

rent les électro-aimants des relais, et qui, sans cela, se neutraliseraient à chacun des deux relais également. On comprend dès lors que la transmission des dépêches dans l'une des deux directions soit complètement indépendante de la transmission qui a lieu dans l'autre, et que ces deux transmissions puissent s'effectuer en même temps.

Le principe de la méthode consiste, comme nous l'avons dit, dans la division d'un courant en deux circuits particuliers agissant en sens inverse sur l'électro-aimant du relais. MM. Siemens et Halske, qui font usage du rhéostat pour rendre égaux les deux courants partiels, ont soin de placer à chaque station un multiplicateur à deux fils, au moyen duquel ils savent la longueur qu'il faut donner au rhéostat pour ramener à zéro l'action exercée par la pile locale sur l'électro-aimant. M. Wartmann se sert de deux piles locales agissant chacune séparément sur l'un des fils de l'électro-aimant, et dont l'une doit avoir plus de tension que l'autre pour que les deux courants partiels soient égaux. Ce mode, auquel M. Wartmann était arrivé de son côté, est analogue à celui que M. Gintl avait indiqué dans le même but.

Remarquons, en terminant, que le système que nous venons de décrire, quoique extrêmement ingénieux, présente bien quelques objections pratiques. Outre la difficulté non insurmontable, il est vrai, mais assez grande qu'on éprouve à rendre les deux courants égaux à chaque relais, il existe un inconvénient réel dans l'impossibilité où l'on est d'interrompre la transmission d'une dépêche pour demander une explication ou pour réparer une erreur, sans qu'il risque d'en résulter une grande confusion, puisque cette interruption ne peut pas être simultanée des deux côtés. Il est donc probable que, à tout prendre, on préférera avoir double fil et double appareil entre les stations qui ont de trop nombreuses communications entre elles pour que ces communications puissent être successives, au lieu de n'avoir qu'un fil et qu'un système d'appareils pouvant servir à des transmissions simultanées dans des directions opposées.

Nous terminerons ce sujet en disant quelques mots des essais

qui ont été faits pour appliquer la télégraphie à la sécurité des chemins de fer, en mettant en rapport les convois avec les stations vers lesquelles ils se dirigent. Un télégraphe ordinaire, spécialement affecté au service du chemin de fer, peut servir à transmettre de station en station l'annonce de l'arrivée d'un train; mais on a voulu rendre ces indications plus sûres et plus fréquentes en les faisant partir du convoi lui-même. On emploie, sur certaines lignes en Angleterre, le système de M. Tyer, qui consiste à établir des circuits traversant les stations, et qui se ferment en certains points, seulement lorsque le train en passant fait fléchir les rails. Le courant agit alors sur des appareils avertisseurs, *moniteurs* qui constatent ainsi le passage du convoi en certains points connus, et permettent aux employés d'avertir à temps le mécanicien par des signaux, si la voie est obstruée. Au lieu de se servir, pour fermer ces circuits, de la flexion des rails, M. Du Moncel a employé le tender, ou un wagon quelconque du convoi, à mettre pendant un instant en communication les deux extrémités du fil isolé coupé par la voie, au moyen d'un arc métallique également isolé porté par ce wagon. M. Bonelli a proposé de mettre en rapport, d'une manière permanente, soit le train et la station, soit deux trains marchant sur une même voie. Son procédé, qui a été appliqué au chemin de fer de Turin à Gènes, consiste à poser une lame de fer tout le long de la voie entre les deux rails; elle est soutenue à quelques centimètres au-dessus du sol par des supports isolants en terre cuite. Un glissoir métallique fixé à l'un des wagons du convoi met en communication la barre conductrice et un appareil télégraphique placé dans le wagon, et ce même appareil communique avec le sol par l'essieu d'une des roues, la roue elle-même et le rail. Une pile fonctionnant dans la station a l'un de ses pôles relié métalliquement à la barre; le conducteur, qui part de l'autre, passe dans un appareil télégraphique et vient plonger dans le sol. Dès lors, il suffit d'abaisser le glissoir pour que le circuit soit fermé et que le convoi puisse, par conséquent, correspondre avec la station; on conçoit que la même disposition permette de mettre en communication télégraphique deux convois qui marchent tous deux.

Les changements de voie, les croisements de rails, et les passages à niveau présentaient des difficultés pour l'établissement de la barre conductrice; dans ces divers cas, M. Bonelli la fait passer sous le sol en l'enveloppant de gutta-percha.

f. *Emploi de la télégraphie électrique dans les observations scientifiques et plus particulièrement astronomiques.*

Les procédés et les appareils divers que nous venons de décrire, ont été imaginés en vue surtout des services que la télégraphie peut rendre aux relations sociales; cependant la science, et plus particulièrement l'astronomie, y ont trouvé un auxiliaire précieux, pour certaines observations qui exigent une simultanéité d'opérations dans des lieux très-éloignés. C'est ainsi qu'au moyen de la télégraphie électrique on peut connaître au même instant l'état de l'atmosphère sur plusieurs points du globe terrestre, donnée précieuse pour la météorologie; c'est ainsi également qu'on peut transmettre l'annonce d'un ouragan dans la direction suivant laquelle il se propage, de manière à donner le temps à ceux qui risquent d'en souffrir de prendre les précautions nécessaires. Mais c'est, comme nous l'avons dit, l'astronomie qui a tiré surtout parti de ce mode instantané de communication.

M. Airy, directeur de l'Observatoire royal de Greenwich, est de tous les astronomes celui qui s'est occupé avec le plus de suite et de succès de cette application de la télégraphie électrique, dans laquelle il a été bien vite secondé par le concours des autres astronomes, et en particulier de M. Quetelet et de M. Leverrier. Il a établi à Greenwich un système complet de piles voltaïques toujours montées et prêtes à entrer en action, ayant chacune leur destination spéciale, et composées d'un nombre de couples plus ou moins grand suivant cette destination. De chacune des piles partent des conducteurs en cuivre recouverts de gutta-percha qui aboutissent à un cabinet où, au moyen de commutateurs et autres appareils conven-

bles, le courant reçoit la direction voulue. Ainsi un des courants fait marcher une pendule astronomique, un autre sert à inscrire le passage des étoiles, au moyen de points tracés par un système analogue à celui de M. Morse, sur un papier roulé autour d'un cylindre auquel est imprimé un mouvement de rotation hélicoïdal, et sur lequel sont tracées d'avance des lignes circulaires pour servir de repères; un autre courant sert à transmettre, au moyen de fils télégraphiques, l'heure de Greenwich aux différentes stations télégraphiques de l'Angleterre, et à indiquer en particulier l'heure de midi à Londres en déterminant, à l'instant même du midi de Greenwich, la chute d'une boule placée dans un lieu élevé visible de loin. Il existe encore un nombre considérable d'autres applications aux besoins astronomiques d'une nature analogue, imaginées par M. Airy; nous ne saurions les indiquer toutes sans dépasser les limites entre lesquelles nous sommes obligés de nous restreindre; d'ailleurs elles sont fondées sur les mêmes principes que celles qui nous ont déjà longuement occupés, et n'en diffèrent que par quelques détails mécaniques dans la construction des appareils, faciles à comprendre. Nous nous bornerons donc à insister sur celle de ces applications qui nous paraît présenter le plus d'intérêt et qui a le plus occupé M. Airy, savoir la détermination de la différence de longitude entre les lieux situés à de grandes distances les uns des autres. Mais, avant d'entamer ce sujet, qu'il nous soit permis de signaler l'ordre admirable qui a présidé à l'arrangement des différentes piles, ainsi qu'à la disposition des conducteurs dans l'Observatoire de Greenwich; il est facile d'y reconnaître l'esprit de méthode ainsi que la sagacité pénétrante de l'habile directeur de l'Observatoire, qui a apporté à cette partie de son vaste département scientifique la même précision et la même régularité qui donnent une si grande autorité, par la confiance qu'elles inspirent, aux observations de Greenwich.

C'est en 1852 que furent placés les fils destinés à rattacher l'Observatoire de Greenwich aux principaux bureaux télégraphiques de Londres, par eux d'abord, en 1853, avec les Observatoires de Cambridge et d'Édimbourg, et plus tard avec

ceux du continent, soit avec celui de Bruxelles, soit ensuite avec celui de Paris¹. Nous entrerons dans quelques détails sur la détermination de la différence de longitude entre Greenwich et Bruxelles, que nous extrayons du Mémoire inséré par M. Airy dans le tome XXIV des *Mémoires de la Société royale astronomique de Londres*. Nous ne nous arrêterons pas sur les détails préliminaires relatifs à la détermination de la correction des pendules, à la manière de fermer les circuits qui devaient l'être par des personnes différentes de celles chargées d'observer les signaux. Nous nous bornerons à remarquer, avant de donner les résultats de l'opération, que les observations avaient été partagées en deux séries, dans l'une desquelles un observateur de Bruxelles observait les signaux télégraphiques ainsi que les passages, par la correction de la pendule à Greenwich,

¹ Le fil qui part de Greenwich passe sous terre jusque près de Blackheath; là il est mis en communication avec un des fils souterrains qui aboutissent au câble électrique, qui lie Londres avec Paris à travers la mer. Au moyen d'un commutateur disposé dans une boîte en fer, qui est elle-même scellée dans un mur du parc de Greenwich, on peut mettre directement en communication le fil télégraphique aboutissant à Paris et celui qui part de l'Observatoire; de manière que les signaux peuvent passer directement de l'Observatoire à Paris, et réciproquement. Pour les usages ordinaires de la télégraphie, le commutateur est placé de manière que Londres et Paris soient liés ensemble, ce qui fait que les signaux télégraphiques sont transmis sans l'intermédiaire de l'Observatoire. Enfin, si Greenwich et Londres sont liés, les signaux peuvent passer entre l'Observatoire et Londres, ou entre l'Observatoire et une place quelconque à laquelle Londres est rattaché. Ainsi pour établir une communication entre l'Observatoire de Greenwich et celui de Bruxelles, il est nécessaire d'établir d'abord la communication entre Greenwich et Londres, et de s'en remettre à l'obligeance des employés du bureau télégraphique de Cornhill à Londres, pour établir une communication temporaire entre le segment du fil télégraphique de Paris, auquel aboutit celui qui part de Greenwich et le fil qui va à Bruxelles, après qu'on a eu le soin de supprimer les relations de ces fils avec la terre. M. Airy avait espéré que la détermination de la différence de longitude entre Paris et Greenwich serait la première application qui serait faite de l'établissement que nous venons de décrire; pendant l'été et l'automne de 1853 des négociations avaient été entamées à ce sujet avec le Bureau des longitudes; mais la maladie de M. Arago et d'autres causes les interrompirent, ce qui fit qu'ayant trouvé M. Quetelet très-désireux de s'occuper de cette entreprise, M. Airy se décida à commencer par la détermination de la différence de longitude entre Greenwich et Bruxelles.

pendant qu'un observateur de Greenwich faisait les observations correspondantes à Bruxelles; on permutait ensuite les observateurs pour faire la seconde série d'observations de la même manière. Ajoutons encore que les signaux consistaient dans les mouvements d'une aiguille aimantée produits par la fermeture du circuit, mouvements qui étaient exactement les mêmes aux deux Observatoires, et sur lesquels devait se concentrer exclusivement toute l'attention des observateurs. Enfin il n'est pas inutile de remarquer que, comme on avait convenu d'éliminer par la permutation des observateurs, les erreurs provenant des équations personnelles et affectant soit les signaux d'observation, soit les passages observés, on ne s'était point mis en mesure d'obtenir une comparaison entre les différentes manières d'observer; ce n'est qu'accidentellement que quelques comparaisons furent faites.

La première détermination importante à obtenir était celle relative à la comparaison des heures des signaux électriques observés à Bruxelles et à Greenwich, qui n'étaient pas accompagnés d'observations de passages d'étoiles; ces observations ne pouvaient donner la différence des longitudes, mais elles étaient nécessaires pour faire connaître le temps employé par le courant électrique, pour sa transmission de Greenwich à Bruxelles, et réciproquement. Un autre point essentiel à connaître, mais d'une nature purement astronomique, était la détermination des éléments nécessaires pour calculer les erreurs de l'instrument des passages, et les erreurs de la pendule, pour les jours dans lesquels se faisaient les observations de la différence de longitude.

Ces précautions prises, deux méthodes ont été suivies pour arriver à la détermination de cette différence. Dans l'une on a employé des passages d'étoiles fondamentales; il n'était pas nécessaire que les étoiles observées fussent les mêmes dans les deux Observatoires. Dans la seconde méthode deux listes d'étoiles étaient préparées, les unes précédant, les autres suivant les signaux. Les positions des étoiles n'étaient pas supposées très-exactement connues; mais avant de s'en servir pour corriger la pendule, les listes des étoiles observées dans les deux

Observatoires étaient comparées, et on rejetait toutes celles qui n'avaient été observées que dans un seul Observatoire. De cette manière, on ne comparait que les passages d'étoiles absolument les mêmes, et l'exactitude de leurs ascensions droites admises était sans importance. Les passages observés ont été corrigés numériquement pour les effets des erreurs des instruments, dont les éléments avaient été déterminés, comme nous l'avons dit; quant aux erreurs de la pendule, elles ont été obtenues en comparant les passages corrigés avec les positions calculées des étoiles; et ces erreurs dûment réduites au temps de chaque signal d'observation, ont été appliquées aux temps donnés par la pendule pour les signaux. La différence de ces temps pour les deux Observatoires donne la différence apparente de longitude, c'est-à-dire la comparaison des temps sidéraux des signaux télégraphiques observés à Bruxelles et à Greenwich. Pour avoir la différence de longitude réelle (encore affectée des équations personnelles¹), il est nécessaire de prendre la moyenne des résultats séparés qu'on obtient en nombre égal en faisant un même nombre d'observations de Greenwich à Bruxelles, et réciproquement de Bruxelles à Greenwich, afin d'éliminer l'influence du temps employé par le courant pour franchir la distance qui sépare les deux Observatoires. Voici maintenant le résumé des résultats obtenus pour la durée de la transmission du courant électrique, et pour la différence des longitudes.

Le résultat final pour le temps employé par le courant pour franchir la distance qui sépare les deux Observatoires est de 0^s, 109; évaluation qui repose sur 2616 observations; cette durée qui conduirait, si la vitesse du courant était uniforme, à une vitesse de 2500 milles anglais par seconde, puisque la distance télégraphique entre Greenwich et Bruxelles est de 270 milles, serait bien forte comparativement à celle que nous avons obtenue par d'autres méthodes².

¹ Nous avons dit comment on se met à l'abri de cette cause d'erreur au moyen de la permutation des observateurs.

² Tome II, page 133.

Mais il faut observer que de Greenwich à Londres et de Londres à Ostende, la ligne télégraphique est placée entièrement sous terre ou sous l'eau, ce qui occasionne, comme nous l'avons vu¹, un retard considérable dans la rapidité avec laquelle l'électricité se propage au premier instant où le circuit est fermé. Il est donc très-probable que le retard observé appartient presque entièrement à la partie de la ligne qui passe sous terre ou sous l'eau, et que le retard d'Ostende à Bruxelles, trajet pendant lequel les fils sont dans l'air, est insensible dans la pratique.

Quant à la différence des longitudes entre Greenwich et Bruxelles, les moyennes de 1104 signaux donnent le résultat final de 17^m 28^s; 9; c'est le meilleur qu'on puisse obtenir dans les circonstances actuelles pour la détermination de l'élément dont il s'agit; il est du reste identiquement le même, suivant la remarque de M. Quetelet, que celui que fournit l'observation de l'éclipse solaire du 15 mai 1856.

M. Airy a déterminé également en 1854, conjointement avec M. Leverrier, la différence de longitude entre l'Observatoire de Greenwich et celui de Paris. La méthode était la même, et consistait dans l'emploi de signaux télégraphiques pour la comparaison des états simultanés des pendules des deux Observatoires. Les signaux eux-mêmes résultaient des déviations de deux aiguilles aimantées, placées dans les deux stations et mises en mouvement par l'action d'un même courant. Les signaux étaient observés par le soin que prenait l'astronome de noter le temps de la pendule auquel ils apparaissaient; mais comme on ne peut compter en général sur une exactitude supérieure à deux dixièmes de seconde dans l'appréciation de l'instant où apparaît un signal ainsi observé, il était nécessaire, pour arriver à une haute précision, de faire usage d'un grand nombre de signaux. M. Faye, comme le remarque M. Leverrier, aurait préféré qu'on recourût à la méthode des coïncidences pour la comparaison des pendules sidérales des deux

¹ Voyez les expériences de Wheatstone (p. 433), à l'occasion des câbles électriques, et celles M. Latimer-Clarck et de M. Faraday, tome II, pages 134 et suiv.

Observatoires; en faisant battre dans chacun d'eux une série de signaux simultanés au moyen d'une pendule de temps moyen, on y aurait observé l'époque de la coïncidence de ces signaux avec la pendule sidérale. L'état relatif des deux pendules en aurait été conclu exactement parce qu'on observe la coïncidence de deux battements avec une précision bien supérieure à celle avec laquelle on estime directement une fraction de seconde de temps.

Cette méthode basée sur la coïncidence des pendules a été également proposée et mise en pratique par M. Thalen à l'Observatoire d'Upsal. C'est en munissant l'extrémité des tiges des deux pendules de petites pointes d'acier, qui plongeaient dans du mercure au moment où les tiges étaient parfaitement verticales, que M. Thalen fermait son circuit, de manière que la coïncidence des deux pendules, quelles que fussent leur distance et leur différence de marche, pouvait être indiquée par l'établissement d'un courant qu'il était facile d'employer, soit par l'aimantation d'un électro-aimant, soit de toute autre manière, à donner un signal. Les états simultanés des horloges au moment de la coïncidence étaient déterminés, soit par les observateurs eux-mêmes, soit par des enregistreurs; il faut remarquer que le courant était interrompu dès que les tiges des pendules, ou seulement une seule, cessaient d'être dans la position verticale.

M. Leverrier de son côté, tout en reconnaissant que la détermination de l'état des horloges par la méthode des coïncidences constituerait un progrès dans le problème des longitudes, fut conduit à penser que la question serait encore plus simplifiée si l'on pouvait se passer complètement de toute détermination de l'état relatif des pendules; et cela en enregistrant sur le même chronographe les observations faites dans les deux stations. Cette méthode ne pouvait offrir en principe aucune objection, puisque l'enregistrement se fait par l'intermédiaire d'un courant qui traverse un fil télégraphique dont la longueur est indifférente. Mais en pratique il se présentait de grandes difficultés qui n'ont été surmontées que graduellement, dans un appareil dont la construction a été confiée à

M. Liais. Sur une bande de papier mise en mouvement par un rouage, une pointe de fer trace des divisions équidistantes correspondantes aux mouvements d'une pendule sidérale, et par l'action même de cette pendule; une ou deux pointes permettent aux observateurs de marquer par des points, au moyen du courant électrique, sur cette même bande de papier, les instants où une même étoile passe aux divers fils de leurs instruments. La différence des stations en longitude s'en conclut, comme on le comprend facilement. Il y a bien des précautions à prendre dans l'emploi de cette méthode qui cependant a permis à M. Leverrier de déterminer, avec une exactitude remarquable, la différence de longitude entre l'Observatoire de Paris et le Dépôt de la guerre où une lunette méridienne avait été installée.

§ 4. Application de l'électro-magnétisme à divers appareils.

Nous avons décrit dans les deux paragraphes qui précèdent les applications des propriétés électro-magnétiques du courant électrique à la production du mouvement en général et à la télégraphie en particulier. Il existe, indépendamment de ces deux genres d'applications, un grand nombre d'appareils plus ou moins usuels fondés sur les mêmes principes. Nous allons chercher à les faire connaître, en insistant plus particulièrement sur ceux qui nous paraissent mériter le plus de fixer l'attention.

Horloges électriques.

L'invention des horloges électriques fut une conséquence naturelle de celle des télégraphes. Plusieurs savants, MM. Wheatstone, Bain, Steinheil, réalisèrent à peu près simultanément le problème dont la solution était de multiplier à volonté les indications d'une seule horloge, qui pût télégraphier d'elle-même l'heure, la minute, la seconde, marquée sur son propre cadran. Il n'est point besoin d'insister sur l'importance de cette application de l'électro-magnétisme, qui permet de faire