

lins ou alcalino-terreux dissous, il découle des considérations précédentes que l'on peut déduire de la conductibilité de l'eau, la proportion de ces sels.

Kohrausch et Holborn ont montré qu'il est facile de déterminer le poids en milligrammes de sel par litre en multipliant la conductibilité à 18° par le nombre 75 000. Toda, de Gratz, et Ernyel, de Budapest, ont trouvé récemment que cette donnée peut très bien être appliquée dans la pratique.

D'après Ernyel, on obtient cependant des résultats plus précis en traçant, pour une eau donnée, la courbe exprimant le rapport de la conductibilité à la teneur en sels. Il suffit pour cela de procéder à des mesures et de se reporter ensuite à cette courbe quand on veut déduire la teneur en sels de la conductibilité.

Si la température, lors de la mesure, est différente de 18°, on peut calculer la conductibilité à cette température à l'aide de la formule suivante :

$$C_{18} = \frac{C_0}{1 + \rho(t - 18)},$$

dans laquelle  $\rho$  est le coefficient de température ; il est égal à 0,023 pour des valeurs de  $t$  comprises entre 15° et 25°.

\* \* \*

La connaissance de la valeur exacte de la résistivité de l'eau est particulièrement précieuse pour établir la constance de composition des *eaux minérales* que l'on trouve dans le commerce. Elle permet de s'assurer d'une façon exacte si l'on a affaire à une eau naturelle, caractérisée par une résistivité invariable, ou à une eau similaire fabriquée artificiellement. Elle est par conséquent un contrôle évident de l'analyse chimique, non qu'elle permette de connaître la nature et les proportions des sels contenus dans l'eau étudiée, mais parce qu'elle permet de se rendre compte avec une extrême rapidité si cette eau a bien l'origine qu'on lui suppose.

Nous donnons ci-dessous, d'après M. Negreano, les résistivités de quelques eaux minérales à la température de 18° C, ainsi que la valeur du coefficient  $a$  de température (ou augmentation de la résistivité par degré de température) :

EAUX MINÉRALES	OHMS-Centimètres	$a$
Eau minérale de Caciulata (Roumanie).....	328	0,019
— Slanic (Roumanie), source N° 1..	114	0,024
— — — N° 3..	48	0,023
— — — N° 6..	27,5	0,024
— Vichy, source Célestins.....	140	0,023
— Vittel, grande source.....	500	0,027
— Evian, source Cachat... ..	1280	0,026

Si l'on mesure la résistivité d'une même eau à des températures différentes, on constate qu'elle ne croît pas proportionnellement à la température. Si l'intervalle de température n'est pas très grand, les résistivités  $\rho_t$  à la température  $t$  du liquide peuvent être exprimées en fonction de la résistivité  $\rho_{18}$  à la température de 18° C par la relation suivante :

$$\rho_t = \rho_{18} [1 - a(t - 18)].$$

Cette dernière donnée ne présente de l'importance que lorsque l'eau minérale doit être utilisée à une température supérieure à la normale, cas évidemment fort rare. Dans le cas habituel, on constate que deux échantillons d'une

même eau, eau de Vichy par exemple, l'un provenant de la source et l'autre fabriqué artificiellement, ont chacun une résistivité qui les différencie nettement. On peut s'en rendre compte par les chiffres ci-dessous :

Eau de Vichy, source Célestins .....	140 ohms-cm.
Eau de Vichy similaire artificielle.....	112 —

Avec de l'eau d'Evian, on aurait les résultats suivants :

Eau d'Evian, source Cachat .....	1 280 ohms-cm
Eau d'Evian similaire artificielle .....	1 120 —

Ces résultats montrent donc d'une façon très précise l'origine des eaux naturelles, en même temps qu'ils permettent de dévoiler rapidement les falsifications dont elles peuvent être l'objet dans le commerce.

Jean ESCARD.

## MESURES ÉLECTRIQUES

### MESURES DE POTENTIELS EXPLOSIFS ENTRE 20 000 VOLTS ET 300 000 VOLTS (1)

DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL. — Nous nous sommes servis, pour ces mesures, de la grande machine à 20 plateaux, construite grâce à la subvention de l'Académie (2). Des capacités diverses, pouvant varier de  $\frac{1}{10\,000}$  à  $\frac{2}{300}$  de microfarad, pouvaient être adjointes à la machine pour en régulariser le potentiel. Nous avons constaté que ces capacités étaient sans influence appréciable sur la longueur des étincelles.

L'appareil servant à la mesure des potentiels était un électromètre absolu dont le plateau fixe et l'anneau de garde avaient, l'un et l'autre, 80 centimètres de diamètre. On avait abaissé le centre de gravité du fléau portant le plateau mobile assez pour que la balance fût stable dans toutes les expériences. Les mouvements de ce fléau étaient observés par la méthode de Poggendorff.

Les étincelles étaient produites entre des électrodes fixées à l'extrémité de deux longues tiges horizontales portées par des colonnes de verre de 60 centimètres de hauteur. L'ensemble était installé sur un banc d'optique auquel on avait adapté un mouvement de machine à diviser pour mesurer micrométriquement l'écartement des électrodes.

*Marche d'une expérience.* — Chaque détermination se faisait successivement par les deux méthodes suivantes :

1° La machine étant en marche en régime permanent, et le voltage étant maintenu constant au millième près par la manœuvre d'une fuite auxiliaire, on rapprochait lentement les électrodes jusqu'à obtenir l'étincelle.

2° On cherchait par tâtonnements à quelle distance il fallait placer les électrodes pour que, en laissant le potentiel s'élever *très lentement*, l'étincelle éclatât au moment précis où la différence de potentiel atteignait une valeur choisie à l'avance. Ces deux méthodes ont donné des résultats parfaitement concordants.

Il convient dans ces expériences d'éviter absolument toute production d'aigrette parasite, positive ou négative, dans le voisinage des électrodes. Il est en outre indispensable

(1) Note de MM. P. VILLARD et H. ABRAHAM à l'Académie des Sciences, séance du 11 décembre 1911.

(2) *Comptes rendus*, t. 152, 1911, p. 1813.

qu'aucun objet, conducteur ou non, ne se trouve placé à proximité de l'éclateur.

RÉSULTATS. — Pour une longueur donnée de l'étincelle, la différence de potentiel explosive peut varier beaucoup, surtout aux hauts voltages, suivant l'écart qui existe entre le potentiel du sol et celui de l'une ou l'autre des électrodes. Voici un exemple de ces variations, dans lequel les comparaisons sont faites pour une même différence de potentiel :

*Electrodes sphériques de 5 centimètres de diamètre*  
(Différence de potentiel : 140 000 volts)

Longueurs d'étincelles..	Potentiels symétriques 8cm	Positif au sol vers 13cm	Négatif au sol vers 22cm
--------------------------	-------------------------------	-----------------------------	-----------------------------

Nous nous contenterons donc de donner ici un Tableau des mesures faites en appliquant aux électrodes des potentiels sensiblement égaux et de signes contraires (1). Les potentiels explosifs qui figurent dans le Tableau ci-dessous, au moins pour les mesures faites avec les électrodes sphériques un peu grosses dont il s'agit, nous paraissent être les potentiels d'aigrette sur courant nul et non pas les potentiels explosifs, plus élevés, sur courants relativement intenses avec lueur anodique, observés autrefois par Faraday et sur lesquels nous avons déjà attiré l'attention (2).

ECLATEUR SYMÉTRIQUE (électrodes identiques)

T = 15°, H = 76cm

Distances explosives en millimètres

Volts	Electrodes sphériques				Plateaux bombés d=8cm f=5cm		Plans indéfinis par extrapolation (loi linéaire limite).
	Pointes mm	d=5cm mm	d=10cm mm	d=15cm mm	mm	mm	mm
20 000.....	16,5	5,8	5,9	6,0	6,0	6,0	6,0
30 000.....	29,5	9,1	9,2	9,3	9,4	9,5	9,5
40 000.....	45,5	13,0	13,0	13,3	13,5	13,7	13,7
60 000.....	125,0	20,7	20,6	20,7	21,0	21,4	21,4
80 000.....	165,0	30,0	28,3	28,2	28,6	29,1	29,1
100 000.....	220,0	45,0	36,4	35,7	36,3	36,8	36,8
120 000.....	250,0	62,0	45,1	43,3	43,9	44,5	44,5
160 000.....	»	135,0	67,0	59,2	59,5	59,9	59,9
200 000.....	»	262,0	97,0	75,3	75,3	75,3	75,3
240 000.....	480,0	440,0	»	93,0	91,0	90,7	90,7
280 000.....	560,0	»	»	113,0	109,0	106,1	106,1
300 000.....	600,0	530,0	360,0	126,0	119,0	113,8	113,8

LOI LINÉAIRE LIMITE. — Au fur et à mesure qu'on augmente le diamètre des électrodes, la courbe des potentiels explosifs se rapproche de plus en plus d'une droite, du moins pour les potentiels supérieurs à 30 000 volts. Pour des sphères de 30 centimètres de diamètre et jusqu'à 250 000 volts, l'écart avec la ligne droite, quoique certain, ne dépasse pas beaucoup les erreurs d'expérience. Pour un diamètre plus grand, il devient plus sûr de suivre les déformations de la courbe, non par des mesures absolues, mais par des comparaisons directes faites au moyen de deux éclateurs en parallèle : c'est ainsi que nous avons établi que la courbe

(1) On a proposé une règle dite des *champs semblables*, d'après laquelle, si l'on remplaçait des électrodes sphériques égales par des sphères n fois plus grosses placées à une distance n fois plus grande, le potentiel explosif deviendrait aussi n fois plus grand. L'examen des nombres donnés dans le Tableau ci-joint montre que cette règle des champs semblables n'est qu'assez grossièrement approchée; son application pouvant conduire à des erreurs de plus de 10 pour 100 sur les valeurs des potentiels explosifs.

(2) *Comptes rendus*, t. 150, 1910, p. 1286, et t. 151, 1910, p. 269.

relative à de larges plateaux bombés est encore plus voisine d'une droite que celle relative à nos plus grosses électrodes sphériques.

En laissant donc de côté les bas voltages pour lesquels la courbe représentative s'incurve en se dirigeant vers l'origine, une extrapolation légitime nous permettra d'énoncer la loi suivante :

*Entre électrodes planes indéfinies, et au-dessus de 30 000 volts, le potentiel explosif est une fonction linéaire de la distance des électrodes.*

Pour un écartement de x centimètres, la formule

$$V = 5\ 200 + 26\ 200\ x$$

donne en volts, à moins de 1 pour 100 près, ce potentiel explosif limite entre 30 000 volts et 300 000 volts.

RIGIDITÉ ÉLECTROSTATIQUE LIMITE DE L'AIR. — Ainsi qu'on le voit par la formule précédente, il résulte donc de nos expériences que pour allonger de 1 centimètre une étincelle un peu longue éclatant à l'air libre dans un champ uniforme, il faut élever de 26 200 volts la différence de potentiel qui existe entre les électrodes.

Cette constante caractéristique, 26 200 VOLTS PAR CENTIMÈTRE, est donc la rigidité électrostatique limite de l'air à 15° et sous une pression de 76 centimètres, pour des potentiels très élevés, alors qu'il n'y a plus d'action perturbatrice notable des électrodes.

Pour de plus bas voltages, il y aurait lieu de tenir compte de la forme que prend la courbe des potentiels explosifs depuis l'origine jusqu'à son raccordement asymptotique avec la droite limite. En faisant la figure, on voit immédiatement que la rigidité électrostatique moyenne augmente notablement quand le voltage baisse. Nous n'avons pas exploré cette région des potentiels, qui a déjà été étudiée par de nombreux auteurs, et récemment encore par M. Bouty dans ses travaux sur la cohésion diélectrique des gaz.

*Entre-croisement des courbes ; règles pratiques.* — Bailie a observé que pour un voltage donné, et entre sphères égales, la longueur d'étincelle passe par un minimum pour une valeur particulière du rayon des électrodes, valeur qui croît avec le potentiel explosif. Nous pouvons généraliser ce même fait en disant que si l'on a tracé une courbe de potentiels explosifs entre sphères égales, et si l'on vient à augmenter le diamètre des sphères, la nouvelle courbe représentative se place d'abord un peu au-dessus de la précédente, puis elle la traverse et s'en écarte ensuite de plus en plus. Nous avons vérifié que tous les entre-croisements des courbes se font de la même manière, jusqu'aux plus hauts potentiels, et même pour des électrodes à courbure peu accentuée. C'est ainsi qu'à 100 000 volts, entre de larges plateaux légèrement bombés, la distance explosive est plus grande de 0,6 millimètre qu'entre sphères de 30 centimètres de diamètre, alors qu'à 300 000 volts, l'écart qui a changé de signe atteint 7 millimètres.

L'examen des courbes montre que la zone de leurs entre-croisements se réduit à une bande étroite du plan, située le long et au-dessus de la ligne droite limite qui correspond aux plans indéfinis ; et l'on constate en outre que chaque courbe sort de cette zone pour une longueur d'étincelle un peu inférieure au rayon des sphères.

Il résulte de tout ceci que, pour des mesures sommaires ne demandant qu'une précision de quelques centièmes, on peut appliquer la règle pratique suivante :

*Entre électrodes sphériques égales portées à des potentiels*

symétriques, et pour des longueurs d'étincelles inférieures au rayon des sphères, le potentiel explosif est sensiblement indépendant de ce rayon des électrodes, et il est représenté, en volts, comme pour des électrodes planes indéfinies, par la formule :

$$V = 5\ 200 + 26\ 200 x$$

cette formule étant applicable entre 20 000 et 300 000 volts.

*Électrodes dissemblables.* — Entre électrodes sphériques, et pour des longueurs d'étincelle dépassant le rayon des sphères, la valeur de ce rayon cesse d'être sans influence sur le potentiel explosif ; et à partir de ce moment il n'est pas indifférent que les électrodes soient égales ou dissemblables.

Entre électrodes sphériques égales suffisamment éloignées, la longueur d'étincelle diminue quand on augmente simultanément de quantités égales le diamètre des deux sphères. Si, au contraire, on augmente seulement le diamètre de l'une d'elles, la longueur de l'étincelle est généralement augmentée, et l'allongement est maximum quand l'une des boules est remplacée par un plateau indéfini.

Il convient de signaler, toutefois, que ce dernier dispositif d'éclateur (sphère-plan) se prête mal à des mesures quelque peu précises, parce qu'il est particulièrement favorable à la production d'aigrettes sur l'électrode sphérique (1). Nous ne donnerons donc qu'à titre d'indications pratiques les quelques nombres renfermés dans le Tableau suivant :

#### ÉCLATEUR DISSYMMÉTRIQUE

(Électrodes dissemblables dont l'une est un plan ; potentiels symétriques.)

$$T = 15^\circ ; \quad H = 76\text{cm}$$

#### Distances explosives en millimètres

Volts	Pointe		Sphère dia n. = 5 <sup>cm</sup>		Sphère diam. = 10 <sup>cm</sup>	
	positive mm	negative mm	positive mm	negative mm	positive mm	negative mm
20 000....	20	8	6	6	6	6
30 000....	40	13	9	9	9	9
40 000....	65	20	14	14	13	13
60 000....	110	34	29	29	23	23
80 000....	155	48	59	59	33	33
100 000....	200	62	100	80	47	47
120 000....	235	76	150	100	65	65
160 000....	315	103	270	130	100	100
200 000....	385	130	380	160	160	150
240 000....	450	»	450	190	230	190
280 000....	510	»	»	220	310	220
300 000....	540	»	»	240	400	240

*Remarque.* — On sait qu'étant données deux sphères égales portées à des potentiels +V et -V, le champ ne doit pas être modifié si l'on place, à égale distance des deux sphères, un plan conducteur perpendiculaire à la ligne des centres et si l'on maintient ce conducteur au potentiel zéro. On s'attend donc à ce que le potentiel explosif entre les deux sphères soit double de ce qu'il serait entre l'une d'elles et le plan auxiliaire.

La comparaison des deux Tableaux que nous avons donnés montre que cette loi simple n'est pas loin de se trouver vérifiée (2).

## ACADÉMIE DES SCIENCES

### CHIMIE PHYSIQUE

*Résistivité électrique des aciers spéciaux* — Note de M. O. BOUDOUARD, présentée par M. H. Le Chatelier. Séance du 26 décembre 1911.

Il y a quelques années, l'auteur a étudié les variations de la résistance électrique des aciers en fonction de la température dans le but de déterminer les points de transformation du fer et de ses alliages ; ses recherches portèrent sur les aciers au carbone, au chrome (2 à 3,5 pour 100), au tungstène (3 pour 100), au manganèse (2 pour 100), au nickel (3 à 4 pour 100). En vue d'un nouveau travail d'ensemble sur des séries d'aciers spéciaux dans lesquels la teneur en métal spécial s'élève jusqu'à plus de 30 pour 100, il a mesuré la résistivité électrique de ces aciers à la température ordinaire (18°).

La résistance électrique des fers et des aciers, dans ses rapports avec leur constitution chimique, avec leurs propriétés mécaniques, avec le traitement thermique qu'ils ont subi, a déjà fait l'objet de nombreuses recherches, parmi lesquelles celles de Matthiessen (1863), Johnson (1881), Strouhal et Barus (1883-1885), Hopkinson (1885), Wedding (1888), Henry Le Chatelier (1890-1898), Barrett, Brown et Hadfield (1900), Capp (1904), Benedicks (1904) et Portevin (1904).

M. Boudouard a étudié les aciers au nickel, au manganèse, au chrome, au tungstène ; voici les nombres trouvés, les résistances ayant été mesurées par la méthode de Lord Kelvin, montage Carpentier.

#### 1° Aciers au carbone.

	Carbone.	Mn.	ρ.
Fer puddlé .....	0,150	0,050	11,6 μ:cm
Acier extra-doux ..	0,090	0,400	13,4
Acier creuset .....	0,290	0,400	15,7
Acier creuset .....	0,570	0,400	17,5
Acier creuset .....	0,920	0,400	18,6

#### 2° Aciers au nickel

Λ 0,100 de carbone.		Λ 0,800 de carbone.	
Teneur en Ni.	E.	Teneur en Ni.	E.
2,23	15,8	2,20	20,1
5,23	22,1	4,90	26,2
7,13	24,6	7,09	31,0
10,10	27,8	9,79	40,6
12,07	30,0	12,27	46,8
15,17	31,3	15,04	47,8
20,40	33,7	20,01	60,9
25,85	39,8	25,06	75,2
»	»	29,96	87,1

#### 3° Aciers au manganèse.

Peu carburés (0,1 — 0,2 C).		Très carburés (0,8 — 0,9 C).	
Teneur en Mn.	E.	Teneur en Mn.	E.
0,432	15,5	0,461	27,9
2,150	25,4	1,031	31,0
6,139	59,8	1,972	38,4
10,512	73,1	3,084	40,3
12,920	75,8	5,112	51,8
14,400	72,5	7,200	63,5
»	»	10,080	70,2
»	»	12,096	71,2

#### 4° Aciers au tungstène (0,5 — 0,8 carbone)

Teneur en W.	Métal à l'état		
	trempé.	recuit.	naturel.
0,30.....	18,2	18,4	17,4
7,0.....	44,3	42,7	44,3
10,0.....	26,7	23,5	38,2
17,0.....	51,0	47,8	51,9
22,0.....	67,5	62,5	60,3

(1) Même si cette sphère a jusqu'à 10 centimètres de diamètre et pour des potentiels ne dépassant pas 200 000 volts.

(2) Cette loi cesse tout à fait d'être applicable au cas d'électrodes en forme de pointe.