

HISTOIRE DES STATIONS SISMIQUES BELGES. DE LA STATION « SOLVAY » AU RÉSEAU NATIONAL DE SURVEILLANCE SISMIQUE

Michel Van Camp et Thierry Camelbeeck
Observatoire Royal de Belgique
Section Sismologie

A la mémoire de Jean-Marie Van Gils, sismologue à Uccle de 1953 à 1983, grâce à qui le patrimoine instrumental et les archives sismologiques de l'Observatoire Royal de Belgique ont été sauvegardés, et du Professeur Paul Melchior, dont l'action a permis le développement du réseau sismique belge actuel.

Avant-propos

Cette année 2004 marque le centenaire de la donation de la station sismique d'Uccle à l'Etat belge par le mécène Ernest Solvay. C'est à l'initiative d'Eugène Lagrange, professeur à l'Ecole militaire, qu'Ernest Solvay avait financé, en 1898, sa construction sur le plateau d'Uccle (voir en fin d'article la lettre d'E. Solvay au Ministre de l'Intérieur de l'époque). Le centenaire de la station sismique d'Uccle, une des premières ayant fonctionné en Europe, n'a pas été célébré en 1998. Cependant, il nous a paru important d'au moins commémorer le centenaire de la station sismique d'Uccle en tant qu'instrument officiel de l'Observatoire Royal de Belgique par la présentation d'un historique des stations sismiques belges. C'est aussi l'occasion de mettre en exergue certains rôles et spécificités d'un observatoire : la continuité des mesures et des observations au cours du temps, l'archivage adéquat des données collectées, qui font partie du patrimoine mondial, ainsi que l'expertise scientifique relative à ces observations et aux instruments anciens.

Un bref historique de la sismométrie

Un instrument installé à la surface de la Terre pour enregistrer les mouvements du sol provoqués par les tremblements de terre est fixe dans un référentiel qui subit

qu'elle reste au repos pendant les tremblements de terre, alors que son support, fixé au sol, suit les mouvements telluriques.

Un sismomètre doit opérer en continu afin d'enregistrer les mouvements telluriques en fonction du temps, ce qui donne un *sismogramme*. Il doit permettre la détection de signaux sismiques dépassant à peine le niveau du bruit de fond et la mesure précise du temps d'arrivée des différentes phases sismiques (ondes élastiques ayant parcouru un certain trajet à l'intérieur de la Terre, de la source à la station enregistreuse), ce qui nécessite un chronométrage précis¹. Enfin, une qualité essentielle de l'instrument est qu'il doit avoir une réponse linéaire, c.-à-d. directement proportionnelle aux mouvements excitateurs du sol, ce qui permet de retrouver leurs amplitudes et contenus fréquentiels. Le système complet d'enregistrement constitue un *sismographe*, et le capteur proprement dit constitue le *sismomètre* encore appelé *géophone* en sismologie d'exploration. La *sismométrie* comprend la conception et le développement des enregistreurs et capteurs sismiques. La plupart des

Ernest Solvay (Document Solvay S.A.)

le mouvement qu'il est censé mesurer. En effet, l'instrument accompagne les vibrations de la Terre lors du passage des ondes sismiques. Le principe de base des sismomètres consiste à suspendre une masse de telle sorte

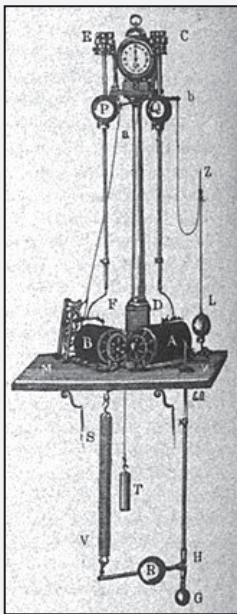
instruments développés depuis 130 ans sont basés sur le concept du pendule inertiel, bien que d'autres systèmes soient utilisés pour l'étude d'autres mouvements telluriques tels les rotations, inclinaisons ou déformations.

Les premiers instruments de sismologie étaient des *sismoscopes*². Ces instruments enregistrent l'occurrence ou non d'une secousse et éventuellement sa direction et son importance, mais ne procurent pas d'enregistrement en fonction du temps. Le plus ancien sismoscope connu fut développé par les Chinois il y a environ 2000 ans. Lors d'une secousse, une bille était délogée de la bouche d'un des huit dragons dirigés vers les principaux points cardinaux. Aux XVIII^e et XIX^e siècles, les Italiens ont développé de nombreux sismoscopes, dont certains permettaient de dater l'occurrence d'une secousse. C'est en 1875 que Filippo Cecchi réalisa le premier sismographe, dont le premier enregistrement connu d'un séisme date de 1887, mais on peut supposer l'existence d'enregistrements antérieurs. D'autre part James Ewing, membre d'une équipe britannique de sismologues enseignant au Japon, obtint en 1880 un sismogramme duquel il fut le premier à évaluer les déplacement et accélération du sol. En 1889, Ernst von Rebeur-Paschwitz réussit à Postdam le premier enregistrement d'un séisme qui frappa le Japon quelques dizaines de minutes auparavant. Vers 1900, le premier réseau de sismographes construits par J. Ewing, ainsi que d'autres instruments construits en Europe et au Japon, fournirent la première banque de sismogrammes qui permit d'appliquer la théorie des ondes élastiques aux mouvements sismiques.

Dès le début, les sismologues

Les premiers instruments

Le sismoscope chinois de Chang Heng (132 de notre ère). À l'intérieur, il y avait un mécanisme capable de déloger de petites billes qui sortaient par l'une des têtes de dragon, indiquant la direction de l'épicentre. (Crédits: USGS)

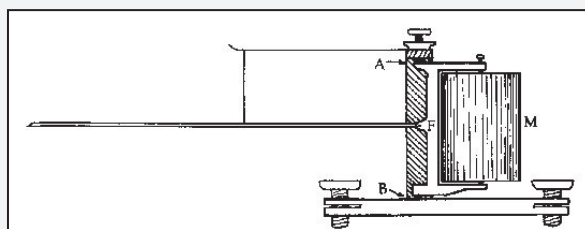


Le sismographe de Milne (1850-1913) de 1880 était un modèle en barrière de jardin, comme le von Rebeur-Ehler. L'enregistreur était constitué d'une plume grattant un tambour rotatif en verre noir. Dès 1883, Milne mit en évidence :

- (1) l'augmentation et la diminution graduelle des perturbations sismiques : le mouvement maximal ne survient jamais lors de l'arrivée des premiers mouvements;
- (2) la grande irrégularité des oscillations (absence de mouvement harmonique pur);
- (3) la durée, le nombre et la continuité des oscillations.

(Crédits: USGS)

Le sismographe de Cecchi (1822-1885) enregistrait le mouvement relatif de pendules par rapport à la Terre. Deux pendules verticales captaient les vibrations dans les directions est-ouest et nord-sud et une masse suspendue à un ressort à boudin mesurait les mouvements verticaux. Lors d'un séisme, un sismoscope déclenchait le système d'enregistrement qui consistait en une plume grattant une surface noircie. La très faible sensibilité (3X) et le coût de cet instrument n'ont pas permis sa diffusion. (Crédits: Projet Tromos)



Vers 1900, le premier réseau de sismographes construits par J. Ewing fournit la première banque de sismogrammes et permit l'application de la théorie des ondes élastiques aux mouvements sismiques.

Après 1945, le gouvernement américain encouragea le déploiement d'un réseau sismique mondial dans le but de surveiller les essais nucléaires souterrains. Ainsi naquit à la fin des années '50 le réseau WWSSN (World Wide Standard Seismograph Network, financé par le Département de la Défense), réseau de 120 stations sismiques homogènes, bien étalonnées et bien chronométrées. Le WWSSN, ainsi que les développements informatiques, permirent à la sismologie d'accomplir des pas de géant. Finalement, l'arrivée d'Internet au début des années 1990 a ouvert l'ère des données accessibles en temps réel. Actuellement, on commence à s'intéresser à la mesure des ondes sismiques par GPS.

Les ondes sismiques

Les ondes sismiques sont des perturbations élastiques qui se propagent à l'intérieur ou à la surface du Globe, suite à l'application de forces transitoires. Les tremblements de terre tectoniques sont la source principale d'ondes sismiques, mais d'autres types de sources existent :

- les explosions (nucléaires ou conventionnelles, tirs de carrière) ;
- les météorites (impacts ou explosions en vol) ;
- les glissements de terrain ;
- les phénomènes volcaniques (mouvements dans la chambre magmatique, éruptions) ;
- l'atmosphère (tempêtes, vents) ;
- les océans (mouvements de la houle) ;
- les activités humaines (trafic, activité industrielle, concerts).

Il existe trois concepts de base pour interpréter les enregistrements sismiques :

1. **La théorie du rai** : Le rai représente le parcours suivi par une onde à l'intérieur de la Terre entre une source et un récepteur donnés. Normal au front d'onde, il matérialise ainsi l'onde qui se propage de la source vers l'observateur. Cette théorie s'applique aux ondes de période inférieure à 60 secondes et constitue une approximation identique à celle effectuée par l'optique géométrique pour l'étude de la propagation des ondes électromagnétiques. Elle est très utile pendant les premières dizaines de minutes qui suivent un séisme où l'on observe des arrivées distinctes et impulsives. La figure A montre les arrivées de différents types d'ondes sismiques, qui se sont propagées à travers différentes couches de la Terre suite à un séisme en Antarctique. L'on y observe les ondes de volume P (« primaires ») et S (« secondaires »), ainsi que les ondes de surface. Les ondes P, semblables aux ondes sonores, sont des ondes de compression qui induisent des perturbations volumétriques; les ondes S sont des ondes de cisaillement, qui ne provoquent pas de changement de volume et ne peuvent se propager dans un fluide. La plupart de nos connaissances sur la structure de la Terre et les sources sismiques viennent de l'application de calculs de rais pour interpréter les sismogrammes. Ainsi, vers 1900, R. Oldham identifia les ondes P, S et de surface sur les sismogrammes. Il détecta dès 1906 le noyau, zone fluide à faible vitesse de propagation des ondes P et dans laquelle les ondes S ne se propagent pas, qui diffracte les rais et crée une zone d'ombre (figure B). Ce phénomène provoque l'absence d'énergie de déformation sous la forme d'onde P à la surface de la Terre pour des distances comprises entre 103° et 140°. En 1936, Inge Lehman découvrit la graine en observant la présence de rais réfléchis par une discontinuité à 5000 km de profondeur. On ne fut toutefois pas en mesure à l'époque de savoir si elle était solide ou liquide.

2. **Le concept de paquets d'ondes progressives et d'ondes de surface** : les ondes de surface sont des ondes guidées entre la surface de la Terre et les différentes couches superficielles qui la composent. Lors d'un grand séisme, ces ondes font plusieurs fois le tour du Globe sous forme de paquets d'ondes progressives, en échantillonnant les 1000 premiers kilomètres sous la surface (figure A). L'analyse de ces ondes permet par exemple d'améliorer notre connaissance du manteau terrestre, ou de mieux contraindre l'étude des mécanismes au foyer.

3. **Les oscillations libres** : si le séisme est suffisamment important, les paquets d'ondes de surface font plusieurs fois le tour de la Terre (figure A), se rejoignent, et après plusieurs heures finissent par interférer entre elles pour produire des ondes stationnaires. Ces ondes oscillent à des fréquences qui dépendent directement de la structure interne de la Terre. L'analyse en fréquence des oscillations libres constitue véritablement de la « spectroscopie terrestre » et a permis de prouver la solidité de la graine en 1971 (*Ciel et Terre*, 117 (3), 2001).

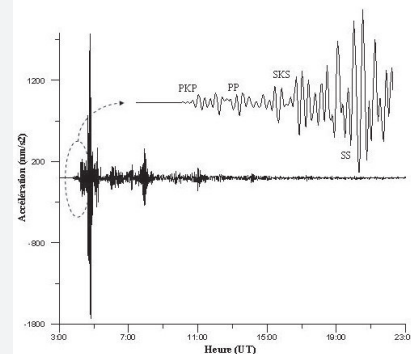


Figure A: Sismogramme enregistré à Membach après un séisme en Antarctique. Remarquez les arrivées répétées pendant plusieurs heures des paquets d'onde de surface qui ont fait plusieurs fois le tour du monde. En médaillon, un agrandissement pris au début du sismogramme, montrant les arrivées de différentes ondes sismiques. PKP/SKS: onde ayant traversé le manteau sous forme P ou S et le noyau sous forme P; PP/SS: onde P/S réfléchi(e) une fois à la surface du globe.

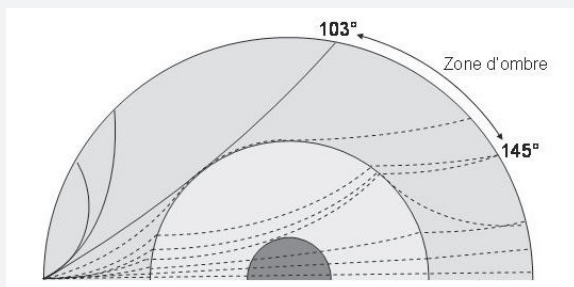


Figure B : Les différentes couches de la Terre : manteau, noyau et graine. Le noyau liquide réfracte les ondes sismiques et crée une zone d'ombre entre 103° et 140° (1° à 110 km)



Figure 1. Eugène Lagrange.

constatèrent la présence de vibrations importantes de périodes comprises entre 4 et 16 secondes. Assez rapidement, ils ont correctement interprété ce signal comme induit par la houle marine. Ce signal, appelé « microséisme », est très important en hiver. Il varie avec les saisons et masquait dans les enregistrements les signaux d'origine sismique. Pour cette raison, après la seconde guerre mondiale, on développa l'idée d'équiper les stations de deux types de sismographes : courte et longue période. Les sismographes dits « courte période » ont un sismomètre à période propre de 1 seconde, les sismographes dits « longue période », de 20 s. Leurs bandes passantes respectives étaient réduites par les systèmes d'enregistrement galvanométrique. L'objectif était de diminuer le microséisme sur les sismogrammes qui furent analogiques³ jusque dans les années '70.

La station d'Uccle

La première station sismique belge fut installée à Uccle à la fin de l'année 1898, sous l'impulsion d'Eugène Lagrange (1855-1936, Figure 1), professeur de physique

à l'Ecole militaire. Le premier sismomètre était un pendule horizontal triple de von Rebeur-Ehlert, construit par Bosch à Strasbourg (Figure 2). Il enregistra son premier mouvement sismique le 4 septembre 1899 (photo couverture). C'était un appareil de petite taille, environ 40 cm de diamètre, constitué de trois pendules disposés à 120° l'un de l'autre et capables d'osciller dans le plan horizontal. Il se trouvait dans la chambre souterraine spécialement construite pour les observations sismiques dans le parc de l'Observatoire. La configuration souterraine s'imposait d'une part pour ne pas élever de bâtiment qui puisse gêner la vue des astronomes vers l'horizon. D'autre part, il fallait s'abriter des variations diurnes de la température. L'implantation à l'Observatoire était nécessaire, car c'était le seul endroit calme où l'heure pouvait être connue avec précision. Ernest Solvay, grand mécène, finança intégralement la station, qui à ce titre, était sa propriété privée. Les bulletins mensuels

étaient d'ailleurs officiellement dénommés « *Bulletin de la station géophysique d'Uccle (station Ernest Solvay)* » (Figure 3). On accédait au laboratoire par un escalier protégé par un petit baraquement en bois, remplacé en 1908 par le pavillon en surface tel qu'on le connaît actuellement (photo en page 4 de couverture). Comme le local souterrain était très humide, on profita de ce chantier pour construire une seconde voûte, avec espaces vides, entourant complètement la cave initiale (Figure 4).

Il fallut attendre la seconde moitié de 1899 avant d'avoir un fonctionnement régulier des pendules. Parmi les multiples difficultés à vaincre, il y avait celle de l'éclairage, indispensable à l'enregistrement des mouvements des pendules sur plaques photographiques. Ne pouvant disposer du personnel de l'Observatoire, il fallait rechercher « *un luminaire bien constant, suffisamment intense, d'une fixité aussi grande que possible, dégageant peu de chaleur* ».

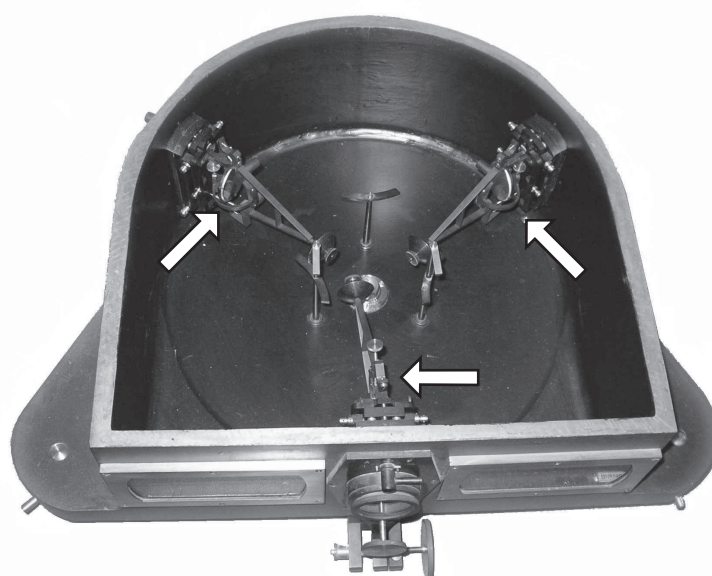


Figure 2. Sismomètre von Rebeur-Ehlert (musée ORB). Il s'agit de trois pendules horizontaux « en barrière de jardin » disposés à 120° l'un de l'autre (Figure 6d). Sur chaque pendule se trouve un miroir (indiqué par une flèche) destiné à l'enregistrement photographique des mouvements du pendule. La présence du 3^e pendule permettait d'améliorer le signal, en particulier en augmentant la certitude de la détection du sens du premier mouvement.

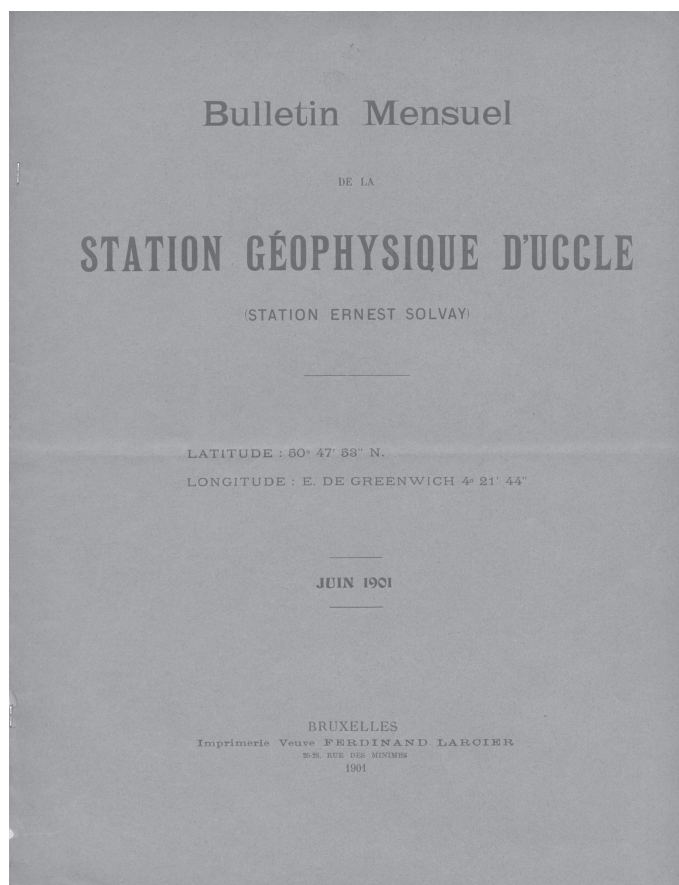


Figure 3: Exemple de Bulletin de la station géophysique d'Uccle (Station Ernest Solvay) tel qu'il paraissait entre 1901 et 1903 (archives ORB).

ou disposé de manière à ce que la chaleur ne put nuire, et pouvant, au minimum, fonctionner quatre jours sans surveillance ». Fin 1899, la fourniture d'électricité par l'Observatoire fut interrompue. Ce problème fut résolu le 8 février 1900, grâce à l'autorisation du Ministre de l'Intérieur et de l'Instruction publique Jules de Trooz, qui a levé la barrière administrative qui empêchait l'Observatoire de fournir contre paiement de l'énergie électrique à la Station Solvay. Malgré l'autorisation ministérielle, il fallut encore attendre novembre afin d'obtenir à nouveau l'électricité, après deux douzaines d'échanges épistolaires kafkaïens entre E. Lagrange et E. Goedseels, commissaire du gouvernement administrateur-inspecteur de l'ORB.

Parallèlement, M. de Trooz délégua M. Lagrange à la commission permanente sismologique fondée

en 1899 et qui siégea à Strasbourg en avril 1901. Lors de cette réunion, M. Lagrange fit partie

de la commission devant statuer sur la qualification à donner à cette assemblée. Il en naquit l'Association internationale de Sismologie. Ceci montre bien l'éveil de l'intérêt porté par la Belgique à la géophysique, car à peine ébauchée, ses adeptes sont envoyés aux réunions internationales.

A la fin de l'année 1903, Ernest Solvay proposa au gouvernement de faire don à l'Etat de la cave géophysique. Cette offre fut acceptée par arrêté royal donné à Laeken le 28 novembre 1903. La cave, ainsi que le pendule triple et son enregistreur furent remis à l'Observatoire le 1^{er} janvier 1904. Oscar Somville (1880-1980), jeune assistant, devint le premier chef du service sismologique de l'Observatoire, jusqu'à sa retraite en 1945.

En juin 1906, on installa deux sismomètres horizontaux lourds « Bosch-Omori », construits par Bosch, tout comme les pendules triples. L'enregistrement, mécanique,

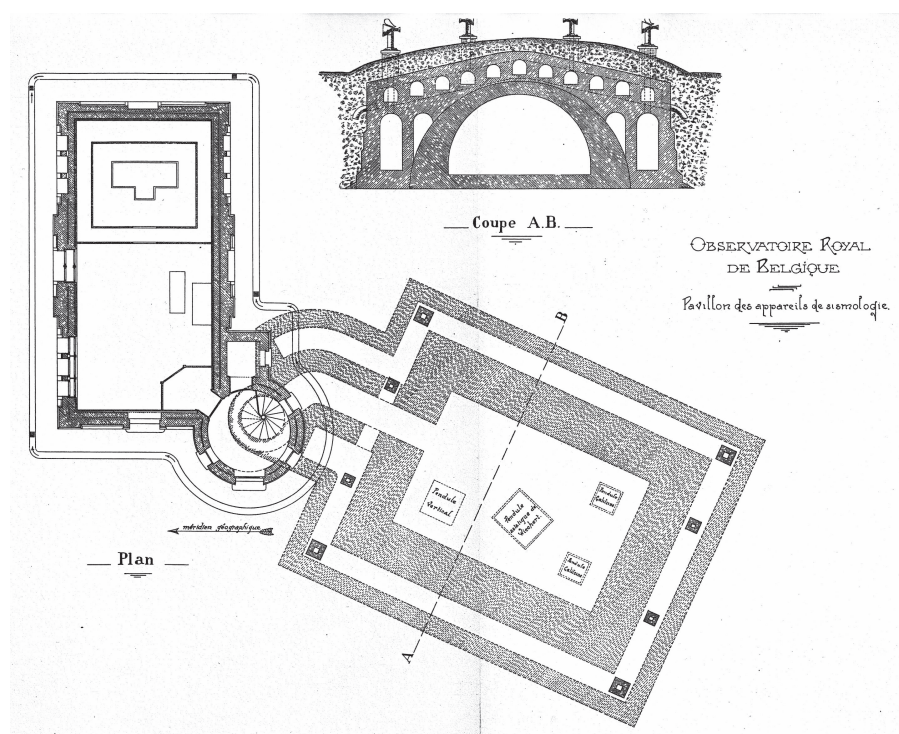


Figure 4. Plan de la cave de sismologie et du pavillon construit en 1908.

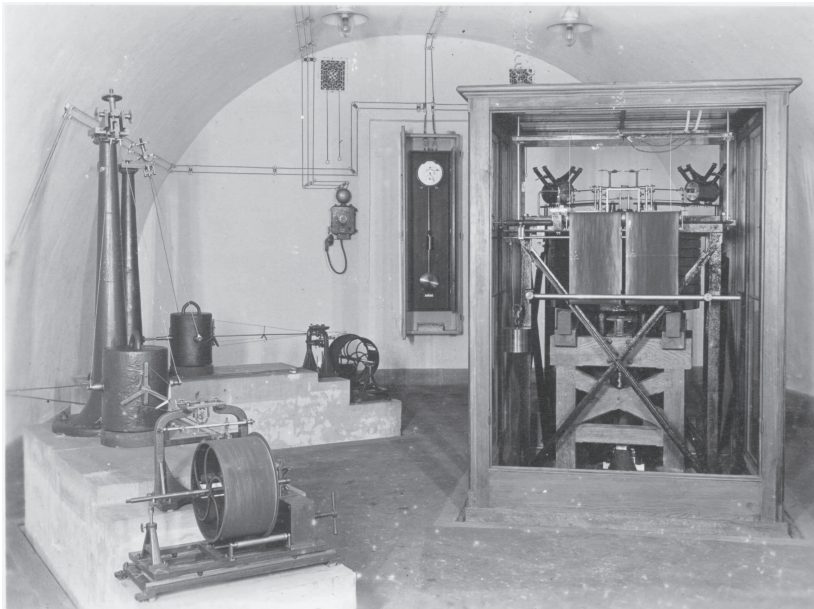


Figure 5. Cave sismique vers 1915. A gauche, les deux sismomètres horizontaux lourds « Bosch-Omori » installés en 1906. Actuellement, on trouve à leur place les sismomètres de Galitzine et de Sprengnether/Press-Ewing. A droite le sismomètre Wiechert horizontal de 1300 kg, placé en 1910. On distingue bien les deux rouleaux de papier noirci gratté par une plume, destinés à l'enregistrement des mouvements E-W et N-S du sol. La composante verticale de 1000 kg, invisible, est à la droite du photographe. Ces sismomètres lourds existent toujours. Au fond, l'horloge Spindler et Hoyer, fournie par le même constructeur que les sismomètres Wiechert. Elle fut installée en 1909 (archives ORB).

consistait en une plume grattant un papier noirci (Figure 5).

Le pendule triple sera définitivement déclassé le 13 mars 1909 et les pendules lourds, le 22 mars 1911.

En 1912, ces deux pendules Bosch ont été légués au Ministère des Colonies et envoyés à Elisabethville (actuelle Lubumbashi). Que sont-ils devenus ?

Parallèlement à l'installation des nouveaux instruments, de nombreux efforts seront consentis pour améliorer le chronométrage des enregistrements. Citons l'installation en 1909 d'une nouvelle horloge synchronisée - quotidiennement puis en continu dès 1912 - avec le Bureau de l'Heure de l'Observatoire. Depuis 1984, nous utilisons des récepteurs DCF et à partir de 1998, certaines stations ont été équipées d'un système GPS. En 1909, l'exactitude atteignait

1 s et on obtint 0,1 s en 1912, alors que la DCF garantit actuellement le centième de seconde et le GPS, beaucoup mieux que le millième de seconde.

En 1909, on mit en service le pendule horizontal Wiechert de 1000 kg (Figures 5 et 6e) et en 1910, le pendule vertical

Wiechert de 1300 kg (Figure 6b). Ces deux instruments reportaient les mouvements du sol à l'aide d'une plume grattant un papier noirci ; leur forte masse garantissait l'inertie nécessaire à l'entraînement des plumes.

En 1911, la station sera dotée de 2 pendules horizontaux mis au point par le prince Galitzine, inventeur russe. Le détecteur consistait en une bobine oscillant dans l'entrefer d'un aimant et créant par induction un courant électrique mesurable (Figure 7). C'est le premier dispositif électromagnétique mis au point pour l'enregistrement des séismes⁴, à la base de tous les systèmes modernes. Pendant la première guerre mondiale, faute de papier photosensible, on ne poursuivra que l'enregistrement mécanique des sismomètres Wiechert. Les autres enregistrements ne reprendront que le 12 juillet 1919.

En avril 1930, un sismomètre vertical Galitzine-Wilip compléta la station. Ainsi, de 1910 à 1945, 9697 séismes furent enregistrés à Uccle, dont le fameux séisme belge du 11 juin 1938. Somville en publia une étude scientifique remarquable.

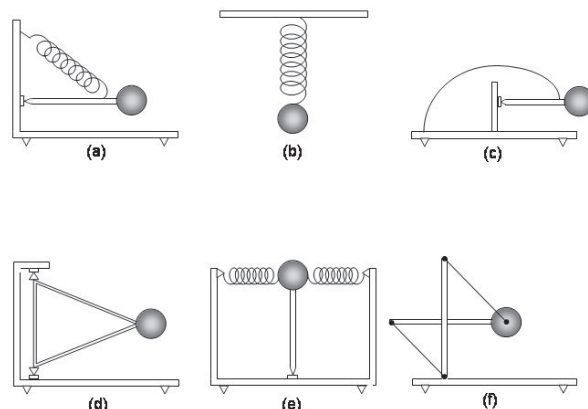


Figure 6. Schéma de fonctionnement de différentes suspensions : (a) à ressort (Press-Ewing vertical, LaCoste), (b) verticale à ressort (Wiechert vertical), (c) à lame (STS1-V), (d) en barrière de jardin (sismomètre von Rebeur-Ehlert, STS1-H), (e) en pendule inversé (Wiechert horizontal), (f) bifilaire (Galitzine, Verbaandert-Melchior).

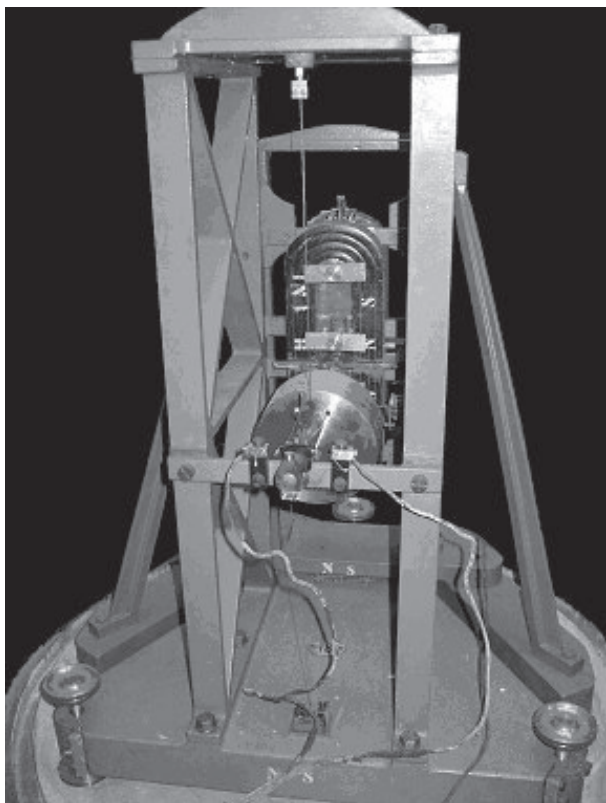


Figure 7. Sismomètre Galitzine horizontal d'Uccle. On distingue la suspension bifilaire, et l'entrefer de l'aimant au sein duquel se meut une bobine fixée au bras du pendule. Ce sismomètre est également muni d'un miroir qui aurait peut-être permis l'enregistrement direct sur papier photo.

A la retraite de Somville en 1945, Charles Charlier (1897-1953, fig. 8), qui était son assistant depuis 1926, lui succéda à la tête du service de sismologie. C. Charlier participa étroitement aux développements de l'association internationale de sismologie (1948-1951) dont il fut vice-président. Féru de mécanique, il améliora les instruments de la station d'Uccle et entreprit la fabrication d'un instrument (dit de Charlier-Delange). A cause de la maladie, il ne put cependant mener à bien ce dernier projet. A son décès en 1953, le service de sismologie fut conduit par Jean-Marie Van Gils (1918-1989) et ce jusqu'en 1983 (Figure 9).

L'enregistrement classique par les sismomètres Galitzine et Wiechert s'est poursuivi jusqu'en 1962. Après cette date, une cabine

équipée de plusieurs enregistreurs à encre enregistrait les 3 composantes des sismomètres Wiechert sur des rouleaux de papier (Figure 10). Ce système modifiait fortement la réponse fréquentielle des signaux et n'était pas adapté pour l'enregistrement des séismes locaux. Les sismomètres Galitzine et Wiechert furent déclassés dans le courant des années '70 et remplacés en 1973 par trois sismomètres longue période Sprengnether/Press-Ewing (Figure 11). Les signaux de ces sismomètres étaient enregistrés en parallèle sur bande magnétique analogique et sur les enregistreurs à papier de la « cabine ».

Toutes ces données ont été archivées sur microfilms, ce

qui, malheureusement, rend difficile leur utilisation à des fins scientifiques.

Tous les instruments historiques mentionnés, excepté les pendules lourds Bosch-Omori, sont toujours à l'Observatoire, ainsi que la plupart des systèmes d'enregistrement.

A l'époque du tremblement de terre de Liège (le 8 novembre 1983), l'équipement de la station d'Uccle était réduit à l'enregistrement par la « cabine » des sismomètres Press-Ewing. Le développement du réseau sismique belge, dû à l'action du Professeur Melchior, directeur de l'Observatoire au moment du séisme de Liège, a fait entrer la station d'Uccle dans l'ère de la sismologie numérique. En 1986, un sismomètre Sprengnether S-10 courte période à composante verticale a été installé dans la cave profonde. Le signal était enregistré numériquement sur bande magnétique par un système de type Lennartz PCM-5800. Les deux autres canaux du système d'acquisition enregistraient



Figure 8. Charles Charlier (archives ORB).



Figure 9. Jean-Marie (dit Théo) Van Gils vers 1965 (archives ORB).

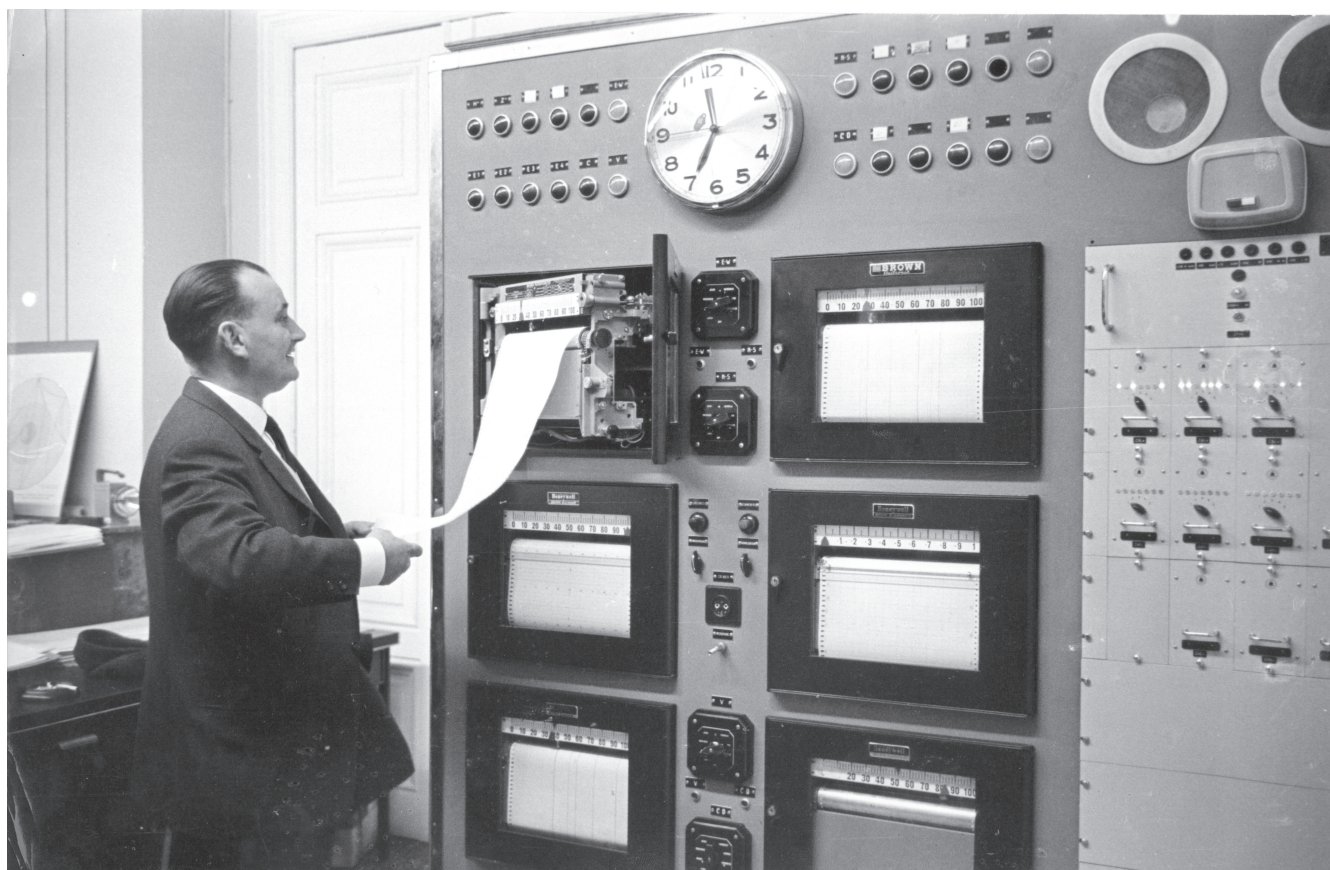


Figure 10. J.-M. Van Gils devant la « cabine de la sismologie » de l'ORB, où ont été effectués les enregistrements des sismomètres Wiechert de 1962 à 1970 et ensuite Sprengnether/Press-Ewing jusqu'en 1985. Les six enregistreurs permettaient d'enregistrer sans interruption pendant les changements de rouleaux les trois composantes Est-Ouest, Nord-Sud et Verticale du sismomètre (Archives ORB, 19 janvier 1966).

les signaux des composantes verticales des stations de Seneffe et de Membach, télémétrés en continu analogiquement par les lignes téléphoniques du Ministère des Travaux Publics. En 1991, ce système a été remplacé par une acquisition numérique sur PC, développée par le service de sismologie⁵, et ce jusqu'en 1999. Parallèlement, les signaux analogiques de ces trois stations étaient enregistrés en continu sur de nouveaux enregistreurs à papier, également jusqu'en 1999.

Alors qu'au début du 20^e siècle, la station d'Uccle se trouvait en retrait de la ville et de son activité, au cours du siècle, le développement urbain et celui des activités humaines se sont accrus de manière spectaculaire. La conséquence est que la station sismique d'Uccle est devenue de plus en plus "bruyante". Il est apparu ainsi nécessaire aux

sismologues de l'Observatoire de mettre en œuvre des moyens importants pour améliorer la qualité des enregistrements mais également pour collecter en temps réel les données des instruments.

En 1998, un forage a été réalisé,

qui atteint 120 m de profondeur (photo en page 4 de couverture). Ceci a permis d'installer un sismomètre à large bande directement sur le socle rocheux, améliorant le rapport signal/bruit d'un facteur 10 à 30 suivant la bande de fréquence.

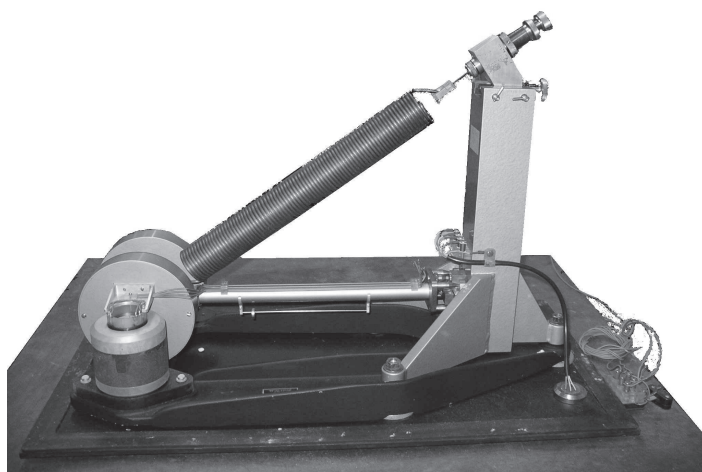


Figure 11. Sismomètre Sprengnether/Press-Ewing (composante verticale). Pour les deux composantes horizontales, le ressort à boudin est remplacé par une suspension bifilaire.

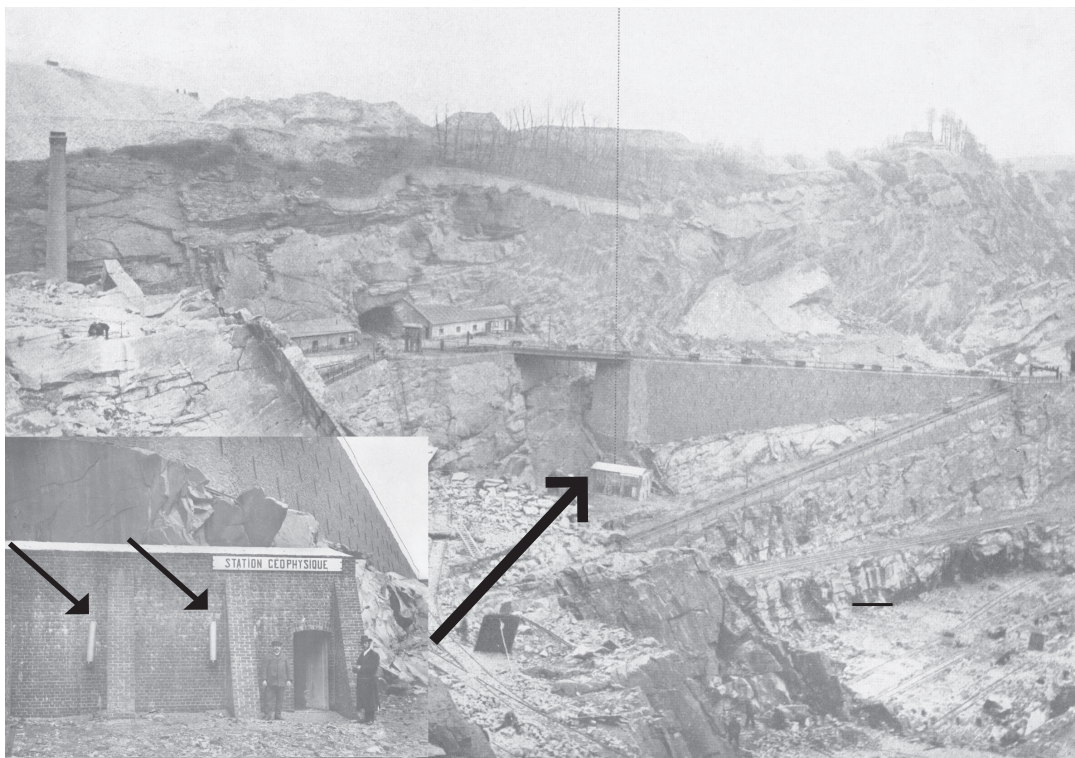


Figure 12: La station de Quenast. « Photographies dues à M. Rahir, le délicat photographe en même temps que le charmant écrivain des guides en nos Ardennes ». « On voit les conduits métalliques peu gracieux (flèches), mais nécessaires, que l'aérage de la station nous a amené à installer, pour en assécher autant que possible l'atmosphère intérieure. Si l'œil n'est pas satisfait, le but à atteindre nous forçait à y avoir recours; la buée qui se déposait sur les glaces de l'enregistreur empêchait toute image nette des points lumineux. Que l'esthétique nous pardonne! » (E. Lagrange, 1903)

Enfin, un accélérographe est installé dans la cave sismique depuis 2003 pour enregistrer les mouvements forts du sol. Un autre accélérographe complètera l'installation du forage, à 120 m de profondeur fin 2004.

Le projet d'autres stations belges au début du XX^e siècle

E. Lagrange projetait d'organiser cinq autres stations : au littoral,

au puits de l'Agrappe (Frameries), à Colfontaine, Quenast et Liège, afin d'établir un réseau comme seule l'Italie en possédait à cette époque. Vers 1903, la Société belge de Géologie, de Paléontologie et d'Hydrologie établit des instruments de sismologie dans les carrières de porphyre de Quenast (Figure 12) et aux charbonnages de l'Agrappe (fosse Grand-Trait, à 850 m de profondeur, Figure 13), en vue d'étudier des corrélations grisouto-sismiques. Leur direction fut confiée à

Eugène Lagrange. Ces stations ne vécurent pas longtemps, vu les difficultés rencontrées pour l'alimentation électrique ou la démolition de l'abri sismique de Quenast.

Citons E. Lagrange à ce sujet: « La phase d'installation a réclamé beaucoup de temps, énormément de peines et a eu à surmonter maintes difficultés inattendues qui, toutefois s'aplanissent de jour en jour. A Quenast c'était l'humidité, tellement forte et persistante, qu'il

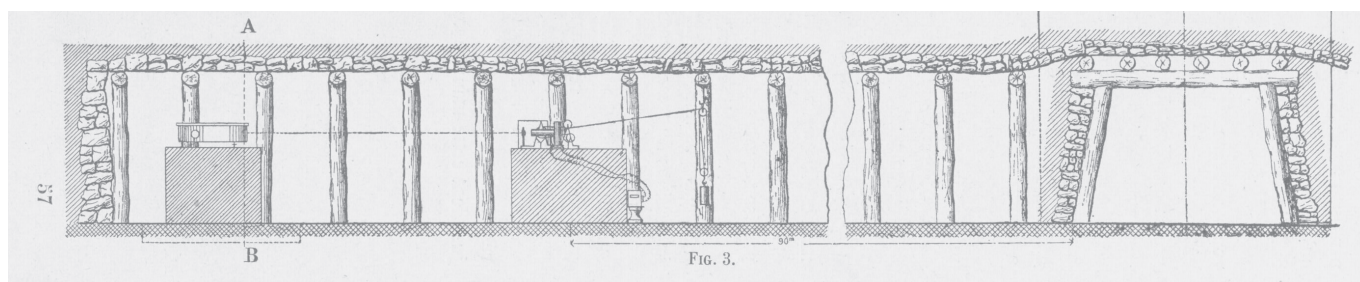


Figure 13: Sismomètre von Rebeur-Ehlert (à gauche) au charbonnage de l'Agrappe (Frameries) et son système d'enregistrement photographique (centre-gauche).

a fallu changer d'emplacement et reconstruire de fond en comble les locaux de la station. A Frameries, dans les profondeurs de la mine grisouteuse, ce furent les recherches relatives à la suppression du danger de l'éclairage électrique (par accumulateurs, à remplacer journellement) qui ont été le principal obstacle à la mise en train et au bon fonctionnement des appareils »

Les résultats ne furent jamais publiés, du fait de la mauvaise qualité des chronométrages, mais on put observer la corrélation entre le bruit microsismique et les conditions météorologiques (vents au-dessus de la station ou cellules de basse pression en mer). Les deux autres stations n'ont jamais vu le jour, même si un pendule von Rebeur-Ehlerst fut acquis par la Société belge de Géologie pour un charbonnage grisouteux du bassin de Liège. Ce sismomètre fonctionna en public lors de l'Exposition internationale de Liège en 1905, mais nous ne savons pas ce qu'il est devenu.

Les stations sismiques belges (de la station de Dourbes en 1958 au réseau sismique actuel)

Jusqu'en 1958, la station d'Uccle a été la seule station sismique en Belgique. Le nombre de stations proches dans les pays voisins est également resté très réduit jusque dans les années '60. Cette situation explique l'importance des archives sismologiques de la station d'Uccle. Elles comprennent les sismogrammes originaux, les bulletins sismiques et les cahiers reprenant les corrections d'horloge ainsi que la détermination régulière des paramètres instrumentaux des sismographes Wiechert et Galitzine. Ces archives sont consultées régulièrement par les scientifiques étrangers qui

Accéléromètres et mouvements forts du sol

Accéléromètres et sismomètres sont très semblables. Les différences apparaissent au niveau de la fréquence propre des suspensions et de l'électronique de mesure, qui impliquent que le sismomètre fournit habituellement la vitesse du sol, et l'accéléromètre, l'accélération. Nettement moins sensible, l'accéléromètre peut mesurer des accélérations équivalentes à l'accélération de la pesanteur g .

Depuis quinze ans, des recherches menées à l'Observatoire Royal de Belgique visent à étudier l'aléa sismique dans nos régions, c'est-à-dire la probabilité de ne pas y dépasser une valeur d'accélération du sol pendant un intervalle de temps donné (10% de dépassement en 50 ans). Les séismes de Liège (8 novembre 1983, $M_s = 4,6$) et de Roermond (13 avril 1992, $M_s = 5,4$) nous ont rappelé que la Belgique se trouve en zone d'activité sismique non négligeable. Par ailleurs, de récents travaux ont montré que des séismes beaucoup plus importants (magnitude supérieure ou égale à 6,0) peuvent se produire dans nos régions. Pour établir des cartes d'aléa sismique et calculer l'impact de ces grands tremblements de terre, il est nécessaire de connaître les accélérations du sol (« mouvements forts») dans les zones affectées. Celles-ci peuvent atteindre quelques dixièmes de l'accélération de la pesanteur (g). Il est également indispensable de rechercher les effets de l'atténuation des ondes en fonction de la distance, ainsi que la réponse locale du sol aux séismes, dénommée effets de site.

Lors des tremblements de terre de Liège et de Roermond, il n'a pas été possible de mesurer les mouvements du sol ressentis dans la zone épacentrale, où des dégâts parfois importants ont été observés. Des problèmes similaires se posent au voisinage de l'épicentre de séismes de magnitude supérieure à $M_s = 3,5$, où les accélérations qui dépassent 0,05 g saturent les sismomètres. C'est ce qui conduit les sismologues et ingénieurs européens à mettre en œuvre des réseaux d'accéléromètres pour enregistrer les mouvements forts du sol dans les zones sismiques du nord-ouest de l'Europe. Par ailleurs, les enregistrements de tels mouvements effectués à l'étranger ont montré que leur complexité était bien plus grande qu'attendue. Il est donc important de disposer d'un nombre important de données.

A cette fin, des accéléromètres ont été installés depuis 1999 dans des zones sensibles de notre pays (provinces de Liège, du Limbourg et du Hainaut). Le choix de ces emplacements prend en considération les différents types de sol, de même que la présence d'ouvrages de génie civil et la proximité de zones à risque. Actuellement, l'Observatoire Royal de Belgique dispose de 16 accéléromètres, qui comprennent chacun les composantes horizontales et verticale (voir Figure en page 2 de couverture).

Ce projet scientifique constitue un complément indispensable aux études réalisées à l'Observatoire Royal de Belgique en matière de prévention du risque sismique et jouera un grand rôle dans l'analyse détaillée des mécanismes au foyer (directivité de la source et complexité de la faille crustale). Ceci permettra de compléter les cartes d'aléa sismique et de répondre aux nombreuses questions formulées par le public (bureaux d'ingénieurs et d'architectes, administrations publiques, ...).

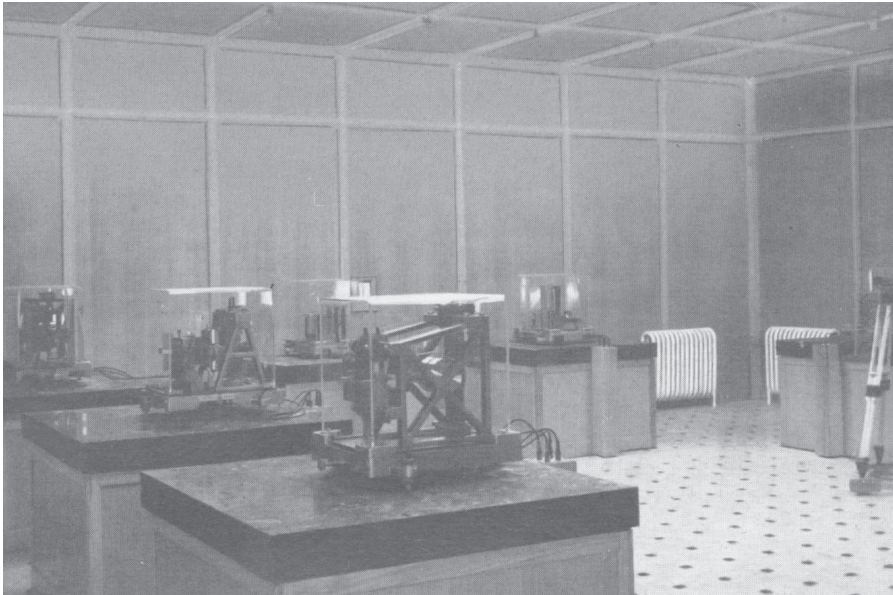


Figure 14. Station sismique de Dourbes en 1958 (IRM). Cette station était équipée de trois sismographes à courte période Benioff et de trois sismographes longue période « Stuttgart ». Ces derniers ont été remplacés dans les années 60 par des Press-Ewing (Lahaye, 1958).

étudient spécifiquement l'activité sismique d'une région du globe.

L'Institut Royal Météorologique (IRM) implanta en 1956 à Dourbes des installations pour y poursuivre des recherches en physique du globe à l'abri des nombreuses perturbations du site d'Uccle. Une station sismique y fut aussi implantée (Figures 14 et 15). Elle fut réellement opérationnelle à partir de 1958. Les équipements appartenaient à l'IRM, tandis que les dépouillements étaient réalisés par l'ORB à Uccle. Le personnel de l'IRM s'occupait également de la maintenance des sismomètres. La base de temps était assurée par une horloge à quartz.

Durant les années 1960, J.-M. Van Gils s'est rendu compte que, afin de fournir des informations fiables au sujet de séismes se produisant dans nos régions, un effort devait être réalisé pour implanter des stations sismiques supplémentaires dans notre pays. Il faut remarquer ici, qu'étant donné que le socle rocheux affleure en de nombreux endroits du sud du pays et qu'une station

sismique de bonne qualité ne peut être installée que sur un tel sous-sol, les recherches de sites ont concerné essentiellement la Wallonie. On ne se rend pas bien compte actuellement des difficultés posées à l'époque par l'implantation et la maintenance de stations sismiques. Les sismomètres étaient beaucoup plus volumineux et pesants

qu'à l'heure actuelle. Les enregistrements étaient soit photo-galvanométriques et demandaient donc la présence d'une chambre d'enregistrement à l'abri de la lumière, soit ils étaient réalisés sur un enregistreur à papier qui était encombrant et consommait beaucoup de puissance électrique. Le signal horaire était généralement fourni par des horloges dont il fallait contrôler scrupuleusement la dérive. Le changement des feuilles et la mesure de la dérive de l'horloge demandaient une visite régulière (quasi quotidienne) des stations.

La première de ces stations a été installée dans les ardoisières de Warmifontaine dont la direction avait mis à disposition de l'Observatoire une galerie à 150m de profondeur. Une station clinométrique y avait également été installée. La station a fonctionné de septembre 1964 à septembre 1970. L'Observatoire a décidé d'arrêter les mesures à cause du prix exorbitant demandé par le propriétaire pour effectuer le changement des papiers photo. Cette station était équipée d'un sismomètre vertical Sprengnether

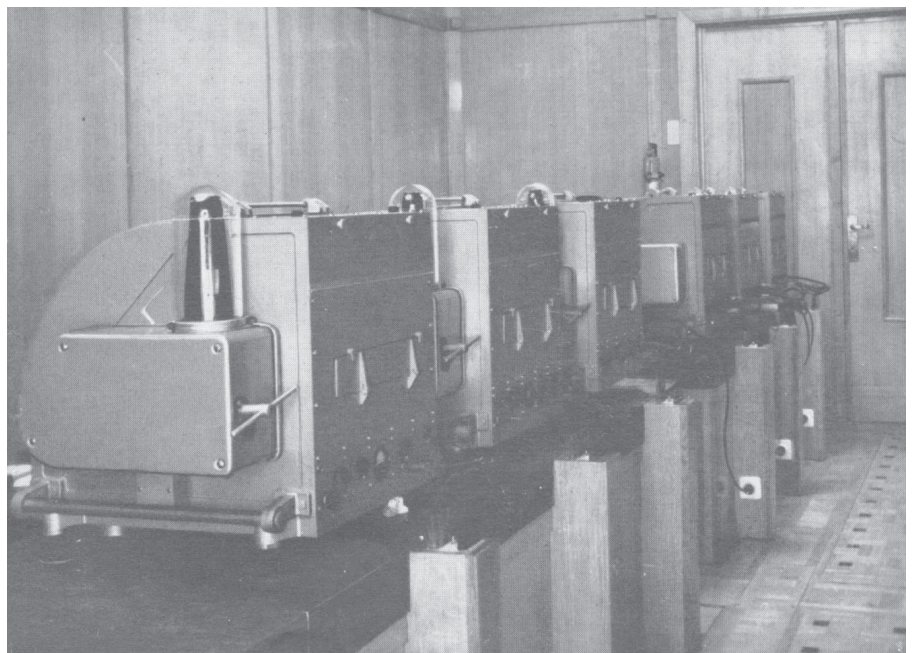


Figure 15. Enregistreurs photographiques à la station de Dourbes (IRM)(Lahaye, 1958).

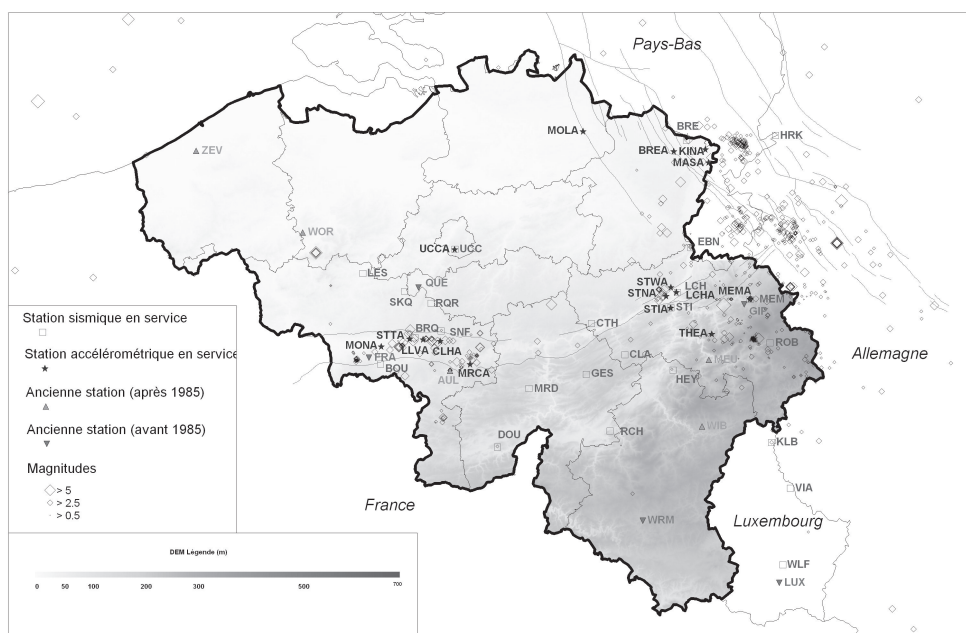


Figure 16. Les réseaux sismique et accélérométrique de l'Observatoire Royal de Belgique. En rouge, le réseau sismique et en bleu, le réseau accélérométrique actuellement en opération. Remarquons que certaines stations comprennent plusieurs instruments (sismomètres courte et longue période, instruments en surface et souterrain). En violet, les 5 stations « historiques » arrêtées avant 1985. En vert, les stations numériques les plus significatives installées après 1985 mais ayant cessé de fonctionner depuis lors. (Voir également page 2 de couverture pour une version en couleurs)

à courte période ($T_0=1,5$ s) et de deux sismomètres horizontaux Sprengnether à 15 s de période propre. La base de temps y était assurée par une pendule Brillié dont le contrôle se faisait par inscription directe des tops horaires de la RTB sur les enregistrements. Cette station a fourni quelques enregistrements remarquables de séismes belges.

A cette époque, des contacts étroits avaient été établis avec le grand-duché de Luxembourg, conduisant à l'installation d'une station sismique dans les casemates de Luxembourg (Flick et Stomp, 2002). Les trois sismomètres étaient du type dit de « Stuttgart » de période propre intermédiaire ($T_0=12$ s). L'enregistrement était également photo-galvanométrique. Cette station a fonctionné de mai 1967 à octobre 1972. Les tops horaires étaient fournis par une horloge à balancier dont la synchronisation

était contrôlée par un système radio. Nous poursuivons toujours des collaborations étroites avec le grand-duché de Luxembourg.

Lors du rehaussement du barrage de la Gileppe (fin des années '60 – début des années '70), le Ministère des Travaux publics a chargé l'Observatoire de la surveillance des explosions générées pour la réalisation des travaux. Pour cette raison, une station sismique y a été installée en octobre 1968. Elle a fonctionné jusqu'en avril 1970. Elle était équipée d'un sismographe courte période Grenet.

A la suite de ces travaux au barrage de la Gileppe et comme il était beaucoup question dans la littérature scientifique de l'influence des grands réservoirs d'eau sur le déclenchement de tremblements de terre, les responsables du Ministère des

Travaux publics ont demandé à l'Observatoire de s'occuper de la surveillance sismique des environs des barrages de la Gileppe et d'Eupen. Pour réaliser cette surveillance, une galerie de 130 m de long a été creusée à Membach, au bout de laquelle deux salles ont été préparées pour accueillir des instruments sismiques et clinométriques. La station sismique fonctionne depuis 1977. Elle était équipée jusqu'en 1985 (installation du nouveau réseau sismique belge) de trois sismomètres S-10 courte période. Cette station a été équipée en 1985 d'un sismomètre Mark-Product L4-3D et depuis les années '90, de sismomètres à large bande Güralp et Wielandt-Streckeisen STS-1. Cette station est l'une des meilleures stations sismiques du réseau belge et abrite depuis 1995 le gravimètre relatif à supraconductivité qui permet entre autres l'observation d'ondes

sismiques à très basse fréquence (cf. *Ciel et Terre*, 117 (3), 98-102, 2001).

Dès 1968, des pendules horizontaux Verbaandert-Melchior avaient été installés à Walferdange au grand-duché de Luxembourg dans une mine de gypse pour l'étude des marées terrestres. Le développement de ce laboratoire souterrain a été poursuivi tout au long des années '70 et un sismographe a été installé en 1975. Actuellement, trois stations sismiques sont implantées au grand-duché de Luxembourg à Walferdange, Kalborn et Vianden.

Après le séisme de Liège de 1983, un réseau sismique, équipé de sismomètres modernes et de systèmes d'acquisition numérique

des données, a été implanté dans notre pays, réalisant ainsi, au-delà de toute espérance, le vieux rêve de notre premier sismologue E. Lagrange. Actuellement, le réseau sismique comprend 23 stations, dont 1 aux Pays-Bas et 3 au grand-duché de Luxembourg. Quant au réseau accélérométrique, né en 1999, il comprend actuellement 16 stations. La Figure 16 montre la localisation des stations actuellement en opération ainsi que des sites où des stations sismiques ont existé.

Notre réseau sismique permet de surveiller l'activité sismique dans nos régions et de localiser avec grande précision les tremblements de terre (à 2 km près). Les tremblements de terre de magnitude supérieure à 1,0 n'échappent pas à nos stations,

où qu'ils soient en Belgique. De nombreuses études scientifiques récentes sur l'activité sismique dans le nord-ouest de l'Europe n'ont pu voir le jour que grâce à la densité des sismographes. Par ailleurs, en cas de séisme, nous pouvons déterminer dans l'heure sa localisation, sa magnitude et son impact sur notre territoire. Ces informations sont immédiatement communiquées aux autorités afin de les assister dans leur prise de décision lors d'un séisme destructeur ou fortement ressenti. Les réseaux sismiques et accélérométriques fournissent aussi des données fondamentales pour évaluer le risque sismique dans nos contrées.

Bibliographie

De Becker, M., *Seismometry in Belgium since the beginning of the century*, dans « Gli instrumenti sismici storici », SGA Storia-Geofisica, Bologna, 1990.

Dewey, J., et Byerly, P., *The early history of seismometry*, dans « Bulletin of the Seismological Society of America » Vol. 59, No. 1, pp. 183-227, February 1969.

Flick, J. et Stomp, N., *Sciences de la Terre au Luxembourg*. Réminiscences, Musée national d'Histoire naturelle et ECGS, Luxembourg, 2002.

Lagrange, E., *Le pendule et les petits mouvements du sol*. Extrait de la « Revue de l'Université libre de Bruxelles », Bruxelles, mai 1903.

Lagrange, E., *Les stations sismiques de Shide (Ile de Wight)*

et de Quenast (Belgique), dans « Bull. Soc. Belge d'Astr. », huitième année, 1903.

Lagrange, E., *Correspondances, archives de la Sismologie*, Observatoire royal de Belgique.

Lagrange, E., *Observations sismologiques faites en Belgique en 1904, 1905 et 1906*, dans « Annales de l'Observatoire royal de Belgique », T. III, Fasc. III, 1906.

Lahaye, E., *Réalisation du Centre de Physique du Globe à Dourbes*, IRM Publ. Ser. A (7), 1958.

Lay, T. et Wallace, T.C., *Modern Global Seismology*, Academic Press, London, 1995.

Seligmann, *L'adieu à Eugène Lagrange*, dans « Ciel et Terre » n° 52, pp. 135-137, 1936.

Somville, M., *Annales de l'Observatoire royal de Belgique*, VI, Fasc. I, 1914.

Somville, M., *Annales de l'Observatoire royal de Belgique*, VI, Fasc. II, 1918.

Van den Broeck, E. et Lagrange, E., *Notice relative aux stations sismiques de Frameries et de Quenast*, Exp. Int. de Liège 1905, Section nationale des Sciences (Groupe I, Classe III), Classe de Géologie (exposant: Société belge de Géologie, de Paléontologie et d'Hydrologie, Bruxelles, 1905.

Van Gils, J.-M., *La station sismologique d'Uccle et les autres*, manuscrit non publié, vers 1950.

Van Gils, J.-M., *In memoriam : Charles Charlier (1897-1953)*, *Ciel et Terre*, n° 1-2, pp. 132-133, 1954.

Van Gils, J.-M., *In memoriam : Oscar Somville (1880-1980)*, *Ciel et Terre*, n° 97, pp. 3-4, 1981.

Bruxelles, 45 Rue des Champs Elysées,
18 Février 1898.

Monsieur le Ministre,

J'ai l'honneur de solliciter de votre bienveillance l'autorisation de pouvoir disposer, dans un but d'études scientifiques, d'un terrain d'une superficie d'environ 10 mètres sur 7 mètres, à choisir dans l'enceinte de l'Observatoire Royal d'Uccle, sans qu'il puisse en résulter aucun préjudice pour les installations actuelles. Sous ce terrain devrait être construite une cave dans le genre de celles des pavillons magnétiques, assez profonde et assez bien protégée pour que la variation diurne de la température ne s'y fasse pas sentir. Au dessus de la cave s'élèverait un petit pavillon de dimensions plus restreintes et de construction légère. Les travaux scientifiques que j'ai en vue et qui s'y feraient sous la direction de Monsieur E. Lagrange, professeur de Physique à l'Ecole Militaire, nécessitent, Monsieur le Ministre, une installation souterraine dans un lieu tranquille et protégé, à l'abri des trépidations du sol, et en même temps où l'heure puisse être connue avec une grande précision. Ces conditions ne se trouvent remplies qu'à l'Observatoire Royal d'Uccle

A Monsieur le Ministre de l'Intérieur, Bruxelles.

et ce sont elles qui me permettent de justifier cette demande.

Les frais de toute espèce qu'entraînerait cette construction seraient à ma charge; la construction elle-même étant considérée dès le moment de son édification comme faisant partie de l'Observatoire qui m'en octroyerait l'usage pour un laps de temps indéfini, mais auquel vous pourriez toujours mettre fin.

Je puis vous signaler dès maintenant, parmi les travaux projetés, l'installation d'un pendule horizontal qui permettra d'aborder des recherches qui n'ont pas encore été faites en Belgique et qui ont un intérêt scientifique général très important. Mes travaux terminés, l'Observatoire pourrait utiliser le local susdit pour des recherches scientifiques.

Veuillez recevoir, Monsieur le Ministre, l'expression de ma très haute considération.

ES/ E Solway

Reproduction de la demande d'autorisation de l'installation d'une station sismique dans le parc de l'Observatoire : lettre d'Ernest Solway envoyée au Ministre de l'Intérieur et de l'Instruction publique F. Schollaert (archives ORB)

¹ Au moins 1/100^e de seconde

² Des sismoscopes, peu coûteux, sont encore utilisés actuellement dans certains pays pour indiquer l'amplitude maximale des mouvements du sol lors d'un séisme. D'autres variantes consistent en des interrupteurs à inertie qui coupent des systèmes (vannes, ascenseurs, ...) au-delà d'un certain seuil de vibration.

³ Les enregistrements numériques actuels, avec leur résolution et leur dynamique, permettent de se passer de l'utilisation des deux types de sismographes.

⁴ Le courant est transmis à un galvanomètre à cadre mobile muni d'un miroir. Un faisceau lumineux éclairant le miroir permet d'enregistrer le rayon dévié sur du papier photographique. L'amplification se fait en deux étapes : une amplification électromagnétique -le miroir du galvanomètre tourne bien plus que n'oscille le pendule- et une amplification optique liée à l'éloignement entre la plaque photographique et le miroir.

⁵ Toujours à la base des systèmes actuels, cette acquisition fut développée par Marc Snissaert dès 1988. Il s'agissait du premier système multitâche sous DOS développé en Europe pour les enregistrements sismiques. Il a été utilisé ailleurs en Europe. Marc nous a prématurément quittés cette année à l'âge de 52 ans.



Pour rappel, la Belgique connaît des séismes destructeurs. Par exemple, le séisme de Liège du 8 novembre 1983, bien que de faible magnitude ($M_s=4,7$), causa pour 250 millions d'euros de dégâts. Rien que pour la commune de Saint-Nicolas, il y eut 813 interventions pour les cheminées, 356 étançonnages de façades par les services officiels, 93 maisons déclarées inhabitables et 15 durent être détruites.



Premier pavillon construit en 1898, en bois couvert de bitume.