

Diamètre en mm	Section en mm ²	
0,8	0,5	fil pour appareillage des lustres ;
0,9	0,65	fil isolés sous tubes ou sur isolateurs dont la distance est inférieure à 1 m. 50 ;
2	3	conducteurs nus à l'intérieur des bâtiments ; conducteurs isolés (à l'intérieur ou à l'extérieur) dont les portées dépassent 1 ^m 50 sans être supérieures à 5 mètres.
2,5	5	conducteurs nus (cuivre dur) pour lignes aériennes de basse et moyenne tension ; conducteurs nus à l'intérieur des bâtiments pour haute tension ; câbles sous plomb avec armature de fer feuillard ;
3	7	conducteurs nus (cuivre dur) pour lignes aériennes de haute tension jusqu'à 5 000 volts, quand les portées restent inférieures à 30 mètres ;
3,5	9	conducteurs pour lignes de terre ; conducteurs nus (cuivre dur) pour lignes aériennes de haute tension au-dessus de 5.000 volts, ou quand les portées dépassent 30 mètres.

b) Les conducteurs nus servant à la construction des lignes aériennes devront, en général, être en cuivre dur, ou, s'ils ont une résistance spécifique à la rupture différente de celle du cuivre dur (voir § 18-a), ils devront avoir des dimensions telles que leur résistance à la rupture égale au moins celle que comporteraient, dans chaque cas, les dimensions minima correspondantes indiquées plus haut, en prenant pour base une résistance à la rupture de 35 kilogr. par millimètre carré.

D. — MATÉRIEL DE POSE. ISOLATEURS, TUBES, MOULURES, CRAMPONS

§ 30. — *Isolateurs.* — a) On entendra par isolateurs les supports directs des conducteurs, qui devront être en matière isolante, incombustible, inaltérable et insensible à l'humidité. Leur forme devra être telle qu'ils ne puissent endommager les conducteurs ou leur isolant.

b) Les isolateurs peuvent en général rentrer dans les catégories suivantes :

1° *Isolateurs à cloches multiples.* — Les isolateurs à cloches multiples pourront être employés dans tous les cas tant à l'extérieur qu'à l'intérieur des bâtiments, à la condition d'être appropriées à la tension. Ils devront être placés de manière à ne pas permettre l'accumulation de l'eau dans les cloches.

Les isolateurs qui n'auront qu'une *double cloche* ne pourront être employés à l'extérieur et dans les locaux mouillés que s'ils ont au moins 80 millim. de hauteur pour les tensions supérieures à 300 volts et 60 millim. pour les tensions inférieures.

2° *Isolateurs à simple cloche.* — Les isolateurs à simple cloche ne pourront être employés à l'extérieur ou dans les locaux mouillés que jusqu'à 300 volts et à condition d'avoir une hauteur de 80 millim. au moins. Ils devront également être posés de manière à ne pas permettre l'accumulation de l'eau dans la cloche.

3° *Poulies à nervures et poulies-cloches.* — Ces isolateurs ne pourront être employés à l'extérieur que s'ils ne sont pas exposés à la pluie. Leurs dimensions devront être en rapport avec l'humidité du local, la tension et l'isolation des conducteurs avec un minimum de 35 millim. de distance superficielle de la gorge à la base et à la tête de vis.

Il est recommandable de graisser les vis de fixation dans les locaux humides.

4° *Poulies hautes.* — Les poulies hautes, c'est-à-dire celles ayant au moins une embase de 10 millim. de hauteur, peuvent être employées dans les mêmes conditions que les précédentes tant que l'humidité des locaux le permet.

5° *Poulies basses.* — Les poulies basses fixées contre les parois ne peuvent être employées que dans les locaux secs et jusqu'à 600 volts.

6° *Taquets.* — Les taquets pourront être employés dans les mêmes conditions que les poulies suivant la hauteur de leur embase.

§ 31. — *Tubes.* — a) Les tubes ne devront pas présenter à l'intérieur d'arête vive pouvant endommager l'isolation du conducteur pendant la pose.

b) Les tubes isolants devront être constitués par une matière inaltérable à l'air et à l'humidité. Ils pourront, d'ailleurs, avoir

une armature métallique qui sera de rigueur à partir de 600 volts (voir d).

c) Les tubes métalliques non garnis intérieurement d'une matière isolante devront être rendus moxydables et en général insensibles à l'action chimique du milieu ambiant. Ils ne devront contenir que des fils ayant au moins une isolation forte (300 mégohms).

d) *Les tubes métalliques*, ainsi que l'enveloppe métallique de tubes isolants, devront constituer, s'il y a lieu, une protection efficace pour les conducteurs, en particulier, s'ils sont destinés à être logés dans les murs, ils devront avoir une résistance mécanique suffisante pour empêcher la pénétration de clous ou de vrilles.

Pour la moyenne et la haute tension, les raccords devront être reliés électriquement et l'armature mise à la terre.

e) Lorsqu'on se sert de tubes à armature métallique pour y loger des conducteurs de courants alternatifs, il y a lieu en général de loger les fils d'aller et de retour dans le même tube pour éviter l'échauffement de l'armature par suite des courants d'induction.

f) Le diamètre intérieur des tubes, le nombre des coudes et leur rayon ainsi que le nombre des boîtes de jonction doivent être choisis de telle manière qu'on puisse en tout temps passer ou retirer des conducteurs. Les branchements, dérivations et raccords des conducteurs ne doivent pas se faire dans les tuyaux mêmes, mais dans des boîtes de jonction qu'on puisse ouvrir facilement en tout temps.

g) L'emploi de tubes contenant plusieurs fils sera restreint aux locaux absolument secs, à des tensions inférieures à 600 volts. Les conducteurs devront avoir au moins une isolation forte (300 mégohms). Un même tuyau ne doit pas contenir, en général, plus de trois conducteurs.

h) Les tuyaux contenant des conducteurs doivent être disposés de façon à empêcher l'entrée et l'accumulation de l'eau.

§ 32. — *Moulures.* — a) Les moulures doivent être en bois sec ; l'intervalle entre les rainures doit avoir au moins 6 millim. La ligne de pose des pointes doit être indiquée sur le couvercle.

b) Les moulures ne peuvent être employées que dans les locaux parfaitement secs, à des tensions inférieures à 600 volts, et ne doivent contenir que des fils ayant au moins une isolation forte (300 mégohms). Elles ne pourront être placées en dessous des conduites d'eau ou de vapeur sans être efficacement protégées contre la chute des gouttes d'eau. Leur écartement minimum des conduites et pièces métalliques sera de 30 millimètres.

c) Les moulures doivent être enduites avant leur pose, et au moins sur la face regardant le mur, d'un produit empêchant l'absorption de l'humidité. On interposera, au moins dans les locaux industriels, entre les murs et les moulures, des cales, de manière à laisser derrière les moulures un espace d'air de 3 millimètres.

d) Les fils seront posés librement dans les rainures à raison d'un fil par rainure et sans être maintenus par des pointes.

e) Les moulures devront toujours rester apparentes, c'est-à-dire ne pas être recouvertes de papier ou de tentures, et encore moins de crépissage.

f) Si plus de deux moulures sont posées parallèlement, il sera bon d'apposer d'une manière visible des marques pour permettre de suivre les différents circuits.

§ 33. — *Crampons.* — Les crampons ne pourront être employés que pour fixer les lignes mises intentionnellement à la terre dans les endroits secs.

Leur emploi ne devra pas provoquer de détérioration des conducteurs.

(A suivre)

AMORTISSEUR DE COUPS DE BÉLIER à l'Usine hydro-électrique de Tumwater Canyon

La compagnie du *Great Northern Railway* ayant décidé l'électrification du tunnel de la Cascade, dans l'état de Washington, sur sa ligne transcontinentale de Seattle, sur le Puget Sound, à Chicago, par Spokane, a fait aménager une chute de la Wenatchee River, à Tumwater Canyon.

L'eau est amenée à l'usine au moyen d'une conduite forcée

de 2^m59 de diamètre, longue de 3,6 kms (dont 3,3 en bois). L'usine génératrice comporte 2 groupes électrogènes, composés de 2 turbines de 4000 H.P. fonctionnant sous 60 m. de chute et actionnant 2 alternateurs de la *General Electric Co*, qui produisent du courant triphasé à 6600 volts, dont la tension est élevée à 33000 volts au moyen de transformateurs (*). A la pleine charge normale de 8000 HP, le débit de la conduite forcée est de 13 m³ à la seconde, correspondant à une vitesse de 2^m50. Un troisième groupe de réserve est actuellement en montage.

lement de l'eau dans la conduite forcée. Afin de diminuer l'importance des coups de bélier, et de régulariser la pression sur le distributeur des turbines, on a construit, tout à côté de l'usine, un réservoir spécial surélevé, de 1280 m³ de capacité, qui est directement relié à la conduite forcée.

Ce réservoir est monté sur une tour en acier, et est constitué par un cylindre A B, de 9^m14 de diamètre, et de 19^m50 de hauteur au-dessus de la calotte hémisphérique qui le termine à sa partie inférieure. Le sommet de ce cylindre est à 55 m. au-dessus du sol, au point où il est érigé, et à 3 m. au-dessus de la crête du barrage de prise d'eau.

La tour qui supporte ce cylindre est formée par l'assemblage de 8 piliers, légèrement inclinés sur la verticale (1/12), de 36 m. environ de hauteur. Chaque pilier est constitué par quatre tronçons de deux poutrelles en U, de 9 m. de longueur environ et de 38,1 mm de hauteur, qui sont assemblées, par leurs semelles extérieures, au moyen d'un plat de 50,8 mm. de largeur et de 18,7 mm. d'épaisseur. Ces piliers sont entretoisés verticalement et horizontalement comme l'indique la figure ci-jointe. Les poutrelles du dernier tronçon sont taillées en biseau à leur partie supérieure, pour venir s'adapter contre les parois verticales de la partie inférieure du cylindre constituant le réservoir.

Suivant l'axe vertical de la tour, sont disposés concentriquement deux tuyaux, qui ont 2^m44 et 0^m99 de diamètre intérieur. Le tuyau extérieur est relié à sa partie inférieure au collecteur des turbines; à son extrémité supérieure, il est fixé à la partie inférieure d'un joint de dilatation, en fonte, qui est muni d'un presse-étoupe. A sa partie supérieure, ce joint de dilatation est lui-même rivé à une couronne cylindrique qui termine la calotte hémisphérique du fond du réservoir. Ce tuyau extérieur est formé de tôles de 7,9 à 14,3 mm. d'épaisseur.

Le tuyau intérieur sert de trop-plein lorsque la cheminée vient à cracher sous l'effet d'un coup de bélier. A cet effet, son diamètre extérieur, qui est de 1^m09 sur la hauteur de la tour, va en croissant à partir du fond de la calotte hémisphérique jusqu'à 0^m60 en dessous du sommet du cylindre, où il atteint 2^m44, de manière à former déversoir de trop-plein. Comme ce tuyau intérieur est soumis à un effort de compression, on lui a donné une épaisseur de 10 cm. environ. Il est constitué par deux tôles d'acier concentriques, espacées de 7,62 cm., entre lesquelles on a coulé du béton. L'épaisseur de la tôle intérieure est uniformément de 9,52 mm., tandis que celle de la tôle extérieure varie de 9,52 à 19,04 millimètres.

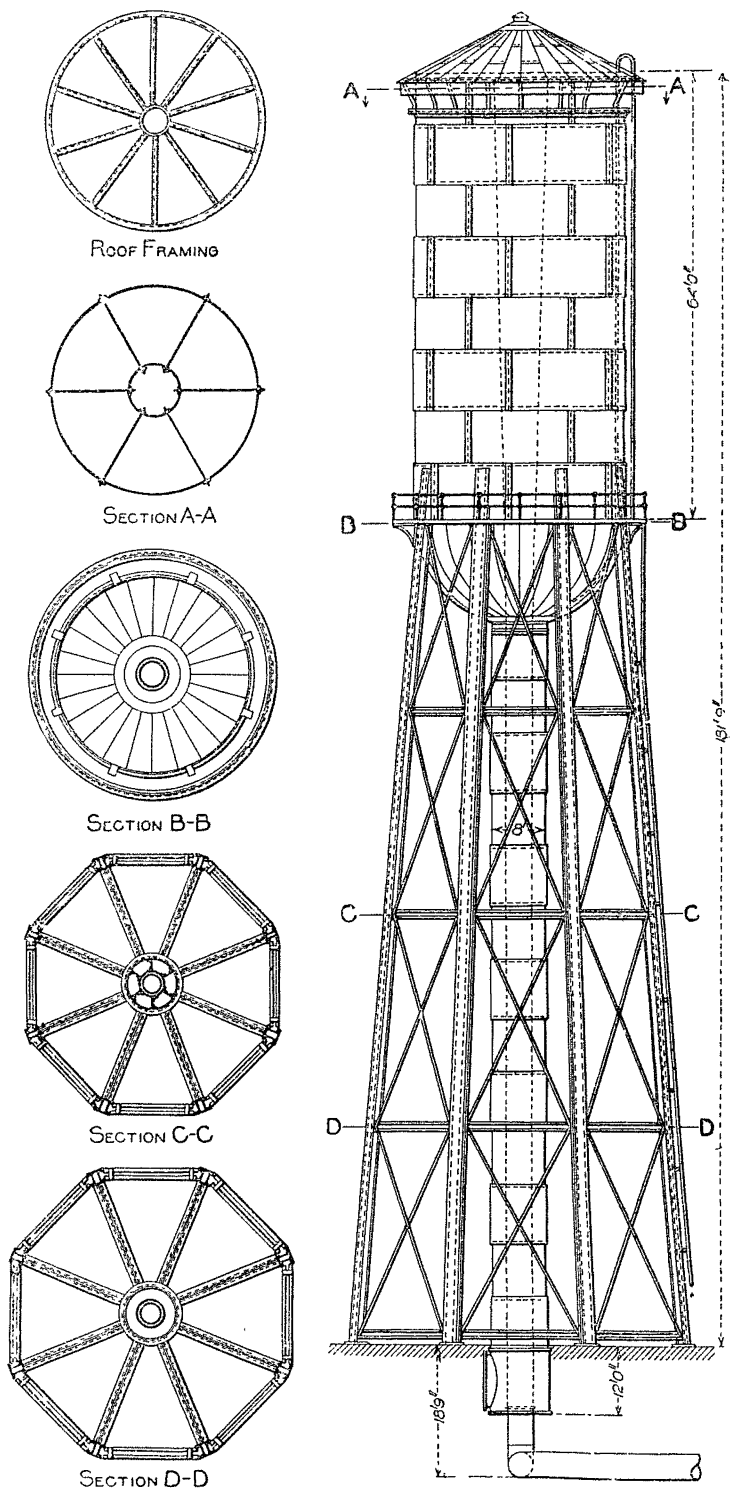
Les tôles d'acier qui constituent la calotte hémisphérique formant le fond du réservoir ont 14,3 mm. d'épaisseur. Celles qui constituent les parois verticales du cylindre ont une épaisseur qui varie de 19,04 mm. à la base, à 9,52 mm. au sommet.

Le réservoir est couvert par un toit conique, de 10^m97 de diamètre à la base, et de 2^m74 de hauteur. On y accède au moyen d'une échelle métallique, visible sur la figure contre la paroi droite du cylindre, qui aboutit à une passerelle circulaire ménagée à la base du cylindre. On arrive à cette passerelle au moyen d'un escalier accolé contre le pilier de droite de la figure ci-jointe.

Remarque. — Il existe déjà plusieurs installations hydro-électriques où l'on a fait emploi de cheminées de sûreté, mais ces dispositifs ne se composaient simplement que d'un tube d'équilibre, de section uniforme, sans réservoir de grande capacité.

Lorsque la section σ du tube d'équilibre est du même ordre de grandeur que celle S de la conduite forcée qu'il doit protéger, le coup de bélier positif maximum, ou de compression, lors d'une fermeture brusque, n'est plus qu'une fraction $\frac{S}{S + \sigma}$ du coup de bélier ordinaire.

Sur la plus grande partie de la cheminée de l'usine de Tumwater Canyon, la section du tube d'équilibre est celle



Élévation et coupes transversales du réservoir amortisseur de coups de bélier, et de la tour qui le supporte.

L'usine devant assurer un service de traction se trouve soumise à de brusques et importantes variations de charge, ce qui entraîne de pareilles variations dans la vitesse d'écou-

(*) Le tunnel dont il est question traverse la chaîne des montagnes de la Cascade à 1000 m d'altitude. Il a 4 km de longueur, et sa voie d'accès du côté est a une rampe de 20 pour 1000. Il est situé à 50 km. de l'usine.

d'un tuyau creux, ayant 2^m44 et 1^m09 de diamètre. Dans ce cas, la fraction précitée est approximativement :

$$\frac{S}{S + \sigma} = \frac{2,59^2}{2,59^2 + 2,44^2 - 1,09^2} = \frac{3}{5}$$

En portant à 2^m86 le diamètre extérieur du tube d'équilibre, le coup de bélier positif maximum n'aurait été que la moitié du coup de bélier sans cheminée d'équilibre.

Le réservoir a surtout pour but de parer aux coups de bélier négatifs. On sait, en effet, que, au moment de l'ouverture brusque du distributeur, il se produit une dépression, qui est d'autant plus forte que l'ouverture a été plus rapide, et que la conduite d'alimentation est plus longue, et cette dépression peut d'ailleurs être suivie d'une surpression. Avec la cheminée d'équilibre, la longueur qui intervient pour la formation de ce coup de bélier est approximativement celle de la cheminée, à la condition toutefois que cette cheminée soit capable de fournir assez d'eau pendant que le régime s'établit dans la conduite forcée d'alimentation. C'est pour cela qu'il est nécessaire d'avoir un réservoir de grande dimension. Toutefois, il semble, à première vue, que la capacité du réservoir de Tumwater Canyon aurait pu être un peu moindre.

L'*Engineering Record*, auquel les renseignements donnés sur ce réservoir sont empruntés, n'indique pas les bases qui ont servi au calcul des dimensions du réservoir. Il se contente de dire que, « par suite des variations brusques et considérables de la charge de l'usine, il faut environ 2 minutes pour vaincre l'inertie, et produire l'accélération maxima de la vitesse de l'eau dans la conduite forcée ». Ce temps nous paraît exagéré, car la phase du coup de bélier direct n'est ici que de 7 secondes (*).

Avant de terminer, faisons remarquer que les déchargeurs qu'on installe souvent à côté des turbines, et qui provoquent l'écoulement d'une certaine quantité d'eau, lors d'une fermeture brusque du distributeur, n'ont qu'un effet d'amortissement des coups de bélier positifs; ils sont sans effet contre les coups de bélier négatifs. Or, si ceux-ci ne sont pas dangereux pour les conduites forcées, ils influent d'une manière défavorable sur le réglage des groupes électrogènes.

H. B.

LE MOIS HYDRO-ÉLECTRIQUE

ACADÉMIE DES SCIENCES

MÉCANIQUE ET ÉLECTRICITÉ

Nouvelles observations sur les courants telluriques entre stations à grande différence d'altitude. — Note de MM. B. BRUNHES et P. DAVID. Séance du 5 juillet 1909.

Dans une précédente communication (**), nous avons signalé nos études, poursuivies depuis 1904, sur les courants telluriques dans une ligne télégraphique allant de la faculté des Sciences de Clermont au sommet du Puy-de-Dôme, et nous avons appelé l'attention sur un double caractère de ces courants : 1^o grande différence de potentiel normale entre stations extrêmes; 2^o valeur exceptionnellement élevée des perturbations par temps de trouble magnétique. Ces deux propriétés semblaient, a priori, corrélatives. Nous avons reconnu, au contraire, qu'elles tiennent à des portions différentes de la ligne.

Nous avons établi deux prises de terre intermédiaires, l'une à la station de la Font-de-l'Arbre, l'autre au pied même du Puy-de Dôme,

(*) On appelle phase du coup de bélier direct, le rapport $\frac{2l}{a}$ de la longueur l de la conduite forcée à la vitesse a de propagation des pressions variables, a vaut approximativement 1000 m. à la seconde; or $l = 3630$ m., d'où une période d'environ 7,2 secondes pour la phase du coup de bélier direct.

(**) *Comptes Rendus*, 21 décembre 1908. — Voir aussi *La Houille Blanche* de mars 1909.

dans la plaine de Laschamps, et mesuré la différence de potentiel moyenne sur chacun des trois tronçons ainsi constitués. Le tableau ci-joint définit la position des prises de terre, et donne les différences de potentiel (*).

Station ou est une prise de terre	Altitude en mètres	Distance horizontale au P.-de-D. a la station	Direction du P.-de-D. a la station	Distance horizontale entre 2 stations	Direction d'une station a la suiv.	Differ. de potentiel moy. avec le P.-de-D.	sur le tronçon
Puy-de-Dôme...	1465	0 ^m	«	«	«	0 volt	«
Laschamps.....	935	1200 ^m	S 36° E	1200 ^m	S 36° E	+ 1,8	+ 1,8 volt
Font-de-l'Arbre.	812	3180 ^m	E 7° S	2520 ^m	E 13° N	+ 2,0	+ 0,2
Clermont(Facul.)	400	9850 ^m	E	6700 ^m	E 3° N	+ 1,7	- 0,3

Le potentiel, à chaque station, a une très faible variation diurne par calme magnétique. Mais il y a une variation annuelle qu'il y aura lieu de préciser et qui arrive, parfois, à rendre incertain le sens du courant pris entre Laschamps et la Faculté. En tous les cas, le potentiel passe par un maximum à la Font-de-l'Arbre, et la grosse différence de potentiel normale existe entre le sommet et le pied de la montagne.

Pour localiser les différences de potentiel occasionnelles provenant des orages magnétiques, nous avons enregistré, à la fois, pendant un certain nombre de nuits, en mai et juin 1909, le courant tellurique sur le tronçon du Puy-de-Dôme à Laschamps (à l'aide du milliampèremètre enregistreur de la station du sommet), et le courant tellurique sur le tronçon de la Font-de-l'Arbre à la Faculté (à l'aide d'un galvanomètre shunté et de l'enregistrement photographique). On a d'ailleurs pris la précaution d'enregistrer souvent le courant sur la ligne entière avec les deux enregistreurs de type différent, en série aux deux bouts, et de vérifier l'identité des courbes obtenues. De part et d'autre, on graduait les courbes en insérant dans la ligne, durant 5 ou 10 minutes, un accumulateur chargé, ce qui donnait directement, et indépendamment de la résistance des prises de terre, la valeur de l'ordonnée en volts.

Prenons pour exemple la nuit du 18 au 19 mai 1909. Le 18, entre 21 h. 20 m. et 21 h. 28, la différence de potentiel, sur la ligne de la Font-de-l'Arbre à la Faculté, a varié de 1,875 volts, soit 280 millivolts par kilomètre. Au même moment, le courant sur la ligne de Laschamps au Puy-de-Dôme a subi une variation correspondant à moins de 0,12 volt, soit moins de 100 millivolts par kilomètre.

Les courbes ont été comparées à celles de Tortosa. Le courant Est-Ouest de Tortosa a donné une courbe semblable à la nôtre, mais avec une amplitude de perturbations beaucoup plus faible. La perturbation de 21 h. 28 m. correspond seulement à 14 millivolts par kilomètre. Par contre, le courant Nord-Sud de Tortosa a présenté, la nuit du 18 au 19, des perturbations atteignant 300 millivolts par kilomètre.

La comparaison d'autres périodes troublées a donné des résultats du même ordre.

Le rapprochement des courbes de Tortosa et des nôtres permettrait de conclure à une absence de proportionnalité entre les composantes perpendiculaires des perturbations aux deux observatoires, c'est-à-dire à une différence dans la direction des courants telluriques, si notre tronçon Nord-Sud (ou au moins dont la composante principale est Nord-Sud) n'était pas en même temps très inclinée par rapport à l'horizon : il faudrait avoir une ligne Nord-Sud en plaine, ou à peu près, ce qui nous manque.

Mais une double conclusion s'impose dès maintenant : *La sensibilité de notre ligne Est-Ouest aux perturbations magnétiques, sensibilité de l'ordre de vingt fois celle de la ligne Est-Ouest de Tortosa, ne tient pas à l'énorme différence d'altitude entre le Puy-de-Dôme et Clermont.* Il est donc raisonnable de penser qu'en d'autres stations on pourra établir des lignes télégraphiques courtes de sensibilité analogue.

Les lignes Est-Ouest sont caractérisées par la faiblesse de la variation diurne des courants telluriques qui les traversent en temps de calme. Tandis que dans les observatoires magnétiques d'Europe, en général, on caractérise comme journées calmes (0 de la conférence d'Innsbruck) les journées où les variations accidentelles de la déclinaison, par exemple, n'ont pas atteint le tiers (ou, en certain cas, la moitié) de l'amplitude de la variation diurne du même élément, et comme journées très troublées (2 d'Innsbruck) celles où les variations accidentelles ont dépassé l'amplitude de la variation diurne, nous avons été conduits à noter du chiffre 0 les journées où les perturbations sur notre ligne Est-Ouest n'ont pas atteint 50 millivolts par kilomètre, et à réserver le degré 2 aux journées où les perturbations ont dépassé 170 millivolts par kilomètres. Et la publication trimestrielle du *Caractère magnétique* prouve que notre classement des jours du mois concorde aussi bien avec ceux que donnent les autres observatoires magnétiques, que ceux-ci entre eux.

La recherche des régions où il serait possible d'avoir des lignes dirigées de l'Est à l'Ouest, à faible variation diurne, et à grande sensibilité aux perturbations, recherche qu'autorisent nos résultats, aurait, à côté d'un intérêt théorique considérable, un intérêt pratique de premier ordre, en fournissant le moyen le plus simple d'inscrire les troubles magnétiques.

(*) Les directions indiquées sont celles des lignes droites allant d'une station, soit au Puy-de-Dôme, soit à la station suivante.