphaté de la vallée de la Seldja se signale tout spécialement à l'attention des diatomistes qui y trouveront d'inépuisables sujets d'études, d'autant plus intéressants que les célèbres dépôts de Diatomées fossiles (*tripolis* d'Oran, de Richmond, de Bilin, etc.) sont d'âge plus récent.

Je n'ai pas encore pu établir si l'accumulation des grains de phosphate est le résultat d'un transport ou le produit d'une formation sur place. Il importe cependant de noter que les éléments phosphatés se déforment, en s'appliquant les uns contre les autres, toutes les fois qu'ils sont assez nombreux pour se trouver en contact. Cette particularité est difficilement explicable si l'on n'admet pas qu'une partie au moins du développement de ces grains s'est effectuée *in situ*.

Dans l'état actuel de nos connaissances, la composition du dépôt phosphaté ne fournit aucune indication sur les conditions de profondeur qui ont présidé à sa genèse. Dans la plupart des préparations étudiées les agents mécaniques n'ont laissé pour toute trace de leur activité que la fragmentation des cuirasses de Diatomées. Un échantillon renferme de nombreux grains de quartz calibrés, mesurant 0^{mm},12 en moyenne, alors que les éléments phosphatés qui les accompagnent sont d'un diamètre très variable et notablement supérieur à ce chiffre.

Parmi les fossiles remis à M. Douvillé par M. Parran se trouvent de grosses Huîtres du groupe de l'*Ostrea edulis*. On sait que cette forme fait partie de la zone des Laminaires, dont la profondeur maxima est de 27 m. ou 28 m. Je souligne en passant l'association vraiment singulière de ces fossiles avec les Diatomées et les Radiolaires.

J'ai étendu cette étude à quelques échantillons de phosphate suessonien de la province de Constantine. L'un d'eux est originaire de Bordj-Redir et m'a été remis par M. Blayac : deux autres sont de Kissa et de Dyr (région de Tébessa), ils ont été déposés par M. Zeiller à la collection de Géologie de l'École des Mines. L'examen très rapide que j'en ai fait m'a permis d'y reconnaître quelques vestiges de Diatomées. Il semble bien probable qu'il existe dans la région de Tébessa des phosphates qui procèdent de la même origine que ceux que je viens de décrire.

(C. R. Acad. des Sc., Paris, 27 juillet 1899.)

Des conditions dans lesquelles s'est fait le dépôt du phosphate de chaux de la Picardie, par M. GOSSELET.

Malgré les nombreux travaux qui ont déjà été publiés sur l'origine du phosphate de chaux, beaucoup de géologues considèrent que le problème est loin d'être résolu. Aussi est-il important de déterminer les conditions dans lesquelles ont dû se faire les dépôts phosphatés.

Dès 1889, j'ai cherché à établir que la craie phosphatée s'est déposée dans des mers très peu profondes. Les exploitations de la Somme et de l'Aisne dans la craie à *Belemnites quadratus* apportent de nombreuses preuves à l'appui de cette assertion.

A Fresnoy et à Étaves, au nord de Saint-Quentin, la craie phosphatée repose sur de la craie blanche qui présente des perforations irrégulières, remplies de craie phosphatée. Ces perforations, très étendues et se croisant dans tous les sens dans le haut de la couche, se prolongent jusque près d'un mètre de profondeur, en diminuant à mesure qu'elles s'éloignent de la surface.

A Hem-Monacu, près de Péronne, la partie supérieure de la craie blanche est formée dans quelques points par un banc de coraux tubulaires et flexueux (*Cyclos-milia centralis*), qui s'entrecroisent dans tous les sens. La surface a été profondément ravinée et perforée avant le dépôt de la craie phosphatée. Le ravinement a été tel qu'on peut enlever des morceaux de craie à polypiers présentant deux surfaces perpendiculaires l'une à l'autre, durcies et couvertes d'Huîtres et de Serpules. Ce sous-bassement de craie phosphatée présente bien le caractère d'un rivage, ou au moins d'une surface située à faible profondeur.

La couche inférieure de la craie phosphatée est un conglomérat formé de nodules irréguliers, dont le diamètre varie de 1^{cm} à 10^{cm}. Ils sont, en général, couverts d'Huîtres, de Serpules et de Spondyles, comme le sont les cailloux faiblement roulés du rivage. Ils sont souvent perforés et l'intérieur des cavités est rempli par de la craie phosphatée. Avec eux on trouve d'abondants fragments d'Inocérames silicifiés, provenant de la craie sous-jacente.

Les nodules, comme les Inocérames, sont couverts d'un vernis brunâtre de phosphate de chaux qui est évidemment un dépôt secondaire produit par les eaux qui tenaient en dissolution une certaine quantité de phosphate de chaux. Généralement les coquilles fixées sur les nodules sont couvertes du même vernis. Mais il y a des exceptions; on en voit qui sont fixées sur le vernis. Celui-ci se produisait donc pendant que le nodule était en liberté, ballotté par les flots.

Le vernis recouvre la surface de la craie blanche et pénètre quelquefois dans les perforations, mais il n'y est que peu développé.

Les nodules sont évidemment antérieurs à la couche de craie phosphatée qui les recouvre. Il se pourrait qu'ils provinssent des couches supérieures de la craie blanche, où ils auraient existé à l'état de nodules contemporains. Cette couche primitive ayant été complètement ou presque complètement détruite, les nodules auraient été isolés, et en s'amassant au fond de la mer, auraient constitué le conglomérat.

C'est ce qui a eu lieu à Lille pour les nodules phosphatés de la craie à *Micraster cor testudinarium*. Ils ont donc fait partie de la couche de craie sableuse glauconifère désignée sous le nom de *tun*. Quelques-uns ont été déchaussés, roulés, perforés, couverts d'Huîtres et de Serpules, et enduits d'un vernis brunâtre, comme les nodules de Picardie, puis ils ont été empâtés dans les premiers sédiments de la craie de Lezenne. Toutefois en Picardie on ne voit pas la couche primitive à nodules.

En outre plusieurs nodules sont plus tendres que les autres : ils paraissent être de

la craie partiellement transformée en phosphate de chaux. Serait-ce là l'origine de tous les nodules ?

Quelle que soit la solution de cette question, il est démontré que le conglomérat et la craie phosphatée sont des formations littorales qui se sont produites à une faible profondeur. Cette observation s'accorde avec la thèse soutenue par M. Cayeux que la craie est un dépôt terrigène, et non un dépôt de mer profonde, comme le croient beaucoup de géologues.

J'ajouterai qu'à Hem-Monacu il existe trois couches successives de craie phosphatée séparées par de la craie blanche, ou au moins par de la craie moins phosphatée, quelquefois magnésienne. Il y a dans les couches supérieures quelques nodules isolés, mais le conglomérat n'existe qu'à la base de la couche inférieure.

(C. R. *Acad. des Sc. Paris*, 3 août 1896.)

ANNEXES

AU

PROCÈS-VERBAL DE LA SÉANCE DU 28 JUILLET 1896

A PROPOS

DU

RÉCENT TREMBLEMENT DE TERRE

DE LA BELGIQUE ET DU NORD DE LA FRANCE (1)

PAR

Jules Cornet.

Dans la soirée du 2 septembre dernier, des secousses non douteuses de tremblement de terre ont été ressenties dans le nord de la France et en Belgique, dans une région qui s'étend des environs d'Arras jusqu'au nord de Gand. D'après ce qu'en ont publié les journaux quotidiens, il semble que l'opinion généralement répandue est que ce phénomène serait dû à des affaissements provoqués par l'exploitation de la houille dans les bassins français et belges et cet avis paraît être partagé par quelques savants.

Or, nous sommes d'avis que le tremblement de terre du 2 septembre, de même que ceux qui l'ont précédé dans nos régions, sont des phénomènes beaucoup plus généraux, dont il faut chercher l'explication dans les éléments tectoniques de notre pays.

C'est ce que nous avons l'intention d'exposer brièvement ici, en faisant d'abord comprendre en quelques mots comment on doit concevoir un tremblement de terre.

Un tremblement de terre est un ébranlement né dans l'intérieur de l'écorce du globe et se progageant tout autour du centre d'origine à la façon d'un mouvement vibratoire.

Si le centre d'origine coïncidait avec le centre du globe, le mouvement vibratoire atteindrait en même temps tous les points de la surface

(1) Extrait du *Mouvement Géographique*, Nos 38 et 39 de l'année 1896.

supposée sphérique; s'il était situé à la surface même de l'écorce terrestre, le mouvement se propagerait, comme dans le cas d'explosion d'une poudrière, selon des cercles concentriques régulièrement espacés.

En réalité, le centre d'ébranlement est toujours situé en un point intermédiaire entre le centre et la surface et ordinairement très voisin

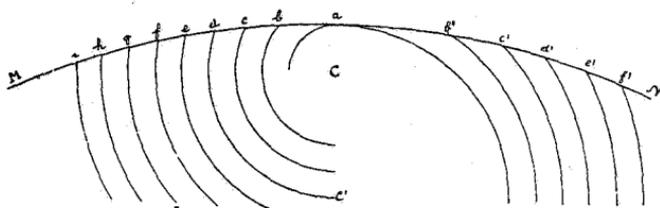


FIG. 1

de celle-ci. Supposons qu'il soit situé au point C (fig. 1), placé à une certaine distance sous la surface de l'écorce, dont MN représente un arc de grand cercle; il donnera naissance à des ondes dont le chemin parcouru en une seconde, c'est-à-dire la vitesse, peut être exprimé par la distance séparant les circonférences concentriques de la figure 1. Ces ondes toucheront la ligne MN en des points *a*, *b*, *c*, etc. Vue de dessus, la surface du globe présentera autour du point *a*, une série de cercles concentriques dont l'espacement ira en décroissant lentement. On conçoit aisément que plus le centre d'ébranlement sera profond, plus l'espacement des lignes concentriques et par conséquent la vitesse de propagation décroîtront rapidement. C'est ce que montre la partie droite de la figure 1.

Ces lignes concentriques, marquant les points atteints en même temps par la secousse, s'appellent *isoséistes*. Le point de la surface *a*, le plus rapproché du centre *c*, porte le nom d'*épïcèntre* ou *foyer apparent* du tremblement. De l'épïcèntre à la périphérie, l'intensité des vibrations décroît plus ou moins rapidement.

Les courbes isoséismiques se construisent en réunissant les points de la surface atteints au même instant par l'onde séismique. Elles permettent de fixer l'épïcèntre ou foyer apparent du tremblement et, de leur espacement, c'est-à-dire du mode de décroissance de la vitesse de propagation, on peut déduire la position du *foyer réel* de l'ébranlement. Ce procédé nécessite l'observation, en un grand nombre de points, de l'*heure exacte* de la première secousse, ce qui présente des difficultés très grandes.

On peut aussi construire des courbes isoséismiques et déterminer la

position de l'épicentre en estimant l'intensité des secousses dans la région ébranlée d'après la nature des effets mécaniques produits à la surface, ou par l'emploi d'instruments appropriés.

Sir Robert Malet fixait approximativement la position du centre d'ébranlement souterrain d'après l'examen de la direction et de l'inclinaison des fractures produites dans le sol et les édifices.

On arrive encore à la fixation du foyer apparent de l'ébranlement par la considération de la direction des secousses. Les lignes exprimant les différentes directions se coupent évidemment dans la région épiscopentrale.

Enfin, la considération de l'intensité relative de la composante verticale et de la composante horizontale des vibrations permet de tracer des courbes reliant les points où le rapport des deux composantes a même valeur; on peut ainsi arriver à déterminer la surface où la composante verticale existe seule. Cette surface répond à l'épicentre et c'est dans cette région que les effets destructeurs sont les plus grands.

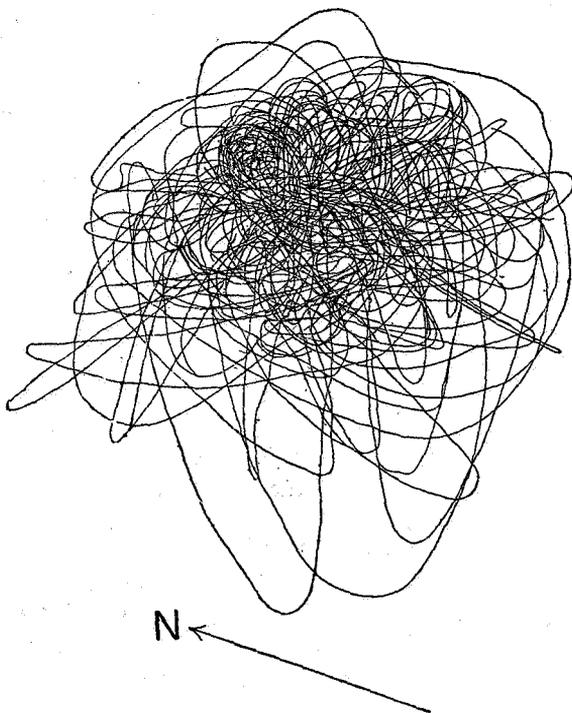


FIG. 2. — Courbe inscrite par un séismographe, à Manille.

L'intensité et la direction des secousses de l'écorce terrestre peuvent être appréciées par des appareils spéciaux appelés séismoscopes, séismomètres ou séismographes, dont les plus perfectionnés donnent l'heure exacte des secousses, leur durée, et enregistrent même ces différentes données sous forme de courbes. La figure 2 donne une courbe fournie à Manille en 1889 par un séismographe à pendule libre. Ces différents appareils ont surtout été perfectionnés dans les régions à séismes fréquents, en Italie, dans les Alpes, au Japon, etc. Nous ne pouvons songer à les décrire ici.

Dans la réalité, le centre interne des vibrations séismiques n'est pas un *point*. L'ébranlement initial se fait dans une *région* plus ou moins étendue et en général *allongée dans une direction*. Il en résulte que l'épicentre n'est pas non plus un point, comme dans la figure 1, mais une sorte d'ellipse et les isoséistes qui l'entourent ont aussi une forme elliptique. La non-homogénéité du sol et diverses circonstances géologiques transforment le plus souvent ces ellipses en lignes irrégulières à tracé souvent très tourmenté.

Le maximum des effets d'un tremblement de terre se présente dans la région de l'épicentre, où l'intensité est à son maximum et où la direction des vibrations est voisine de la verticale. On y voit souvent, comme à Ischia en 1883, les constructions voler en l'air comme projetées par l'explosion d'une mine de dynamite.

Cette région épiscopentrale est d'autant plus étendue que le centre d'ébranlement est plus profond.

L'allongement de l'épicentre est toujours en relation avec des accidents de l'écorce terrestre, des *plis* ou des *fractures*. L'ébranlement paraît se produire dans toute la longueur du pli ou de la faille, ou se limiter à une région et les séismes ont une grande tendance à se répéter sur les mêmes fractures ou les mêmes plis, le long desquels le centre d'ébranlement semble se promener.

C'est surtout dans les régions si disloquées des Alpes, que les relations des tremblements de terre avec les plis et les cassures du sol ont été nettement mises en évidence grâce aux travaux de Suess, Bittner, Hoefler, Hoernes, Toula, etc.

Des faits du même ordre ont été étudiés par von Lasaulx et Hoefler dans une région plus voisine de la nôtre, à propos des tremblements de terre de Herzogenrath, près d'Aix-la-Chapelle (1873 et 1877).

Il est à remarquer que les tremblements de terre en rapport avec les accidents du sol s'observent surtout dans les systèmes montagneux d'âge le plus récent, les Alpes, les Apennins, les Andes.

C'est pourquoi, en faisant abstraction des tremblements de terre

dits volcaniques, on tend aujourd'hui à admettre avec Suess, Heim, Dana, etc., que ces grands séismes constituent *l'un des phénomènes de la formation des montagnes.*

Les phénomènes de dislocation qui ont donné lieu à la formation des chaînes de montagnes, ont fourni la plus grande partie de leurs effets à certaines dates géologiques qui caractérisent l'âge de chacune. Mais, de même que la phase principale de leur surrection avait été précédée, et comme annoncée, par des mouvements plus ou moins accentués, pendant les époques précédentes, de même, les grands plissements de l'époque tertiaire n'ont pas clôturé l'ère des dislocations dans les Alpes, les Apennins, les Andes, etc. Ces régions ne sont pas, de nos jours, entrées en repos. Les tensions auxquelles est soumise l'écorce terrestre accentuent les plissements, font *jouer* les anciennes failles, peut-être même en reproduisent de nouvelles, et déterminent ainsi des ébranlements qui se traduisent par des phénomènes séismiques.

S'il est exact de dire que c'est dans les montagnes les plus récentes que ces séismes sont le plus fréquents, il n'en est pas moins vrai que les anciennes chaînes, aujourd'hui rabotées par la dénudation, peuvent aussi présenter des phénomènes analogues.

C'est aux plis et aux failles du terrain carbonifère que von Lasaulx a rapporté les tremblements de terre de Herzogenrath de 1873 et 1877.

*
* *

Les secousses séismiques que l'on ressent dans notre pays n'ont rien de comparable, quant à la fréquence et à l'intensité, avec celles qui désolent parfois certaines régions du bassin de la Méditerranée, du Japon, de l'Amérique, etc., et même avec celles qui se font sentir assez fréquemment dans plusieurs parties des Alpes. Aussi les tremblements de terre ont-ils été beaucoup moins étudiés chez nous que dans ces diverses contrées, où des observateurs nombreux, aidés d'instruments souvent très perfectionnés, en poursuivent l'étude d'une façon constante.

On ne possède sur la plupart de nos tremblements de terre que des renseignements incomplets et incertains recueillis après coup et souvent fort sujets à caution; en général, l'heure exacte des secousses n'est même pas observée. On parvient quelquefois à déterminer plus ou moins exactement l'aire sur laquelle les secousses ont été ressenties sans l'aide d'instruments appropriés, parfois leur direction et leur durée; mais, en général, on ne peut acquérir que des données vagues sur le mode de propagation de l'ébranlement, sur l'emplacement de l'épicentre et surtout sur la situation du centre interne d'où est partie la secousse.

Cependant, dans une région voisine de la nôtre, des études ayant un réel caractère scientifique ont été faites sur le sujet. Les deux tremblements de terre dits de Herzogenrath, de 1873 et 1877, ont été étudiés avec soin par un savant éminent que nous pouvons presque revendiquer comme un de nos compatriotes, feu le géologue von Lasaulx. Cette étude, dit le professeur Fouqué, peut passer pour un modèle du genre.

Von Lasaulx a déterminé exactement la situation de l'épicentre dans ces deux séismes. Pour le tremblement de 1873 (qui se fit vivement sentir dans la région de Liège et fut même perçu jusqu'à Bruxelles), il place le centre d'ébranlement à une profondeur de 28 kilomètres; pour celui de 1877, il donne à ce centre une profondeur de 27 1/2 kilomètres.

L'épicentre de 1877 est allongé selon la direction générale du bassin houiller, qui s'étend du pays de Herve à la Westphalie, c'est-à-dire dans le sens SO.-NE. environ; il est donc parallèle aux plis et aux failles longitudinales des terrains carbonifères et devoniens de cette région. Quant à l'épicentre de 1873, il s'allonge perpendiculairement à la direction générale des terrains primaires et en rapport avec une faille qui les coupe dans le sens NO.-SE.

Les séismes de 1873 et 1877, de même que ceux qui les ont précédés dans la même région (1869, etc.), paraissent donc dus à des secousses provoquées par des mouvements peu prononcés dans les failles et les plis des terrains primaires. Ce sont des tremblements de terre nettement tectoniques.

Le professeur Fuchs attribue les mouvements du sol observés à Herzogenrath, de même que ceux du bassin de la Ruhr, à des affaissements provoqués dans le terrain houiller par une altération chimique de la houille entraînant une diminution de volume, et M. A. Lancaster, le savant météorologiste-inspecteur de l'Observatoire royal, adopte cette théorie.

Nous ne savons si une diminution actuelle de l'épaisseur des couches de houille, due à une altération chimique ou à quelque autre cause, a été démontrée. Mais nous venons de voir que, d'après les recherches de von Lasaulx, les centres d'ébranlement des séismes de 1873 et 1877 se trouvent respectivement aux profondeurs de 28 kilomètres et 27 kilomètres et demi.

Or, tout ce que l'on connaît de la géologie de la région d'Aix-la-Chapelle et du bassin de la Ruhr montre qu'à cette profondeur, il n'y a plus ni houille ni terrain houiller; les ébranlements ont eu lieu dans des régions souterraines occupées par des formations plus

anciennes, probablement archéennes, dans lesquelles se prolongent vraisemblablement les fractures qui découpent les terrains primaires dans le voisinage de la surface.

Ces séismes n'ont donc pas leur siège dans le terrain houiller, qui occupe une position relativement superficielle; leur origine est dans la partie profonde des failles de la région.

*
* *

Comme nous l'apprend M. A. Lancaster, la presque totalité des tremblements de terre observés en Belgique consistent en secousses venant de l'est. Nous pouvons en conclure qu'ils sont dus à des phénomènes qui se passent dans le voisinage de la partie allemande du bassin houiller franco-westphalien, comme ceux qui ont provoqué les séismes de Herzogenrath, en 1873 et 1877.

Le tremblement de terre du 2 septembre dernier nous est, au contraire, venu du sud. Il semble, d'après les renseignements coordonnés par M. A. Lancaster, avoir eu son épiceutre dans la vallée de la Scarpe, dans la partie où sont situées les villes d'Arras et de Douai.

Nous pensons qu'il est dû à des mouvements dans les failles des terrains primaires de cette région.

*
* *

Le bassin houiller exploité en Westphalie et dans les environs d'Aix-la-Chapelle se prolonge en Belgique, en passant par le pays de Herve, Liège, Namur, Charleroi et le Borinage, et en France, en passant par Condé, Lens, et Auchy pour aller reparaître dans le Boulonnais.

Sur toute cette longueur, le terrain houiller et les formations qui l'avoisinent ont subi des bouleversements importants qui les ont fortement plissés et y ont fait naître un système de failles plus ou moins compliquées, qui s'étendent, parallèlement aux plis, depuis la Westphalie jusque dans le voisinage de la Manche.

La figure 3 représente les principales de ces failles dans les terrains anciens de l'ouest de Mons. La ligne CC indique la *grande faille du Midi* qui se poursuit sur toute la longueur du bassin houiller franco-belge; BB répond au *Cran de retour* et AA à la *faille de Boussu*.

Outre ces failles essentielles, il existe une série de cassures secondaires orientées dans différents sens.

Les mouvements orogéniques qui ont ainsi bouleversé nos terrains primaires et donné lieu à ces failles se sont accomplis, du moins en grande partie, vers la fin de la période carbonifère.

Nous disons en grande partie, car il faut admettre que la charpente

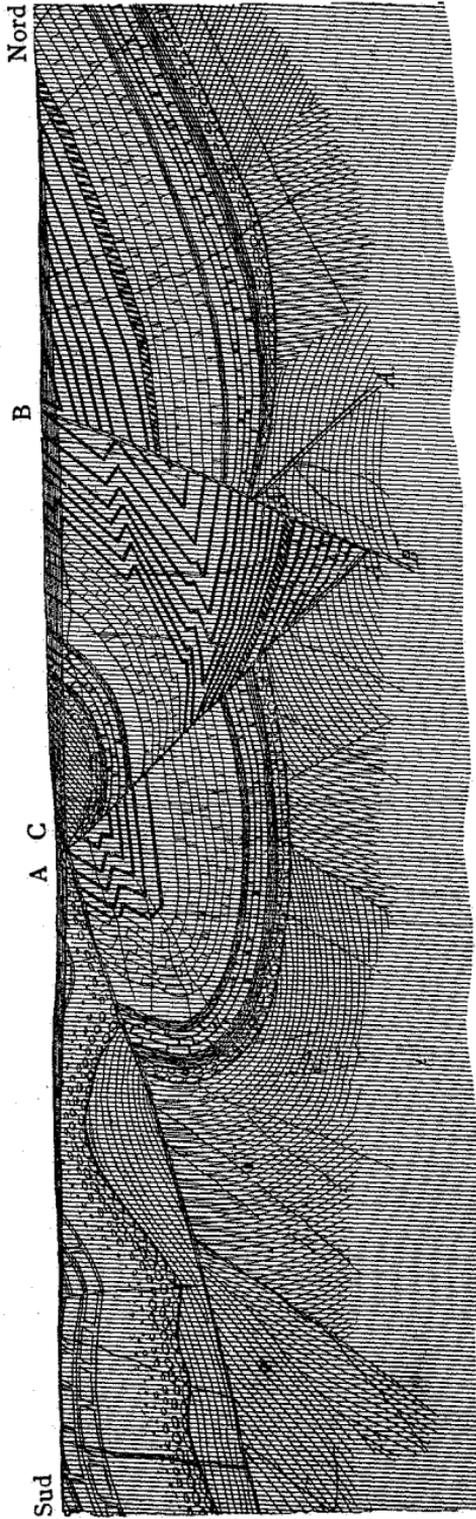


FIG. 3. — Coupe théorique Nord-Sud des terrains primaires passant à l'Ouest de Mons. (D'après F.-L. Cornet et A. Briart.)

primaire de notre pays n'est pas restée inactive durant les époques subséquentes.

Nous en avons la preuve, entre autres, dans le Hainaut, où nous voyons les couches crétacées présenter au sud et au nord de la Haine, vers le thalweg de la vallée, une pente qu'elles ne peuvent avoir acquise qu'après leur dépôt. Les terrains tertiaires même ne sont pas horizontaux dans cette région. On peut, près de Mons, constater que les couches paniseliennes forment un synclinal très net, dont l'axe correspond à peu près à celui du grand synclinal houiller.

Nous n'avons aucune raison pour supposer que de nos jours la croûte terrestre, dans le voisinage de nos bassins houillers, soit entrée complètement dans le repos. Nous croyons, au contraire, qu'aujourd'hui encore, par suite de la tendance générale au ridement, les plis de nos terrains primaires peuvent s'accroître et que les failles peuvent jouer, dans de faibles limites il est vrai, comme jouent les joints d'un meuble qui craque.

C'est à un phénomène de ce genre que nous attribuons le tremblement de terre du 2 septembre dernier. La ville de Douai, où les secousses ont été si violentes, se trouve précisément au voisinage de la grande faille du Midi.

*
* *

Quant aux secousses qui, en 1887 et 1895, se sont fait sentir à Havré, près de Mons, elles sont probablement dues aussi à de faibles mouvements dans les cassures du sous-sol, mais le caractère très localisé de ces phénomènes nous porte à croire qu'ils ont eu leur siège, non pas dans les failles des terrains primaires, mais dans les fractures si nombreuses qui morcellent les massifs de craie blanche de cette région.

Dans aucun cas, on ne peut faire intervenir les vides produits par l'exploitation de la houille comme causes de ces phénomènes. Le déhouillement donne lieu à des affaissements lents et graduels qui abaissent le niveau du sol et fissurent les constructions, mais jamais il ne produit de secousses brusques ni surtout d'ébranlements sensibles sur de grandes surfaces.

Le tremblement de terre du 2 septembre 1896 (1).

Le mercredi 2 septembre dernier, vers 9 heures du soir, une forte secousse de tremblement de terre a ébranlé le Pas-de-Calais et s'est propagée au nord et au nord-est sur une assez grande étendue de notre pays.

Le centre de la commotion paraît s'être trouvé dans la partie de la vallée de la Scarpe où sont situées les villes d'Arras et de Douai. Au sud, la secousse a été ressentie jusqu'à Bapaume; à l'est, jusqu'à Charleroi; à l'est-nord-est, jusqu'à Louvain; au nord-est, jusqu'à Gand; au nord-ouest, jusqu'à Béthune.

Nous ne possédons jusqu'ici, au sujet des observations recueillies en France, que les renseignements publiés par les journaux quotidiens. Ces renseignements sont assez contradictoires en ce qui concerne l'instant précis du phénomène, et nous devons nous borner, pour le moment, à les signaler tels quels. Nous les résumons ci-après :

Arras. — Une secousse de tremblement de terre, qui a duré à peine une seconde, s'est produite à 9 h. 10 m. du soir, ébranlant la partie sud-ouest de la ville, sans causer aucun accident grave. Cette secousse est attribuée à des tassements souterrains.

Elle s'est étendue aux arrondissements d'Arras, de Douai et de Béthune. Au nord d'Arras, elle a été vivement ressentie, mais à mesure qu'on se dirige vers le sud, elle a été de moins en moins forte.

Trois autres secousses ont été observées : à 9 h. 16 m., 10 h. 15 m. et vers minuit; mais ces deux dernières ont été plus faibles.

Fait curieux, tous les bateliers de la Scarpe ont ressenti violemment la commotion.

Douai. — A 9 h. 10 m., une secousse de tremblement de terre s'est produite. Les habitants, effrayés, sont sortis de leurs maisons. L'émotion a été grande. On attribue la cause de cette secousse à des affaisements dans le voisinage des mines.

La secousse a été accompagnée et suivie d'un grondement. Elle a été particulièrement violente dans la partie basse de la ville, et elle a également été ressentie dans les villages limitrophes.

A Esquerchin, les gens n'osaient plus rentrer dans leurs maisons.

A Estrées, la cloche de l'église, mise en branle par l'oscillation, fit croire à un incendie et ameuta la population.

A Frais-Marais, Marchiennes, Bugnicourt, des vitres et des verres ont été brisés; toutes les communes de l'arrondissement ont été plus ou moins secouées, mais plus particulièrement en remontant vers Arras.

Une personne digne de foi, arrivée à Douai, affirme qu'une fontaine naturelle de la commune d'Oisy-le-Verger s'est subitement tarie; selon son expression pittoresque, elle s'est " bouchée " .

(1) Extrait de " *Ciel et Terre* ", n° 14 du 16 septembre 1896. (Article de M. A. LANCASTER.)

A Raimbeaucourt, la secousse a été très forte, surtout dans le bas. Les carreaux des maisons ont résonné. Bon nombre de personnes couchées se sont levées, croyant à une explosion.

A Monchaux, le tremblement a été ressenti pendant l'espace de deux à trois secondes, vers 9 h. 1/4. Les maisons ont été secouées.

A Ostricourt, la secousse n'a pas été si forte; quelques tremblements.

A Auby, la secousse a été assez forte et a duré deux à trois secondes. Toutes les personnes, mises en émoi, sont sorties pour se rendre compte de ce qui venait de se produire.

A Leforest, le tremblement de terre a duré trois à quatre secondes; il a été assez fortement ressenti : bon nombre de personnes étant couchées se sont levées pour voir ce qui se passait.

A Courcelles-lez-Lens, l'émotion n'a pas été moindre.

A Evin-Malmaison, la commotion a duré deux à trois secondes, vers 9 h. 20 m.

A Roost-Warendin, la secousse s'est aussi fait sentir vers 9 h. 1/2.

En quelques minutes, une foule était rassemblée sur la place.

Les renseignements qui suivent, publiés par les journaux après ceux que nous venons de résumer, les complètent dans une certaine mesure.

La secousse fut ressentie depuis Douai jusqu'à Bapaume, en suivant principalement la vallée de la Scarpe.

En moins de quelques secondes, quatre oscillations bien distinctes et paraissant se diriger de l'ouest vers l'est se produisirent très violemment à Arras.

Les uns se trouvant à table, furent vivement balancés; les autres, dans leur lit, furent secoués fortement. Seules, les personnes en marche paraissent n'avoir rien ressenti.

Des portes et des fenêtres furent ouvertes, des buffets ballottés et la vaisselle légèrement endommagée.

Après s'être regardés avec anxiété, croyant à une véritable explosion, les habitants quittèrent leurs habitations et coururent vers la rue ou sur les places, interrogeant les voisins, qui tous avaient la même peur et prévoiaient un danger.

Les rues et les places ne tardèrent pas à s'emplier et chacun commentait à sa façon l'événement, dont on ne pouvait se rendre compte.

Fort heureusement, il n'y a pas eu d'accident de personnes, mais une panique générale.

Les secousses auraient, paraît-il, été plus fortes à Pitry, Corbehem et Rœux, et dans ces communes on a signalé quelques chutes de cheminées et des lézardes aux murs.

A Hénin-Liétard, à Lens, Liévin et Courrières, le phénomène a aussi été vivement ressenti. Vers 9 h. 1/2, un bruit comme celui que produirait un fort coup de vent se faisait entendre dans les concessions minières de Lens, Liévin et Courrières. Puis, une forte secousse. Dans maintes habitations, les plafonds se sont écroulés, les meubles ont été renversés, la vaisselle jetée par terre et brisée, grand nombre de cheminées sont tombées.

A Avion, des maisons paraissent avoir été endommagées dans la cité ouvrière de la Compagnie des chemins de fer du Nord,

Dans l'arrondissement de Béthune, des commotions plus ou moins fortes ont été également ressenties, ainsi que dans plusieurs communes de l'arrondissement de Lille, notamment à Santes.

Vers le sud, à Bapaume principalement, la secousse a été assez violente. La plupart des habitants, qui étaient couchés, se sont réveillés en sursaut et ont été pris de panique. Comme dans les localités situées au nord, beaucoup de vitres ont été brisées dans plusieurs maisons.

Nous donnons maintenant les renseignements que nous avons pu recueillir au sujet de l'observation du phénomène dans notre pays. Bon nombre de ces renseignements, comme on le verra, sont tirés de lettres que nous avons reçues, et pour l'envoi desquelles nous remercions ici bien vivement leurs auteurs :

Tournai. — C'est spécialement dans le faubourg du Château que le phénomène a été remarqué. L'oscillation a duré environ une seconde, mais elle a été assez forte pour faire claquer les portes et jeter l'émoi dans une foule de maisons, dont les habitants sont précipitamment sortis.

Leuze. — Les habitants ont senti une violente secousse; dans certaines maisons, des objets ont même été culbutés.

Les animaux ont manifesté une violente terreur : les chiens hurlaient désespérément.

Paturages. — Le tremblement de terre a été senti ici et s'est traduit par des vibrations et de légers déplacements de meubles. (E. PETIT.)

Mons et Borinage. — Une légère oscillation du sol a été constatée à Mons et dans le Borinage. Dans certains charbonnages, surtout dans ceux qui possèdent de longues galeries, les ouvriers ont cru à un dégagement de grisou dans le puits voisin. On a aussi perçu une sorte de grondement de vagues.

Morlanwelz. — La plupart des habitants disent avoir constaté deux secousses, distantes l'une de l'autre de deux secondes environ; la première, la plus forte, a duré deux secondes.

Houdeng-Gœgnies. — Une personne habitant la place Communale était couchée au moment du tremblement du sol; elle a vu sa demeure osciller à droite et à gauche, puis se remettre en place.

La Louvière. — Chez un horloger, les globes des pendules ont vibré, ainsi que l'argenterie et la vaisselle. Dans les boutiques, les balances ont oscillé. Plusieurs sonneries électriques se sont fait entendre.

Les trépidations paraissent avoir suivi une ligne bien déterminée, traversant diamétralement le bassin du Centre dans la direction nord-est et sud-ouest.

Charleroi. — Mercredi soir, 2 septembre, vers 9 heures, — mais je ne saurais préciser la minute, — je me trouvais immobile sur mon lit, lorsque celui-ci se mit à osciller. En même temps, le poêle de ma chambre gémit. J'attendis en faisant attention, si d'autres secousses ne se produiraient pas; mais il n'y eut rien.

Plusieurs autres habitants de notre Collège ont remarqué comme moi cette oscillation; ni chariot, ni tram, ni autre cause apparente ne pouvait la produire à ce moment, où tout était tranquille.

Comme nous sommes au-dessus d'un charbonnage (Le Poirier) et que fréquem-

ment des tassements se produisent dans le sous-sol, j'attribuai tout naturellement le phénomène à cette cause, mais j'appris ensuite, par les journaux, qu'un tremblement de terre avait été ressenti à Douai, Lille, etc.

L'oscillation m'a paru assez lente; quant à sa durée, je l'estime à un peu moins d'une seconde. (Mon lit a été en mouvement pendant environ 1 s. 1/2, l'excès provenant du mouvement acquis.)

La direction de ce mouvement oscillatoire m'a semble être SE.-NW. D'autres de mes confrères indiquent la même direction; quelques-uns, au contraire, croient SW.-NE.

La secousse a été unique et *molle*, si je puis m'exprimer ainsi.

(V. BAREEL, S. J.)

Gosselies. — La secousse s'est produite à 9 h. 5 m. du soir. Voici personnellement ce que j'ai constaté :

Je venais de me coucher; j'ai ressenti de violentes oscillations dans le sens horizontal, m'a-t-il paru. Le phénomène a duré 2 secondes environ. Le même phénomène a été constaté par ma femme et mes enfants, qui se trouvaient dans une chambre voisine.

(THIBAUT.)

Senefte. — Les portes des maisons tremblaient et on sentait le sol parfaitement osciller. Dans certaines maisons, plusieurs personnes ont failli être renversées et des objets ont été culbutés. En même temps, les chiens manifestaient une grande épouvante : ils hurlaient avec force. Le tremblement a duré environ deux secondes. Plusieurs personnes ont été tellement émotionnées qu'elles ont dû s'aliter.

Clabecq. — Dans une maison de la commune, une horloge arrêtée depuis longtemps et munie d'un pesant balancier, s'est mise en marche.

Court-Saint-Etienne. — Mercredi soir, nous étions assis en famille à lire près d'une suspension. Tout d'un coup, nous avons entendu au-dessus de nos têtes un bruit sourd, analogue à la chute d'un corps, suivi par une oscillation très marquée de la suspension. J'ai immédiatement couru à l'étage supérieur et n'y ai rien remarqué d'insolite. Au-dessus de nous se trouvait une chambre fermée à clef. Quand je fus redescendu, une des personnes présentes dit en plaisantant : " C'est peut-être un tremblement de terre. "

Or, je viens de lire qu'un tremblement de terre assez violent s'est fait sentir mercredi soir, à 9 h. 1/2, dans tout le nord de la France.

(Comte GOBLET D'ALVIELLA.)

Uccle. — J'étais assis dans la chambre donnant sur le jardin, à 20 mètres de la rue : tout à coup, la suspension, lourde et massive, s'agita et toutes les bobèches tremblèrent avec un vacarme qu'un lourd chariot passant devant une maison sise à front de rue ne pourrait produire : les deux portes de la chambre étaient ébranlées comme pour sortir de leurs gonds. J'ai parfaitement senti le sol osciller.

Croyant à une explosion quelconque de dynamite, j'ai pris ma montre pour pouvoir le lendemain constater le fait : ma montre indiquait 8 h. 58 m.

En racontant le fait à mes vicaires, l'un de ceux-ci m'a affirmé avoir remarqué les mêmes effets : il demeure à 20 pas de chez moi.

(P. BOONE, doyen.)

(Avenue Brugmann, 216.) — Le tremblement de terre a été parfaitement perçu chez moi.

La trépidation était si nettement accusée qu'elle a été, sans hésitation, attribuée à sa cause réelle : " c'est un tremblement de terre. "

L'une des personnes qui se trouvaient chez moi a fait cette observation :

“ On dirait la vibration que produit le passage sur le pavé d'une charrette de sable. „ Oui, fut-il répondu, c'est la même trépidation, il ne manque que la charrette...

La porte à deux battants qui donne accès à ma bibliothèque s'est ouverte d'elle-même en cet instant.

Il était à peu près 9 heures.

(E. DELVAUX.)

(Saint-Job.) — Je venais de terminer une lecture et y réfléchissais en regardant l'abat-jour en porcelaine de mon quinquet, lorsque celui-ci se mit à trembler, en même temps que les carreaux de mes fenêtres; le mouvement des carreaux à la fenêtre Est cessa quelques instants avant le tremblement des carreaux de la fenêtre Ouest. Je regardai ma montre : il était 9 h. 5 m. La pendule, sur la cheminée, s'était arrêtée à 9 h. 6 à 7 m. Je crus devoir attribuer ce tremblement à un mouvement de chariot roulant sur la chaussée; mais en allant voir au dehors, je remarquai qu'il n'y avait aucun chariot en vue. (MAES, curé.)

La secousse a été également ressentie à l'Observatoire.

Boitsfort. — Pendant la soirée du 2 septembre, vers 9 heures, on a ressenti à Boitsfort deux légères secousses de tremblement de terre, qui se sont succédé rapidement.

Me trouvant dans un pavillon isolé, distant de 60 mètres environ de l'habitation principale, j'ai remarqué qu'une des fenêtres qui était fermée sans être fixée a produit un bruit semblable à celui qui résulterait de secousses faites pour l'ouvrir.

Les membres de ma famille qui se trouvaient dans la salle à manger de l'habitation ont constaté qu'à la même heure, l'une des portes imparfaitement fermée, ainsi que les objets placés dans un buffet, ont été fortement ébranlés.

Le fils du jardinier, logé à 40 mètres de l'habitation, qui venait de se mettre au lit, a appelé sa mère en disant que son lit venait d'être secoué.

Le chef de gare a entendu un bruit analogue à celui que produirait le roulement sur les rails d'un wagon vide, et il a constaté qu'en ce moment la voie était complètement libre.

Plusieurs personnes de Boitsfort ont remarqué qu'à la même heure les fenêtres de leurs maisons ont semblé être agitées par un vent violent.

Le phénomène m'a paru avoir une durée de deux secondes environ. Aucun bruit souterrain n'a été perçu; le ciel était serein et l'atmosphère tranquille.

Il est à remarquer que la fenêtre du pavillon, la porte et le buffet dont il est fait mention plus haut, sont orientés vers le sud.

(J.-R. DEPAIRE, prof. à l'Université.)

Watermael. — Mercredi, un peu après 9 heures, nous avons ressenti ici une secousse de tremblement de terre. Chez nos voisins, le docteur Stiénon a vu des chaises s'entrechoquer et a entendu un grand bruit sourd. M. Herland a cru qu'on pénétrait brusquement chez lui, tant sa porte a été violemment secouée; son petit garçon, couché à l'étage, a crié : “ Maman, un tremblement de terre, mon lit remue et mon aiguière va tomber. „ Un monsieur de Boitsfort a vu sa suspension balancer fortement. Nous n'avons pas vu d'objets remuer, mais nous avons entendu un bruit retentissant. Il semblait qu'un énorme chariot couvert de ferraille ébranlait le pavé et nous nous sommes étonnés de ce bruit, insolite à une pareille heure.

(M^e E. LAGRANGE.)

Bruxelles. — La secousse a été ressentie dans une grande partie de l'agglomération bruxelloise, mais, d'après tous les renseignements obtenus jusqu'ici, dans la

partie haute seulement. Ni dans le bas de la ville même, ni dans les communes de Molenbeek, de Laeken, etc., elle ne paraît avoir été perçue. Elle a surtout été bien observée sur le plateau compris entre l'avenue Louise et Uccle, en passant par le quartier Ten-Bosch.

M. N. Rauis, rue Juste Lipse, a noté deux secousses nettement caractérisées, dans un intervalle de 4 à 5 secondes. Un habitant de l'avenue Georges-Henri a ressenti trois oscillations, assez distantes l'une de l'autre, qui ont imprimé à la maison un mouvement de balancement et ont été suivies d'un bruit semblable à un lointain roulement de charrette.

(Rue Belliard, 22). — Voici ce que vient de m'apprendre mon frère, l'avocat Julien Van den Broeck, qui habite rue Belliard, 22, à Bruxelles.

Il se trouvait le mercredi, 2 courant, au rez-de-chaussée, dans son bureau, et travaillait; la maison comme la rue étaient absolument silencieuses. Sa femme était assise dans la salle à manger, séparée du bureau par une large cage d'escalier.

A neuf heures *sonnantes*, tous deux furent surpris par un mouvement *vertical*, bien accentué comme tel, mais de faible amplitude et d'une durée qui ne dépassa pas une seconde. Aucun bruit : ni grondement, ni craquement. Pour chacun d'eux la sensation d'un mouvement du sol fut si nette, qu'ils se levèrent chacun de leur côté pour se communiquer le fait.

Comme le mouvement du plancher rappelait absolument le soulèvement qu'il aurait subi si dans les cuisines et dépendances du sous-sol on avait violemment refermé une porte et provoqué une poussée d'air ayant agi sur les parois sous-jacentes au rez-de-chaussée, mon frère descendit, demanda à la servante si elle avait ouvert une porte. Personne n'avait bougé dans la maison.

(E. VAN DEN BROECK.)

(Rue du Magistrat, 40). — A 9 heures *juste* (heure de Greenwich), toute la maison fut secouée, pendant quelques secondes (deux ou trois au plus), comme si une lourde voiture passait dans la rue. Ma femme me dit : " On dirait un tremblement de terre. „ Immédiatement j'ai regardé la pendule afin de voir si elle ne s'était pas arrêtée du coup; il était 9 heures juste et la pendule marchait. Ma montre, qui équivaut à un chronomètre, et que j'avais réglée le matin même, marquait aussi 9 heures. Je puis donc certifier de l'exactitude de l'heure.

La sensation a été très nette, et il n'y avait pas une charrette ni une voiture en mouvement dans le voisinage. Aucun bruit du reste, rien qu'une trépidation roulante, mais, je le répète, excessivement nette.

(C. KERREMANS.)

(Avenue Legrand, 44). — J'ai parfaitement ressenti la légère secousse de tremblement de terre. Étant dans mon bureau, j'ai entendu les portes s'entrechoquer, comme s'il passait dans la rue un chariot très lourdement chargé. J'ai été au dehors m'assurer de la chose, mais aucun véhicule n'était en vue.

(A. LAMBOTTE.)

Un habitant de la rue Pascale nous a dit avoir éprouvé une secousse très appréciable, qui a duré plusieurs secondes. La maison tout entière a tremblé, sans aucune cause extérieure apparente, pendant le même espace de temps. Aucune voiture ne passait dans la rue, qui était très calme en ce moment.

Une nouvelle secousse, mais beaucoup plus faible, s'est produite dix minutes environ après la première.

Le phénomène a été également observé à Schaerbeek, rues Seutin et Quinaux, et à Forest, au parc de Saint-Gilles, où la sensation a été celle d'un véritable balancement.

Tiegheem (près Anseghem, Flandre occ.). — Le 2 septembre, j'ai ressenti à 9 h. 5 du soir (heure de Greenwich) une secousse de tremblement de terre qui a duré environ deux secondes. Les portes de l'habitation battaient dans leurs chambranles, et les aiguères dansaient sur les tablettes des lavabos. (D. BOUCKAERT, ing.)

Gand. — Je me trouvais mercredi 2 septembre dernier, vers 9 heures du soir, chez moi, assis devant mon bureau au premier étage, lorsque je perçus un mouvement insolite du sol, qui me causa une sensation particulière et attira mon attention.

Ce mouvement était dû à une double oscillation verticale vers le bas, si je puis m'exprimer ainsi, et qui s'effectua en moins d'une seconde. Je notai l'heure du phénomène. Il était à cet instant entre 9 h. 17 et 9 h. 18 en temps moyen d'Uccle. Ce temps peut être considéré comme représentant exactement l'instant physique auquel le phénomène s'est produit, car j'avais moi-même pris, la veille, l'heure exacte à l'Observatoire d'Uccle. J'eus à peine le temps de noter l'heure, que je ressentis un second mouvement; cette fois, ce fut une oscillation dans le plan horizontal et assez exactement dans la direction NNW.-SSE. L'oscillation ne dura guère qu'une seconde. (VANDEVYVER.)

Louvain. — M. Henot, président du tribunal de Louvain, me communique une observation qui se rapporte évidemment au tremblement de terre constaté dans le pays. " Mercredi soir, 2 septembre, dit M. Henot, étant au lit, indisposé, j'ai senti un mouvement involontaire de l'est à l'ouest, pendant une seconde. "

(F. TERBY.)

L'Écluse (par Hougaerde). — Le tremblement de terre de la semaine dernière s'est étendu jusque dans ma commune. Nous avons senti une violente secousse. Je pensais, étant à l'étage, que le plancher allait tomber. La vibration a duré environ 4 secondes. J'ai immédiatement regardé à ma montre. Elle marquait 9 h. 7, mais elle ne va pas tout à fait juste. (H. DE L'ESCAILLE.)

Voici encore l'indication de quelques localités où le phénomène a été observé : Noville-les-Bois (près de Leuze), Courcelles, Viesville, Marche-les-Ecaussinnes, Luttre, Soignies, Groenendael, Cortenberg.

Comme nous le disons plus haut (p. 136), la secousse a été ressentie à l'Observatoire même, mais, fait curieux, aucun des appareils enregistreurs du magnétisme ne l'a indiquée. Et cependant ces appareils constituent de véritables séismomètres, très rudimentaires, il est vrai, mais d'une sensibilité suffisante pour révéler l'existence de secousses non appréciables pour l'homme et dont l'origine se trouve parfois à des distances considérables. Dans ces dernières années, nombre de tremblements de terre très éloignés ont ainsi été enregistrés par les barreaux aimantés, et à Bruxelles même, le 23 février 1887, nous avons trouvé sur le diagramme photographique de la déclinaison magnétique, la trace de la vibration du sol produite par le violent tremblement qui, le même jour, avait secoué la Corniche, et Nice tout particulièrement (1).

(1) Voir la 8^e année de *Ciel et Terre*, p. 54.

Cette fois, l'examen le plus minutieux des courbes magnétiques n'a rien montré; il en a été de même de l'examen des courbes des enregistreurs barométriques.

Jusqu'à plus ample information, l'Ecluse, village situé à peu près à mi-chemin entre Louvain et Jodoigne, à l'altitude de 103 mètres et sur la crête de partage des bassins de la Dyle et de la Geete, est la localité la plus distante du foyer d'ébranlement qui ait été secouée par celui-ci.

L'Ecluse se trouve à 145 kilomètres environ de la zone Arras-Douai.

Deux observations faites à Bruxelles, celles de MM. Kerremans et Van den Broeck, et l'observation de Gand, due à M. Vandevyver, nous donnent d'une manière très exacte l'heure du passage de l'ondulation séismique à une distance de 100 à 105 kilomètres de son origine. Cette heure est, à très peu près, 9 h. 17 m. 30 s., temps moyen de Bruxelles. Si l'on adopte provisoirement 9 h. 10 m., temps local, ou 9 h. 15 m. 30 s., temps de Bruxelles, pour l'instant de la secousse initiale au nord de la France, on constate que la vitesse de propagation du tremblement du 2 septembre 1896 a été de 850 mètres environ à la seconde.

Cette valeur paraît un peu forte, comparée à celles déterminées dans des cas analogues de vibration terrestre. La vitesse moyenne, pour les tremblements de terre de nos régions, est normalement de 500 mètres, ainsi qu'il résulte de l'étude des plus importants de ces phénomènes observés dans l'Europe occidentale.

Généralement, les faibles secousses que l'on observe en Belgique nous viennent de l'Est (1). Les mouvements ayant leur point de départ au sud du pays sont plus rares, et, pour trouver un tremblement de terre comparable à celui du 2 septembre, et dont la propagation s'est également effectuée dans une direction sensiblement S.-N., nous devons remonter à près de soixante ans en arrière. Le 23 février 1828, vers 8 1/2 h. du matin, un ébranlement parti du nord de la France s'étendit sur la Belgique entière et y fut au moins aussi vivement ressenti que celui de ces jours derniers.

Depuis une vingtaine d'années, le bassin houiller du Nord et du Pas-de-Calais est le siège de trépidations relativement fréquentes, mais qui, jusqu'ici, étaient restées locales et, partant, n'avaient été que légères. Ces mouvements du sol ont été unanimement attribués à des affaissements dans les couches profondes de ce terrain houiller, affaissements semblables à ceux constatés dans d'autres districts miniers des contrées qui nous entourent, notamment dans le bassin de

(1) Voyez, dans la 8^e année de *Ciel et Terre*, p. 25, notre article : *Les tremblements de terre en Belgique*, dans lequel nous donnons la liste complète de toutes les secousses ressenties dans le pays depuis les temps historiques.

la Ruhr. A Herzogenrath (Rolduc), au centre de ce bassin, de nombreuses secousses ont été notées de 1873 à 1877, et quelques-unes ont été assez violentes pour causer de sérieux dégâts aux habitations et se propager assez loin en Belgique. Le point d'origine des principales de ces secousses se trouvait à une grande profondeur. On a calculé que la secousse du 24 juin 1877 avait son foyer à environ 27 à 28 kilomètres au-dessous du sol, et celle du 22 octobre 1873 à une profondeur analogue.

Il s'agit donc ici de véritables tremblements de terre, et celui du 2 septembre peut leur être comparé. Ces ébranlements ne doivent pas être confondus avec ceux qui se produisent à une faible distance de la surface terrestre, et dont nous avons eu un intéressant exemple à Havré, près de Mons, il y a quelques années (1). A Havré, les mouvements ont été localisés sur une superficie extrêmement réduite et parfois même on n'a entendu que le grondement occasionné par l'affaissement des terres. On pourrait citer de nombreux cas du même genre observés ailleurs (2).

Le tremblement de terre du 2 septembre s'est fait sentir sur une étendue de 10.000 à 11.000 kilomètres carrés et dans une aire polygonale dont nous pouvons indiquer provisoirement comme sommets : Bapaume - Béthune - Gand - l'Écluse - Charleroi - Bapaume. Cette aire a une forme allongée, et elle est orientée à très peu près WSW.-ENE. La partie belge ébranlée est un peu plus grande que la partie française.

Nous compléterons ultérieurement les renseignements qui précèdent, si de nouveaux détails parviennent à notre connaissance.

A. LANCASTER.

(1) Voyez le *Bulletin* de la Société belge de géologie, t. I (1887).

(2) Les mouvements constatés à Havré étaient très probablement dus à des glissements provoqués par les travaux des houillères.

On sait que l'on classe généralement aujourd'hui les tremblements de terre en trois catégories bien distinctes : 1° Tremblements volcaniques, qui se produisent principalement dans les régions où existent des volcans, éteints ou encore en activité; 2° Tremblements d'écroulement ou d'affaissement (*Einsturzbeben* des Allemands), que l'on remarque notamment dans les terrains miniers; 3° Tremblements de dislocation ou orogéniques (*Dislocationsbeben*), qui affectent surtout les pays montagneux.

Les micro-séismes, qui ne sont révélés que par des appareils enregistreurs très délicats, forment une classe à part, indépendante des précédentes.