

2962 02500 CRA

CANADA
MINISTÈRE DES MINES
HON. P. E. BLONDIN, MINISTRE; R. G. McCONNELL, SOUS-MINISTRE;
DIVISION DES MINES
EUGÈNE HAANEL, PH.D., DIRECTEUR.

RECHERCHES SUR LE COBALT ET SES ALLIAGES, FAITES A
L'UNIVERSITÉ QUEENS, KINGSTON, ONTARIO, POUR LA
DIVISION DES MINES, DU MINISTÈRE DES MINES

DEUXIÈME PARTIE

LES PROPRIÉTÉS PHYSIQUES

DU

COBALT MÉTALLIQUE

PAR

H. T. Kalmus, B.Sc., Ph.D.

ET

C. Harper, B.A.



OTTAWA
IMPRIMERIE DU GOUVERNEMENT
1916

N° 310

MINES BRANCH LIBRARY

DR. EUGÈNE HAANEL,
DIRECTEUR DE LA DIVISION DES MINES,
MINISTÈRE DES MINES,
OTTAWA.

Monsieur,—

J'ai l'honneur de vous transmettre ci-joint un rapport intitulé: "Les Propriétés physiques du Cobalt métallique." C'est la seconde partie achevée de la série des recherches sur le cobalt et ses alliages, dans le but d'accroître leur valeur économique, qui ont été l'objet de travaux spéciaux faits sous ma direction, à l'université Queens, Kingston, Ontario, pour la Division des Mines, du ministère des Mines, Ottawa.

J'ai l'honneur d'être,

Monsieur,

Votre obéissant serviteur,

Herbert T. Kalmus.

KINGSTON, 12 mai, 1914.

AVIS.

Ce rapport a été publié primitivement en anglais dans l'année 1914, n° 309:

MINISTÈRE DES MINES.

HON. LOUIS CODERRE, Ministre; R. W. BROCK, Sous-Ministre;

Division des Mines

EUGÈNE HAANEL, Ph.D., Directeur.

TABLE DES MATIÈRES.

	PAGE
Introduction.....	1
Préparation du Cobalt métallique pour servir à l'étude de ses propriétés.....	1
Préparation du Cobalt métallique "du Commerce".....	2
Réduction par le carbone.....	3
Cobalt métallique tout à fait pur.....	3
Affinage de l'oxide de Cobalt "du commerce".....	3
Méthode A.....	3
Silice.....	4
Fer et arsénic.....	4
Nickel.....	4
Soufre.....	4
Méthode B.....	4
a, b,.....	4
c, d,.....	4
Réduction du Co_3O_4 par l'hydrogène et le gaz oxyde de carbone.....	5
Couleur.....	5
Densité—Gravité spécifique.....	5
Densité du Cobalt "du commerce".....	6
Fondu et non recuit.....	6
Densité du cobalt pur.....	6
Fondu et non recuit.....	6
Fondu et recuit.....	6
Ecroûi.....	7
Densité du cobalt: tableau.....	7
Dureté.....	7
Machine à déterminer la dureté.....	8
Exposé de la méthode Brinell pour la mesure de la dureté.....	8
Table de dureté Brinell.....	9
Cobalt pour l'essai de la dureté Brinell.....	9
Détermination de la dureté Brinell.....	9
Détermination de la dureté Brinell du Cobalt "du commerce".....	10
Détermination de la dureté Brinell du Cobalt pur.....	12
Dureté du cobalt, d'après d'autres observateurs.....	12
Dureté comparée du nickel et du Cobalt.....	12
Conclusions.....	13
Température de fusion du Cobalt.....	13
Fourneau de réduction.....	13
Détermination de la température.....	13
Courbes de fusion et de solidification.....	14
Détermination du point de fusion du cobalt.....	16
Données de la courbe de solidification (Fig. 2).....	16
Données de la courbe de solidification (Fig. 3).....	16
Résumé des résultats des déterminations du point de fusion.....	16
Le point de fusion du cobalt d'après d'autres observateurs.....	17
Conclusions.....	18
Détermination de la résistance à la traction.....	18
Machine à essayer la résistance à la traction description.....	18
Barreaux d'essai.....	18
Méthode d'essai.....	18
Déterminations de la résistance à la traction du Cobalt "du commerce".....	19
Fondu et non recuit.....	19
Fondu et recuit.....	20
Déterminations de la résistance à la traction du Cobalt pur.....	22
Fondu et non recuit.....	22
Fondu et recuit.....	23
Résistance à la traction des fils des Cobalt.....	24
Conclusions.....	25
Cobalt pur.....	25
Cobalt "du commerce".....	26

	PAGE
Déterminations de la résistance à la compression.....	27
Barreaux d'essai.....	27
Méthode de détermination.....	27
Cobalt "du commerce".....	27
Fondu et non recuit.....	27
Fondu et recuit.....	28
Cobalt pur.....	29
Fondu et non recuit.....	29
Fondu et recuit.....	29
Conclusions.....	30
Cobalt pur.....	30
Cobalt "du commerce".....	31
Façonnage, laminage et étampage du Cobalt métallique.....	31
Propriétés "au tour".....	31
Étampage du Cobalt.....	31
Machines à étamper: description.....	31
Conclusions.....	33
Mesure de la résistance électrique.....	33
Description de l'appareil.....	33
Méthode de computation.....	35
Recuisson des fils.....	36
"Cobalt du commerce".....	36
Fondu et non recuit.....	36
Recuit.....	38
Cobalt pur.....	40
Non recuit.....	40
Recuit.....	42
Résistance électrique spécifique du cobalt.....	44
Résistance électrique spécifique du nickel.....	44
Conclusions.....	44
Cobalt pur.....	44
Cobalt "du commerce".....	45
Perméabilité magnétique.....	45
Déterminations de la chaleur spécifique.....	45
Méthode et appareil.....	45
Matière traitée.....	46
Microphotographies.....	47
Cobalt pur H 212: analyse.....	47
Cobalt "du commerce" H 213: ".....	48
Cobalt H. 214: ".....	48
Cobalt "du commerce" H 130: ".....	48
" " H 214c: (Planche VIII): analyse.....	49
" " H 214c (" IX): ".....	49
" " H 87c (" X): ".....	49
" " H 87c (" XI): ".....	50
" " H 109: Analyse.....	50
" " H 211: ".....	50
Nickel Pur.....	51
Remerciements.....	51

ILLUSTRATIONS.

Photographies.

		PAGE
Planche	I Machine à essayer la dureté Brinell.....	6
"	II Machine Riehle, universelle, normale, verticale, pour l'essai de la résistance des vis.....	18
"	III Machine à étamer.....	32
"	IV Cobalt pur (H 212): Microphotographie.....	46
"	V Cobalt "du commerce" (H 213): ".....	46
"	VI Cobalt pur (H 214): ".....	46
"	VII Cobalt "du commerce" (H 130): ".....	46
"	VIII " " (H 214c): ".....	46
"	IX " " (H 214c): ".....	46
"	X " " (H 87c): ".....	46
"	XI " " (H 87c): ".....	46
"	XII " " (H 109): ".....	46
"	XIII " " (H 211): ".....	46
"	XIV Nickel Pur.....	50

Dessins.

Figure 1.	Machine à essayer la dureté Brinell: détails.....	8
"	2. Courbe de solidification—point de fusion—cobalt.....	15
"	3. Courbe de solidification—point de fusion—cobalt.....	17
"	4. Résistance à la traction—"barreau d'essai".....	18
"	5. Diagramme typique d'un essai de traction.....	19
"	6. Diagramme typique d'un essai de compression.....	26
"	7. Disposition des circuits pour mesurer la résistance électrique.....	34
"	8. Fourneau à recuisson; coupe longitudinale, prise verticalement, par le centre.....	34

RECHERCHES SUR LE COBALT ET SES ALLIAGES, FAITES A
L'UNIVERSITE QUEENS, KINGSTON, ONTARIO, POUR
LA DIVISION DES MINES DU MINISTÈRE DES
MINES.

DEUXIÈME PARTIE.

LES PROPRIÉTÉS PHYSIQUES DU
COBALT MÉTALLIQUE.

PAR

Herbert T. Kalmus, B.Sc., Ph.D.,

ET

C. Harper, B.A.

DEUXIÈME PARTIE.

LES PROPRIÉTÉS PHYSIQUES DU COBALT MÉTALLIQUE.

INTRODUCTION.

L'École des Mines de l'université Queens, de Kingston, Ontario, a entrepris et poursuit actuellement, pour la Division des Mines du ministère des Mines, un examen détaillé du Cobalt métallique, dans le but d'accroître sa valeur industrielle et économique.

Cet examen embrasse les points suivants:—

- I. LA PRÉPARATION DU COBALT MÉTALLIQUE PAR LA RÉDUCTION DE L'OXYDE.
- II. UNE ÉTUDE DES PROPRIÉTÉS PHYSIQUES DU COBALT MÉTALLIQUE.
- III. GALVANOPLASTIE PAR LE COBALT ET SES ALLIAGES
- IV. ALLIAGES EXTRÊMEMENT DURS DU COBALT.
- V. ALLIAGES DE COBALT NON-CORROSIFS.
- VI. ALLIAGES SPÉCIAUX DE COBALT.

La présente étude est la seconde partie du travail indiqué ci-dessus, et elle contient un grand nombre de déterminations faites dans les laboratoires de l'université sur quelques-unes des importantes propriétés, physiques et mécaniques, du Cobalt métallique.

Nous avons étudié spécialement les propriétés suivantes:

- (a) Densité.
- (b) Dureté.
- (c) Point de fusion.
- (d) Résistance à la rupture-traction.
- (e) Limite d'élasticité à la traction.
- (f) Résistance à la rupture-compression.
- (g) Limite d'élasticité à la rupture-compression.
- (h) Propriétés au tournage et au laminage.
- (i) Résistance électrique.
- (j) Perméabilité magnétique.
- (k) Chaleur spécifique.

Au cours de ces expériences, nous avons pris un certain nombre de microphotographies.

Autant que possible, les données déjà existantes, empruntées à la littérature sur ce sujet, seront rapportées aux en-têtes énumérés ci-dessus; mais nous aurons soin, toujours, d'indiquer les sources où nous avons puisé les faits et les chiffres d'emprunt, afin d'écartier tout danger d'ambiguïté au sujet de ce qui est ancien et de ce qui est nouveau.

PRÉPARATION DU COBALT MÉTALLIQUE POUR L'ÉTUDE DE SES PROPRIÉTÉS PHYSIQUES.

Il est vrai du Cobalt comme des autres métaux, que ses propriétés physiques sont souvent influencées d'une façon marquée par la présence de faibles pourcentages d'impuretés. Il est bien connu, par exemple, que

moins de 0.01 pour cent d'arsenic dans du cuivre suffit pour abaisser de 3.3 pour cent sa conductibilité électrique.¹

Il en est de même du Cobalt dont la résistance électrique est doublée ou triplée par la présence de quelques dixième de un pour cent d'impuretés.²

Le Cobalt qui a servi à ces recherches a été préparé par la réduction de l'oxyde de cobalt, Co 304.

L'oxyde "du commerce," venant des hauts fourneaux, est soumis à un raffinage brut, et se change ainsi en ce que nous appellerons "cobalt du commerce;" cet oxyde "du commerce" est de nouveau raffiné à un haut degré de pureté pour former ce que nous nommons "cobalt pur." Ces deux termes sont pris ici surtout pour leur concision et leur commodité. Nous donnons l'analyse de chaque échantillon avec l'exposé de ses propriétés. Nous avons déterminé les propriétés de chacune de ces substances et nous en donnons les résultats séparément.

PRÉPARATION DU COBALT MÉTALLIQUE "DU COMMERCE".

L'oxyde noir des fourneaux, Co_3O_4 , est soumis d'abord à un raffinage brut; puis on le réduit par le carbone à l'état métallique.

Ce raffinage se fait d'après le procédé indiqué plus bas et intitulé: "Raffinage du Cobalt métallique," excepté qu'on ne prend aucun soin particulier pour rendre les séparations complètes. C'est-à-dire, un raffinage comme celui que l'on peut réaliser industriellement à un prix modéré et par lequel on obtient actuellement le meilleur oxyde de Cobalt "du commerce."

Les trois échantillons d'oxyde de cobalt d'où nous avons tiré notre cobalt "du commerce," ont donné, à l'analyse, les résultats suivants:

Juin, 1912		%
Co.....	71.99	
Fe.....	0.11	
Ni.....	0.040	
S.....	0.020	
Ca.....	0.021	
Si.....	0.090	

Novembre, 1912.		
Co.....	71.52	
Fe.....	0.27	
Ni.....	0.020	
Si.....	0.090	
S.....	trace	
Ca.....	trace	

Avril, 1913		%
Co.....	70.4	
Fe.....	0.102	
Ni.....	trace	
Ca.....	0.15	
S.....	0.21	
Si.....	0.11	

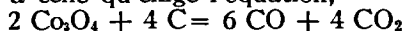
Nous donnerons les analyses du métal "du commerce" obtenu par ce procédé en même temps que les déterminations de ses propriétés physiques et mécaniques.

¹ J. H. Dellinger. "The temperature coefficient of Resistance of Copper." Bulletin of the U.S. Bureau of Standards, vol. 7, 1911, page 79.

² La présente étude, pp. 3-4.

RÉDUCTION PAR LE CARBONE.

L'oxyde de Cobalt, en poudre fine, est mélangé intimement avec du charbon de bois, la quantité de charbon de bois étant d'environ dix pour cent supérieure à celle qu'exige l'équation,



Cette charge, généralement cinq livres d'oxyde, est traitée, dans un creuset en graphite, soit dans le four au pétrole Steele-Harvey, soit dans une forme modifiée du fourneau à résistance électrique de Hoskins. Pendant la réduction, l'on agite la charge, l'on maintient la température dans le voisinage de 1,000°C, se servant d'un pyromètre propre à ces déterminations.¹

Quand la réduction fut terminée, ou à peu près, la température du fourneau fut portée à environ 1,550°C, chaleur suffisante pour fondre le Cobalt. Les barres de Cobalt ne furent pas coulées à cette température —1,550°C; car alors les moulages seraient remplis de soufflures. Pour empêcher ce résultat, nous avons eu recours au procédé ordinaire de la "fusion prolongée." Dans le cas du Cobalt, ceci consiste à abaisser la température de la fusion de 1,550°C, à environ 1,493°C, maintenir cette température environ une demi-heure, puis couler la fonte à cette température à peine supérieure au point de fusion du métal. Le coulage se fait dans des moules en sable ou en fer, ainsi construits que les moulages puissent ensuite être changés en fils, réduits en feuilles, façonnés en barres, ou transformés selon les besoins des expériences.

Le Cobalt "du commerce," obtenu par ce procédé, contient invariablement à peu près 0.20 pour cent de carbone, ainsi que les faibles quantités de fer, de nickel, de soufre, de calcium et de silicium, que contenait l'oxyde brut à l'origine, et qui n'ont pas été scorifiées.

La qualité du métal ainsi obtenu variait d'une fois à l'autre, et nous en donnerons l'analyse à l'occasion de chacune des expériences décrites dans cette étude.

COBALT MÉTALLIQUE EXTRÊMEMENT PUR.

Une partie de nos expériences avait pour but de déterminer les propriétés physiques d'un Cobalt beaucoup plus pur que celui que l'on rencontre d'ordinaire dans l'industrie journalière. Ce Cobalt, nous l'avons préparé en réduisant par l'hydrogène ou par le gaz oxyde de carbone un oxyde de Cobalt spécialement pur.

RAFFINAGE DE L'OXYDE DE COBALT "DU COMMERCE".

L'Oxyde de Cobalt, tel que produit dans les hauts fourneaux et livré au commerce, contient d'ordinaire de faibles pourcentages des impuretés suivantes: Ca, S, As, Si, Fe, Ni.

Cet oxyde "du commerce" peut se purifier par l'une ou l'autre des deux méthodes qui suivent:²

MÉTHODE A.

L'on emploie l'oxyde de Cobalt brut, que l'on débarrasse, à volonté, des impuretés qu'il renferme, par le procédé suivant.

¹ Pour la description du procédé de préparation du Cobalt métallique par la réduction de l'oxyde par le carbone, voir: "Préparation du cobalt métallique par la réduction de l'oxyde," Herbert T. Kalmus, Bulletin n° 259, Division des Mines, Ministère des Mines du Canada, page 4, 1913.

² Pour les détails de l'application de cette méthode, voir: "Préparation du cobalt métallique par la réduction des oxyde," Herbert T. Kalmus, Bulletin n° 259, Division des Mines, Ministère des Mines, Ottawa page 3, 1913.

Faire dissoudre l'oxyde brut dans l'acide chlorhydrique, d'après la réaction,



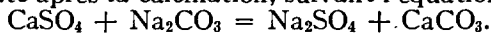
Le plus facile est d'opérer à la vapeur et avec agitation de la dissolution. La silice, s'il y en a, ne se dissout pas, et peut s'enlever par filtration ou décantation, ainsi que les silicates qui ne se décomposent pas par ce traitement. Quant aux silicates décomposables, ils abandonnent à la solution une partie de leur silice; mais cette silice se dépose pendant l'opération suivante, et se filtre avec l'arsenic et le fer.

Fer et arsenic.—A la solution de chlorure de cobalt, obtenue par la dissolution de l'oxyde dans l'acide chlorhydrique, comme ci-dessus, l'on ajoute graduellement du CaCO_3 ou du marbre pur, en poudre fine, jusqu'à précipitation complète. Ce carbonate de calcium, que l'on ajoute, précipite une boue brune épaisse, qui contient le fer et l'arsenic de l'oxyde brut.

Nickel.—D'ordinaire, il ne sera pas nécessaire de séparer du cobalt la faible quantité de nickel qui s'y trouve mêlé; mais, s'il en était besoin, on pourrait procéder de la façon suivante. La solution de chlorure de cobalt, lorsqu'elle contient une certaine proportion de chlorure de nickel, est d'un rouge intense, ou claret. L'on ajoute du chlorure de chaux à cette solution mixte des chlorures jusqu'à décoloration complète. Le chlorure de chaux précipite, par précipitation différentielle, les hydrates de nickel et de cobalt, de telle sorte que le nickel ne se précipite pas d'une façon appréciable avant que le cobalt ne soit entièrement précipité.

Le chlorure de chaux précipite donc un oxyde noir de cobalt hydraté, et l'affaiblissement progressif de la couleur rouge de la solution indique la fin de la réaction. Si toutes les opérations décrites ci-dessus sont appliquées à l'oxyde cru, ce précipité noir de la fin peut, après sa calcination à 750°C , se changer en oxyde noir, Co_3O_4 .

Soufre.—Le soufre que contenait l'oxyde brut et qui pourrait, à travers toutes les opérations, se retrouver dans le produit final, ou encore, qui aurait été ajouté à la solution avec le chlorure de chaux, on peut l'enlever en faisant bouillir l'oxyde séché de la fin avec du carbonate de sodium et de l'acide chlorhydrique étendu. Le Na_2CO_3 réagit sur le soufre, qui est à l'état de sulfate après la calcination, suivant l'équation suivante,



On lave à l'eau le sulfate soluble de sodium qui s'est formé. On lave ensuite à l'acide chlorhydrique étendu, qui décompose la carbonate de calcium en chlorure de calcium soluble et en gaz CO_2 .

Cette méthode, il est clair, n'est applicable qu'aux oxydes, comme ceux dont nous parlons, qui ne contiennent que de faibles pourcentages de Ca et de S.

MÉTHODE B.

(a) Faire dissoudre le Co_3O_4 du commerce dans l'acide chlorhydrique, filtrer ou décanter la silice et les silicates insolubles.

(b) Ajouter du CaCO_3 , en poudre fine, pour précipiter une épaisse boue brune, qui renferme le fer et l'arsenic que contenait l'oxyde brut.

(c) Ajouter du chlorure de barium, avant de filtrer, pour précipiter les sulfates à l'état de sulfate de barium, puis décanter ou filtrer le précipité "total" entier de (b) et de (c).

(d) Il reste maintenant une solution mixte de CoCl_2 et NiCl_2 . Ajouter à cette solution, une solution filtrée¹ de chlorure de chaux, qui précipitera, par précipitation différentielle, le nickel et le cobalt, à l'état d'hydrates.

¹ Ce chlorure de chaux devrait être libre de sulfates; sinon on devra l'en débarrasser en y ajoutant du BaCl_2 et en filtrant.

C'est-à-dire, que le chlorure de chaux précipite l'oxyde noir de cobalt, hydraté, et l'affaiblissement graduel de la couleur rouge de la solution indique la fin de la réaction, c'est-à-dire le point où commence la précipitation de l'hydrate de nickel.

Ce précipité noir de la fin fut séché et calciné à environ 760°C, alors qu'il se changea en Co_3O_4 . Par ce procédé, nous avons obtenu un oxyde qui ne contenait que des traces d'impuretés.

Le cobalt, extrêmement pur, qui a servi à nos recherches, a été tiré de cet oxyde, que nous avons réduit, soit par l'hydrogène, soit par le gaz oxyde de carbone.

Nous donnerons les analyses de ce métal pur avec les résultats de nos recherches sur ses propriétés. Nous en donnons ici un spécimen:

	%
Co.....	99.9
Ni.....	aucun
Fe.....	0.10
S.....	0.019
Ca.....	aucun
Si.....	0.040
C.....	aucun

REDUCTION DU Co_3O_4 PAR L'HYDROGÈNE ET LE GAZ OXYDE DE CARBONE.

L'oxyde de cobalt, en poudre fine, est placé à l'intérieur d'un four électrique à résistance, dans un moufle en alundum ou en silice, à travers lequel passe un jet d'hydrogène ou de gaz oxyde de carbone. Par le moyen d'observations pyrométriques, l'on maintient la température au voisinage de 950°C, et l'on brûle l'excès de gaz à la décharge du four.¹

Le métal, ainsi réduit, était une poudre grisâtre, très fine, lorsque la réduction s'était faite à environ 950°C, et une poudre grise plus ou moins terreuse, quand la réduction s'était faite à environ 1,000°C. On le mit ensuite dans un creuset, doublé d'alundum, à l'intérieur d'un four électrique à résistance, pour le faire fondre et le couler sous la forme voulue pour être ensuite laminé, étampé ou façonné au tour.

Le cobalt, extrêmement pur, préparé de cette façon, était de qualité variable, et nous en donnons les analyses, au cours de notre étude, avec le résultat de chacune de nos expériences.

COULEUR.

Le cobalt métallique pur ressemble beaucoup au nickel par sa couleur, quoique, lorsqu'il est mis en plaques et poli dans des conditions favorables, il revêt une teinte légèrement bleuâtre, malgré sa blancheur éclatante. Parfois, il se dépose comme une matte noire. Quand on l'obtient par la réduction de l'oxyde, à une température suffisamment basse, le cobalt métallique est une poudre grisâtre.

DENSITÉ—GRAVITÉ SPÉCIFIQUE.

La densité du cobalt, soit fondu, soit laminé, a été déterminé, dans ce laboratoire, par la méthode d'Archimède. L'on pèse une sphère ou un cylindre de la substance, sur une balance délicate, tant dans l'air que dans

¹ Pour la description de la méthode de purification du gaz, les détails de l'appareil, et la manière dont se fait la réduction, voir: "Raffinage du cobalt métallique, par la réduction de l'oxyde," Herbert T. Kalmus, Bulletin n° 259, Division des Mines, Ministère des Mines, Ottawa, pp. 11-31, 1913.

l'eau. Dans les calculs, l'on fait les corrections nécessaires pour la poussée de l'eau, et l'on réduit les données aux termes de l'eau, à sa densité maximum, qui est de 4°C. Voici les résultats obtenus:—

DENSITÉ DU "COBALT COMMERCIAL."

Cobalt fondu et non recuit.

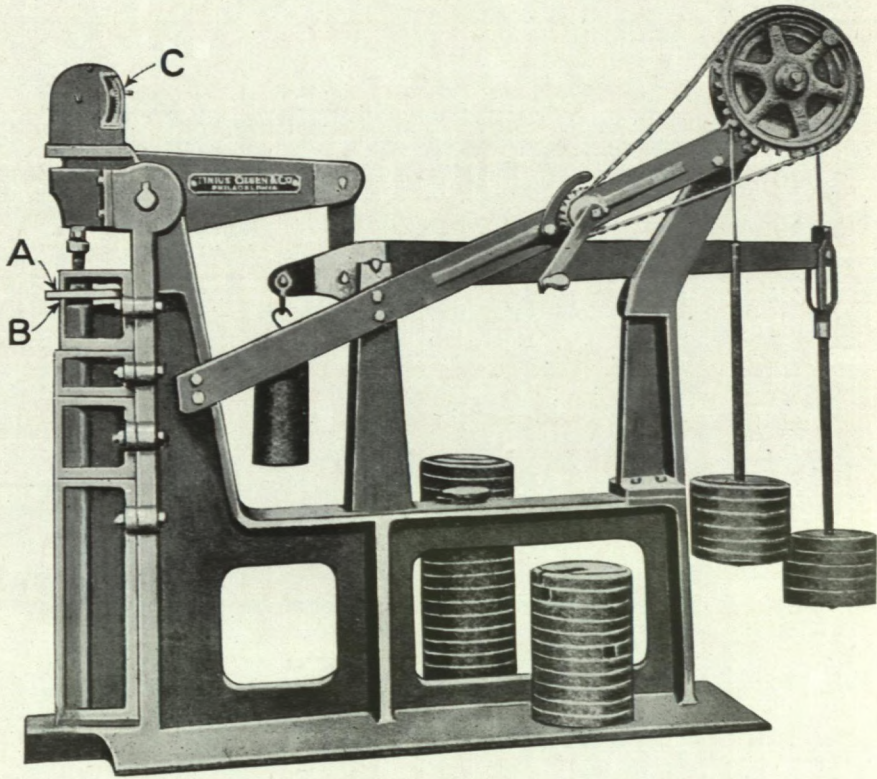
Numéro de l'échantillon.	Date.	Nature de l'échantillon.	Chaleur et traitement mécanique.	Analyse.	Densité Valeur à °C.
H 109	Déc. 8, 1913.	Barreau cylindrique.	Moulé à une température voisine du point de fusion, dans un moule en fer, refroidi, et façonné au tour.	Co 96.8 Ni 0.56 Fe 2.76 S 0.022 C 0.063 P 0.017	8.7997 18.5°C. Voir microphotographie. Planche XII.
H 130	Fév., 1914. Moyenne de cinq déterminations.	Barreau cylindrique mince.	Moulé à une température voisine du point de fusion, dans un moule en fer, refroidi, et façonné au tour.	Co 96.5 Ni 2.0 Fe 1.27 S 0.305 C 0.054 P 0.015	8.7690 17°C. Voir microphotographie. Planche VII.
H 87c	Fév., 1914. Moyenne de quatre déterminations.	Barreau cylindrique.	Moulé à une température voisine du point de fusion, dans un moule en fer, refroidi, et façonné au tour.	Co 97.8 Ni 0.50 Fe 1.46 S 0.020 C 0.18 Ca trace Si 0.020 P trace	8.6658 17°C. Voir microphotographie. Planche XI.

DENSITÉ DU COBALT PUR.

Fondu et non recuit.

Numéro de l'échantillon.	Date.	Nature de l'échantillon.	Chaleur et traitement mécanique.	Analyse.	Densité valeur à °C.
H 212	Jan.-Fév. 1914. Moyenne de six déterminations.	Barreau cylindrique.	Moulé à une température, voisine du point de fusion, dans un moule en fer, refroidi, et façonné au tour.	Co 99.9 Fe 0.20 Ni aucun S aucun C 00.017 Ca aucun Si aucun	8.7562 17°C. Voir microphotographie. Planche IV.
H 214	Avril, 3, 1914.	Fil étampé, de 0.0901 cms. de diamètre.	Moulé à une température voisine du point de fusion, refroidi, dans un moule en fer, et soumis au traitement mécanique et à la chaleur spéciale, décrits à la page 30, puis martelé en fil.	Co 98.71 Ni aucun Fe aucun Si 0.14 Ca aucun S 0.12 C 0.039 P 0.010	8.8490 15°C. Voir microphotographie. Planche VI.
H 193	Nov. 15, 1913	Barreau cylindrique.	Moulé à une température voisine du point de fusion, refroidi dans un moule en fer, et façonné au tour.	Co 99.1 Ni aucun Fe 0.80 S 0.021 Ca trace	8.7889 20°C.
H 217	Jan.-Fév. 1914. Moyenne de trois déterminations.	Barreau cylindrique.	Moulé à une température voisine du point de fusion, refroidi dans un moule en fer, et façonné au tour. <i>Fondu et recuit.</i>	Co 99.73 Fe 0.14 S 0.019 Ni aucun C aucun Si 0.020	8.7732 16°C. Voir microphotographie. Planche V.
H 212	Jan. 12, 1914.	Barreau cylindrique mince.	Moulé à une température voisine du point de fusion, refroidi dans un moule en fer, et façonné au tour. Recuit à partir de 700°C.	Co 99.9 Fe 0.20 Ni aucun S aucun C 00.017 Ca aucun Si aucun	8.8105 14.5°C.

PLANCHE I.



Machine à essayer la dureté Brinell.

Laminé.

Numéro de l'échantillon.	Date.	Forme de l'échantillon.	Chaleur et traitement mécanique.	Analyse.	Valeur densité à °C.	
H 213	Jan. 19, 1914.	Barreau cylindrique mince.	Moulé à une température voisine du point de fusion, refroidi dans un moule en fer, et étampé en barreau cylindrique mince.	Co 99.73 Fe 0.14 S 0.019 Ni aucun C aucun Si 0.020	8.9278	14°C.
H 212	Jan. 23, 1914.	Fil de 0.0840 cms. de diamètre.	Moulé à une température voisine du point de fusion, refroidi dans un moule en fer, et étampé en barreau cylindrique mince.	Co 99.9 Fe 0.20 Ni aucun C aucun S 0.017 Ca aucun Si aucun	8.9227	19°C.

Il y a dans la littérature sur ce sujet un certain nombre de déterminations de la densité du cobalt qui ont été faites par d'autres observateurs, mais la plupart sont de vieille date et ne nous renseignent guère sur la nature du métal.

Nous empruntons le tableau suivant aux plus récents et probablement aux plus exacts.

DENSITÉ DU COBALT.

Tilden ¹	8.718	21°C
G. Neumann et F. Streintz ²	8.6	—
Copaux ³	8.8	15°C
Winkler ⁴	7.9678	—
Kalmus et Harper, non recuit.....	8.7918	17.0°C
Kalmus et Harper, recuit.....	8.8105	14.5°C
Kalmus et Harper, étampé.....	8.9253	16.5°C

Les valeurs empruntées à la littérature sont, en général, inférieures à celles que nous avons trouvées, sans doute à cause des impuretés du métal, ou de la difficulté du moulage sans occlusion d'une certaine quantité de gaz.

DURETÉ.

Machine à essayer la dureté.

Les mesures de la dureté ont été prises dans ce laboratoire à l'aide d'une machine Olsen normale, d'une capacité de 100,000 livres, (Compagnie Tinius Olsen, Philadelphie, Pa.), telle que représentée sur la planche I. La machine consiste en une charpente, sur laquelle est disposé un système de leviers. A l'une des extrémités de ce système de leviers est attachée une boule (A) de pénétration, tandis qu'à l'autre extrémité, sont suspendues des pesées, qui, lorsqu'elles sont en action, déterminent le mouvement des leviers et la pénétration de la boule dans le métal soumis à l'essai (B). Un instrument (C), ajusté au levier principal, mesure automatiquement, à 0.0001 d'un pouce, la pénétration réelle de la boule d'acier.

La figure 1 montre les détails des parties principales de la machine. La substance à essayer est placée sur la tête (R), qui est mise en contact

¹ Chemical News, Vol. 78, p. 16, 1898.

² Monatshefte für Chemie, Vienna, Vol. 12, 1891, p. 642.

³ Annales de Chimie et de Physique, (8) Vol. 6, 1905, p. 508.

⁴ Berg und hüttenmännische Zeitung, Vol. 39, 1880, p. 87.

avec la boule de pénétration par le moyen d'une vis (S). La boule a un centimètre de diamètre. Une légère pression initiale est appliquée au piston (P). L'appareil est à zéro. On applique alors la pression désirée, puis on ramène à la pression initiale avant la lecture finale des résultats. Ces déterminations se font à 0.0001 d'un pouce. La différence entre la lecture initiale et la lecture finale égale la profondeur de pénétration de la sphère.

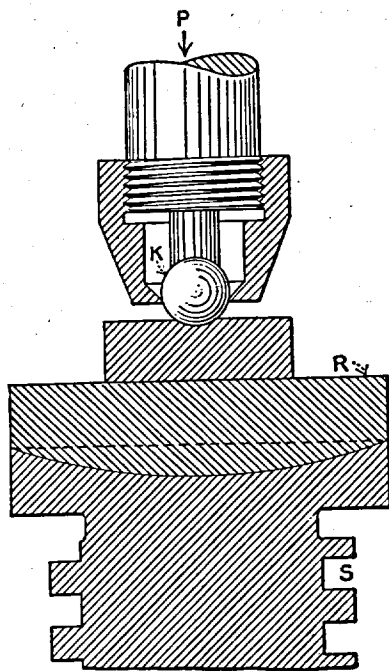


Fig. 1. Détails de la machine à essai de la dureté Brinell.

Exposé de la méthode Brinell pour la détermination de la dureté.

Après l'introduction de la méthode Brinell, Benedicks¹, Le Chatelier², Leon³, Malmstrom⁴, Meyers⁵, et d'autres montrèrent que la chiffre de la dureté Brinell dépend de la dimension de la sphère qui sert à faire l'impression et de la pression à laquelle on la soumet. Par conséquent, il faut tenir compte de ces deux facteurs dans chacune des déterminations.

Nous avons fait toutes nos déterminations de la dureté du cobalt d'après la méthode Brinell, et nous nous sommes servis d'une sphère de un centimètre de diamètre, avec une charge de 3,500 livres, à moins de spécification contraire.

Nous avons déterminé la dureté Brinell d'une série de substances usuelles, dans les mêmes conditions que pour le cobalt, et nous donnons plus bas un tableau comparé de ces valeurs. Dans chaque cas, le chiffre est la moyenne d'un certain nombre d'observations, qui, avec le même échantillon, donnent des valeurs concordantes à quelques unités près. Des échan-

¹ Recherches physiques sur l'acier au carbone. Upsala, 1904.

² Revue de métallurgie, 1906, n° 2.

³ Die Brinellsche Hartprobe und ihre praktische Verwendung. Procédés, Association Internationale pour l'essai des matériaux, 1906.

⁴ Stahl und Eisen, 1907, n° 50.

⁵ Untersuchungen über Hartepfung und Harte, Zeitschrift des Vereins Deutscher Ingenieure, 1907.

tillons différents de la plupart de ces substances donnent des résultats qui diffèrent notablement entre eux. Nous donnons ce tableau purement comme une base approximative de comparaison.

Table de dureté Brinell.

Matériaux.	Date.	Charge.	Dureté Brinell.
Cuivre, feuille laminée, non recuit.....	Jan. 1913	1000 lbs.	65.6
Cuivre, feuille laminée, non recuit.....	Jan. 1914	1000 lbs.	67.4
Cuivre, feuille laminée, non recuit.....	Jan. 1914	3500 lbs.	75.0
Cuivre, feuille laminée, non recuit.....	Jan. 1914	3500 lbs.	81.9
Fer suédois.....	Jan. 1913	3500 lbs.	90.7
Fer suédois.....	Jan. 1914	1000 lbs.	68.6
Fer suédois.....	Jan. 1914	3500 lbs.	75.2
Fer ductile.....	Jan. 1913	3500 lbs.	92.0
Fer ductile.....	Jan. 1914	1000 lbs.	83.1
Fer ductile.....	Jan. 1914	3500 lbs.	100.2
Fonte.....	Jan. 1913	3500 lbs.	97.8
Fonte.....	Jan. 1914	1000 lbs.	84.4
Fonte.....	Jan. 1914	3500 lbs.	104.5
Acier doux.....	Jan. 1913	3500 lbs.	109.9
Acier doux, arbre de couche, laminé à froid.....	Jan. 1914	3500 lbs.	126.2
Acier à outils.....	Jan. 1913	3500 lbs.	153.8
Acier à outils "Crescent".....	Jan. 1914	3500 lbs.	130.2
Acier à ressort.....	Jan. 1913	3500 lbs.	160.3
Acier à ressort.....	Jan. 1914	3500 lbs.	178.0
Acier à outils, trempé seul.....	Jan. 1913	3500 lbs.	180.0
Acier à outils, trempé seul, "Rex" (avant la trempe)	Jan. 1914	3500 lbs.	162.1
Acier à outils, trempé seul "Rex", (après la trempe)	Jan. 1914	3500 lbs.	240.0
Acier à outils, trempé seul, de l'atelier, école des mines	Jan. 1914	3500 lbs.	259.0

La dureté du cobalt, comme celle de la plupart des autres métaux, dépend plutôt du traitement physique et mécanique auquel on le soumet, que de sa composition chimique, si l'on excepte les variations dues à la présence du carbone. Même notre cobalt "du commerce" ne contient que de faibles pourcentages d'impuretés, principalement le fer et le nickel, et dans les proportions où ils se rencontrent, ils ne sauraient influencer notablement la dureté. Dans les échantillons de cobalt "du commerce," nous avons donné la teneur en carbone; et le pourcentage des autres impuretés varie entre les limites suivantes:—

S	0.010	à	0.070
Ca	trace	à	0.015
Si	trace	à	0.20
Fe	0.10	à	1.0
Ni	trace	à	0.50
C	0.10	à	0.60

La somme totale des impuretés dans aucun des échantillons ne dépasse guère 1.5 pour cent.

Mesure de la dureté Brinell.

Nous donnons en entier une seule détermination de la dureté Brinell pour montrer comment les observations s'harmonisent entre elles, et la manière de faire les calculs.

Échantillon H 193, Déc. 9, 1913. Charge 3,500 lbs.

Lecture initiale.	Lecture sous la charge.	Dépression en pouces.
0-0344 0-0333 0-0309 0-0321	0-0489 0-0480 0-0465 0-0468	0-0145 0-0147 0-0156 0-0147
		Moyenne de dépression 0-0149 pouces = 0-379 millimètre.

Par définition, la dureté Brinell = $\frac{\text{Pression totale en kilogrammes}}{\text{Surface de dépression en millimètres}} =$

$$\frac{P}{2 \pi r h} \text{ où}$$

P = charge en kilogrammes

r = rayon de la boule de pénétration en millimètres

h = hauteur de la dépression en millimètres.

$$\text{Donc, B.H.} = \frac{3500}{2 \cdot 2} \times \frac{1}{2 \times \pi \times 5 \times 0.379} = 133.4$$

Détermination de la dureté Brinell du Cobalt "du Commerce."

Charge 3500 livres à moins de spécification contraire.

Dureté Brinell.

N° de l'échantillon.	Date.	Chaleur et traitement mécanique.	Teneur en carbone, soufre et phosphore.	Dureté Brinell.	Remarques.
H 109	Déc. 9, 1913.	Moulé à une température voisine du point de fusion, refroidi dans un moule en fer, et façonné au tour.	C 0-062 S 0-022 P 0-017	111.4	Voir microphotographie. Planche XII.
H 109	Jan. 14, 1914.	Moulé à une température voisine du point de fusion, refroidi dans un moule en fer, et façonné au tour.	C 0-062 S 0-022 P 0-017	100.9	Voir microphotographie. Planche XII.
H 109	Déc. 11, 1913.	Moulé à une température voisine du point de fusion, refroidi dans un moule en fer, et façonné au tour.	C 0-062 S 0-022 P 0-017	104.4	Voir microphotographie, Planche XII.
H 109	Déc. 22, 1913.	Moulé à une température voisine du point de fusion, refroidi dans un moule en fer, et façonné au tour.	C 0-062 S 0-022 P 0-017	111.7	Métal mou, résistant et donne au tour des tournures en spirales de longueur moyenne. Voir microphotographie, Planche XII.
H 109	Sept. 15, 1913.	Moulé à une température voisine du point de fusion, refroidi dans un moule en fer, et façonné au tour.	C 0-062 S 0-022 P 0-017	100.2	Métal mou, résistant, et donne au tour des tournures en spirales, de longueur moyenne. Voir microphotographie. Planche XII.
H 211	Jan. 14, 1914.	Moulé à une température voisine du point de fusion, refroidi dans un moule en fer, et façonné au tour.	C 0-18 S 0-080 P 0-031	128.2	Métal mou et moyennement résistant. Donne au tour des tournures en spirales de longueur moyenne. Voir microphotographie. Planche XIII.
H 211	Sept. 15, 1914.	Moulé à une température voisine du point de fusion, refroidi dans un moule en fer, et façonné au tour.	C 0-18 S 0-080 P 0-031	130.7	Métal mou, et moyennement résistant. Donne au tour des tournures en spirales et de longueur moyenne. Voir microphotographie. Planche XIII.
H 87c	Jan. 16, 1914.	Moulé à une température voisine du point de fusion, refroidi dans un moule en fer, et façonné au tour.	C 0-18 S 0-022 P 0-012	131	Métal moyennement dur et résistant. Donne des tournures en spirales. Voir microphotographie. Planche XI.

No de l'échantillon.	Date.	Chaleur et traitement mécanique.	Teneur en carbone, soufre et phosphore.	Dureté Brinell.	Remarques.
H 214c	Sept. 15, 1914.	Moulé à une température voisine du point de fusion, refroidi dans un moule en fer, façonné au tour et recuit à partir de 1000.	C 0-067 S 0-012 P 0-010	136-9	Voir microphotographie. Planche IX.
H 214c	Sept. 15, 1914.	Moulé à une température voisine du point de fusion, refroidi dans un moule en fer, façonné au tour et recuit à partir de 1000.	C 0-067 S 0-012 P 0-010	138-6	Voir microphotographie. Planche VIII.
H 214c	Sept. 15, 1914.	Moulé à une température voisine du point de fusion, refroidi dans un moule en fer, façonné au tour et non recuit.	C 0-067 S 0-012 P 0-010	123-9	
H 87a et e	Déc. 22, 1913.	Moulé à une température voisine du point de fusion, refroidi dans un moule en fer, et façonné au tour.	C 0-22 S 0-030 P aucun	119-2	
H 87a et e	Sept. 15, 1914.	Moulé à une température voisine du point de fusion, refroidi dans un moule de fer, et façonné au tour.	C 0-22 S 0-030 P aucun	132-9	
H 130	Déc. 11, 1913.	Moulé à une température voisine du point de fusion, refroidi dans un moule en fer, et façonné au tour.	C 0-305 S 0-054 P 0-015	115	Métal à texture grenue cassant et donne des tournures courtes.
H 130	Sept. 15, 1914.	Moulé à une température voisine du point de fusion, refroidi dans un moule en fer, et façonné au tour.	C 0-305 S 0-054 P 0-015	113-8	
H 130	Jan. 14, 1914.	Moulé à une température voisine du point de fusion, refroidi dans un moule en fer, et façonné au tour.	C 0-305 S 0-054 P 0-015	116-6	Métal dur et résistant. Donne au tour des tournures en spirales. Voir microphotographie. Planche VII.
H 87d et d	Fév. 1, 1913.	Moulé à une température voisine du point de fusion, refroidi dans un moule en fer, et façonné au tour.	C 0-36 S 0-016 P aucun	112	Se travaille très difficilement au tour.
H 87b et d	Fév. 1, 1913.	Moulé à une température voisine du point de fusion, refroidi dans un moule en fer, et façonné au tour.	C 0-37 S 0-015 P aucun	117	Se travaille très difficilement au tour.

Détermination de la dureté Brinell du Cobalt pur.

Charge, 3500 livres, à moins de spécification contraire.

N° de l'échantillon.	Date.	Chaleur et traitement mécanique.	Analyse.	Dureté Brinell.	Remarques.
H 193	Nov. 15, 1913.	Moulé à une température voisine du point de fusion, refroidi dans un moule en fer, et façonné au tour.	Co 99.10 Ni aucun Fe 0.80 S 0.020 C aucun Ca trace	129.7	Charge 2,500 lbs. Métal mou et cassant. Donne au tour des tournures courtes.
H 193	Déc. 9, 1913.	"	"	133.4	
H 193,	Nov. 15, 1913.	"	"	131.2	
H 212	Jan. 9, 1914.	"	Co 99.9 Ni aucun Fe 0.20 S 0.017 C aucun	105.5	Charge, 2,500 lbs.
H 212	Jan. 14, 1914.	"	"	128.7	Métal mou et cassant. Donne au tour des tournures courtes. Voir microphotographie. Planche IV.
H 212	Jan. 14, 1914.	Moulé à une température voisine du point de fusion, refroidi dans un moule en fer, façonné au tour, et recuit à partir de 700°C.	Co 99.9 Ni aucun Fe 0.20 S 0.017 C aucun	130.8	Charge, 2,500 lbs.
H 213	Jan. 14, 1914.	"	Co 99.73 Ni aucun Fe 0.14 S 0.019 C aucun	121	Métal mou et cassant. Donne au tour des tournures courtes. Voir microphotographie. Planche V.
H 217	Sept. 15, 1914.	Recuit pendant deux heures à 600°C., refroidi lentement, et de nouveau façonné au tour.	Co 99.55	125.9	
H 217	Sept. 15, 1914.	Moulé à une température voisine du point de fusion, refroidi dans un moule en fer, et façonné au tour.	"	109.5	

Dureté du Cobalt d'après d'autres observateurs.

Il y a bien peu de littérature au sujet de la dureté du Cobalt, sauf quelques observations plus ou moins qualitatives. Cependant, R. Reur et K. Kaneko¹ semblent avoir fait des déterminations soignées, d'où ils fixent la dureté Brinell du Cobalt à 132.

Dureté comparée du nickel et du Cobalt.

Pour les comparer, nous avons mesuré la dureté du nickel, moulé et en feuille, dans les mêmes conditions que le cobalt, charge, 3,500 lbs., et nous avons obtenu les chiffres respectifs de 83.1 et 85.1 Brinell, la feuille d'essai étant d'un quart de pouce, dans le dernier cas. Un essai indépendant comme vérification, de la dureté du nickel moulé, donna 76.4 pour résultat.

Il ressort de ces déterminations que la dureté du cobalt est de beaucoup plus élevée que celle du fer ou du nickel, dans les mêmes conditions.

¹ Ferrum, vol. 10, p. 257.
Chemical Abstracts 1913, p. 3591.

Conclusions.

(1). Les tableaux ci-dessus montrent que la dureté Brinell du Cobalt, moulé à une température voisine du point de fusion, et qu'on laisse refroidir dans un moule en fer, est d'environ 124.0 (charge 3,500 liv.). Ceci est la moyenne de neuf observations avec une déviation moyenne de 7.9 de la moyenne.

(2). La dureté du cobalt, moulé à une température voisine de son point de fusion, est remarquablement supérieure à celle de la fonte ou du nickel moulé, dans les mêmes conditions.

(3). L'addition de 0.060 à 0.37 pour cent de carbone n'influe pas suffisamment sur la dureté du cobalt, pour compenser les légères variations du traitement par la chaleur. Enfin, les déterminations ne concordent pas assez pour justifier des conclusions générales.

TEMPÉRATURE DE FUSION DU COBALT.

Un nombre considérable de déterminations du point de fusion du cobalt métallique ont été faites au four à vide électrique de Arsem, (General Electric Company, Schenectady, N.Y.). Ces déterminations ont été faites selon la méthode ordinaire des courbes de solidification et de fusion, au moyen de creusets en alumine pure ou en graphite, garnis d'alundum.

Le cobalt a un point de fusion très brusque, différant en cela du fer, qui devient pâteux à l'approche de son point de fusion. Pour le fer, la température réelle de fusion n'est pas bien marquée, à cause de la série des états intermédiaires; tandis que pour le cobalt c'est le contraire qui arrive. On peut donc déterminer le point de fusion du cobalt avec exactitude par la méthode de la courbe de solidification et de fusion.

Le four de réduction.

La pièce essentielle du four c'est le foyer de chaleur, qui est une spirale en graphite, à travers laquelle passe un courant électrique approprié. On met le creuset à l'intérieur de la spirale en carbone, et tous deux sont placés dans une chambre à vide. L'enveloppe de fer, qui forme le manteau extérieur de la fournaise, et qui sert de chambre à vide, est en connection constante avec une pompe pneumatique convenable, qui fonctionne pendant tout le temps que dure la détermination du point de fusion.

De cette façon, il n'y avait pas d'atmosphère d'oxygène pour abrégier la durée de la spirale en carbone, ni aucun autre gaz pour disperser, par conduction, la chaleur produite dans la spirale. Un second manteau de radiation en carbone enveloppait la spirale de chauffage.

Les déterminations du point de fusion furent donc faites, pratiquement, dans le vide, et hors de l'action oxydante de l'atmosphère.

Mesures de la température.

Nous avons opéré nos observations sur la température à l'aide d'un pyromètre optique Wanner, qui était vérifié avant et après chaque série d'expériences par comparaison avec une lampe étalon, amyl-acétate, selon un certificat d'étalonnage du "Physicalisch-Technische Reichsanstalt, à Charlottenburg. Nous avons fait usage du même pyromètre, au cours de nos expériences sur le cobalt, pour mesurer les points de fusion du cuivre et du nickel, et ces déterminations concordaient avec la courbe d'étalonnage employée, à quelques degrés près. Pour ce travail, nous avons pris 1444°C. comme point de fusion du nickel et 1084°C. pour celui du cuivre.

Le point de fusion du nickel, en admettant que notre courbe d'étalonnage du Reichsanstalt est correcte, a été déterminé six fois comme suit:—

		Déviaton de la normale.
1438°C.		6
1437°C.		7
1445°C.		1
1446°C.		2
1448°C.		4
1450°C.		6
Normale	144°C.	4.3°C., Déviaton moyenne d'une seule observation de la normale.

Le nickel, qui a servi à ces déterminations du point de fusion, a donné à l'analyse les résultats suivants:—

	%	
Ni.....	99.29	
Fe.....	0.48	
S.....	0.025	
Si.....	0.042	Voir microphotographie, planche XIV.
Ca.....	Aucun	
C.....	Aucun	
Co.....	Aucun	
Total.....	99.84	

Le cobalt employé à ces déterminations du point de fusion a donné à l'analyse les résultats suivants:—

	%	
Co.....	99.9	
Ni.....	Aucun	
Fe.....	0.20	Échantillon No. 212
S.....	0.017	Voir microphotographie planche IV.
Ca.....	Aucun	
Si.....	Aucun	
C.....	Aucun	
Total.....	100.12	

Courbes de solidification et de fusion.

Nous avons obtenu une courbe de solidification en réglant le courant qui traversait le four de telle façon que la charge était amenée à une température d'environ 100°C au-dessus de son point de fusion, puis en diminuant alors le courant à un degré déterminé à l'avance et tel que la solidification se faisait graduellement jusqu'à 100°C. environ. Pendant la solidification, on observait la température à des intervalles de 10, 15 et 20 secondes.

Il est clair, qu'une substance, qu'on laisse se solidifier plus ou moins uniformément à partir d'au-dessus de son point de fusion, dans des conditions extérieures déterminées, cessera de diminuer uniformément en température quand elle aura atteint le point de fusion, grâce à la chaleur latente de fusion qui se développe à l'intérieur de la substance pendant la solidification. Si nous traçons le temps en abscisses, et la température de

la masse, qui se solidifie, en ordonnées, nous aurons, en général, l'une ou l'autre des trois sortes de courbes, qui correspondent aux trois sortes typiques de transformation suivantes:—

(a). La substance reste à une température constante pendant toute la transformation de la fusion ou de la solidification.

(b). La substance se solidifie à une température réduite, plus ou moins constante, pendant la transformation de la fusion ou de la solidification.

(c). La substance subit une hausse de température pendant la première partie de la transformation.

Les modes de computation de la température, vraie et vérifiée, du point de fusion par chacune des courbes ci-dessus, sont expliqués dans les ouvrages de plusieurs auteurs qui ont traité des analyses thermales. Voir fig. 2, ci-jointe.

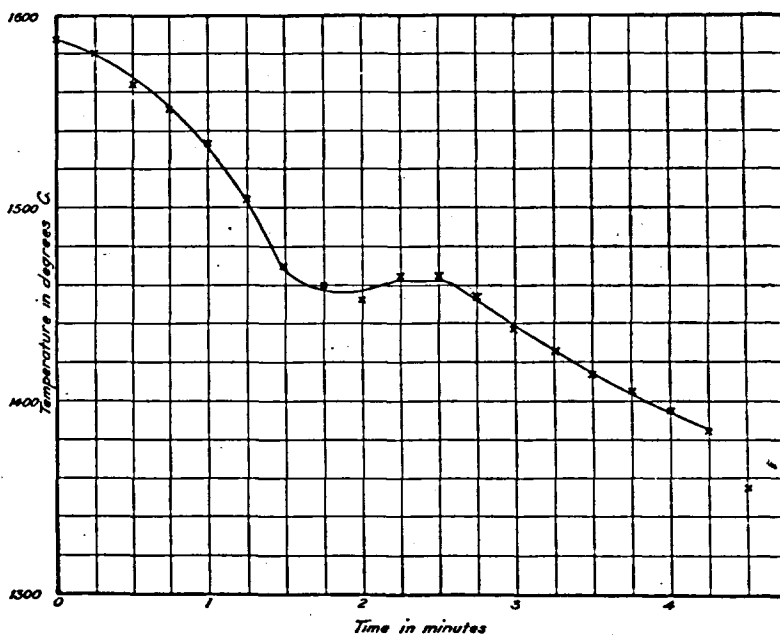


Fig. 2. Courbe de solidification—point de fusion—cobalt.

Le premier cas, indiqué plus haut, est de beaucoup le plus simple, et il peut s'appliquer exactement au cobalt. Nous avons compilé deux séries de données, avec les courbes ou le tracé de fusion qui leur correspondent, prises parmi une quinzaine de données, et représentatives de toutes les autres, afin de montrer comment nos courbes de fusion et de solidification réalisent "pratiquement" le cas (a).

Détermination du point de fusion—Cobalt.

Janvier 19, 1914. Temps écoulé, en minutes depuis le commencement de l'expérience.		Observations à toutes les 15 secondes. Observations avec le pyromètre op- tique Wanner.	Température en degrés C.
Charge I	0	78.2	1587
Voir fig. 2	1/4	77.9	1580
	1/2	77.3	1565
	3/4	76.8	1553
	1	75.9	1533
	1 1/4	74.6	1505
	1 1/2	72.8	1470
	1 3/4	72.0	1460
	2	71.6	1453
	2 1/4	72.2	1463
	2 1/2	72.2	1463
	2 3/4	71.8	1455
	3	70.6	1438
	3 1/4	69.8	1425
	3 1/2	69.0	1415
	3 3/4	68.5	1405
	4	67.6	1395
	4 1/4	66.8	1385
	4 1/2	64.2	1355
Charge II	0	78.9	1607
Voir fig. 3	1/4	77.4	1567
	1/2	76.2	1540
	3/4	75.8	1530
	1	74.9	1512
	1 1/4	74.3	1500
	1 1/2	73.6	1486
	1 3/4	72.8	1470
	2	72.0	1460
	2 1/4	72.1	1462
	2 1/2	72.0	1460
	2 3/4	72.0	1460
	3	71.8	1455
	3 1/4	71.6	1453
	3 1/2	69.8	1425
	3 3/4	67.4	1392
	4	65.0	1364
	4 1/4	63.2	1343
	4 1/2	62.0	1332

Sans entrer dans les détails sauf pour les deux charges ci-dessus, voici le tableau des déterminations du point de fusion du cobalt pur à 99.9 pour cent, dont nous avons donné l'analyse à la page 13. C'était l'échantillon n° 212.—Voir microphotographie, planche IV.

Résumé des résultats des expériences sur le point de fusion.

Date de l'expérience.	Point de fusion du Cobalt. (expérimental)	Déviations de chacune des ob- servations de la moyenne.
Sept. 27, 1912	1474°C	7
Sept. 30, 1912	1472	5
Sept. 30, 1912	1472	5
Oct. 1, 1912	1470	3
Oct. 1, 1912	1472	5
Jan. 13, 1914	1467	0
Jan. 13, 1914	1467	0
Jan. 14, 1914	1460	7
Jan. 15, 1914	1453	14
Jan. 15, 1914	1468	1
Jan. 15, 1914	1468	1
Jan. 19, 1914	1462	5
Jan. 19, 1914	1460	7
Jan. 19, 1914	1470	3
Jan. 19, 1914	1462	5
Jan. 19, 1914	1470	3
	Moyenne 1467°C	Moyenne 4.4°C

Moyenne de la température de fusion, 1467°C. Déviations proportionnelles de chacune des observations de la moyenne 4.4°C.

Donc, d'après ces observations, le point de fusion du cobalt pur semble être $1,467^{\circ}\text{C} \pm 1.1^{\circ}\text{C}$. A noter, cependant, les conclusions qui vont suivre.

Point de fusion obtenu par d'autres observateurs.

Nous empruntons aux auteurs les coefficients suivants du point de fusion du cobalt:—

Observateur.	Température de fusion.	Pourcentage de pureté.	Méthode de détermination.	À consulter.
Burgess et Waltenberg	1477°C	99.95	Micropyromètre	Bulletin, Bureau of Standards, Vol. 9, pp. 475. Vol. 10, p. 13, 1913.
Burgess et Waltenberg	1478°C	99.95	Fondu au four, dans un creuset	Bulletin, Bureau of Standards, Vol. 9, p. 475. Vol. 10, p. 13, 1913.
G. K. Burgess	1464°C	Très pur	Micropyromètre	Bulletin, Bureau of Standards, Vol. p. 350.
H. Copaux	1530°C	Non donné	Interpolation entre des pointes d'or et de platine.	Annales de Chimie et de Physique (8). Vol. 6, 1905, p. 508.
Guertler et Tamman	1528°C	98.3 Résidu, surtout Ni et Fe	Courbe de solidification.	Zeitschrift für Anorganische Chemie, Vol. 42, p. 353, 1904.
Guertler et Tamman	1468°C	98.3	Courbe de solidification	Leur valeur ci-dessus, (1528°C) corrigée pour le point de fusion du nickel 1451 au lieu de 1484, pris par eux.
Guertler et Tamman	1505°C	98.3	Courbe de solidification	Zeitschrift für Anorganische Chemie, Vol. 45, 1905, p. 223.
Guertler et Tamman	1455°C	98.3	Courbe de solidification	Leur valeur ci-dessus, (1505°C) corrigée pour le point de fusion du nickel 1451 au lieu de 1484, pris par eux.
R. Ruer et K. Kaneko	1491°C			Ferrum, Vol. 11, 1913, pp. 33-39.

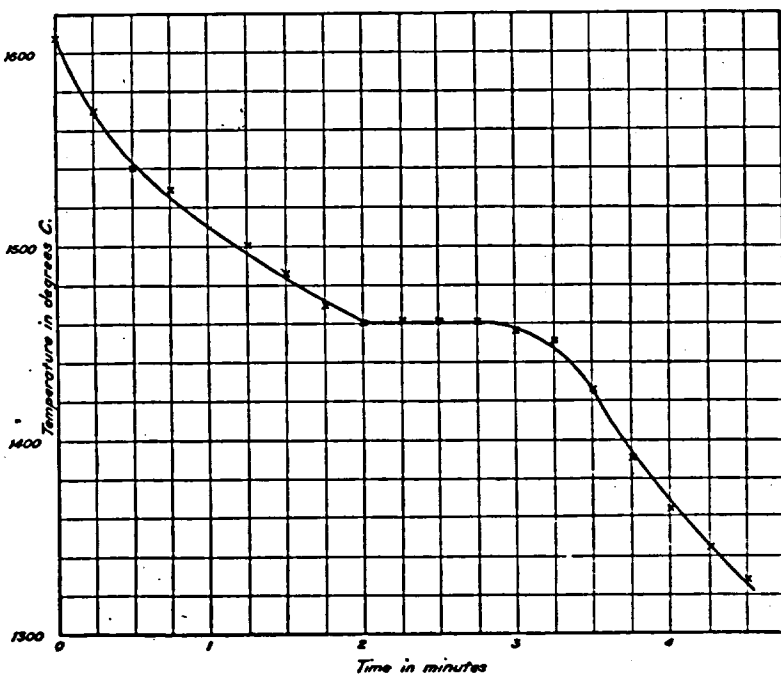


Fig. 3. Courbe de solidification—point de fusion—cobalt.

Il est à noter que Burgess et Waltenberg¹ emploient le chiffre 1,452°C comme point de fusion du nickel. En prenant cette donnée au lieu de 1,444°C. (Voir p. 13), notre point de fusion du cobalt serait pratiquement identique au leur, à savoir, 1,478°C.

Conclusions.

La température de fusion du Cobalt, d'après nos déterminations, est $1,467 \pm 1 \cdot 1^\circ\text{C}$. Ceci s'applique au métal pur à 99.9 pour cent, et est la moyenne de seize déterminations par la méthode de la courbe de solidification et de chaleur.

Ce chiffre de la température de fusion est basé sur les courbes d'étalonnage, observées au pyromètre, et en prenant la température de fusion du nickel à 1,444°C. Si l'on accepte le chiffre plus probable de 1,452°C, pour la température de fusion du nickel, notre température de fusion du Cobalt est $1,478 \mp 1 \cdot 1^\circ\text{C}$.

MESURES DE LA RÉSISTANCE À LA TRACTION

Machine pour l'essai de traction.

Nous avons fait les essais de résistance à la traction, à l'aide de la machine Riehlé, Universelle, normale, verticale, pour l'essai de la force des vis, (Riehlé Testing Machine Co., Philadelphia, Pa.), d'une capacité de 100,000 lbs., et mise en mouvement directement par un moteur électrique. Cette machine est dans les laboratoires d'essai du département de génie civil, école des mines, université Queens, Kingston, Ontario. Les auteurs désirent exprimer leur reconnaissance au professeur A. MacPhail, chargé de ce département, pour de nombreuses et précieuses suggestions sur la manière de se servir de la machine.

Barreaux d'essai.

Tous les barreaux employés à mesurer la résistance à la traction étaient "des Barreaux proportionnels," tels que recommandés et adoptés par l'Association Internationale pour l'essai des matériaux. La figure 4 montre la forme et les dimensions de ces barreaux.

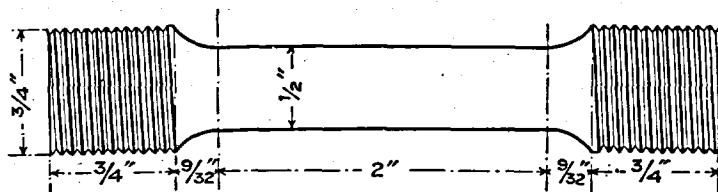
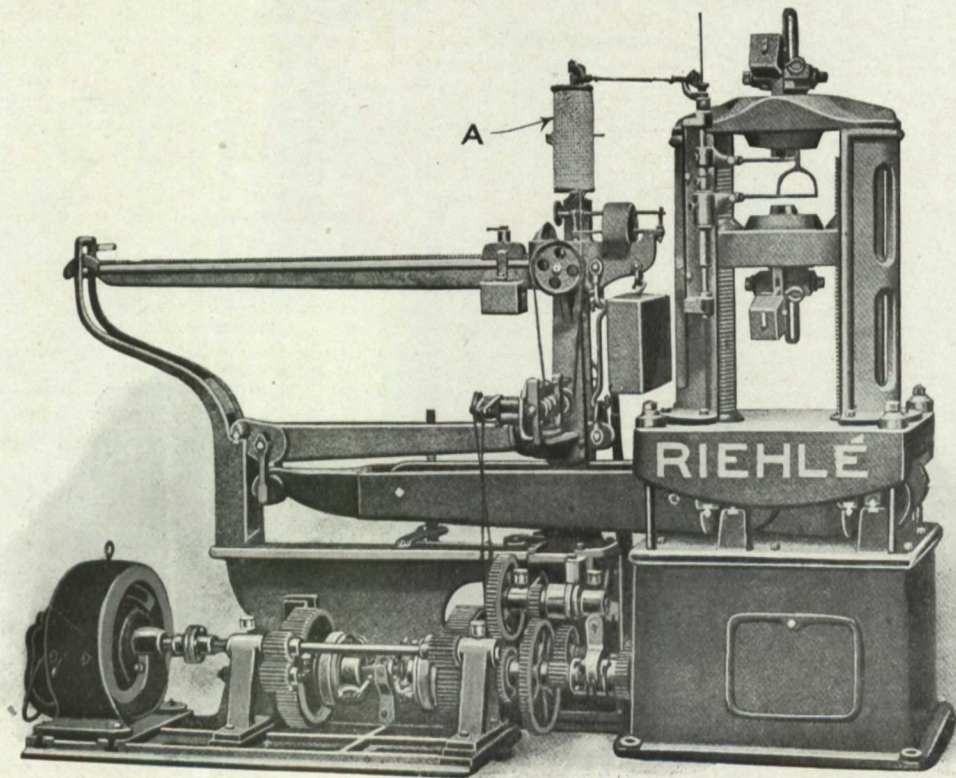


Fig. 4. Barreau proportionnel de résistance à la traction.

Méthode de détermination.

La planche 11 est un dessin de la machine d'essai employée pour les déterminations. Nous l'avons employée selon la méthode reconnue, avec une carte (A) disposée de façon à inscrire automatiquement un diagramme des efforts de traction pour chaque spécimen.

¹ Bulletin, Bureau of Standards, Etats-Unis, Vol. 10, page 6, 1913.



Machine Riehlé, universelle, normale, verticale, pour l'essai de la résistance des vis. Capacité 100000 livres.

La figure 5 donne la forme des diagrammes des efforts de traction que nous avons obtenus avec tous nos spécimens. Le point Y, cependant, est souvent moins visible que dans la figure, et P et Y sont souvent très voisins.

Du point O au point P, l'allongement ou tension du matériel était très faible, et était proportionnelle à la force ou à la charge appliquée. P est la limite proportionnelle, et Y est la limite d'élasticité. M est la force maximum, et R est la force de rupture ou la charge de rupture de la ténacité, dont nous donnons les valeurs dans nos tableaux.

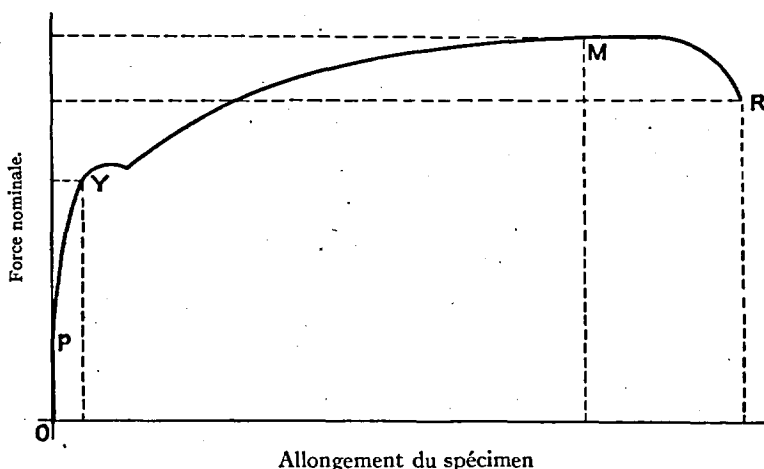


Fig. 5.—Diagramme typique d'un essai de traction.

P = Limite proportionnelle.
Y = Limite d'élasticité.
M = Force maxima.
R = Charge de rupture.

Ci-joint les tableaux des données des mesures que nous avons obtenues avec le cobalt "commercial" et le cobalt pur.

Résistance à la traction du "Cobalt commercial."

Fondu et non recuit.

N° de l'échantillon.	Date.	Chaleur et traitement mécanique.	Analyse.	Charge de rupture en lbs. au pouce carré.	Limite d'élasticité en lbs. au pouce carré.	Percentage de réduction de surface.	Percentage d'allongement sur 2 pouces.	Remarques.
H 109	Déc. 9, 1913.	Moulé à une température voisine du point de fusion, refroidi dans un moule en fer, et façonné au tour.	Co 96.8 Ni 0.56 Fe 2.36 S 0.022 C 0.062 P 0.017	48700	33800	7.7	5.5	Cassure à grain moyennement fin.
Y 109	Déc. 9, 1913.	Moulé à une température voisine du point de fusion, refroidi dans un moule en fer, et façonné au tour.	Co 96.8 Ni 0.56 Fe 2.36 S 0.022 C 0.062 P 0.017	52800	33800	8.7	7.0	

Fondu et non recuit—Suite

No de l'échantillon.	Date	Chaleur et traitement mécanique.	Analyse.	Charge de rupture en lbs. au pouce carre.	Limite d'élasticité en lbs. au pouce carre.	Pourcentage de réduction de surface	Pourcentage d'allongement sur 2 pouces.	Remarques.
H 109	Déc. 16, 1913.	Moulé à une température voisine du point de fusion, refroidi dans un moule en fer, et façonné au tour.	Co 96.8 Ni 0.56 Fe 2.36 S 0.022 C 0.062 P 0.017	57200	15300	24.5	21.9	Dur et difficile à façonner au tour. Donne des tournures longues et spirales.
H 109	Déc. 22, 1913.	Moulé à une température voisine du point de fusion, refroidi dans un moule en fer, et façonné au tour.	Co 96.8 Ni 0.56 Fe 2.36 S 0.022 C 0.062 P 0.017	64100	9360	25.4	27.0	Fracture à gros grain et d'apparence irrégulière.
H 15	Fév. 15, 1813.	Moulé à une température voisine du point de fusion, refroidi dans un moule en fer, et façonné au tour.	Co 98.5 Fe 1.0 Ni 0.30 S 0.020 C 0.18 Ca aucun Si aucun P aucun	76700	33800	7.7	6.5	
H 87c	Jan. 23, 1914.	Moulé à une température voisine du point de fusion, refroidi dans un moule en fer, et façonné au tour.	Co 97.8 Fe 1.46 Ni 0.50 S 0.18 C 0.020 Si 0.020 Ca aucun P 0.012	56100	30600	5.3	5.0	Métal de dureté moyenne et résistant. Donne au tour des tournures spirales moyennement longues. V. Microphotographie, Planche XI.
H 87f	Avril 5, 1913.	Moulé à une température voisine du point de fusion, refroidi dans un moule en fer, et façonné au tour.	Co 98.7 Fe 0.80 Ni 0.20 S 0.22 C 0.029 Si 0.020 Ca aucun P aucun	75000	37700	25.4	29.7	Très dur à façonner au tour.
H 87b	Fév. 10, 1913.	Moulé à une température voisine du point de fusion, refroidi dans un moule en fer et façonné au tour.	Co 98.5 Fe 0.80 Ni 0.37 S 0.20 C 0.016 Si 0.020 Ca aucun P aucun	63200	33100	24.1	24.0	
H 87d	Fév. 10, 1913.	Moulé à une température voisine du point de fusion, refroidi dans un moule en fer, et façonné au tour.	Co 98.5 Fe 0.80 Ni 0.20 S 0.37 C 0.016 Si 0.020 Ca aucun P aucun	77700	33900	23.8	24.0	
H 211	Déc. 22, 1913.	Moulé à une température voisine du point de fusion, refroidi dans un moule en fer, et façonné au tour.	Co C 0.18 S 0.080 P 0.031	31000	31000	aucun	aucun	Valeur basse due à la ségrégation des impuretés. Voir Microphotographie, Planche XIII.

Fondu et recuit (Suite).

N° de l'échantillon.	Date.	Chaleur et traitement mécanique.	Analyse.	Charge de rupture en lbs. au pouce carre.	Limite d'élasticité en lbs. au pouce carre.	Pourcentage de réduction de surface.	Pourcentage d'allongement sur 2 pouces.	Remarques.
H 109	Jan. 9, 1914.	Moulé à une température voisine du point de fusion, refroidi dans un moule en fer, et façonné au tour. Recuit à partir de 700°C.	Co 96.8 Ni 0.56 Fe 2.36 S 0.022 C 0.062 Ca aucun Si aucun P 0.017	56100	29300	13.3	13.0	Métal doux et résistant. Donne au tour des tournures spirales de longueur moyenne
H 109	Jan. 14, 1914.	Moulé à une température voisine du point de fusion, refroidi dans un moule en fer, et façonné au tour. Recuit à partir de 700°C.	Co 96.8 Ni 0.56 Fe 2.36 S 0.022 C 0.062 Ca aucun Si aucun P 0.017	52600	31600	13.3	13.5	Voir Microphotographie, Planche XII.
H 87c	Avril 22, 1914.	Moulé à une température voisine du point de fusion, refroidi dans un moule en fer, et façonné au tour. Recuit à 850°C.	Co 97.8 Fe 1.46 Ni 0.50 C 0.18 S 0.020 Si 0.020 Ca aucun P 0.012	60200	40800	.5	1.5	Grain très fin, uniforme. Voir Microphotographie, Planche X.
H 87c	Mai 19, 1914.	Moulé à une température voisine du point de fusion, refroidi dans un moule en fer, façonné au tour, recuit à 850°C.	Co 97.8 Fe 1.46 Ni 0.50 C 0.18 S 0.020 Si 0.020 Ca aucun P 0.012	55700			2.0	
H 214c	Avril 22, 1914.	Moulé à une température voisine du point de fusion, refroidi dans un moule en fer, façonné au tour, recuit à 850°C.	Co 97.09 Ni aucun Fe 1.45 C 0.067 S 0.012 Mn 2.04 Si 0.011 Ca aucun P 0.012	70500	37100	5.1	8.0	Grain très fin, uniforme. Voir Microphotographie, Planche IX.
H 214c	Avril 22, 1914.	Moulé à une température voisine du point de fusion, refroidi dans un moule en fer, et façonné au tour. Recuit à 1000°C.	Co 97.09 Ni aucun Fe 1.45 C 0.067 S 0.012 Mn 2.04 Si 0.011 Ca aucun P 0.010	75200	25500	6.1	10.0	Grain très fin, uniforme. Voir Microphotographie, Planche IX.
H 87c	Juin 2, 1914.	Moulé à une température voisine du point de fusion, refroidi dans un moule en fer, façonné au tour, recuit à 850°C.	Co 97.8 Fe 1.46 Ni 0.50 C 0.18 S 0.020 Si 0.020 Ca aucun P 0.012	63800	61300	0.61	0.5	Grain très fin.
H 87c	Juin 2, 1914.	Moulé à une température voisine du point de fusion, refroidi dans un moule en fer, façonné au tour, recuit à 850°C.	Co 97.8 Fe 1.46 Ni 0.50 C 0.18 S 0.020 Si 0.020 Ca aucun P 0.012	58000	56100	1.5	0.3	Grain très fin.

Fondu et recuit (Suite).

N° de l'échantillon.	Date.	Chaleur et traitement mécanique.	Analyse.	Charge de rupture en lbs. au pouce carré.	Limite d'élasticité en lbs. au pouce carré.	Pourcentage de réduction de surface.	Pourcentage d'allongement sur 2 pouces.	Remarques.
H 87c	Juin 10, 1914.	Moulé à une température voisine du point de fusion, refroidi dans un moule en fer, façonné au tour, recuit à 950°C.	Co 97.8 Fe 1.46 Ni 0.50 C 0.18 S 0.020 Si 0.020 Ca aucun P 0.012	57000	18000	2.57	2.0	Fracture à grain fin mais non uniforme d'apparence.
H 87c	Juin 10, 1914.	Moulé à une température voisine du point de fusion, refroidi dans un moule en fer, façonné au tour, recuit à 950°C.	Co 97.8 Fe 1.46 Ni 0.50 C 0.18 S 0.020 Si 0.020 Ca aucun P 0.012	58500	20400	3.4	2.0	Fracture à grain fin mais non uniforme d'apparence.
H 87c	Juin 15, 1914.	Moulé à une température voisine du point de fusion, refroidi dans un moule en fer, façonné au tour, et recuit à 1000°C.	Co 97.8 Fe 1.46 Ni 0.50 C 0.18 S 0.020 Si 0.020 Ca aucun P 0.012	65000	55000	3.1	1.9	Fracture à grain fin.
H 87c	Juin 15, 1914.	Moulé à une température voisine du point de fusion, refroidi dans un moule en fer, et façonné au tour. Recuit à 1000°C.	Co 97.8 Fe 1.45 Ni 0.50 C 0.18 S 0.020 Si 0.020 Ca aucun P 0.012	62000	40800	3.1	1.9	Fracture à grain fin.
H 87c	Juin 17, 1914.	Moulé à une température voisine du point de fusion, refroidi dans un moule en fer, façonné au tour. Recuit à 1000°C.	Co 97.8 Fe 1.46 Ni 0.50 C 0.18 S 0.020 Si 0.020 Ca aucun P 0.012	42600	40800	0.61	0.5	Fracture à grain fin.
H 87c	Juin 18, 1914.	Moulé à une température voisine du point de fusion, refroidi dans un moule en fer, façonné au tour, recuit à 1000°C.	Co 97.8 Fe 1.46 Ni 0.50 C 0.18 S 0.020 Si 0.020 Ca aucun P 0.012	56000	46000	1.3	1.9	Fracture à grain fin.

Mesures de la résistance à la traction du Cobalt pur.

Fondu et non recuit.

N° de l'échantillon.	Date	Chaleur et traitement mécanique.	Analyse.	Charge de rupture en lbs. au pouce carré.	Point de flexion en lbs. au pouce carré.	Pourcentage de réduction de surface.	Pourcentage d'allongement sur 2 pouces.	Remarques.
H 212	Jan. 9, 1914.	Moulé à une température voisine du point de fusion, refroidi dans un moule en fer, façonné au tour.	Co 99.9 Ni aucun Fe 0.20 S 0.017 C aucun	29600	10200	1.5	2.0	Fracture à gros grain et cristalline.

Fondu et non recuit (suite).

N° de l'échantillon.	Date	Chaleur et traitement mécanique.	Analyse.	Charge de rupture en lbs. au pouce carré.	Limite d'élasticité en lbs. au pouce carré.	Pourcentage de réduction de surface.	Pourcentage d'allongement sur 2 pouces.	Remarques.
H 212	Jan. 16, 1914.	Moulé à une température voisine du point de fusion, refroidi dans un moule en fer, et façonné au tour.	Co 99.9 Ni aucun Fe 0.20 S 0.017 C aucun	35400	31400	0.5	4.0	Métal mou et cassant. Donne des tournures courtes.
H 212	Jan. 23, 1914.	Moulé à une température voisine du point de fusion, refroidi dans un moule en fer, et façonné au tour.	Co 99.9 Ni aucun Fe 0.20 S 0.017 C aucun	43400	43400	aucun	aucun	Fracture à gros grain et cristalline.
H 212	Jan. 23, 1914.	Moulé à une température voisine du point de fusion, refroidi dans un moule en fer, et façonné au tour.	Co 99.99 Ni aucun Fe 0.20 S 00.017 C aucun	45800	25500	1.5	0.5	Fracture grossière, avec structure cristalline radiée.
H 212	Jan. 26, 1914.	Moulé à une température voisine du point de fusion, refroidi dans un moule en fer, et façonné au tour.	Co 99.9 Ni aucun Fe 0.20 S 0.017 C aucun	23000	23000	aucun	aucun	Fracture grossière, avec structure cristalline radiée. Métal mou et cassant, donne des tournures courtes.
H 212	Fév. 3, 1914.	Moulé à une température voisine du point de fusion, refroidi dans un moule en fer, et façonné au tour.	Co 99.9 Ni aucun Fe 0.20 S 0.017 C aucun	37900	37900	aucun	aucun	Fracture nette à grain fin. Voir Microphotographie, Planche IV.
H 213	Jan. 23, 1914.	Moulé à une température voisine du point de fusion, refroidi dans un moule en fer et façonné au tour.&	Co 99.73 Ni aucun Fe 0.14 S 0.019 C aucun	30600	30600	aucun	aucun	Fracture à gros grain et cristalline. Métal mou et cassant. Donne une tournure courte.
H 213	Jan. 23, 1914.	Moulé à une température voisine du point de fusion, refroidi dans un moule en fer, et façonné au tour.	Co 99.73 Ni aucun Fe 0.14 S 0.019 C aucun	30100	30100	aucun	aucun	Fracture à gros grain, avec structure cristalline radiée.
H 213	Jan. 23, 1914.	Moulé à une température voisine du point de fusion, refroidi dans un moule en fer, et façonné au tour.	Co 99.73 Ni aucun Fe 0.14 S 0.019 C aucun	23000	23000	aucun	aucun	Fracture à gros grain, avec structure cristalline radiée. Métal mou et cassant. Donne une tournure courte.
H 213	Fév. 3, 1914.	Moulé à une température voisine du point de fusion, refroidi dans un moule en fer, et façonné au tour.	Co 99.73 Ni aucun Fe 0.14 S 0.019 C aucun	45300	23000	3.0	3.6	Fracture nette, grain fin. Voir Microphotographie, Planche V.

Fondu et recuit.

H 212	Jan. 14, 1914.	Moulé à une température voisine du point de fusion, refroidi dans un moule en fer, et façonné au tour. Recuit à partir de 700°C.	Co 99.9 Ni aucun Fe 0.20 S 0.017 C aucun Si aucun Ca aucun	41200	41200	aucun	aucun	Fracture à gros grains, cristalline.
-------	----------------	--	--	-------	-------	-------	-------	--------------------------------------

Fondu et recuit—Suite

N° de l'échantillon.	Date	Chaleur et traitement mécanique.	Analyse.	Charge de rupture en lbs. au pouce carré.	Point de flexion en lbs. au pouce carré.	Pourcentage de réduction de surface.	Pourcentage d'allongement sur 2 pouces.	Remarques.
H 212	Jan. 27, 1914.	Moulé à une température voisine du point de fusion, refroidi dans un moule en fer, et façonné au tour. Recuit à partir de 700°C.	Co 99.9 Ni aucun Fe 0.20 S 0.017 C aucun Si aucun Ca aucun	28100	28100	aucun	aucun	Fracture moyenne, structure fine. Voir Microphotographie. Planche IV.
H 217	Juin 16, 1914.	Moulé à une température voisine du point de fusion, refroidi dans un moule en fer, et façonné au tour. Recuit à 950°C.	Co 99.20 Ni aucun Fe 0.730 S 0.016 Ca aucun Si 0.091 P 0.0077 C 0.036 Al 0.021	34800	26600	0.30	0.25	Fracture à grain fin et uniforme.
H 217	Juin 17, 1914	Moulé à une température voisine du point de fusion, refroidi dans un moule en fer, et façonné au tour. Recuit à 950°C.	Co 99.20 Ni aucun Fe 0.730 S 0.016 Ca aucun Si 0.091 P 0.0077 C 0.036 Al 0.021	43600	30600	1.3	1.0	Fracture à grain fin et uniforme.

Résistance à la traction des fils de Cobalt.

N° de l'échantillon.	Date	Chaleur et traitement mécanique.	Analyse.	Charge de rupture en lbs. au pouce carré.	Limite d'élasticité en lbs. au pouce carré.	Pourcentage de réduction de surface.	Pourcentage d'allongement sur 2 pouces.	Remarques.
H213	Jan. 29, 1914.	Cet échantillon a été étampé en fil fin, après chaleur spéciale et traitement mécanique, tels que décrits sous "Etampage des fils de Cobalt," pp. 29-30.	Co 99.73 Ni aucun Fe 0.14 S 0.019 C aucun	101800		5.0	8.2	Diamètre du fil, 0.117 pouce.
H 213	Fév. 11, 1914.	Cet échantillon a été étampé en fil fin, après chaleur spéciale et traitement mécanique, tels que décrits sous "Etampage des fils de Cobalt" pp. 29-30.	Co 99.73 Ni aucun Fe 0.014 S 0.019 C aucun	77000		1.0	2.0	Diamètre du fil, 0.124.
H213	Mars 24, 1914	Cet échantillon a été étampé en fil fin, après chaleur et traitement mécanique, tels que décrits sous "Etampage des fils de Cobalt," pp. 29-30.	Co 99.73 Ni aucun Fe 0.014 S 0.019 C aucun	90500		8.3		Diamètre des fils 0.076 pouce. Fracture à grain fin.

On a très peu traité de la résistance à la traction du Cobalt, quoique Copaux¹ donne les valeurs suivantes pour le cobalt et le nickel: cobalt, 69,000 livres au pouce carré; le nickel, 58,000 livres au pouce carré.

Nous avons mesuré la tenacité du fer pur et du nickel pur dans ce laboratoire, dans des conditions semblables à celles de nos déterminations de la tenacité du Cobalt. Le fer, qui a servi à ces déterminations, a donné à l'analyse les résultats suivants:—

	%
Fe.....	99.9
S.....	0.023
P.....	0.004
C.....	0.010
Mn.....	0.031
Cu.....	0.028
Si.....	traces
Ni.....	aucun
Co.....	aucun

Le nickel employé pour les essais de la tenacité a donné à l'analyse les résultats suivants:—

	%
Ni.....	99.29
Fe.....	0.48
S.....	0.025
Si.....	0.042
Ca.....	aucun
C.....	aucun

Il faudrait un grand nombre de déterminations avec le fer et le nickel pour fixer la mesure de la tenacité avec quelque exactitude; nos déterminations la fixent approximativement comme suit:

Nickel moulé, charge de rupture de la tenacité 18,000 livres au pouce carré.

Fonte, charge de rupture de la tenacité 23,000 livres au pouce carré.

La vitesse de solidification des métaux fondus, de l'état liquide à l'état solide, est un facteur si important pour la détermination des propriétés mécaniques du métal, qu'il est tout aussi nécessaire de savoir les dimensions des barreaux d'essai, que leur composition chimique. Les chiffres ci-dessus, que nous avons obtenus pour le fer, le nickel et le cobalt, dans des conditions exactement identiques, avec un barreau d'essai comme celui de la fig. 4, sont strictement comparables, quoiqu'ils ne devraient pas être comparés aux chiffres obtenus par d'autres observateurs avec des barreaux de dimensions différentes.

Conclusions.

Cobalt pur.

I. La résistance à la traction du cobalt pur, fondu et non recuit, est d'environ 34,400 livres au pouce carré. Ce chiffre est la moyenne de dix déterminations avec du cobalt moulé à une température voisine de son point de fusion, refroidi dans un moule en fer et façonné au tour en barreaux d'essai.

II. La recuite du cobalt fondu a pour effet d'augmenter quelque peu sa résistance, quoique la différence ne soit pas bien sensible. La moyenne de nos déterminations a été de 36,980 livres au pouce carré pour les échantillons recuits, comparée à 34,400 livres au pouce carré pour les échantillons non recuits.

III. Le pourcentage de réduction en surface et l'allongement sont bas dans le cas du cobalt pur fondu, comme on pouvait s'y attendre avec le métal pur.

IV. La limite d'élasticité à la traction est, en général, très voisine de la charge de rupture.

V. La résistance à la traction du cobalt pur s'accroît très rapidement quand le métal est laminé ce qui est le cas pour la plupart des métaux. Elle va facilement au-delà de 100000 livres au pouce carré, si le métal est transformé en fil.

VI. La charge de rupture du cobalt pur, fondu à une température voisine du point de fusion, qui se solidifie dans un moule en fer, et façonné au tour en barreaux d'essai, est supérieure à celle du fer ou du nickel, préparé et éprouvé dans les mêmes conditions.

"Cobalt commercial."

VII. L'addition du carbone a pour effet d'augmenter la résistance à la rupture-traction du cobalt très sensiblement, l'augmentation allant de 34,000 livres au pouce carré, pour le cobalt pur moulé et non recuit, à environ 61,000 livres au pouce carré pour le cobalt qui contient de 0.060 à 0.30 pour cent de carbone. Plus exactement, la moyenne de huit déterminations, avec un pourcentage d'environ 0.062 de carbone, est de 59,700 livres au pouce carré. De même la moyenne de quinze déterminations, avec un pourcentage de carbone d'environ 0.25, est de 61,900 livres au pouce carré.

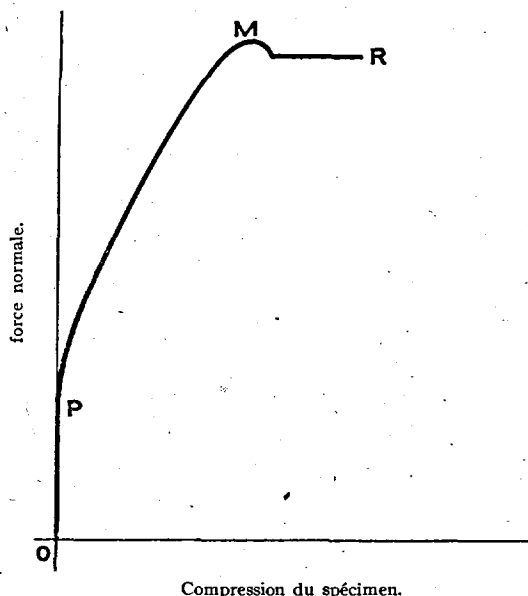


Fig. 6.—Diagramme typique d'un essai de compression.

P = Limite proportionnelle.
M = Force maxima.
R = Charge de rupture à la compression.

Toutefois, la déviation moyenne de ces déterminations individuelles est telle, qu'il est difficile d'en tirer aucune conclusion spécifique. Ces valeurs s'appliquent au cobalt, moulé à une température voisine de son point de fusion, qu'on laisse se solidifier dans un moule en fer, façonné au tour, et essayé non recuit. L'augmentation de la tenacité peut n'être pas dûe uniquement à la présence du carbone, car nous avons fait les essais avec du "cobalt commercial."

VIII. Le carbone et autres impuretés du "cobalt commercial" ont pour effet d'augmenter le pourcentage de réduction et d'allongement, qui atteint, dans la plupart des cas, plus de 20 pour cent.

MESURE DE LA RÉSISTANCE À LA COMPRESSION.

Les déterminations de la résistance à la compression du cobalt ont été faites à l'aide de la même machine Riehlé, universelle, verticale, normale, pour l'essai de la force des vis, dont nous nous sommes servis pour l'essai de résistance à la traction, et dont la description se trouve à la page 17, et représentée par la planche II.

Barreaux d'essai.

Tous les barreaux employés à la détermination de la résistance à la compression avaient un pouce et demi de longueur et trois-quarts de pouce de diamètre.

Méthode de détermination.

Nous avons fait la détermination à l'aide de la machine d'essai, et selon le procédé reçu, après avoir mis en place une carte, représentée dans la planche II, pour obtenir un diagramme autographique de la force de compression pour chaque spécimen.

La fig. 6 représente la forme des diagrammes de la force de compression que nous avons obtenus avec tous nos échantillons d'essai.

Du point O au point P l'effort de compression du matériau fut très faible, et proportionnelle à la force ou charge mise en œuvre. La limite élastique, dans ces diagrammes, n'est pas très distincte de la limite proportionnelle, et nous l'avons mise au point P.—M. est la force maxima, et R la force de rupture, ou charge à rupture de la compression, dont les valeurs apparaissent dans nos tableaux. Nous donnons plus bas des tableaux des résultats que nous avons obtenus avec le "cobalt commercial" et le cobalt pur.

Mesures de la résistance à la compression du "Cobalt commercial."

Fondu et non recuit.

N° de l'échantillon.	Date.	Chaleur et traitement mécanique.	Analyse.	Charge de rupture à la compression en lbs. au pouce carré.	Limite d'élasticité en lbs. au pouce carré.	Remarques.
H 87b	Fév. 10, 1913.	Moulé à une température voisine du point de fusion, refroidi dans un moule en fer, et façonné au tour.	Co 98.5 Fe 0.80 Ni 0.20 C 0.37 S 0.014 Si 0.020 Ca aucun P aucun	172000	29000	
H 87c	Jan. 16, 1914.	Moulé à une température voisine du point de fusion, refroidi dans un moule en fer, et façonné au tour.	Co 97.8 Fe 1.46 Ni 0.50 C 0.18 S 0.020 Si 0.020 Ca aucun P 0.012	178000	52100	Métal moyennement dur et résistant. Donne, au tour, une tournure spirale et de longueur moyenne.
H 87a et e	Déc. 22, 1913.	Moulé à une température voisine du point de fusion, refroidi dans un moule en fer, et façonné au tour.	Co 98.7 Fe 0.80 Ni 0.20 C 0.23 S 0.030 Si 0.020 Ca aucun P trace	184000	47600	

Fondu et non recuit (suite).

N° de l'échantillon.	Date.	Chaleur et traitement mécanique.	Analyse.	Charge de rupture à la compression en lbs. au pouce carré.	Limite d'élasticité en lbs. au pouce carré.	Remarques.
H 87d	Fev. 10, 1913.	Moulé à une température voisine du point de fusion, refroidi dans un moule en fer, et façonné au tour.	Co 98.5 Fe 0.80 Ni 0.20 C 0.37 S 0.016 Si 0.020 Ca aucun P aucun	184000	31200	
H 109	Déc. 22, 1913.	Moulé à une température voisine du point de fusion, refroidi dans un moule en fer, et façonné au tour.	Co 96.8 Ni 0.56 Fe 2.36 S 0.022 C 0.062 P 0.017	197500	31200	
H 211	Déc. 22, 1913.	Moulé à une température voisine du point de fusion, refroidi dans un moule en fer, et façonné au tour.	S 0.080 C 0.17 P 0.031	92000	41000	Valeur basse, due à la ségrégation d'impuretés. Voir microphotographie, planche XIII.
H 130	Déc. 22, 1913.	Moulé à une température voisine du point de fusion, refroidi dans un moule en fer et façonné au tour.	Co 96.52 Fe 1.27 Ni 2.00 S 0.053 C 0.305 P 0.015	94000	36000	Métal à texture grenue et cassant. Donne au tour une tournure courte.

Fondu et Recuit.

H 211	Jan. 10, 1913.	Moulé à une température voisine du point de fusion, refroidi dans un moule en fer et façonné au tour. Recuit à partir de 700°C.	S 0.080 C 0.17 P 0.031	98200	54300	Valeur basse, due à la ségrégation d'impuretés. Voir Microphotographie, planche XIII.
H 214	Avril 21, 1914.	Moulé à une température voisine du point de fusion, refroidi dans un moule en fer, et façonné au tour. Recuit à 850°C.	Co 98.71 Fe 1.45 Ni aucun S 0.012 Mn 2.04 Ca aucun Si 0.011 P 0.010 C 0.067	144000	40700	Grain fin et uniforme.
H 87c	Mai 19, 1914.	Moulé à une température voisine du point de fusion, refroidi dans un moule en fer, et façonné au tour. Recuit à 850°C.	Co 97.8 Fe 1.46 Ni 0.50 C 0.18 S 0.020 Si 0.020 Ca aucun P 0.012	124000	56500	
H 87c	Juin 17, 1914.	Moulé à une température voisine du point de fusion, refroidi dans un moule en fer, et façonné au tour. Recuit à 950°C.	Co 97.8 Fe 1.46 Ni 0.50 C 0.18 S 0.020 Si 0.020 Ca aucun P 0.012	148000	61000	

Mesures de la résistance à la compression du Cobalt pur.

Fondu et non recuit.

N° de l'échantillon.	Date.	Chaleur et traitement mécanique.	Analyse.	Charge de rupture à la compression en lbs. au pouce carré.	Limite d'élasticité en lbs. au pouce carré.	Remarques.
H 212	Jan. 10, 1913.	Moulé à une température voisine du point de fusion, refroidi dans un moule en fer et façonné au tour.	Co 99.9 Ni aucun Fe 0.20 S 0.017 C aucun Si aucun Ca aucun	88900	40700	Métal mou et cassant. Donne au tour un tournure très courte.
H 212	Jan. 24, 1914.	Moulé à une température voisine du point de fusion, refroidi dans un moule en fer et façonné au tour.	Co 99.9 Ni aucun Fe 0.20 S 0.017 C aucun Si aucun Ca aucun	104800	40700	
H 213	Jan. 24, 1914.	Moulé à une température voisine du point de fusion, refroidi dans un moule en fer et façonné au tour.	Co 99.73 Ni aucun Fe 0.14 S 0.019 C aucun	154000	36200	
H 193a	Déc. 9, 1913.	Moulé à une température voisine du point de fusion, refroidi dans un moule en fer, et façonné au tour.	Co 99.6 Fe 0.41 S 0.025 C aucun Ni trace P trace Ca aucun Si aucun	135800	39200	
H 193	Jan. 10, 1913.	Moulé à une température voisine du point de fusion, refroidi dans un moule en fer, et façonné au tour.	Co 99.6 Fe 0.41 S 0.025 C aucun Ni trace P trace Ca aucun Si aucun	123900	54200	

Fondu et Recuit.

H 212	Jan. 16, 1914.	Moulé à une température voisine du point de fusion, refroidi dans un moule en fer, et façonné au tour. Recuit à partir de 700°C.	Co 99.9 Ni aucun Fe 0.20 S 0.017 C aucun Si aucun Ca aucun	129100	63400	
H 213	Jan. 16, 1914.	Moulé à une température voisine du point de fusion, refroidi dans un moule en fer, et façonné au tour. Recuit à partir de 700°C.	Co 99.73 Ni aucun Fe 0.14 S 0.019 C aucun	114300	65600	Métal mou et cassant. Donne au tour un tournure courte.
H 217	Mai 19, 1914.	Moulé à une température voisine du point de fusion, refroidi dans un moule en fer, et façonné au tour. Recuit à 850°C.	Co 99.20 Ni aucun Fe 0.730 S 0.016 Ca aucun Si 0.091 P 0.0077 C 0.036 Al 0.021	102000	45200	

Fondu et recuit (suite).

N° de l'échantillon.	Date.	Chaleur et traitement mécanique.	Analyse.	Charge de rupture à la compression en lbs. au pouce carré.	Limite d'élasticité en lbs. au pouce carré.	Remarques.
H 217	Mal 20. 1914.	Moulé à une température voisine du point de fusion, refroidi dans un moule en fer et façonné au tour. Recuit à 850°C.	Co 99.20 Ni aucun Fe 0.730 S 0.016 Ca aucun Si 0.091 P 0.0077 C 0.036 A 10.021	106000	65600	
H 217	Juin 17. 1914.	Moulé à une température voisine du point de fusion, refroidi dans un moule en fer, et façonné au tour. Recuit à 850°C.	Co 99.20 Ni aucun Fe 0.730 S 0.016 Ca aucun Si 0.091 P 0.0077 C 0.036 Al 0.021			

Il n'y a, pratiquement, rien d'écrit au sujet de la résistance à la compression du Cobalt. Nous avons déterminé la limite d'élasticité à la compression du nickel pur dans des conditions identiques à celles dans lesquelles nous avons fait les déterminations ci-dessus pour le cobalt, et nous l'avons fixé à 200,00 livres au pouce carré. Il s'agissait ici d'un échantillon, moulé à une température voisine du point de fusion, refroidi dans un moule en fer, et essayé non recuit. Le nickel avait donné, à l'analyse, les résultats suivants:—

	%
Ni.....	99.29
Fe.....	0.48
Co.....	aucun
S.....	0.025
Si.....	0.042
Ca.....	aucun
C.....	aucun

Conclusions.

Cobalt pur.

I. La résistance à la compression du cobalt pur, moulé et non recuit, est d'environ 122,000 livres au pouce carré. Ceci est la moyenne de cinq déterminations avec du cobalt, moulé à une température voisine du point de fusion, refroidi dans un moule en fer, et façonné au tour en barres d'essai.

II. L'effet de la recuite sur la résistance à la compression du cobalt pur moulé n'est pas très sensible, la moyenne de cinq déterminations de la résistance à la compression du cobalt fondu et recuit est de 117,200 livres au pouce carré. La recuite semble avoir pour effet de réduire la force de compression.

III. La limite d'élasticité à la compression du cobalt est de 56,100 livres au pouce carré, pour les échantillons recuits, comparé à 42,200 livres au pouce carré pour les échantillons non recuits. Ainsi, la limite d'élasticité semble augmenter par la recuite.

IV. La limite d'élasticité à la compression du cobalt pur, moulé à une température voisine du point de fusion, refroidi dans un moule en

fer et façonné au tour en barreaux d'essai, est considérablement plus élevé que celui du fer pur ou du nickel préparé et essayé dans les mêmes conditions.

"Cobalt commercial."

V. L'addition de carbone a pour effet d'augmenter la résistance à la rupture compression du cobalt, dont le coefficient va bien au-dessus de 175,000 livres au pouce carré, par l'addition de 0.060 à 0.30 pour cent de carbone. Ces coefficients s'appliquent au cobalt, moulé à une température voisine du point de fusion, refroidi dans un moule en fer, façonné au tour, et essayé non recuit. L'augmentation de la résistance à la compression peut n'être pas due tout entière à la présence du carbone, car ces expériences ont été faites avec du "cobalt commercial."

VI. Le carbone et autres impuretés dans le "cobalt commercial" ne semblent pas influencer beaucoup la limite d'élasticité au cours de nos observations, quoique, une moyenne de 0.060 à 0.30 pour cent de carbone, avec les autres impuretés présentes, tende à abaisser de 5 à 10 pour cent la d'élasticité du cobalt, recuit et non recuit.

VII. La recuite du "cobalt commercial" a pour effet de diminuer sa résistance à la compression, nos valeurs étant, en moyenne, de 140,000 livres au pouce carré pour les échantillons recuits, comparé à 183,000 livres au pouce carré pour les échantillons non recuits.

VIII. La limite d'élasticité à la compression du "cobalt commercial" est, de même que celle du cobalt pur, légèrement augmentée par la recuite; nos valeurs étant, en moyenne, de 39,000 livres au pouce carré pour les échantillons non recuits, comparé à 53,000 livres au pouce carré pour les échantillons recuits.

FAÇONNAGE, LAMINAGE, ÉTAMPAGE, DU COBALT MÉTALLIQUE.

Propriétés "au tour".

Le cobalt métallique pur se travaille facilement au tour, quoiqu'il soit un peu cassant, et il donne une tournure courte. L'addition de faibles quantités de carbone rend le cobalt moins cassant, et il donne au tour une tournure plus longue en spirale.

Étampage du cobalt.

Le cobalt extrêmement pur, moulé dans un moule en fer ou en sable, refroidi lentement ou rapidement, ne peut s'étamper directement en fil fin, sans chaleur et traitement spécial mécanique.

D'autre part, le "cobalt commercial" avec ses faibles pourcentages de carbone, décrits dans cette étude peut se marteler facilement à partir de de barreaux moulés en fils de n'importe quel diamètre requis.

Machines à étamper.

Pour nos expériences sur l'étampage du cobalt, nous nous sommes servis de la machine à étamper Dayton, n° 3, que manufacture la Compagnie Excelsior Needle, de Torrington, Conn. La planche III en donne le dessin.

Dans cette machine, le métal n'est pas étiré, comme dans les filières, mais il est plutôt martelé en étant placé à l'intérieur d'une paire de matrices, ajustées dans une encuche à l'avant d'un mandrin tournant, à l'extérieur duquel se trouve une crémaillère cylindrique contenant un nombre de

rouleaux en acier durci. Ainsi, les matrices tournent rapidement autour de la substance, qu'elles martèlent en passant entre les paires de rouleaux placés de chaque côté d'elle.

Avec cette machine, il est relativement facile d'étamper l'acier dur en fils fins. L'acier s'étampe à chaud ou à froid. Quand toutefois, une barre de cobalt pur, que l'on avait passée au tour pour lui donner une surface polie, fut placée dans la machine à étamper, à froid, elle se fendit sur toute sa longueur, et se brisa à plusieurs endroits. Ce qui arriva plusieurs fois avec différentes barres du métal, et chaque fois de la même manière, montrant que le métal ne pouvait s'étamper à froid.

Il devint évident que le cobalt pur doit être soumis à quelque traitement à chaud avant de pouvoir s'étamper. Alors, nous avons recuit une barre, à partir de 700°C., en la chauffant lentement à cette température dans un four à moufle, au gaz, l'y maintenant pendant quelque temps, puis la laissant refroidir avec le four, pendant plusieurs heures. On la chauffa ensuite à des températures différentes avant de la mettre dans la machine à étamper, et on a obtenu les résultats suivants.

A 900°C., le métal s'émietta dans la machine comme s'il eût été extrêmement cassant à chaud, quoique son contenu de soufre ne fût que de 0.018 et 0.020 pour cent.

De 700°C. à 800°C., il se fendit encore, et se brisa presque totalement dans la machine.

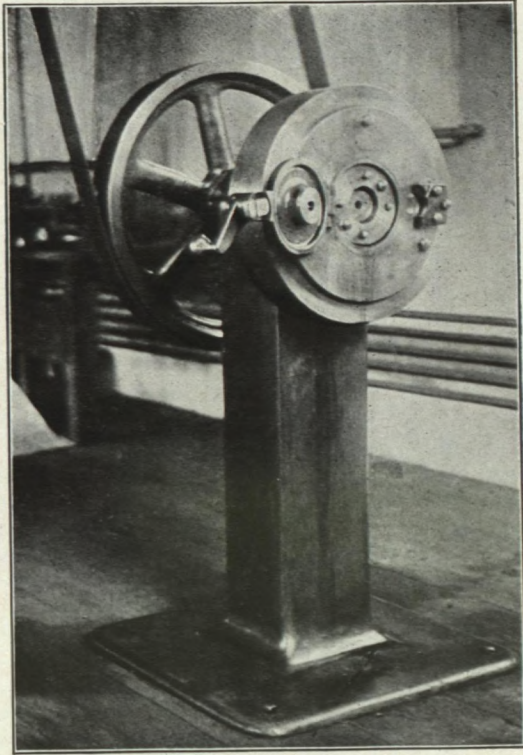
De 500°C à 600°C., cependant, l'on put passer la barre entre une ou deux étampes sans fracture visible. On ne put aller plus loin, quoique la barre fût recuite après chaque opération, et que les réductions du diamètre, sur une barre de $\frac{3}{8}$, ne fussent que de 0.002 à 0.003 pouce, à chaque opération. A des températures inférieures à celles-là, le métal se fend davantage, et, par conséquent, il est clair qu'il faut soumettre le métal à un traitement spécial qui le rende plus ductile, avant de pouvoir le réduire en fil.

Le cobalt, comme le fer et certains autres métaux, absorbe des quantités considérables de gaz, lorsqu'il est à l'état de fusion; et comme, dans le métal, ils exerceront tout probablement une influence nuisible sur sa ductilité, l'on a essayé de le débarrasser de ces gaz qu'il a peut-être dissous et qui se retrouvent dans la barre solide. Dans ce but, une barre, qui avait été moulée dans un moule en fer, fut chauffée lentement, dans un vacuum suffisant, à une température d'environ 700°C, pendant plusieurs heures, après lesquelles on laissait la barre se refroidir lentement avec le four. On prétend avoir rendu le tungstène plus ductile par ce procédé; mais lorsqu'on a essayé l'étampage d'une barre de cobalt, qui avait été soumis à ce traitement, on a constaté peu ou point de changement dans sa ductilité.

La méthode qui, en fin de compte, a donné les meilleurs résultats, consistait à refroidir lentement la barre à partir de 1100°C à 1150°C, sous une forte pression. On a procédé comme suit. On a placé la barre dans un moule en fer, maintenu rigidement par des presses à vis, et on a chauffé le tout à la température indiquée plus haut. Le moule, avec la barre, est alors retiré du four, et on refroidit l'extérieur du moule tandis que l'intérieur reste chaud. La contraction, qui résulte du refroidissement de la partie extérieure, produit une pression considérable sur la barre chaude du métal à l'intérieur. La solidification, sous cette pression, durait trois ou quatre heures, après quoi le métal pouvait s'étamper très facilement au rouge sombre.

Le procédé de l'étampage consistait à faire passer le métal, chauffé au rouge sombre, entre des matrices successives qui le martèlent jusqu'à ce qu'on obtienne un fil du diamètre voulu. Cependant, il fallait contrôler la température de la barre, durant son passage entre les matrices, puisque

PLANCHE III.



Machine à étamper.

le métal ne s'étampe pas du tout à froid, et à chaud seulement entre 500°C et 600°C. En contrôlant ainsi la température, et en introduisant la barre lentement, on a pu obtenir des fils, bons, lisses et uniformes.

Conclusions.

(1). Le cobalt pur peut se façonner au tour aussi facilement que le nickel pur ou le fer pur, bien qu'il soit un peu cassant, et il donne une tournure courte.

(2). Le "cobalt commercial," qui contient de faibles pourcentages de carbone, se travaille très facilement, comme l'acier mou.

(3). Le cobalt fondu, extrêmement pur, ne se lamine ni ne s'étampe sans se fendre, à moins de subir un traitement spécial de chaleur mécanique.

(4). Le cobalt fondu, extrêmement pur, peut se laminier et s'étamper indéfiniment en refroidissant le moulage sous des pressions extrêmes, en le faisant passer ensuite par les rouleaux ou les étampes à des températures entre 500°C., et 600°C en ayant soin de ne réduire la barre que légèrement à chaque opération.

(5). Le "Cobalt commercial," qui contient de faibles pourcentages de carbone, peut se laminier et s'étamper indéfiniment, si l'on emploie des barres moulés et pourvu que le métal soit travaillé au rouge.

MESURE DE LA RÉSISTANCE ÉLECTRIQUE.

La méthode du potentiomètre pour la détermination électrique, qui est, en réalité, la mesure de l'abaissement du potentiel le long d'un fil de longueur connue, lorsqu'il est traversé par un courant défini, est celle dont nous nous sommes servis pour nos expériences sur le cobalt pur et le "commercial."

Les échantillons que nous avons employés ont été moulés à une température voisine du point de fusion, refroidis dans un moule en fer, et ensuite étampés en fils de diamètre donné, selon la méthode décrite sous la rubrique: "Étampage du cobalt pur," page 37.

Nous donnerons, dans chaque cas, les analyses des échantillons, avec les résultats tabulaires de nos déterminations.

Description de l'appareil.

La fig. 7 est un croquis des circuits électriques tels que nous les avons disposés, dans la méthode du potentiomètre, pour mesurer la résistance électrique du cobalt.

W est une batterie secondaire, de deux volts, qui envoie un courant à travers le circuit **WRDAMCBW**, allant dans la direction de **R** à **B**. Ce circuit s'appelle le circuit du potentiomètre.—**AC** est une série de quinze bobines de cinq ohms de résistance chacune, et **CB** est un fil coulant, de cinq ohms, formé de plusieurs tours de fil constantin, enroulés autour d'un cylindre en marbre. **STD** est une pile-étalon au cadmium, force électromotrice de 1.0189 volts, qui porte la garantie du Bureau des types des États-Unis. La pile-étalon est reliée, d'un point **X** parmi les bobines **AC**, au commutateur **T**, qui est placé à un tel point de la résistance **DTA**, que la force électromotrice entre **T** et **X**, due à la batterie **W**, est tout-à-fait égale à celle de la pile-étalon.

Cette condition d'équilibre est déterminée par le galvanomètre **G**, qui est mis dans le circuit de la pile-étalon en renversant le commutateur **U** dans la position des lignes pointées. L'on ajuste la résistance **R** jusqu'à ce que le galvanomètre ne marque aucune déviation, ce qui signifierait l'équilibre ci-dessus mentionné.

Les bobines de résistance, de **A** à **C**, sont une série de bobines de 5 ohms chacune, et le point **X** est placé de façon à ce que dix des bobines soient comprises entre **A** et **X**. **ATD** est une résistance étalon telle que qu'il y a entre **A** et **T** exactement 0.945 ohms. Quand l'équilibre fut établi, il passa, donc, dans le circuit du potentiomètre, un courant $i = \frac{1 \cdot 0 \cdot 89}{50 \cdot 945} = \frac{1}{50}$ ampères. L'ajustage est fait de telle façon, que pour un tel courant dans le circuit du potentiomètre, l'abaissement de potentiel entre deux bobines adjacentes le long de **AC** est exactement $\frac{1}{5}$ d'un volt.

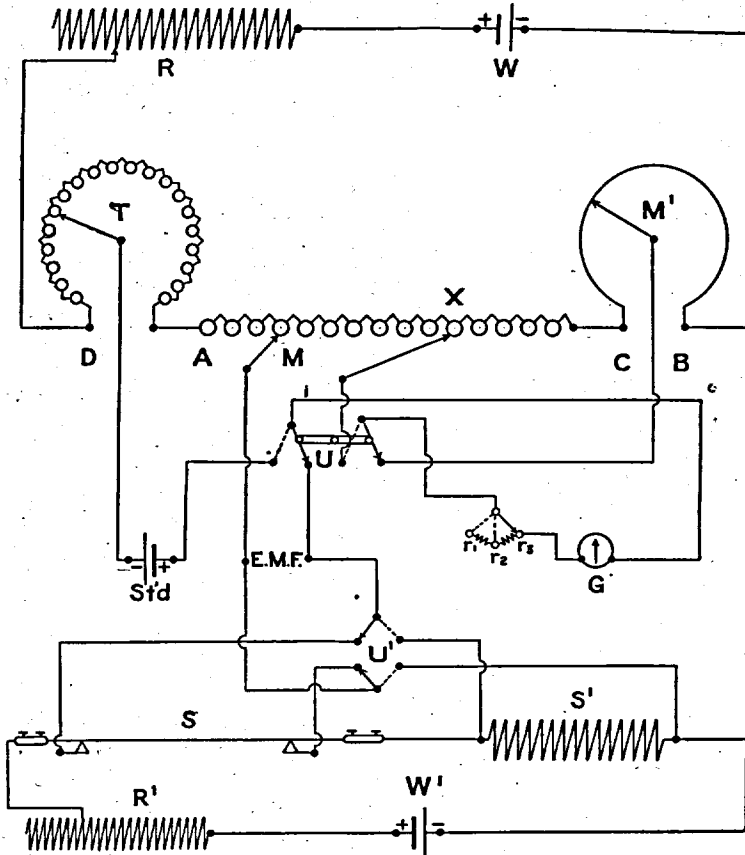
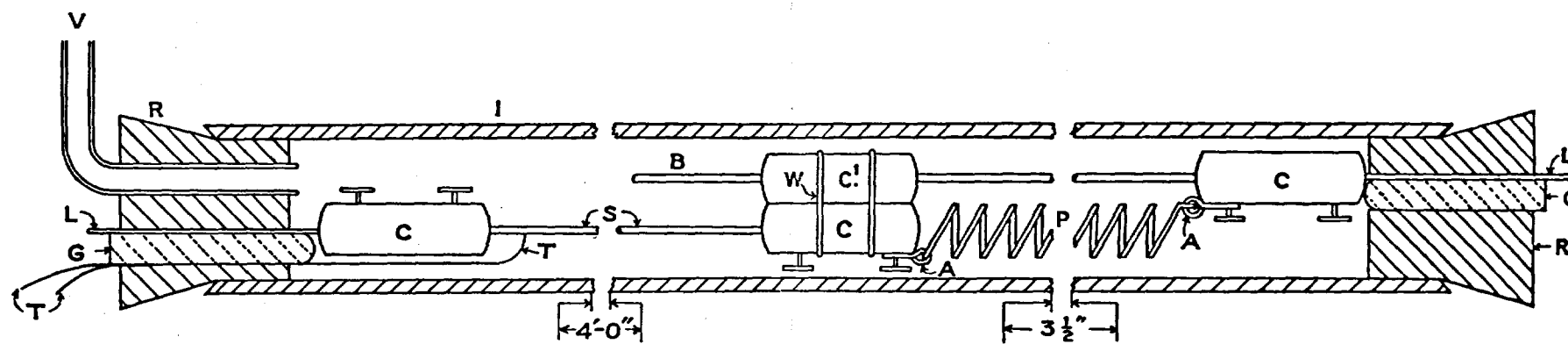


Fig. 7.—Disposition des circuits pour mesurer la résistance électrique.

- W et W¹ = Batteries secondaires de 2 volts et de 4 volts respectivement.
- R et R¹ = Rhéostats réglables.
- U et U¹ = Commutateurs à deux directions.
- G = Galvanomètre.
- R et R¹ = Faibles résistances pour protéger le galvanomètre en faisant les ajustages.
- Std. = Pile-étalon, e.m.f. = 1.0189 volts.
- S = Fil éprouvé.
- S¹ = Résistance étalon de 0.1 ohms, correcte à 1/25 de un pour cent, et sans coefficient de température.

Le commutateur, en usage, est maintenant placé de façon à relier une force électromotrice (E. M. F. dans le diagramme) à travers le galvanomètre, et de telle manière que le courant de cette source nouvelle coule dans la même direction que celui de la pile-étalon. Le contact de glissement M¹ est amené à l'extrémité zéro du fil glissant, et le contact mobile M est



- A - Anneaux isolants d'amiante.
- B - Barre de contact.
- C - Serre-fils à deux vis.
- C' - Serre-fils à deux vis, sans les vis à rappel.
- G - Bouchons de verre.
- I - Tube en fer.
- L - Connexions avec la force électrique.
- P - Manchon élastique en acier.
- R - Bouchon en caoutchouc.
- S - Echantillon à recuire.
- T - Couple Thermo-électrique.
- V - Communication avec la machine à vide.
- W - Fil de fer.

Fig. 8. Four à recuire (grandeur naturelle): section longitudinale, prise verticalement, par le centre.

déplacé de **C** en **A**, graduellement, jusqu'à ce que la déviation du galvanomètre soit dans une direction inverse. On laisse **M** au point où une déviation du galvanomètre est dans la même direction que lorsque **M** était à **C**. Alors le contact **M** est amené le long du fil mobile jusqu'à ce que la déviation du galvanomètre soit zéro.

La lecture du point de contact **M** donne la mesure de la force électromotrice en dixièmes d'un volt, et celle de **M**¹, de centièmes à cent millièmes d'un volt. Ainsi, on peut obtenir une mesure très exacte de la force électromotrice inconnue, en termes d'un étalon connu.

Le force électromotrice inconnue, dans ces expériences, n'est pas une pile, mais l'abaissement du potentiel le long de **S**.—**S** est une longueur donnée de fil de cobalt, dont on veut mesurer la résistance, à travers lequel passe un courant faible de la batterie **W**¹ arrangée comme dans le diagramme. Dans ce dernier circuit **W**¹ **S**, se trouve aussi reliée une résistance étalon **S**¹ de 0.1 ohms. En rejetant le commutateur **U**¹ dans la position de la ligne pointée, on pouvait mesurer l'abaissement du potentiel en **S**¹. Connaissant l'abaissement du potentiel le long de **S** et aussi le long de **S**¹, quand le même courant passe dans chacun d'eux, on détermine les résistances d'après l'équation suivante:—

$$\frac{\text{Résistance inconnue } S}{\text{Résistance connue } S^1} = \frac{\text{Abaissement du potentiel le long de } S}{\text{Abaissement du potentiel le long de } S^1}$$

Méthode de computation.

La distance **S** entre deux lames de couteau, qui formaient les points de contact entre lesquels la force électromotrice était déterminée, fut mesurée avec soin en dixièmes de millimètre. Le diamètre moyen du fil fut mesuré en millièmes de millimètre, et de ces données on calcula que la résistance spécifique du fil en ohms par centimètre cube était:—

$$R = \mu \frac{l}{A} \quad \text{ou} \quad \mu = \frac{RA}{l}$$

- où **R** = Résistance totale de **S** en ohms.
l = Longueur de **S** en centimètres.
A = Section moyenne de **S** en centimètres carrés.
μ = Résistance spécifique en ohms par centimètre cube.

Après cette détermination, on coupe le fil de la longueur exacte de **S**, on le pèse soigneusement à un milligramme près, et on détermine la densité du fil par le principe d'Archimède. De ces données, on a calculé, comme suit, la résistance du fil en ohms par gramme-mètre:—

$$R = \mu \frac{l}{A}$$

$$D = \frac{M}{V} = \frac{M}{Al}, \quad \text{où } A = \frac{M}{Dl}$$

d'où nous déduisons—

$$R = D\mu \frac{l^2}{M} = \frac{kl^2}{M}, \quad \text{où } k = \frac{Rm}{l^2}, \quad \text{où,}$$

- R** = Résistance de **S** en ohms.
M = Masse de **S** en grammes.
D = Densité de **S**.
k = Résistance spécifique de **S** en ohms par gramme-mètre.
V = Volume de **S** en centimètre cubes.

Pour comparer k et μ , il faut remarquer que k est égal à multiplié par 10^4 fois la densité du fil.

Nous donnons plus bas un tableau des valeurs obtenues par ce procédé de détermination, soit en ohms par centimètre cube, soit en ohms par mètre-gramme, ainsi que les analyses des échantillons. Chacune des valeurs de k a été déduite directement de la longueur du fil en mètres et de la masse du fil en grammes.

Recuite des fils.

Nous avons étudié l'effet de la recuite sur la conductibilité du cobalt pur et "commercial." Dans ce but, le recuit s'est effectué de deux manières:

(1). En passant un courant électrique approprié à travers le fil, dans le vide.

(2). En le chauffant dans un four électrique, dans une atmosphère de CO_2 .

Le four de recuit employé pour chauffer dans le vide était un tube en verre cylindrique, d'environ 4 pieds de longueur et de deux pouces de diamètre, fermé à ses extrémités, par des bouchons en caoutchouc. Des fils de cuivre se prolongeaient aux extrémités et une connexion avec une machine pneumatique. La détente du fil de cobalt, produite par la chaleur, était marquée par un ressort en spirale, visible dans la fig. 8. La température approximative était mesurée à l'aide d'un couple thermo-électrique placé à l'extrémité du fil de recuit.

Le four employé au recuit dans une atmosphère de CO_2 était un tube en fer d'environ 4 pieds de longueur et de 2 pouces de diamètre, enroulé de fil nichrome convenable et isolé. Les extrémités, scellées par des bouchons en caoutchouc, étaient maintenues froides par l'eau, et offraient une entrée et une sortie convenables pour le gaz.

Dans les tableaux suivants, qui contiennent les résultats de ces déterminations de la résistance, nous donnons, dans la colonne des remarques, par quel procédé, "Four à Vide" ou "Atmosphère de gaz carbonique" la recuite s'est faite.

Résistance électrique du "Cobalt Commercial."

Tous les échantillons contenus dans ce tableau de déterminations ont été moulés à une température voisine du point de fusion, refroidis dans un moule en fer, et façonnés au tour en une barre d'environ un centimètre de diamètre. Ils étaient alors passés par la machine à étamer, après chaleur spéciale et traitement mécanique, tels que décrits à la page 29, et étampés en fils du diamètre voulu. Ils ne furent ni recuits ni soumis à aucun autre traitement par la chaleur, après l'étampage.

Non recuit.

N° de l'échantillon.	Date.	Température du fil, en degrés centigrades.	Longueur du fil, en centimètres.	Section moyenne du fil, en centimètres carrés.	Poids du fil, en grammes.	Analyse.	Résistance, en ohms, par centimètre cube	Résistance, en ohms, par mètre-gramme.
H 192	Nov. 7,	21.2	83.25	0.005568	3.9881	Co 99.63 Ni aucun Fe 0.60 S 0.023 C 0.090 Si trace Ca trace	229.6×10^{-7}	1.977
H 192	Nov. 7, 1913.	21.0	50.20	0.005568	2.4051	Co 99.63 Ni aucun Fe 0.60 S 0.023 C 0.090 Si trace Ca trace	231.2×10^{-7}	1.992

Non recuit (suite).

N° de l'échantillon.	Date.	Température du fil, en degrés centigrades.	Longueur du fil, en centimètres.	Section moyenne du fil, en centimètres carrés.	Poids du fil, en grammes.	Analyse.	Résistance, en ohms, par centimètre cube.	Résistance, en ohms, par mètre-gramme.
H 192	Nov. 7, 1913.	21.8	50.20	0.005568	2.4051	Co 99.63 Ni aucun Fe 0.60 S 0.023 C 0.090 Si trace Ca trace	231.5x10 ⁻⁷	1.993
H 193	Nov. 8,	21.9	75.07	0.01885	12.3871	Co 92.36 Ni 2.73 Fe 4.49 S 0.018 C aucun	144.4x10 ⁻⁷	1.271
H 193	Nov. 8, 1913.	22.0	51.67	0.01885	8.526	Co 92.36 Ni 2.73 Fe 4.49 S 0.018 C aucun	144.5x10 ⁻⁷	1.271
H 214	Avril 3, 1914.	22.5	74.95	0.006374	4.304	Co 98.71 Ni aucun Fe 1.15 S 0.14 C aucun P 0.012 O 0.039 F 0.010	105.8x10 ⁻⁷	0.9530
H 214	Avril 3, 1914.	22.5	74.95	0.006374	4.304	Co 98.71 Ni aucun Fe 1.15 S 0.14 C aucun P 0.012 O 0.039 F 0.010	105.8x10 ⁻⁷	0.9530
H 214	Avril 3, 1914.	22.0	52.64	0.006419	3.023	Co 98.71 Ni aucun Fe 1.15 S 0.14 C aucun P 0.012 O 0.039 F 0.010	105.1x10 ⁻⁷	0.9545
H 214	Avril 3, 1914.	22.0	52.64	0.006319	3.023	Co 98.71 Ni aucun Fe 1.15 S 0.14 C aucun P 0.012 O 0.039 F 0.010	104.8x10 ⁻⁷	0.9524
H 214	Avril 6, 1914.	16.0	82.56	0.006319	4.723	Co 98.71 Ni aucun Fe 1.15 S 0.14 C aucun P 0.012 O 0.039 F 0.010	104.2x10 ⁻⁷	0.9431
H 214	Avril 6, 1914.	15.5	82.56	0.006319	4.723	Co 98.71 Ni aucun Fe 1.15 S 0.14 C aucun P 0.012 O 0.039 F 0.010	103.8x10 ⁻⁷	0.9403

Non recuit (suite).

N° de l'échantillon.	Date	Température du fil, en degrés centigrades.	Longueur du fil, en centimètres.	Section moyenne du fil, en centimètres carrés.	Poids du fil, en grammes.	Analyse.	Résistance, en ohm, par centimètre cube.	Résistance, en ohms, par mètre-gramme.
H 214	Avril 7, 1914	18-0	59-95	0-006305	3-429	Co 98-71 Ni aucun Fe 1-15 Si 0-14 Ca aucun S 0-012 C 0-039 P 0-010	104-7x10 ⁻⁷	0-9502
H 214	Avril 7, 1914	18-0	59-95	0-006305	3-429	Co 98-71 Ni aucun Fe 1-15 Si 0-14 Ca aucun S 0-012 C 0-039 P 0-010	104-7x10 ⁻⁷	0-9502

Recuit.

Tous les échantillons, dans ce tableau, ont été recuits aux températures indiquées dans la dernière colonne.

N° de l'échantillon.	Date.	Température de fil, en degrés centi.	Long. du fil, en ohms.	Section moyenne du fil, en centimètres carrés.	Poids du fil, en gram.	Analyse.	Résistance en ohms, par centimètre cube.	Résistance en ohms, par mètre-gram.	Remarques.
H 214	Avr. 11, 1914.	13-0	74-65	0-006333	4-260	Co 98-71 Ni aucun Fe 1-15 Si 0-14 Ca aucun S 0-012 C 0-039 P 0-010	91-76x10 ⁻⁷	0-8286	Recuit à 350°C, pendant environ 5 heures, en passant un courant à travers le fil. Four à vide.
H 214	Avr. 11, 1914.	13-0	47-50	0-006376	2-713	Co 98-71 Ni aucun Fe 1-15 Si 0-14 Ca aucun S 0-012 C 0-039 P 0-010	91-49x10 ⁻⁷	0-8205	Recuit à 350°C, pendant environ 5 heures, en passant un courant à travers le fil. Four à vide.
H 214 ¹	Avr. 21, 1914.	21-5	83-69	0-006461	4-845	Co 98-71 Ni aucun Fe 1-15 Si 0-14 Ca aucun S 0-012 C 0-039 P 0-010	104-1x10 ⁻⁷	0-9325	Recuit à 200°C, pendant environ 5 heures dans un four, atmosphère CO ₂ .
H 214 ¹	Avr. 21, 1914.	21-5	49-97	0-006461	2-888	Co 98-71 Ni aucun Fe 1-15 Si 0-14 Ca aucun S 0-012 C 0-039 P 0-010	103-7x10 ⁻⁷	0-9264	Recuit à 200°C, pendant environ 5 heures, dans un four, atmosphère CO ₂ .

Les échantillons H 214, Avril 21-23, sont tous le même fil, recuit et non Recuit.

Recuit (suite).

N° de l'échantillon.	Date.	Température du fil, en degrés centi-	Long. du fil, en ohms.	Section moyenne du fil, en centimètres carrés.	Poids du fil, en gram.	Analyse.	Résistance en ohms, par centimètre cube.	Résistance en ohms, par mètre-gram.	Remarques.
H 214 ¹	Avr. 22, 1914.	19.2	82.80	0.006447	4.799	Co 98.71 Ni aucun Fe 0.15 Si 0.14 Ca aucun S 0.012 C 0.039 P 0.010	102.6x10 ⁻⁷	0.9225	Recuit à 300°C, pendant 2 heures, dans un four, atmosphère CO ₂ .
H 214 ¹	Avr. 22, 1914.	19.2	45.86	0.006447	2.657	Co 98.71 Ni aucun Fe 0.15 Si 0.14 Ca aucun S 0.012 C 0.039 P 0.010	102.9x10 ⁻⁷	0.9248	Recuit à 300°C, pendant 2 heures dans un four, atmosphère CO ₂ .
H 214 ¹	Avr. 23, 1914.	19.0	82.40	0.006390		Co 98.71 Ni aucun Fe 1.15 Si 0.14 Ca aucun S 0.012 C 0.039 P 0.010	100.7x10 ⁻⁷	0.9090	Recuit à 400°C, pendant 2 heures, dans un four, atmosphère CO ₂ .
H 214 ¹	Avr. 23, 1914.	19.0	54.94	0.006404		Co 98.711 Ni aucun Fe 1.15 Si 0.14 Ca aucun S 0.012 C 0.039 P 0.010	100.2x10 ⁻⁷	0.9019	Recuit à 400°C, pendant 2 heures, dans un four, atmosphère CO ₂ .
H 214	Avr. 24, 1914.	18.5	78.11	0.006291	4.478	Co 98.71 Ni aucun Fe 1.15 Si 0.14 Ca aucun S 0.012 C 0.039 P 0.010	98.42x10 ⁻⁷	0.8969	Recuit à 500°C, pendant 2 heures, au four, atmosphère CO ₂ .
H 214	Avr. 24, 1914.	18.5	56.35	0.006291	3.230	Co 98.71 Ni aucun Fe 1.15 Fe 1.15 Ca aucun S 0.012 C 0.039 P 0.010	98.14x10 ⁻⁷	0.8941	Recuit à 500°C, pendant 2 heures au four, atmosphère de CO ₂ .
H 214 ²	Avr. 25, 1914.	19.3	81.65	0.006319	4.664	Co 98.71 Ni aucun Fe 1.15 Ca aucun S 0.012 C 0.039 P 0.010	93.63x10 ⁻⁷	0.8437	Recuit à 600°C, pendant 2 heures, au four, atmosphère de CO ₂ .
H ¹ 214	Avr. 25, 1914.	19.3	57.50	0.006319	3.285	Co 98.71 Ni aucun Fe 1.15 Si 0.14 Ca aucun S 0.012 C 0.039 P 0.010	93.63x10 ⁻⁷	0.8466	Recuit à 600°C, pendant 2 heures, au four, atmosphère de CO ₂ .

¹ Les échantillons H 214, avril 21-23, sont tous le même fil, recuit et non recuit.

² Notez la chute de la résistance entre 500°C et 600°C.

Recuit (suite).

No de l'échantillon.	Date.	Température du fil, en degrés centi.	Long. du fil, en ohms.	Section moyenne du fil, en centimètres carrés.	Poids du fil, en gram.	Analyse.	Résistance en ohms, par centimètre cube.	Résistance en ohms, par mètre-gram.	Remarques.
H 214	Avr. 27, 1914.	15.6	65.67	0.006291	3.801	Co 98.71 Ni aucun Fe 1.15 Si 0.14 Ca aucun S 0.012 C 0.039 P 0.010	91.44x10 ⁻⁷	0.8285	Recuit à 700°C. pendant 1 heure, au four, atmosphère de CO ₂ .
H 214	Avr. 27, 1914.	15.8	51.01	0.006291	2.907	Vo 98.71 Ni aucun Fe 1.15 Si 0.14 Ca aucun S 0.012 C 0.039 P 0.010	90.90x10 ⁻⁷	0.8232	Recuit à 700°C. pendant 1 heure, au four, atmosphère de CO ₂ .
H 214	Avr. 28, 1914.	18.4	53.55	0.006263	3.046	Co 98.71 Ni aucun Fe 1.15 Si 0.14 Ca aucun S 0.012 C 0.039 P 0.010	90.35x10 ⁻⁷	0.8204	Recuit à 800°C. pendant 1 heure, au four, atmosphère de CO ₂ .

Résistance électrique du Cobalt pur.

Tous les échantillons contenus dans ce tableau de déterminations ont été moulés à une température voisine du point de fusion, refroidis dans un moule en fer, et façonnés au tour, en une barre d'environ un centimètre de diamètre. Ils étaient alors passés par la machine à étamper, après chaleur spéciale et traitement mécanique, tels que décrits à la page 29, et étampés en fils de diamètre voulu. Ils ne furent ni recuits ni soumis à aucun autre traitement par la chaleur après l'étampage.

Non recuit.

No de l'échantillon.	Date	Température en degrés centigrades.	Longueur du fil.	Section moyenne, en centimètres carrés.	Poids en grammes.	Analyse.	Résistance en ohms, par centimètre cube	Résistance en ohms, par mètre gramme.
H 212	Jan. 22, 1914.	17°C.	92.81	0.005890	4.863	Co 99.9 Ni aucun Fe 0.20 S 0.017 C aucun Si aucun Ca aucun	87.27x10 ⁻⁷	0.7766
H 212	Jan. 22, 1914.	17	92.81	0.005890	4.863	Co 99.9 Ni aucun Fe 0.20 S 0.017 C aucun Si aucun Ca aucun	88.04x10 ⁻⁷	0.7834
H 212	Jan. 22, 1914.	17	50.23	0.005890	2.631	Co 99.9 Ni aucun Fe 0.20 S 0.017 C aucun Si aucun Ca aucun	88.08x10 ⁻⁷	0.7837

Non Recuit (suite).

N° de l'échantillon.	Date.	Température en degrés centigrades.	Longueur du fil.	Section moyenne, en centimètres carrés.	Poids en grammes.	Analyse. mètre cube.	Résistance en ohms, par centi-	Résistance en ohms, par mètre gramme.
H 212	Jan. 22, 1914.	17	50-23.	0-005890	2-631	Co 99-9 Ni aucun Fe 0-20 S 0-017 C aucun Si aucun Ca aucun	88-22x10 ⁻⁷	0-7840
H 212b	Jan. 22, 1914.	14	79-41	0-005822	4-113	Co 99-9 Ni aucun Fe 0-20 S 0-017 C aucun Si aucun Ca aucun	86-66x10 ⁻⁷	0-7713
H 212b	Jan. 22, 1914.	14	79-41	0-005822	4-113	Co 99-9 Ni aucun Fe 0-20 S 0-017 C aucun Si aucun Ca aucun	86-80x10 ⁻⁷	0-7727
H 212b	Jan. 22, 1914.	14	48-98	0-005822	2-538	Co 99-9 Ni aucun Fe 0-20 S 0-017 C aucun Si aucun Ca aucun	85-80x10 ⁻⁷	0-7637
H 212b	Jan. 22, 1914.	14	48-98	0-005822	2-538	Co 99-9 Ni aucun Fe 0-20 S 0-017 C aucun Si aucun Ca aucun	85-55x10 ⁻⁷	0-7616
H 215	Avril 2, 1914.	22	95-38	0-006547	5-432	Co 99-6 Ni aucun Fe 0-19 S 0-012 C aucun Si 0-084 Ca aucun P 0-0066	89-17x10 ⁻⁷	0-7756
H 215	Avril 4, 1914.	22	95-38	0-006547	5-432	Co 96-6 Ni aucun Fe 0-19 S 0-012 C aucun Si 0-084 Ca aucun P 0-0066	89-98x10 ⁻⁷	0-7826
H 215	Avril 4, 1914.	23-0	95-38	0-006547	5-432	Co 99-6 Ni aucun Fe 0-19 S 0-012 C aucun Si 0-084 Ca aucun P 0-0066	89-98x10 ⁻⁷	0-7826
H 215	Avril 4, 1914.	23-0	95-38	0-006547	5-432	Co 99-6 Ni aucun Fe 0-19 S 0-012 C aucun Si 0-084 Ca aucun P 0-0066	90-26x10 ⁻⁷	0-7852

Recuit.

Les barres suivantes ont été recuites aux températures indiquées dans la dernière colonne.

N° de l'échantillon.	Date.	Température du fil, en degrés centi.	Long., en fil, en ohms.	Section moyenne du fil, en centimètres carrés.	Poids du fil, en gram.	Analyse.	Résistance en ohms, par centimètre cube.	Résistance en ohms, par mètre-gram.	Remarques.
H 215	Avr. 13, 1914.	17-7	85-21	0-006475	4-834	Co 99-6 Ni aucun Fe 0-19 S 0-012 C aucun Si 0-084 Ca aucun P 0-0066	85-03x10 ⁻⁷	0-7449	Recuit à 350°C. pendant environ 5 heures, en passant un courant par le fil, dans le vide.
H 215	Avr. 13, 1914.	17-7	85-21	0-006475	4-834	Co 99-6 Ni aucun Fe 0-19 S 0-012 C aucun Si 0-084 Ca aucun P 0-0066	85-18x10 ⁻⁷	0-7463	Recuit à 350°C. pendant environ 5 heures, en passant un courant à travers le fil dans le vide.
H 215	Avr. 13, 1914.	17-7	50-2	0-006475	2-848	Co 99-6 Ni aucun Fe 0-19 S 0-012 C aucun Si 0-084 Ca aucun P 0-0066	84-92x10 ⁻⁷	0-7244	Recuit à 350°C. pendant environ 5 heures, en passant un courant à travers le fil dans le vide.
H 215	Avr. 21, 1914.	19-0	74-44	0-006151	4-224	Co 99-6 Ni aucun Fe 0-19 S 0-012 C aucun Si 0-084 Ca aucun P 0-0066	97-42x10 ⁻⁷	0-8988	Recuit à 400°C. pendant environ 2 heures dans le four, atmosphère de CO ₂ .
H 215	Avr. 13, 1914.	17-7	50-2	0-006475	2-848	Co 99-6 Ni aucun Fe 0-19 S 0-012 C aucun Si 0-084 Ca aucun P 0-0066	85-04x10 ⁻⁷	0-7436	Recuit à 350°C. pendant environ 5 heures, en passant un courant à travers le fil dans le vide.
H 215	Avr. 21, 1914.	18-8	39-89	0-006221	2-264	Co 99-6 Ni aucun Fe 0-19 S 0-012 C aucun Si 0-084 Ca aucun P 0-0066	97-94x10 ⁻⁷	0-8938	Recuit à 400°C pendant 2 heures au four, atmosphère de CO ₂ .
H 215	Avr. 22, 1914.	21-2	73-99	0-006249	4-162	Co 99-6 Ni aucun Fe 0-19 S 0-012 C aucun Si 0-084 Ca aucun P 0-0066	101-0x10 ⁻⁷	0-9108	Recuit à 500°C. pendant 1½ heures, dans le four, atmosphère de CO ₂ .
H 215	Avr. 22, 1914.	21-2	49-41	0-006249	2-779	Co 99-6 Ni aucun Fe 0-19 S 0-012 C aucun Si 0-084 Ca aucun P 0-0066	101-1x10 ⁻⁷	0-9176	Recuit à 500°C. pendant 1 heure et demi, atmosphère de CO ₂ .

Recuit (suite).

N° de l'échantillon.	Date.	Température du fil, en degrés centi.	Long. du fil, en ohms.	Section moyenne du fil, en centimètres carrés.	Poids du fil, en gram.	Analyse.	Résistance en ohms, par centimètre cube.	Résistance en ohms, par mètre-gram.	Remarques.
H 215*	Avr. 23, 1914.	15-4	72-75	0-006249	4-080	Co 99-6 Ni aucun Fe 0-19 S 0-012 C aucun Si 0-084 Ca aucun P 0-0066	93-54x10 ⁻⁷	0-8395	Recuit à 600°C, pendant 1 heure, dans un four, atmosphère de CO ₂
H 215	Avr. 23, 1914	15-4	52-23	0-006221	2-930	Co 99-6 Ni aucun Fe 0-19 S 0-012 Si 0-084 Ca aucun P 0-0066	93-85x10 ⁻⁷	0-8460	Recuit à 600°C, pendant 1 heure, dans le four, atmosphère de CO ₂
H 215	Avr. 24, 1914.	19-0	51-37	0-006235	2-875	Co 99-6 Ni aucun Fe 0-19 S 0-012 C aucun Si 0-084 Ca aucun P 0-0066	94-06x10 ⁻⁷	0-8442	Recuit à 700°C, pendant 1 heure dans le four, atmosphère de CO ₂
H 215	Avr. 24, 1914.	19-0	74-05	0-006291	4-145	Co 99-6 Ni aucun Fe 0-19 S 0-012 C aucun Si 0-084 Ca aucun P 0-0066	93-33x10 ⁻⁷	0-8360	Recuit à 700°C pendant 1 heure dans le four, atmosphère de CO ₂
H 215	Avr. 28, 1914.	16-5	73-11	0-006207	4-080	Co 99-6 Ni aucun Fe 0-19 S 0-012 C aucun Si 0-084 Ca aucun P 0-0066	91-36x10 ⁻⁷	0-8203	Recuit à 800°C pendant 1/2 heure dans le four atmosphère de CO ₂ .
H 215	Avr. 28, 1914.	16-5	54-15	0-006207	3-022	Co 99-6 Ni aucun Fe 0-19 S 0-012 C aucun Si 0-084 Ca aucun P 0-0066	91-65x10 ⁻⁷	0-8240	Recuit à 800°C, pendant 1/2 heure dans le four atmosphère de CO ₂

* Notez la chute dans la résistance, entre 500°C., comme précédemment.

Nous empruntons à la littérature les valeurs suivantes pour la résistance spécifique du cobalt:—

Résistance électrique spécifique du Cobalt.

	Température.	Résistance spécifique, en ohms, par centimètre cube.
Copaux ¹	Chambre	55 x 10 ⁻⁷
Reuer et% Kaneko ²	Chambre	64 x 10 ⁻⁷
Hofman ³	Chambre	97 x 10 ⁻⁷
Knott, C. G. ⁴	100°C	121 x 10 ⁻⁷
Knott, C. G. ⁴	200°C	159 x 10 ⁻⁷
Reichardt ⁵ 99-8% Co.....	20°C	97 x 10 ⁻⁷

En plus de ces chiffres, nous empruntons aux auteurs les coefficients suivants pour la résistance spécifique du nickel:—

Résistance électrique spécifique du nickel.

	Température.	Résistance spécifique, en ohms, par centimètre cube.
Copaux ¹	Chambre	64 x 10 ⁻⁷
Reuer et Kaneko ²	Chambre	77·2x 10 ⁻⁷
Hofman ³	Chambre	70 x 10 ⁻⁷
Fleming ⁴	0°C	69 x 10 ⁻⁷
Niccolai ⁷	0°C	119 x 10 ⁻⁷
Harrison, E. P. ⁸	0°C	103 x 10 ⁻⁷

¹ Annales de Chimie et de Physique (8), Vol. 6, 1905, p. 508.

² Ferrum, Vol. 10, p. 257. Chemical Abstracts, 113, p. 3591.

³ General Metallurgy, 1913, p. 29.

⁴ Proceedings of the Royal Society of Edinburgh, 18, 303, 1891.

⁵ Annales de Physique, (4) 6, 832, 1901.

⁶ Proceedings of the Royal Society, Vol. 66, p. 50, 1900.

⁷ Lincei Rend, 16, (1), p. 757, 1906.

Lincei Rend, 16, (2), p. 185, 1907.

⁸ Proceedings of the Physical Society, Vol. 3, p. 57, 1902.

Philosophical Magazine, (6) Vol. 3, p. 177, 1902.

Conclusions.

Cobalt Pur.

(1). La résistance électrique spécifique des fils de cobalt, extrêmement pur, est de $89\cdot64 \times 10^{-7}$ ohms par centimètre cube, ou $0\cdot7769$ ohms par gramme-mètre, à 18°C. Ce chiffre est la moyenne de douze observations, très concordantes, et s'applique aux fils non recuits après l'étamage.

(2). La recuite d'un fil de cobalt, extrêmement pur, dans le vide, à environ 350°C, pendant plusieurs heures, en passant un courant électrique à travers le fil, a pour effet de diminuer d'environ 5 pour cent sa résistance électrique. Ce chiffre est inférieur à celui de la plupart des métaux, par exemple l'aluminium, dont la résistance diminue d'environ 10 pour cent, par un recuit de 2 heures à 250°C.¹

(3). La recuite des fils de cobalt, extrêmement purs, dans une atmosphère de gaz carbonique, en les chauffant au moyen d'un agent extérieur,

¹H. Gwercke, Electrician, Vol. 72, p. 450.

Chemical Abstracts, 1914, p. 1049.

a pour effet d'abord d'augmenter la résistance, mais par la recuite prolongée, à des températures de plus en plus élevées jusqu'à 800°C, la résistance spécifique tombe de nouveau. Il est surtout remarquable qu'il y a une chute d'environ 7 pour cent dans la résistance spécifique du fil de cobalt extrêmement pur, recuit à 600°C. dans une atmosphère de CO₂, comparé à un autre fil recuit de la même manière à 500°C. Cette chute était de 101×10^{-7} ohms par centimètre cube à 93.5 ± 10^{-7} ohms par centimètre cube.

(4). Le fait que la recuite dans le vide diminue la résistance électrique du cobalt pur, tandis que la recuite, dans un gaz inerte, à de basses températures augmente sa résistance électrique, laquelle diminue de nouveau à des températures plus élevées, semble indiquer que la résistance électrique spécifique du cobalt est fortement influencée par la présence de gaz occlus ou absorbés.

"Cobalt commercial."

(5). La résistance électrique spécifique du cobalt, comme du cuivre ou de la plupart des autres métaux, augmente considérablement par l'addition de faibles pourcentages d'impuretés. Moins de 0.5 pour cent d'impuretés peut tripler la résistance électrique.

(6). La résistance électrique spécifique du "cobalt commercial" varie entre 231×10^{-7} et 103×10^{-7} ohms par centimètre cube, dans les cas que nous avons étudiés, selon la nature des faibles pourcentages des impuretés présentes. Ces chiffres s'appliquent aux fils non recuits après l'étampage.

(7). La recuite du "cobalt commercial," en passant un courant électrique à travers le fil dans le vide, a pour effet de réduire sensiblement sa résistance électrique spécifique. La recuite, ainsi faite, à 350°C pendant 5 heures, réduit la résistance spécifique d'à peu près 14 pour cent.

(8). La recuite du "cobalt commercial," dans une atmosphère de gaz carbonique, par la chaleur venant d'une source extérieure, a pour effet, en général, de diminuer sa résistance. Comme dans le cas du cobalt pur, il y a une diminution subite de la résistance dans l'échantillon recuit dans une atmosphère de gaz CO₂ à 600°C comparée à celle de l'échantillon recuit à 500°C.

Toutes ces conclusions ont trait à des déterminations faites avec des fils obtenus de barres, moulées à une température voisine du point de fusion, refroidies dans un moule en fer, et ensuite étampées en fils d'environ 0.03 de diamètre, d'après le procédé décrit aux pages 29-30.

Perméabilité magnétique.

Le cobalt est magnétique à toutes les températures, jusqu'à 1,100°C. La perméabilité magnétique et l'hystérésis magnétique du cobalt pur et du "cobalt commercial" ont été et sont encore l'objet de recherches dans ce laboratoire, et nous en parlerons, en détail, lorsque nous publierons notre étude sur certains alliages magnétiques du cobalt.

Mesures de la chaleur spécifique.

Méthode et Appareil.

Nous avons déterminé la chaleur spécifique du cobalt par la méthode des mélanges, et le résultat est probablement exact à 0.5 pour cent près.

La méthode employée consistait à faire chauffer un certain poids de cobalt métallique, sous forme de petits bouts de fils, à 100°C, en les amenant

à l'équilibre de température par la vapeur à la température et à la pression normale, en même temps qu'ils sont renfermés pour les tenir parfaitement secs. Ce qui s'effectue par un simple dispositif de chaudière à vapeur.

Quand le métal fut ainsi amené à 100°C. température prise au moyen d'un thermomètre approprié, et après s'être assuré pendant plusieurs minutes par les indications de ce thermomètre que la température est constante, on le faisait passer directement du creuset dans un calorimètre convenable. Avant de faire passer le cobalt à 100°C dans le calorimètre, on faisait pendant une période de minutes des déterminations préliminaires de la température de l'eau dans le calorimètre. On continuait ces déterminations, tout en agitant régulièrement le liquide du calorimètre, après y avoir introduit le cobalt, jusqu'à ce qu'on eût atteint l'équilibre finale de la température du calorimètre.

On lisait le thermomètre à un centième de degré centigrade, et la lecture se faisait à toutes les vingt secondes. Évidemment, cette méthode nous donne la chaleur spécifique moyenne entre 100°C et la température de la chambre, approximativement 15°C.

Comme ceci est une observation calorimétrique plus ou moins normale, il ne semble pas convenable de donner les moindres détails de l'appareil et de la méthode de procéder.

Matière traitée.

Le cobalt employé pour les mesures de la chaleur spécifique a donné à l'analyse les résultats suivants:—

H 213.	Co.....	99.73
	Ni.....	aucun
	Fe.....	0.14
	S.....	0.019
	C.....	aucun
	Si.....	0.040
	Ca.....	aucun
	P.....	aucun

La moyenne d'une série de déterminations de la chaleur spécifique, faites de la manière indiquée plus haut, nous donne comme chaleur spécifique moyenne du cobalt entre 15-100°C = 0.1053 avec une déviation moyenne des différentes observations de la moyenne d'environ 0.5 pour cent.

Les auteurs se déclarent redevables au Professeur W. J. Drisko, du Département de Physique, à l'Institut de Technologie de Massachusetts, Boston, qui a eu la bienveillance de faire exécuter sous sa direction, à l'Institut De Technologie de Massachusetts, plusieurs déterminations de la chaleur spécifique de la même substance. Ces déterminations furent faites avec la même substance que ci-dessus (H 213), qu'on avait envoyée de notre laboratoire dans ce but. Les mesures sont les suivantes:—

H 213, Mars 18, 1914.

Chaleur spécifique du Cobalt.	Déviations de chaque observation de la moyenne.
0.1070	0.0014
0.1037	0.0019
0.1058	0.0002
0.1060	0.0004
Moyenne 0.1056	Moyenne 0.0010

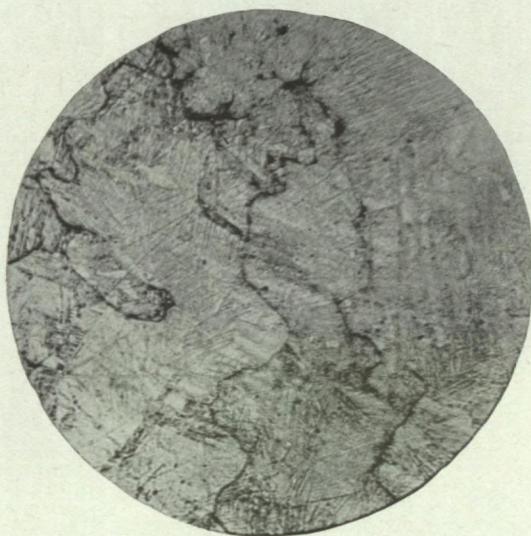
Chaleur spécifique moyenne du cobalt entre 15-100°C = 0.1056 ± 0.005.

PLANCHE IV.



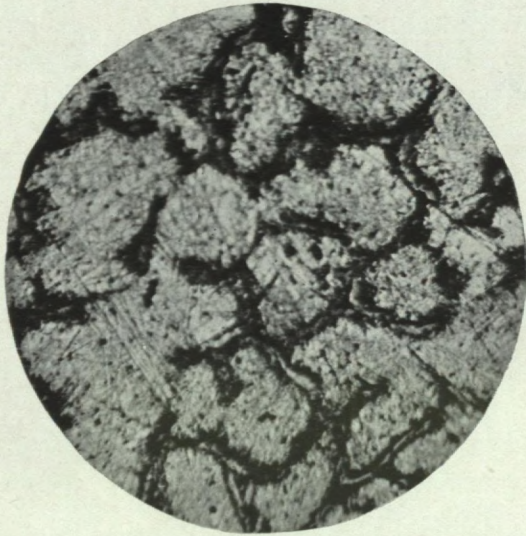
Cobalt pur (H 212).

PLANCHE V.



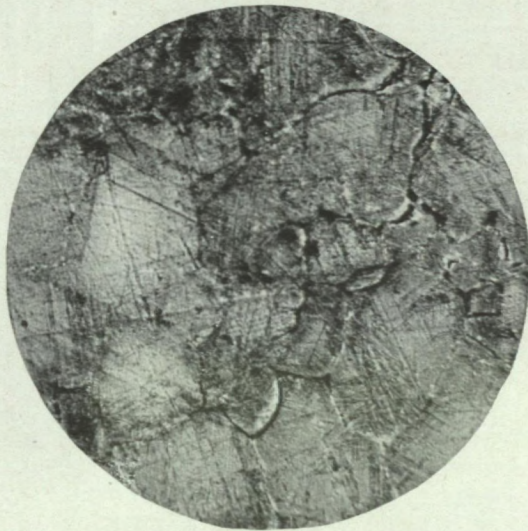
Cobalt commercial (H 213).

PLANCHE VI.



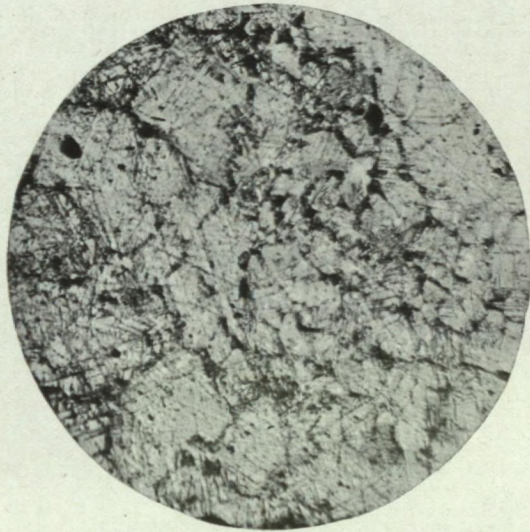
Cobalt pur (H 214).

PLANCHE VII.



Cobalt commercial (H 130).

PLANCHE VIII.



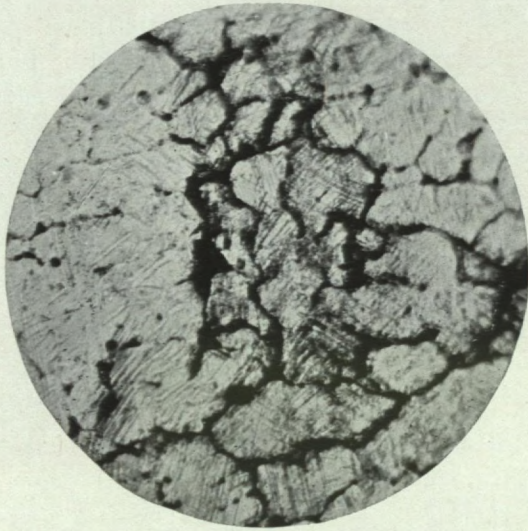
Cobalt commercial (H 214c).

PLANCHE IX.



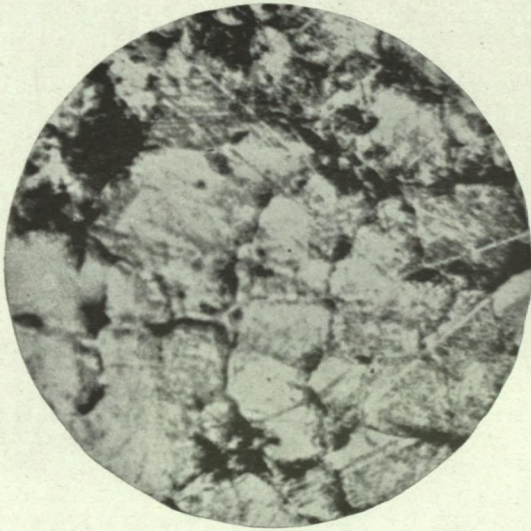
Cobalt commercial (H 214c).

PLANCHE X.



Cobalt commercial (H 87c).

PLANCHE XI.



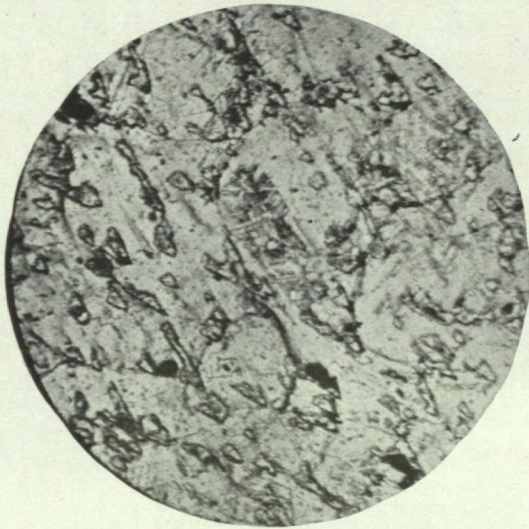
Cobalt commercial (H 87c).

PLANCHE XII.



Cobalt commercial (H 109).

PLANCHE XIII.



Cobalt commercial (H 211).

Nous empruntons à la littérature les valeurs suivantes de la chaleur spécifique du cobalt.

Nom de l'observateur.	Échelle des températures.	Chaleur spécifique.
Tilden ¹	—182 à 15C	0.0822
	— 78 " 15	0.0939
	15 " 100	0.1030
	15 " 185	0.1047
	15 " 350	0.1087
	15 " 435	0.1147
	15 " 550	0.1209
	15 " 630	0.1234
Tilden ²	20 " 200°C	0.104
Copaux ³	500°C	0.1451
	800	0.1846
	1000	0.204
Copaux ⁴	20 " 100°C	0.104
Kalmus et Harper ⁵	15 " 100°C	0.1053
Drisko ⁶	15 " 100°C	0.1056

¹ Délibérations de la Société Royale, Vol. 66, 1900, p. 244.

² Délibérations de la Société Royale, Vol. 71, 1903, p. 220.

³ Comptes rendus, Vol. 140, 1905, p. 657.

⁴ Annales de Chimie et de Physique (8), Vol. 6, 1905, p. 508.

⁵ Les Propriétés Physiques du Cobalt Métallique, 1914. (La présente étude).

De ces chiffres, nous pouvons calculer la chaleur spécifique véritable de 0°C à 890°C.

$$\text{Chaleur spécifique} = 0.1058 \times 0.0000457t \times 0.00000066t^2.$$

MICROPHOTOGRAPHIES.

Voici une série de microphotographies des métaux que nous avons étudiés dans les pages précédentes. Nous n'avons pas voulu faire une étude on une analyse microphotographique minutieuse ou complète du cobalt, contenant de faibles pourcentages d'impuretés, dont il a été question dans ce rapport. Une telle étude serait assurément intéressante, mais malheureusement, n'est guère possible avec le temps dont nous disposons.

Les photographies ci-jointes sont plutôt caractéristiques, et n'ont besoin d'aucune explication autre que la légende qui les accompagne et les références au texte auquel elles se rapportent.

Cobalt pur H 212

Barreau pour résistance à la traction.

Moulé à une température voisine du point de fusion, refroidi dans un moule en fer, et façonné au tour.

Date de la microphotographie—8 mai, 1914.

Densité—8.7562 à 17°C.

Analyse—

Co.....	99.9
Fe.....	0.20
Ni.....	aucun
C.....	aucun
S.....	0.017
Ca.....	aucun
Si.....	aucun

Dureté Brinell—128.7

Charge de rupture à la traction—37,900 livres au pouce carré.

Point de fusion—1,478°C, ± 1.1°C.

Gravure-iode fort, durant 3 minutes.

Grossissement—130 diamètres.

Exposition—1 seconde.

"Cobalt Commercial" H 213

Date de la microphotographie—9 mai, 1914.

Densité—8.7732 à 16°C.

Analyse	%
Co.....	99.73
Ni.....	aucun
Fe.....	0.14
S.....	0.019
C.....	aucun
Si.....	0.020

Dureté Brinell—121.0

Charge de rupture à la traction—45,300 livres au pouce carré.

Gravure-iode fort, durant 5 secondes.

Grossissement—130 diamètres.

Exposition—1 seconde.

Cobalt H 214

Barreau pour la résistance à la traction.

Moulé à une température voisine du point de fusion, refroidi dans un moule en fer et façonné au tour.

Date de la microphotographie—1 mai, 1914.

Densité—8.8490 à 15°C.

Analyse—	%
Co.....	98.7
Ni.....	aucun
Fe.....	1.15
Si.....	0.14
Ca.....	aucun
S.....	0.012
C.....	aucun
P.....	0.011

Gravure-iode fort—14 minutes.

Grossissement—130 diamètres.

Exposition—2 secondes.

Cet échantillon révèle une structure cristalline polyédrique, avec les impuretés rejetées sur les bords des grains cristallins.

"Cobalt Commercial" H 130

Barreau pour la résistance à la traction.

Moulé à une température voisine du point de fusion, refroidi dans un moule en fer et façonné au tour.

Date de la microphotographie—1 mai, 1914.

Densité—8.7690 à 17°C.

Analyse—	%
Co.....	96.5
Ni.....	2.0
Fe.....	1.27
C.....	0.305
S.....	0.054
P.....	0.015

Dureté Brinell—116.6.

Gravure-iode fort—7 minutes.

Grossissement—130 diamètres.

Exposition—2 secondes.

"Cobalt Commercial" H 214c

Barreau pour la résistance à la traction.

Moulé à une température voisine du point de fusion, refroidi dans un moule en fer, et façonné au tour. Recuit à 850°C.

Date de la microphotographie—mai 6, 1914.

Analyse—	%
Co.....	97.09
Ni.....	Aucun
Fe.....	1.45
C.....	0.067
S.....	0.012
Mn.....	2.04
Si.....	0.011
Cu.....	aucun
P.....	0.010

Charge de rupture à la traction—70,500 livres au pouce carré.

Gravure—iode fort—5 minutes.

Grossissement—130 diamètres.

Exposition—1 seconde.

"Cobalt Commercial" H 214c

Barreau de la résistance à la traction.

Moulé à une température voisine du point de fusion, refroidi dans un moule en fer et façonné au tour. Recuit à 1,000°C.

Date de la microphotographie—mai 2, 1914.

Analyse—	%
Co.....	97.09
Ni.....	aucun
Fe.....	1.45
C.....	0.067
S.....	0.012
Mn.....	2.04
Si.....	0.011
Ca.....	aucun
P.....	0.010

Charge de rupture à la traction—75,200 livres au pouce carré.

Gravure—iode fort—9 minutes.

Grossissement—130 diamètres.

Exposition—2 secondes.

"Cobalt Commercial" H 87c

Barreau pour la résistance à la traction.

Moulé à une température voisine du point de fusion, refroidi dans un moule en fer, et façonné au tour. Recuit à 850°C.

Date de la microphotographie—mai 6, 1914.

Densité—8.6658 à 17°C.

Analyse—	%
Co.....	97.8
Ni.....	0.50
Fe.....	1.46
S.....	0.020
C.....	0.18
Ca.....	trace
Si.....	0.020
P.....	trace

Charge de rupture à la traction—60,200 livres au pouce carré.
 Gravure—iode fort—10 minutes.
 Grossissement—130 diamètres.
 Exposition—1 seconde.

“Cobalt Commercial” H 87c

Barreau pour la résistance à la traction.

Moulé à une température voisine du point de fusion, refroidi dans un moule en fer, et façonné au tour.

Date de la microphotographie—mai 6, 1914.

Analyse—	%
Co.....	97.8
Fe.....	1.46
Ni.....	0.50
C.....	0.18
S.....	0.020
Si.....	0.020
Ca.....	aucun
P.....	0.012

Charge de rupture à la traction—56,100 livres au pouce carré.
 Gravure—Iode fort—1 minute.
 Grossissement—130 Diamètres.
 Exposition—2 secondes.

“Cobalt Commercial” H 109

Barreau pour la résistance à la traction.

Moulé à une température voisine du point de fusion, refroidi dans un moule en fer et façonné au tour.

Date de la microphotographie, mai 6, 1914.

Densité—8.7997 à 18.5°C.

Analyse—	%
Co.....	96.8
Ni.....	0.56
Fe.....	2.36
S.....	0.022
C.....	0.063
P.....	0.017

Dureté Brinell—107.
 Charge de rupture à la traction—52,600 livres au pouce carré.
 Gravure—Iode fort—Une demi minute.
 Grossissement—130 Diamètres.
 Exposition—Une demi-seconde.

“Cobalt Commercial” H 211

Barreau pour la résistance à la traction.

Moulé à une température voisine du point de fusion, refroidi dans un moule en fer, et façonné au tour.

Date de la microphotographie, mai 6, 1914.

Analyse—	%
C.....	0.18
S.....	0.080
P.....	0.031

Dureté Brinell—128·2.

Charge de rupture à la traction—31,000 livres au pouce carré.

Gravure—iode fort—1 minute.

Grossissement—130 Diamètres.

Exposition—1 seconde.

Cet échantillon laisse voir des "ombres" ou de "lignes d'ombre," à cause de la ségrégation de ses impuretés, C, S, et P. De tels métaux sont généralement cassants et faibles et durs, ce qui s'applique à cet échantillon particulier, comme on peut le voir dans les tables précédentes de déterminations.

Nickel pur.

Barreau pour la résistance à la traction.

Moulé à une température voisine du point de fusion, refroidi dans un moule en fer, et façonné au tour.

Date de la microphotographie—Mai 7, 1914.

Analyse—	%
Ni.....	99·29
Fe.....	0·48
Co.....	aucun
S.....	0·025
Si.....	0·042
Ca.....	aucun
C.....	aucun

Dureté Brinell—83·1.

Charge de rupture à la traction—18,000 livres au pouce carré.

Point de fusion—1,452°C.

Gravure-acide nitrique.—Gravité spécifique 1·42—4 secondes.

Grossissement—130 diamètres.

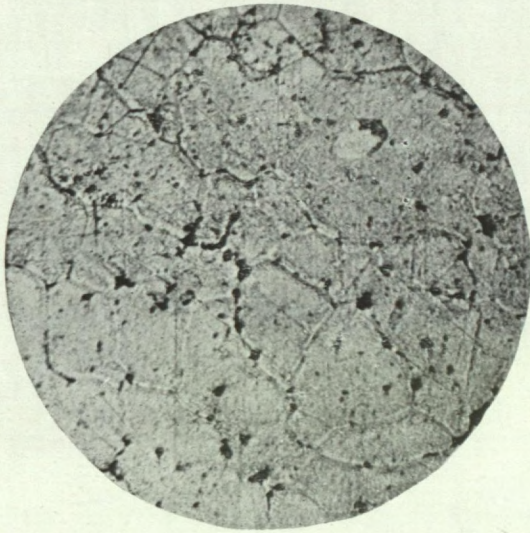
Exposition—2 secondes.

Ce nickel possède la structure cristalline polyédrique du métal pur.

REMERCIEMENTS.

Les différentes analyses contenues dans ce rapport ont été faites par M. R. C. Wilcox, assistant d'occasion dans le Laboratoire de Recherches sur l'Electrochimie Pratique et la Métallurgie, à l'Université Queens; et Messieurs W. L. Savell, B.Sc., et K. B. Blake, S.B., tous deux collaborateurs d'occasion pour les recherches, nous ont rendu de précieux services. Les auteurs sont heureux d'exprimer leurs remerciements à ces messieurs.

PLANCHE XIV.



Nickel pur.

PUBLICATIONS EN FRANÇAIS DU MINISTÈRE DES MINES
PARUES DEPUIS LE CATALOGUE DE JUILLET 1914.

COMMISSION GÉOLOGIQUE.

Rapports.

1098. Reconnaissance à travers les montagnes MacKenzie sur les rivières Pelly, Ross et Gravel, Yukon et Territoires du Nord-Ouest. Joseph Keele.
1108. Rapport conjoint sur les Schistes bitumineux ou pétrolifères du Nouveau-Brunswick et de la Nouvelle-Écosse ainsi que sur l'Industrie des Schistes pétrolifères de l'Écosse. Première partie: Industrie. Seconde partie: Géologie. R. W. Ells, LL.D., F.R.S.C. (Division des Mines No. 56).
1291. Archéologie: La collection archéologique du sud de l'intérieur de Colombie britannique. H. I. Smith.
1306. Rapport sommaire de la Commission géologique du Ministère des Mines pour l'année civile 1912.
1328. Rapport sur l'île Graham, C. B. R. W. Ells, LL.D., F.R.S.C.
1329. Rapport d'une exploration de la rivière Ekwan, des lacs Sutton Mill et d'une partie de la Côte occidentale de la baie James. D. B. Dowling, B. Ap. Sc.
1330. Rapport sur les Terrains aurifères du Klondike. R. G. McConnell, B.A.
1360. Rapport sommaire de la Commission géologique du Ministère des Mines pour l'année civile 1913.
1362. La région de Moose Mountain dans l'Alberta sud. D. D. Cairnes.
1369. Notes sur les minéraux contenant du Radium. Wyatt Malcolm.
1393. La Telkwa et ses environs en Colombie britannique. W. Leach.
1394. Rapport sur la géologie d'une partie de l'Est d'Ontario. R. W. Ells, LL.D., F.R.S.C.
1395. Rapport sur le terrain houiller de Pictou, N.E. Henry S. Poole, F.R.S.C.
1411. Rapport préliminaire sur une partie du district de Similkameen, C.B. Charles Camsell.
1475. Treizième rapport de la Commission de Géographie du Canada. *Annexe:* Traits généraux sur la Géographie physique du Canada. D. W. Dowling.
1481. Musée de la Commission géologique du Canada. Collection des fossiles invertébrés. Guide pour les visiteurs.
1504. Rapport sommaire de la Commission géologique du Ministère des Mines pour l'année civile 1914.
1512. Rapport sur une partie des districts miniers de Conrad et Whitehorse, Yukon. D. D. Cairnes.
1519. Comment collectionner les spécimens zoologiques pour le Musée commémoratif Victoria: Zoologie. P. A. Taverner.
1529. Catalogue des oiseaux canadiens. J. Macoun.
1556. Rapport préliminaire sur une partie de la Côte principale de la Colombie britannique et des Îles voisines comprises dans les districts de New Westminster et Nanaimo. E. O. LeRoy.
1571. Les Chutes du Niagara, leur évolution, les variations de relations avec les grands lacs; caractéristiques et effets du détournement. J. W. Spencer.

Mémoires.

Mémoire	1.	Rapport	1092	Géologie du bassin de Nipigon.	A. W. Wilson.
"	2.	"	1094.	Géologie et gisement minéraux de la région minière d'Hedley.	C. Camsell.
"	4.	"	1111.	Reconnaissance géologique de long de la ligne du chemin de fer Transcontinental National dans l'Ouest de Québec.	W. J. Wilson.
"	5.	"	1102.	Rapport préliminaire sur les dépôts houillers des rivières Lewes et Nordenskiöld, dans le Territoire du Yukon.	D. D. Cairnes.
"	17E	"	1161.	Géologie et ressources économiques du district de lac Larder, Ont., et des parties adjacentes du comté de Pontiac, Qué.	Morley F. Wilson.
"	18E	"	1171.	District de Bathurst dans le Nouveau-Brunswick.	G. A. Young.
"	19.	"	1172.	Mines de Mother Lode et Sunset, district Boundary, C. B. O. E. LeRoy.	
"	20.	"	1174.	Terrains aurifères de la Nouvelle-Écosse.	W. Malcolm.
"	21.	"	1331.	La géologie et les dépôts de minerai de Phœnix district Boundary, C. B. O. E. LeRoy.	
"	22.	"	1209.	Rapport préliminaire sur la serpentinite et les roches connexes de la partie méridionale de Québec.	J. A. Dresser.
"	23.	"	1189.	Géologie de la côte et des îles entre les détroits de Géorgie et de la Reine Charlotte.	J. A. Bancroft.
"	25.	"	1281.	Les dépôts d'argile et de schistes des Provinces de l'Ouest, partie II.	H. Ries.
"	28.	"	1214.	Géologie du lac Steeprock, Ontario, A. C. Lawson. Notes sur les fossiles du calcaire du lac Steeprock, Ont.	C. B. Walcott.
"	29E	"	1224.	Gisement de pétrole et de gaz dans les provinces du Nord-Ouest du Canada.	Wyatt Malcolm.
"	30.	"	1227.	Les bassins des rivières Nelson et Churchill.	W. McInnes.
"	31.	"	1229.	District de Wheaton, territoire du Yukon.	D. D. Cairnes.
"	33.	"	1243.	La géologie, de la division minière de Gowganda.	W. H. Collins.
"	35.	"	1361.	Reconnaissance le long du chemin de fer Transcontinental National dans le Sud de Québec.	John A. Dresser.
"	37.	"	1256.	Parties du district d'Atlin, C.B., avec description spéciale de l'exploitation minière des filons.	D. D. Cairnes.
"	39.	"	1292.	Région de la carte du lac Kewagama.	M. E. Wilson.
"	42.	"	1596.	Thème décoratif de la double courbe dans l'art des Algonquins du Nord-Est.	F. G. Speck.
"	43.	"	1312.	Montagnes de St. Hilaire (Belœil) et de Rougemont, Québec.	J. J. O'Neill.
"	44.	"	1316.	Les dépôts d'argile et de schistes du Nouveau-Brunswick.	J. Keele.

- Mémoire 45. Rapport 1318. La fête des invités des Esquimaux d'Alaska. Hawkes.
- " 47. " 1325. Les dépôts d'argile et de schistes des Provinces de l'Ouest. Partie III. H. Ries et J. Keele.
- " 52. " 1358. Notes géologiques pour la carte du bassin de gaz et de pétrole de la rivière Sheep, Alberta. D. B. Dowling.
- " 53. " 1364. Terrains houillers du Manitoba, Saskatchewan, Alberta et de l'est de la Colombie britannique. D. B. Dowling.
- " 59. " 1339. Bassins houillers et ressources en charbon du Canada. D. B. Dowling.
- " 60. " 1399. La région d'Arisaig-Antigonish, N. E. M. Y. Williams.
- " 64. " 1452. Rapport préliminaire sur les dépôts d'argile et de schistes de la province de Québec. J. Keele.

Bulletins du Musée Commémoratif Victoria.

- Bulletin 1. Rapport 1515. Paléontologie, paléobotanique, minéralogie, histoire naturelle et anthropologie.
- " 8. Rapport 1484. Les formations huroniennes de la région Timiskaming. W. H. Collins.

DIVISION DES MINES.

Rapports et Bulletins.

971. (26a) Rapport annuel sur les industries minérales du Canada, pour l'année 1905.
56. Rapport sur les schistes bitumineux ou pétrolifères du Nouveau-Brunswick et de la Nouvelle-Écosse, ainsi que sur l'Industrie des schistes pétrolifères de l'Écosse. Première partie: Industrie; Seconde partie: Géologie. R. W. Ells, LL.D., F.R.S.C. (Commission géologique no 1108.)
149. Sables ferrugineux magnétiques de Natashkwan, comté de Saguenay, province de Québec. Geo. G. Mackenzie, B.Sc.
169. Pyrites au Canada: gisements, exploitation, préparation, usages. Alfred W. G. Wilson, Ph.D.
179. L'industrie du nickel particulièrement dans la région de Sudbury, Ontario. A. P. Coleman, Ph.D.
180. Bulletin No. 6: Recherches sur les tourbières et l'industrie de la tourbe au Canada, 1910-1911. A. Anrep.
195. Gisements de magnétite le long de la ligne du Central Ontario Railway. E. Lindeman, I.M.
219. Les gisements de fer d'Austin Brook au Nouveau-Brunswick. E. Lindeman, I.M.
- (26a) Rapport sommaire de la Division des Mines, du Ministère des Mines, pour l'année civile 1911.
223. L'exploitation filonienne au Yukon. Une investigation des gisements de quartz dans la rivière du Klondike. H. A. MacLean.
224. (26a) Rapport sommaire de la Division des Mines, du Ministère des Mines, pour l'année civile terminée le 31 décembre 1912.
246. Le gypse au Canada; gisement, exploitation et technologie. L. H. Cole.
260. Préparation du cobalt métallique par la réduction de l'oxyde. Kalmus

263. Bulletin No. 3: Progrès récents dans la construction des fours électriques pour la production de la fonte, de l'acier, et du zinc. Eugène Haanel, Ph.D.
264. Mica: gisements, exploitation et emplois. Deuxième édition. Hugh S. de Schmid, I.M. Edition épuisée.
265. Rapport annuel sur la production minérale du Canada durant l'année civile 1911. J. McLeish, B.A.
280. Pierres de construction et d'ornement du Canada. Volume II: Provinces Maritimes. W. A. Parks.
282. Rapport préliminaire sur les sables bitumineux de l'Alberta Nord. S. C. Ellis.
286. (26a) Rapport sommaire de la Division des Mines, du Ministère des Mines, pour l'année civile 1913.
287. La production du fer et de l'acier au Canada pendant l'année civile 1912. J. McLeish.
288. La production de charbon et de coke au Canada pendant l'année civile 1912. K. McLeish.
289. La production du ciment, de la chaux, des produits d'argile, de la pierre et d'autres matériaux de construction au Canada pendant l'année civile 1912. J. McLeish.
290. La production de cuivre, or, plomb, nickel, argent, zinc et autres métaux au Canada pendant l'année civile 1912. C. T. Cartwright, B.Sc.
308. Recherches sur les charbons du Canada au point de vue de leurs qualités économiques. J. D. Porter, E.M., D.Sc., et R. J. Durley, Ma.E., et autres. Faites à l'université McGill de Montréal sous le patronage du Gouvernement du Dominion.
Volume I. Recherches sur les charbons du Canada.
Volume II. Essais au générateur; Essais au gazogène: Travail du laboratoire chimique.
Volume III. Appendice I. Résultats détaillés des essais de lavage de charbons.
Volume IV. Appendice IV. Essais de chaudières et graphiques.
310. Propriétés physiques du cobalt métallique, partie II. H. Kalmus'
314. Bulletin No. 2: Gisements de minerais de fer de la mine Bristol, comté de Pontiac, Québec. Levé magnétométrique, etc., E. Lindeman, I.M.; Concentration magnétique de minerais, Geo. C. MacKenzie, B.Sc.
321. Rapport annuel de la production minérale du Canada durant l'année civile 1913, J. McLeish.

ACTUELLEMENT SOUS PRESSE.

COMMISSION GÉOLOGIQUE.

Mémoires.

- Mémoire 26. Rapport 1207. Géologie et gisements minéraux du district Tulameen. C. Camsell.
- " 48. " 1327. Quelques mythes et contes des Ojibwa du Sud-Est d'Ontario. P. Radin.
- " 50. " 1341. District Upper White River, Yukon. D. D. Cairnes.
- " 51. " 1345. La géologie de la carte-feuille de Nanaimo, C.B. C. H. Clapp.
- " 65-66. " 1454-1456. Les dépôts d'argile et de schiste des Provinces de l'Ouest, parties IV-V. H. et J. Keele.
- " 69. " 1466. Terrains houillers de la Colombie britannique. D. B. Dowling.

v

Bulletin du Musée commémoratif Victoria.

Bulletin 2. Rapport 1343. Série 13 à 18: Pétrologie, géographie physique
anthropologie, géologie, paléontologie.

CONGRÈS GÉOLOGIQUE 1913.

Liste des Livrets guides.

Livret- Guide	Volume	
1	I.	Excursion dans l'est de la Province de Québec et des Provinces Maritimes. Première partie.
1	II.	Excursion dans l'est de la Province de Québec et des Provinces Maritimes. Deuxième Partie.
2	III.	Excursion dans les cantons de l'Est de Québec et dans la partie est d'Ontario.
3	IV.	Excursion aux environs de Montréal et d'Ottawa.
4	V.	Excursion dans le sud-ouest d'Ontario.
5	VI.	Excursion dans la presqu'île occidentale de l'Ontario et de l'île Manitoulin.
6	VII.	Excursion dans les environs de Toronto, de Muskoka et Madoc.
7	VIII.	Excursion à Sudbury, à Cobalt et Porcupine.
8	IX.	Excursion transcontinentale C 1, de Toronto à Victoria et retour, par les chemins de fer Canadian Pacific et Canadian Northern. Première partie.
8	X.	Excursion transcontinentale C 1, de Toronto à Victoria et retour, par les chemins de fer Canadian Pacific et Canadian Northern. Deuxième partie.
8	XI.	Excursion transcontinentale C 1, de Toronto à Victoria et retour, par les chemins de fer Canadian Pacific et Canadian Northern. Troisième partie.
9	XII.	Excursion transcontinentale C 2, de Toronto à Victoria et retour par les chemins de fer Canadian Pacific et Transcontinental National.
10	XIII.	Excursion dans le Nord de la Colombie britannique, dans le territoire du Yukon et le long de la Côte nord du Pacifique

DIVISION DES MINES.

Rapports.

292. Ressources du Canada en pétrole et en gaz naturel. Volume I.
F. G. Clapp.
306. Rapport sur les minéraux non-métalliques employés dans les industries manufacturières du Canada. H. Frechette.
389. Pierres de construction et d'ornement du Canada. Volume III,
Province de Québec. Parks.