

CONTRIBUTION

A

L'ÉTUDE DES COURANTS SOUTERRAINS

AU MOYEN DE LA BOUSSOLE

ET DES

COURANTS ÉLECTRO-MAGNÉTIQUES (1)

PAR

F. DIENERT

Chef du Service local de surveillance des sources de la ville de Paris.

Des études déjà anciennes, entre autres celles de Mascart, de Blavier, de Moureaux, etc., ont montré que le sol et l'atmosphère sont parcourus par des courants électriques, lesquels produisent dans le cours d'une journée les variations de la direction de l'aiguille aimantée.

Les courants telluriques se manifestent nettement sur les installations télégraphiques et troublent quelquefois la marche des appareils.

Les travaux de M. Mathias, dans la région de Toulouse, confirment également l'existence de courants telluriques. Ce savant a trouvé une anomalie remarquable de la déclinaison dans les gorges du Tarn, entre Saint-Rome et la Maxane, au village des Vignes. A cet endroit, la vallée du Tarn est dirigée du Nord au Sud, et de chaque côté ses versants sont abrupts. Les plateaux sont à une altitude de 600 mètres plus élevée que le fond de la vallée. Les courants telluriques, parcourant le sol de l'Est à l'Ouest et au voisinage de sa surface, éprouvent une difficulté à franchir cette vallée; ils sont obligés de se réunir sous la rivière, et agissent ainsi sur la boussole de déclinaison placée dans la vallée différemment que lorsqu'elle est sur le plateau, d'où anomalie. Dernièrement, M. Lemström, d'Helsingfors, a mis en évidence la présence de

(1) Communication faite à la séance du 20 octobre 1903.

courants électriques atmosphériques constatés déjà depuis longtemps dans les observatoires installés au faite des montagnes, où ils produisent une ionisation de l'air atmosphérique.

Les études de MM. Moureaux, Neumann, etc., et dernièrement celles de M. Mathias sur le magnétisme terrestre, ont montré qu'il existait des anomalies qui ne tenaient pas à la présence de roches magnétiques, mais probablement à l'existence soit de failles connues, soit de cassures souterraines souvent invisibles. Aussi M. Mathias, à la suite de ses études, écrivait-il : « Les anomalies de la déclinaison observées dans une région où le vecteur magnétique est régulier devront être considérées comme le réactif fidèle des discontinuités dans la structure des couches superficielles du sol. Il devra en être ainsi des régions présentant des grottes et des rivières souterraines voisines de la surface du sol (1). »

A la suite de ces différents travaux, en recherchant une méthode capable de pouvoir faciliter nos études sur la délimitation du périmètre d'alimentation des sources de Cailly (Eure), nous avons pensé à l'emploi de la boussole. Comme étude préliminaire, nous avons voulu opérer dans une région connue de nous au point de vue de son hydrologie souterraine. Nous avons choisi la vallée du Lunain, étudiée pendant l'année 1901 et sous laquelle nous avons reconnu l'existence de courants souterrains recevant les eaux de cette rivière, qui se perdent aux environs de Chéroy et ressortent en aval de Lorrez. Cette vallée est creusée dans la craie sénonienne; sur les plateaux environnants, la craie est surmontée de calcaire de Brie et de sables de Fontainebleau aux environs de Lorrez-le-Bocage. Nos études n'ont porté que sur la répartition des isogones de cette région, négligeant la recherche de l'inclinaison et de la force totale, qui semblent inutiles à la suite des travaux de M. Mathias. Le soleil s'étant montré rarement dans le cours de nos expériences, il nous a été impossible de rechercher pour chaque point l'angle fait par le méridien géographique avec le méridien magnétique. On a pris alors une ligne de base et on a cherché pour les différents points l'angle de l'aiguille aimantée avec celle-ci. Voici comment on a opéré. Soit A notre point de départ, sur lequel nous plaçons notre boussole, soit AC notre ligne de base. On détermine l'angle formé par l'aiguille aimantée avec la ligne AC. En C, on place un cercle horizontal gradué surmonté d'une lunette avec laquelle on vise A, puis

(1) *L'Alpinisme et les études de magnétisme terrestre.* (ANNUAIRE DU CLUB ALPIN FRANÇAIS, 1901.)

un autre point B, dont on veut connaître la déclinaison. On connaît ainsi l'angle ABC. La boussole est alors transportée au point B. On y vise le point C et un autre point C', sur lequel on transportera le cercle horizontal installé en C. Au point B, on détermine l'angle fait par l'aiguille aimantée avec la ligne BC et il est facile, connaissant l'angle BCA, de connaître en B la direction de l'aiguille avec AC. En C', on répète les mêmes opérations qu'en C, et par des mesures d'angles on rapporte toujours les résultats à la direction AC. Pour

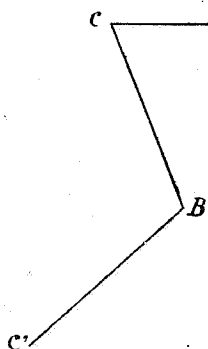


Fig. 1.

cette étude, afin d'éviter de trop grandes erreurs dans la détermination de nos angles, il faut disposer d'une boussole donnant les quinze secondes. Les points A, B, etc., étaient distants d'environ 500 à 1,000 mètres. Pour tracer les isogones, nous avons attribué au point A une déclinaison fictive de $14^{\circ}50'$. C'était approximativement la déclinaison réelle du point A au 1^{er} janvier 1903. Comme pendant le cours d'une journée la déclinaison varie de plusieurs minutes, nous avons fait les corrections en nous servant des graphiques du déclinomètre enregistreur installé au Val-Joyeux et que M. Moureaux a eu l'extrême obligeance de nous envoyer. Les études de M. Moureaux dans la région entourant Paris à l'Est avaient montré que la direction générale des isogones est du Sud-Est vers le Nord-Ouest, faisant avec le méridien géographique un angle d'une dizaine de degrés. Nos résultats montrent que cette direction générale des isogones varie au voisinage de la vallée du Lunain. Si on suit sur notre carte (fig. 2) les isogones, on constate aux environs de la vallée venant de Villebeon un changement brusque des courbes. Les isogones prennent une direction nettement Est-Ouest. Puis, entre cette vallée et Préaux, elles changent brusquement pour prendre la direction Est-Ouest au voisinage de Préaux. Enfin elles viennent couper la vallée du Lunain en suivant une direction Sud-Ouest — Nord-Est, puis reprennent progressivement la direction du Nord.

Ces premières études n'ont pas la prétention de donner d'une façon tout à fait exacte la direction vraie des isogones de cette région. Nous avons reconnu qu'en opérant sur des points aussi rapprochés les uns des autres, on pouvait faire quelques erreurs, non négligeables, dues à ce que les variations diurnes du magnétisme ne sont pas partout sem-

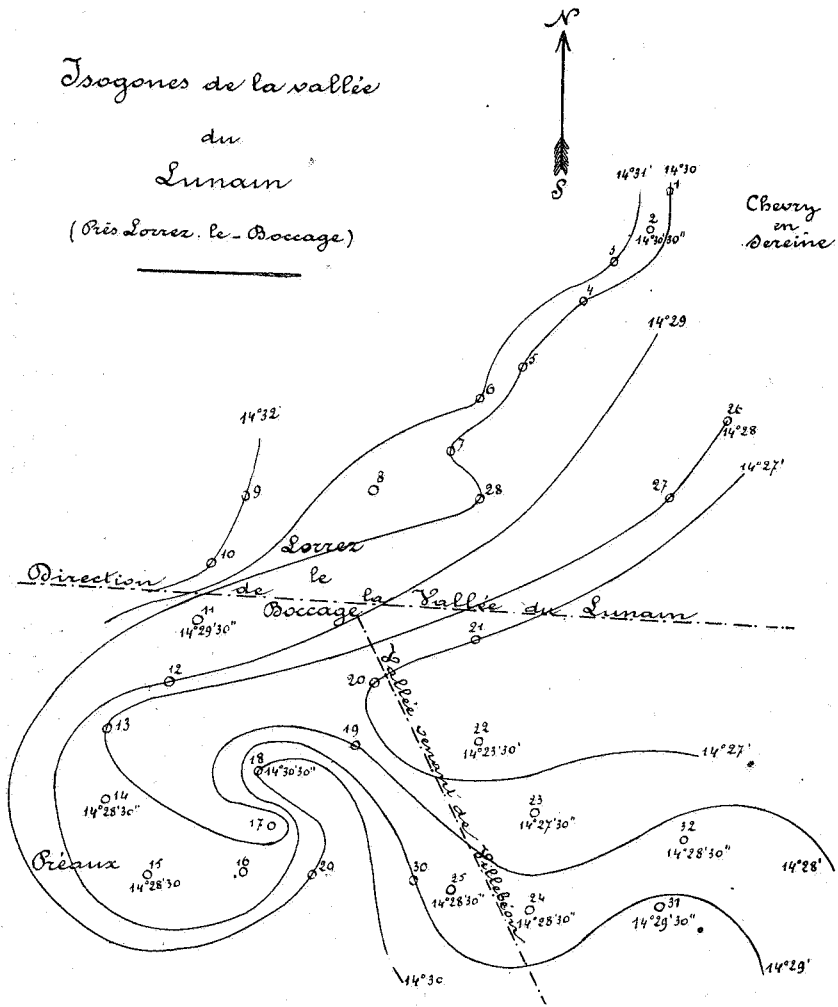


Fig. 2.

blables; il y a des endroits pour lesquels nous avons trouvé des variations diurnes plus fortes que celles fournies par l'observatoire du Val-Joyeux, mais le temps nous a fait défaut pour poursuivre cette étude que nous comptons reprendre plus tard (1). Quoi qu'il en soit, en considérant l'allure générale des isogones, la distribution irrégulière de celles-ci ne fait aucun doute.

Nous sommes restés jusqu'ici sur le terrain ferme de l'expérimentation. Pour interpréter nos résultats, nous entrons dans le domaine des hypothèses, et les expériences qui vont suivre auront pour objet de les contrôler.

Si l'on admet les idées de MM. Moureaux et Mathias, les résultats trouvés s'interprètent de la façon suivante : Les courants telluriques qui se propagent de l'Est à l'Ouest éprouvent sur leur parcours des résistances variables selon que le sol est plus ou moins crevassé. De là des variations du champ magnétique qui, sur notre boussole, se manifestent par des déviations plus ou moins grandes de l'aiguille aimantée.

Nous nous abstenons aujourd'hui, dans ces études préliminaires, d'indiquer, en nous servant des hypothèses rapportées précédemment, la direction des parties du sol, aux environs de Lorrez, qui, au moyen de la boussole, apparaissent crevassées. Il nous faudrait rentrer dans le détail même des isogones, et les observations que nous avons présentées précédemment à ce sujet ne nous permettent pas actuellement de le faire. Nous concluons simplement pour le moment que, au voisinage de la vallée du Lunain, les isogones présentent des anomalies dues probablement aux courants souterrains. Les vues que nous venons d'indiquer sont cependant encore un peu hypothétiques.

On n'a aucun droit en effet, ignorant la résistance électrique des différentes parties du sol, de voir dans ces anomalies une influence quelconque des courants souterrains de la vallée du Lunain, sans faire quelques expériences.

Charles Slichter, professeur de mathématiques appliquées à l'Université de Madison (Wisconsin), a étudié au moyen de courants électriques la vitesse de l'eau qui se meut sous la rivière Arkansas dans le Western Kansas. C'est la seule étude de ce genre qui, à notre connaissance, ait été faite en utilisant les courants électriques. Malgré nos recherches bibliographiques, même dans le livre récent de M. Estaunié (*L'électro-*

(1) Le fil de soie qui sert de suspension à l'aimant est très sensible à l'état hygrométrique de l'air ambiant. La boussole peut donc servir d'hygromètre, et nous reviendrons sur ce sujet dans un autre mémoire.

communication. Dunod, Paris 1903), ingénieur en chef des télégraphes, nous n'avons pu trouver aucune donnée bien précise relative à la résistance que le sol oppose aux courants électriques. Nous avons alors entrepris des expériences dans ce sens.

On a opéré dans la région de l'Avre, aux environs de Verneuil (Eure). Au moment de nos expériences, les sources du Chêne et de Poelay, situées aux environs de Verneuil et dont les eaux sortent de la craie turonienne surmontée d'argile à silex, ne coulaient pas parce que le niveau piézométrique de la nappe souterraine était inférieur au niveau du sol.

MESURE de la RÉSISTANCE ÉLECTRIQUE DU SOL.	DISTANCE des deux points étudiés.	RÉSISTANCES ÉLECTRIQUES de la terre en ohms.	
		Totale.	Par mètre de sol (1).
Entre la source du Chêne et la source de Poelay.	800 mètres.	80	0.10
Entre la source du Chêne et le Bras-Forcé de l'Iton en face Poelay.	800 —	145	0.18
Entre le puits M. David et la source de Poelay.	460 —	83	0.18
Entre le puits M. David et le Bras-Forcé de l'Iton en face Poelay.	460 —	130	0.29
Entre le puits Girod et la source Poelay.	400 —	130	0.32
Entre le puits Girod et le Bras-Forcé de l'Iton en face Poelay.	400 —	163	0.41
Entre le puits Vallé et la source Poelay.	300 —	58	0.19
Entre le puits Vallé et le Bras-Forcé de l'Iton en face Poelay.	300 —	108	0.36
Entre le puits de la Tour-Grise et la source Poelay.	720 —	97	0.13
Entre le puits de la Tour-Grise et le Bras-Forcé de l'Iton en face Poelay.	720 —	127	0.18
Le Bras-Forcé de l'Iton entre la source du Chêne et la source Poelay.	800 —	140	0.17

(1) Pour que les chiffres de cette colonne fussent tout à fait comparables, il faudrait pouvoir affirmer que, quelle que soit la distance du puits à la source de Poelay, la formule $R = \rho \frac{l}{S}$, dans laquelle ρ est la résistance spécifique, l la distance des deux points étudiés, S la section des électrodes, est bien connue. Nous ignorons encore la répartition du champ électrique créé par notre courant dans le sol et nous nous proposons de l'étudier avec quelque détail. Cependant il suffit de faire remarquer que, entre le puits Girod et la source Poelay la résistance du sol est plus grande qu'entre la source du Chêne ou encore qu'entre le puits Vallé et cette même source (deux points situés l'un plus loin, l'autre plus près de celle-ci que le puits Girod), pour voir que, malgré cette réserve, notre conclusion subsiste.

Nos études dans cette région, qui se poursuivent depuis l'année 1900, ont montré que la source du Chêne, située le plus en amont, est en communication directe avec la source de Poelay, ce qui suppose, sinon un courant souterrain unique, au moins un certain nombre de grosses diaclases faisant communiquer ces deux sources.

D'autre part, coulant au voisinage de celle-ci, se trouve une rivière artificielle, appelée le Bras-Forcé de l'Iton, établie par les Anglais au XVI^e siècle pour amener une partie des eaux de l'Iton dans la rivière d'Avre. Ce Bras-Forcé est à une altitude plus élevée que la nappe souterraine; elle en est séparée par une petite couche de sol à peu près sec et dont l'importance sera très grande dans les expériences qui vont suivre. On place dans les sources du Chêne et de Poelay deux électrodes en cuivre argenté ayant 20 centimètres sur 20 centimètres, lesquelles sont réunies à un galvanomètre au moyen d'un fil de cuivre de 0^{mm},9 de diamètre. On trouve, lors de la fermeture du circuit, que le fil est parcouru par un courant, bien entendu de faible intensité, mais cependant nettement appréciable, allant dans le fil de la source du Chêne à celle de Poelay, c'est-à-dire de l'Ouest à l'Est. Si, au contraire, on met en communication un puits des environs de la vallée d'Avre avec la source de Poelay, on ne constate pas, à travers notre fil, de courants susceptibles d'agir sur notre galvanomètre, qui n'était pas un appareil très sensible. Cette première expérience nous faisait prévoir que les courants électromagnétiques éprouvaient dans le sol des résistances variables que nous nous proposâmes d'étudier. Notre fil de cuivre fut mis en relation avec l'appareil de Kohlrausch pour la mesure de la résistance électrique. Nous indiquons dans le tableau ci-contre (p. 506) les résultats obtenus.

La résistivité électrique la plus faible est celle comprise entre la source du Chêne et celle de Poelay. Un peu plus élevé est le résultat trouvé pour le puits de la Tour-Grise, lequel est nettement plus faible que pour les autres puits. Or, dans une expérience faite l'an dernier, nous avons trouvé qu'en pompant à la source de Poelay on abaissait le niveau du puits de la Tour-Grise et de la source du Chêne, tandis que les autres puits restaient stationnaires, ce qui indiquait une communication assez facile entre le puits et la source. De cette expérience nous croyons pouvoir ainsi tirer cette conclusion que la résistance par mètre est d'autant plus faible que les communications avec la source de Poelay sont plus faciles. La couche de sol qui sépare la nappe souterraine du fond de la rivière Bras-Forcé de l'Iton oppose une résistance très grande au courant électrique. La propagation du courant

électrique dans le sol apparaît donc comme se faisant principalement dans la nappe souterraine et non dans la partie du sol située au-dessus. Ces différentes expériences établissant donc d'une façon très nette que la conductibilité électrique du sol est variable selon les points considérés, les courants telluriques auront alors, d'après la loi d'Ohm, des intensités variables dépendant de la résistance du sol qu'ils devront parcourir; ce qui confirme les hypothèses de MM. Moureaux et Mathias. Il n'est par conséquent pas hypothétique de dire que les anomalies des isogones aux environs de Lorrez-le-Bocage, là où géologiquement il n'existe aucune roche magnétique, peuvent être dues à l'existence des courants souterrains. Cette étude de la conductibilité électrique du sol peut être d'un très grand secours dans nos recherches d'hydrologie souterraine et venir confirmer ou contrôler nos résultats trouvés avec la boussole, si, comme nous nous proposons de le faire, nous la complétons par l'étude détaillée du champ magnétique que nous créons avec nos courants; car comme corollaire à nos conclusions précédentes, le champ électro-magnétique sera toujours plus grand là où circulent les courants d'eau souterrains. Toutefois quelques précautions sont à observer, et sans avoir, au début de ces études, la prétention de les avoir envisagées toutes, nous signalerons immédiatement l'influence que peut avoir la conductibilité électrique des eaux de puits sur les résultats trouvés (1).

Dans l'étude qui va suivre, tout en montrant l'influence que peut avoir la conductibilité électrique des eaux de puits sur la résistivité du sol, nous aborderons l'historique de la question de la conductibilité électrique des eaux en général.

De la conductibilité électrique des eaux souterraines.

On sait, d'après les travaux d'Ostwald, que la conductibilité électrique d'une eau est d'autant plus grande qu'elle est plus chargée en sel; aussi, depuis 1885, le Dr Waldenhofen a-t-il entrepris quelques études sur les eaux de Gastein, dans le but de connaître leur degré de minéralisation. Le Prof^r Treadwel de Zurich a déterminé la conductibilité électrique des eaux sulfureuses de Baden. En 1895, le

(1) Les courants telluriques qui circulent empêchent, à cause des courants induits qu'ils développent, le silence complet du téléphone. On est obligé, pour la mesure de la conductibilité, de noter les points du fil placés symétriquement à gauche et à droite de l'endroit où le silence devrait avoir lieu en l'absence de ces courants induits et pour lesquels le téléphone rend un son identique. On prend la moyenne des positions du curseur et on a le point pour lequel le téléphone serait au silence.

D^r Pœlh avait examiné en Russie la conductibilité électrique des eaux minérales, étude qui fut poursuivie en France par le D^r Flamm. En 1897, Lehnert, de Nürnberg, dans une dissertation à l'Université d'Erlangen, a étudié la conductibilité électrique des eaux ordinaires et a conclu de ses observations qu'on peut obtenir par ce procédé le poids approximatif du résidu fixe d'une eau en multipliant par 10000 la conductibilité électrique trouvée et en divisant le résultat par 55. Il a fait observer en outre que l'eau devait être privée de ses substances en suspension et de la plus grande quantité de gaz en solution. En 1898, Koeppé a encore utilisé la conductibilité électrique pour établir la composition des eaux minérales. En 1891, Th. Muller a communiqué à l'Académie des Sciences (tome CXXXII) ses travaux sur la composition des eaux minérales et des eaux de sources. Il a montré qu'il est très facile, à l'aide de la conductibilité électrique, de déceler rapidement les variations qui peuvent se produire dans leur teneur en sels. Il a déclaré que si deux sources voisines, jaillissant du même terrain géologique, mais en apparence indépendantes l'une de l'autre, présentent la même conductibilité, on peut affirmer qu'elles sont identiques. En 1901, Pleissner a publié une série de résultats qu'il a obtenus au moyen de la méthode de Kohlrausch. Il en a conclu que ce procédé est commode et rapide pour reconnaître dans une eau l'apparition d'éléments qui la rendent suspecte.

Vers la fin du mois de mai 1905, nous avons entrepris de déterminer chaque jour, aux sources de l'Avre, la conductibilité électrique des eaux. Nous avons déjà publié dans les *Annales de l'Observatoire de Montsouris* la façon dont nous avons organisé ce service. Nous attendrons la fin de l'année pour discuter les résultats et l'utilité de cette méthode rapide. Nous envisagerons aujourd'hui un point de vue différent de ces recherches. Au lieu d'étudier les variations de la conductibilité dues à des causes naturelles, nous allons examiner une série de recherches dans lesquelles nous essaierons de faire varier artificiellement la résistance électrique des eaux et du sol.

Le 8 octobre dernier, nous avons versé dans la source du Chêne, d'une façon régulière, depuis 3 h. 30 du soir jusqu'au lendemain matin 8 heures, une solution de sel marin à 25 %, et avec un débit de 4 litres à l'heure. Cette source recevait, en outre, un courant d'eau débitant $\frac{1}{2}$ litre d'eau à la seconde, afin de chasser le sel dans le sol, et était reliée à celle de Poelay au moyen de deux électrodes en cuivre argenté et d'un fil de cuivre. On se proposait de suivre souterrainement la marche du sel par un procédé ayant quelque analogie avec celui de

Slichter, en mesurant à différents instants de la journée la conductibilité électrique du circuit formé par le fil de cuivre et le sol compris entre les deux sources. Le tableau ci-après (pp. 513-514) indique la marche exacte de l'expérience.

Si l'on suit la variation de la conductibilité électrique dès le début de l'expérience, on constate que l'introduction du sel marin augmente rapidement la conductibilité. Au bout d'une heure, alors qu'il a été introduit 1 kilogramme de chlorure de sodium, la résistance électrique du sol a baissé de 12 ohms. Celle-ci va encore diminuer pendant quelques minutes, puis rester fixe jusqu'au moment où, à 8 heures du matin, on jettera 25 kilogrammes de sel marin en vrac. Dans ce cas, la résistivité n'a varié que de 8 ohms, puis rapidement est remontée au chiffre de 93 ohms. Il a fallu jeter à nouveau, à 11 heures du matin, 50 autres kilogrammes de sel en vrac, pour abaisser la résistivité d'environ 18 ohms. Assez rapidement, la résistance est remontée, pour s'abaisser le soir à 5 heures, lors de la jetée de 50 nouveaux kilogrammes de sel. Les analyses de chlore, faites sur la source de Poelay, montrent que le sel marin ressort bien à cette source. (La source de Poelay, servant à l'alimentation de la ville de Verneuil, débitait environ 7 litres à la seconde, grâce à la pompe d'aspiration qui envoyait cette eau dans les réservoirs.) Le 11 octobre, à 11 h. 30, la résistance du circuit était remontée à 100 ohms, et une analyse de chlore, faite sur les eaux de la source du Chêne, nous avait montré qu'il ne restait plus de traces sensibles du sel introduit. Par le calcul, on trouve qu'il est ressorti environ 6 kilogrammes de sel à la source de Poelay jusqu'au 11 octobre à midi. Il y a donc plus de 100 kilogrammes qui ont disparu, emportés probablement vers d'autres sources non observées ou, mieux encore, le sel a pris une direction différente de celle du courant électrique. L'augmentation progressive de la résistivité du sol dans le cours de notre expérience pouvait déjà faire prévoir ce résultat. Toutefois, la résistance du sol n'étant pas revenue à sa valeur primitive, il faut admettre qu'une certaine quantité de sel se trouve encore entre la source du Chêne et celle de Poelay. Le sel ne ressort que très lentement à la source de Poelay. Ce résultat tient probablement à ce fait que lors de son introduction dans la source du Chêne, nous avons dû remplir de solution saline de petits canaux souterrains, lesquels se sont vidés lentement dans les diaclases qui font communiquer les deux sources étudiées.

Par cette expérience, nous voyons tout de suite l'utilité qu'il y a de déterminer la conductibilité électrique du sol dans les expériences

qualitatives que nous faisons au moyen du sel marin. Nous sommes avertis, par cette méthode, de la façon dont le sel se comporte dans le sol, ainsi que du moment où l'expérience doit être terminée par suite de la disparition de l'électrolyte introduit.

Influence de la conductibilité des eaux des puits sur la résistance du sol aux courants électriques.

De cette expérience nous tirons encore une autre remarque. Lorsque, au moyen de NaCl, nous avons changé la conductibilité de l'eau de la source du Chêne dans laquelle trempait notre électrode (et nous avons déjà dit que cette source ne coulant pas, elle peut être assimilée à un puits), la résistance électrique diminue immédiatement. Donc en plongeant notre électrode dans un puits voisin, nous pourrions trouver entre ce puits et la source de Poelay une résistance moindre si, grâce à des infiltrations, la conductibilité électrique de l'eau est plus grande que celle de la source du Chêne. Nos nombres devront alors subir une petite correction.

Le cas s'est présenté, dans nos expériences, pour deux puits : les puits Vallé et David. Le premier contenait 43 milligrammes de chlore et le second 53 milligrammes. Nous avons reconnu que la conductibilité électrique de ces deux eaux était sensiblement égale à celle de la source du Chêne le 8 octobre à 4 h. du soir. Les résultats de notre expérience avec le sel marin nous montrent que la résistance électrique a diminué de 5 ohms à cette même heure, de telle sorte que, si l'on veut comparer la résistance électrique du sol entre le puits Vallé et la source de Poelay avec celle trouvée entre la source du Chêne et la source de Poelay, il faudra augmenter de 5 ohms les premiers résultats obtenus pour le puits Vallé. Lorsque la distance des puits à la source considérée sera grande, la correction à faire, relativement à la diminution de la conductibilité électrique, sera négligeable, celle-ci devant être divisée par la distance, afin d'obtenir la résistivité.

Pendant le cours de notre expérience avec le sel marin, nous avons trouvé que la conductibilité du sol entre le puits David et la source de Poelay était constante. Il y a tout lieu de penser que le sel marin n'est pas apparu dans le champ magnétique compris entre la source du Chêne et le puits considéré (1).

(1) Il reste toutefois un point à étudier, qui consiste à voir si, en plongeant nos électrodes plus profondément en terre, nous ne pourrions pas mieux apprécier la marche du sel marin; c'est une étude à entreprendre.

Cette méthode peut encore permettre de se rendre compte des communications faciles entre les infiltrations des fumiers et des fosses d'aisances et la nappe souterraine. Il suffit de noter la conductibilité du sol entre la fosse et un puits voisin, puis de faire un lavage de cette fosse avec de l'eau peu chargée en sels et de noter, après le lavage, la variation de la conductibilité du sol, à condition toutefois que la résistance électrique de l'eau du puits n'ait pas varié (1). En effet, si la communication de la fosse avec la nappe est facile, l'eau aura rapidement entraîné les sels et augmenté la résistance du sol. On peut encore connaître la direction de ces infiltrations. Il suffit de mesurer dans plusieurs directions la conductibilité du sol entre le puits considéré et plusieurs puits avant et après le lavage. Si on trouve que dans une direction la résistance augmente plus rapidement, on peut affirmer que c'est de ce côté que les infiltrations sont le plus faciles. On voit donc que déjà cette méthode, qui consiste à étudier la conductibilité électrique du sol, à la faire varier artificiellement, nous apparaît comme pouvant fournir de nombreux renseignements lors de nos études d'hydrologie souterraine. Nous nous proposons de la poursuivre et au besoin, s'il y a lieu, d'en corriger les premiers résultats.

Pour terminer, nous adressons nos plus vifs remerciements à M. Moureaux, qui a bien voulu nous faire profiter de sa longue expérience dans le maniement de la boussole ; à M. Mathias, qui s'est volontairement privé d'une partie de ses vacances pour nous être agréable, afin de mettre plus tôt à notre disposition la petite boussole de Brunner de l'École normale supérieure, que M. Abraham avait eu l'amabilité de nous promettre au mois d'avril 1903. Je n'oublierai pas d'adresser l'expression de ma plus vive reconnaissance à M. Menant, directeur des affaires municipales, pour l'intérêt qu'il a porté à mes études en me procurant immédiatement, au mois d'octobre 1902, la boussole de Brunner, modifiée par Marie Davy, détenue par le Service municipal météorologique de Montsouris.

(1) Cette méthode est intéressante quand le fumier n'est pas en communication avec le puits voisin.

**Expérience faite avec le sel marin dans la source du Chêne
près de Verneuil (Eure) (voir p. 510).**

Commencement de l'expérience : le 8 octobre 1903, à 3 h. 25 du soir, on verse, avec un débit de 4 litres à l'heure, une solution de sel marin à 25 %. Le 9 octobre, à 8 h. du matin, on verse 25 kilogrammes de sel en vrac. A 11 h. du matin et à 5 h. du soir, on verse encore chaque fois 50 kilogrammes de sel. En même temps, pour chasser le sel dans le sol, on envoie dans la source un courant d'eau. Du 8 octobre à 3 h. jusqu'au 11 octobre à 8 h. du soir, on a envoyé 245 mètres cubes d'eau. La résistance du fil de cuivre était de 32 ohms.

HEURES.	Résistance du circuit en ohms.	Source Poelay. Chlore par litre.	HEURES.	Résistance du circuit en ohms	Source Poelay. Chlore par litre.	HEURES.	Résistance du circuit en ohms.	Source Poelay. Chlore par litre.
8 oct. Midi.	112	Milligr.	9 oct. Minuit.	93	Milligr.	9 oct. 9 ^h 00	91	Milligr.
Comm ^t de l'expér.	3 ^h 30	»	12 ^h 30	93	12,5	9 30	93	12,5
4 00	107	»	1 00	93	13,0	10 00	93	12,5
4 20	100	»	1 30	93	13,0	10 30	»	12,0
4 32	91	»	2 00	93	13,0	11 00	75	13,0
5 00	95	»	2 30	93	13,0	11 30	77	13,0
5 30	94	»	3 00	93	13,5	Midi.	78	13,0
6 00	93	12,0	3 30	93	»	12 30	78	12,5
6 30	91	12,0	4 00	93	»	1 00	78	12,5
7 00	93	12,0	4 30	93	»	1 30	81	13,0
7 30	93	12,0	5 00	93	»	2 00	84	13,0
8 00	93	12,0	5 30	93	»	2 30	90	13,0
8 30	93	12,0	6 00	93	»	3 00	90	12,5
9 00	93	12,0	6 30	93	12,0	3 30	89	12,5
9 30	93	12,0	7 00	»	12,5	4 00	89	12,5
10 00	94	12,5	7 30	96	12,5	4 30	88	12,5
10 30	93	13,0	8 00	90	12,0	5 00	88	13,0
11 00	93	12,5	8 30	85	12,5	5 30	88	12,5
11 30	93	12,0	8 45	90	»	6 00	73	12,5

HEURES.	Résistance du circuit en ohms.	Source Poelay. Chlore par litre.	HEURES.	Résistance du circuit en ohms.	Source Poelay. Chlore par litre.	HEURES.	Résistance du circuit en ohms.	Source Poelay. Chlore par litre.
9 oct. 6 ^h 30	76	Milligr. 12,5	10 oct. 4 ^h 00	85	Milligr. 14,0	10 oct. 1 ^h 30	»	Milligr. 14,0
7 00	79	13,0	4 30	85	14,0	2 00	87	14,0
7 30	80	13,0	5 00	87	15,0	2 30	87	13,5
8 00	81	13,5	5 30	87	13,0	3 00	87	13,5
8 30	82	14,0	6 00	88	13,5	3 30	»	13,5
9 00	84	13,5	6 30	89	13,0	4 00		13,5
9 30	84	13,5	7 00	89	13,0	4 30		15,5
10 00	84	13,0	7 30	89	13,5	5 00		14,0
10 30	85	13,0	8 00	89	13,0	5 30		13,5
11 00	86	13,0	8 30	89	13,0	6 00		13,0
11 30	85	13,5	9 00	87	16,0	6 30		15,5
10 oct. Minuit.	85	13,0	9 30	87	14,0	7 00		14,0
12 30	85	13,5	10 00	87	13,5	7 30		14,5
1 00	85	12,5	10 30	87	13,5	8 00		15,5
1 30	85	13,0	11 00	87	14,0	12 oct. 11 30 matin.	100	15,0
2 00	85	13,0	11 30	87	14,0	Nota. Les analyses de chlore poursuivies jus- qu'au 12 octobre à 4 h. du soir ont donné une moyenne de 14 milli- mètres de chlore par litre.		
2 30	85	13,0	Midi.	87	14,0			
3 00	85	14,0	12 30	»	14,0			
3 30	85	13,0	1 00	»	14,0			