

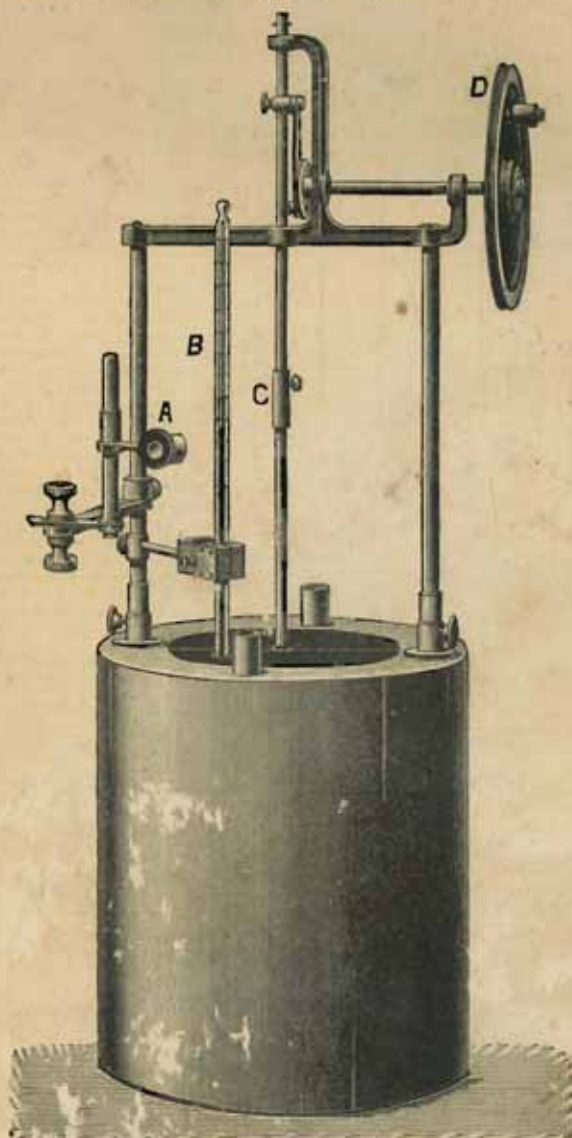
CALORIMÈTRE

de BERTHELOT-MAHLER

Pour la détermination de la valeur calorifique des charbons et autres combustibles

avec dispositif transformé de la bombe à combustion d'après
le système du D^r KROEKER (D. R. G. M. 55891)

PYROMÈTRES pour la mesure de hautes températures
jusque 1600° C.



Appareil de contrôle pour analyser les gaz de combustion
des générateurs.

DÉPOSITAIRE GÉNÉRAL POUR LA BELGIQUE :

Robert DROSTEN

RUE DU MARAIS, 49
BRUXELLES

Fournitures générales d'appareils scientifiques et techniques pour laboratoires et industries.

T.S.V.P.

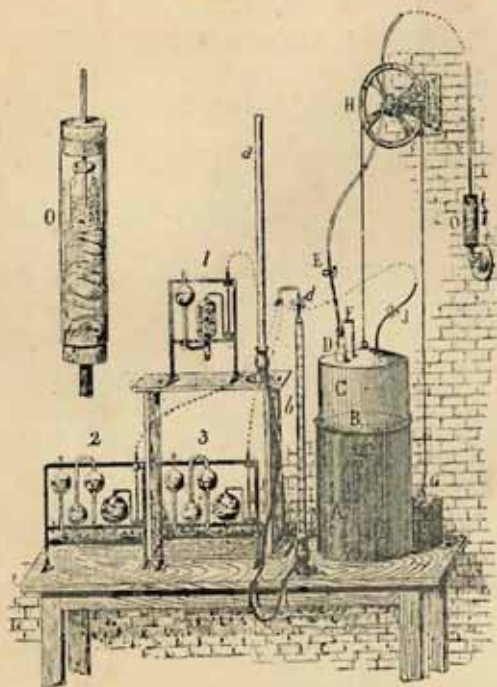
DAVID

PRIX - COURANT

1. Calorimètre décrit dans cette brochure.

- A. Modèle pour **essais industriels**, au grand complet, voir la composition page 5. Fr. 540. —
 La *bombe seule* avec tous les accessoires, socle, nacelle, soupapes, manomètre, tubes de communication, clefs, etc. . . . Fr. 400. —
- B. Modèle pour **usages scientifiques et industriels**, au grand complet, voir la composition page 5 et 6 Fr. 930. —
 La *bombe seule* avec tous les accessoires, socle, nacelle, soupapes, manomètre, tubes de communication, clefs, etc. . . . Fr. 540. —

2. Appareil de contrôle De Ridder pour recueillir et analyser les gaz de combustion des générateurs.



Cet appareil permet de surveiller exactement jour et nuit le travail des chauffeurs et la marche des chaudières à vapeur. Il consiste principalement en un gazomètre, qui, par une disposition spéciale, aspire, filtre et emmagasine automatiquement et d'une façon continue les gaz de la combustion de chaque foyer de générateur ou de fourneaux quelconques auxquels on l'adapte, de sorte que l'on peut par une opération très simple facilitée par un jeu d'appareils d'analyse ad hoc déterminer à la fin de la journée ou à tout instant de travail, la teneur de gaz en acide carbonique ou oxygène ou en oxyde de carbone. Il est à remarquer qu'il n'est point besoin d'un chimiste spécial pour cette constatation, le contremaître ou un ouvrier passablement intelligent peut faire la manipulation nécessaire et avec sécurité. L'échantillon prélevé pour l'analyse représente la moyenne du chauffage d'une heure, de deux heures ou d'une journée à volonté.

De milliers de ces appareils sont en usage dans de nombreux usines de Belgique, d'Allemagne, de France, etc.

Prix de l'appareil complet avec pipette, burette, etc., pour le dosage de l'acide carbonique. Fr. 250. —

3. Flutomètre de Jensen, appareil à mesurer et à régler le tirage des foyers de chaudières Fr. 80. —

Pour une installation à vapeur cet appareil est tout aussi indispensable qu'un manomètre, il permet de régler le foyer de la chaudière suivant les différentes variations du vent et changement de temps. En installant cet appareil on réalise une économie considérable de combustibles, comme des milliers de certificats le prouvent. (*Demandez la description détaillée.*)

4. Anémomètre pour mesurer le tirage dans les cheminées, etc., comptant jusque 10,000 mètres Fr. 75. —

5. Appareil Orsat pour l'analyse des gaz de combustion avec trois vases d'absorption (CO₂, CO, O), complet en boîte Fr. 75. —

6. Le même, modèle perfectionné, avec spirale d'explosion en platine (grisomètre) (H, CO₂, CO, O, CH₄) Fr. 150. —

7. Appareil pour analyse des gaz de Bunte, complet avec support, Fr. 45. —

8. Calorimètre de Junkers pour la détermination du pouvoir calorifique des combustibles gazeux.

Cet appareil est indispensable pour les usines à gaz, pour les acheteurs et constructeurs de moteurs à gaz; la connaissance de la consommation par cheval et par heure ne suffit pas si l'on ne connaît en même temps la valeur calorifique du gaz, c'est-à-dire de son énergie; il est donc de toute importance de vérifier si le gaz est pauvre ou riche en calories. (*Demandez la brochure spéciale.*)

Prix de l'appareil suivant la composition. Fr. 500. — à 900. —

CALORIMÈTRE

DE BERTHELOT-MAHLER

avec dispositif transformé de la bombe à combustion

(D'après le système du D^r K. KROEKER)

(D. R. G. M. 55891)

La grande importance que présente le combustible dans l'exploitation d'une fabrique a fait que depuis longtemps déjà les techniciens ont tenté, autant que possible, d'augmenter son rendement en effet utile. Pour atteindre ce but, il est d'abord nécessaire de déterminer la chaleur de combustion, valeur calorifique du combustible, toute tentative faite pour améliorer le dispositif des foyers pour chaudières doit reposer sur une détermination exacte de la valeur calorifique de la houille employée. L'estimation du pouvoir calorifique du charbon se faisait surtout, jusque maintenant, par l'analyse organique élémentaire: d'après la teneur en carbone, hydrogène, oxygène, et en appliquant ensuite la formule donnée par DULONG, étendue plus tard par d'autres techniciens, on calculait la chaleur de combustion. Cette méthode est loin d'être exacte. Elle nécessite des manipulations compliquées, lesquelles bien peu de laboratoires possèdent une installation suffisante et de plus, les résultats obtenus offrent peu de garantie. Les inconvénients que présente cette méthode ont obligé, depuis des années déjà, les techniciens à recourir aux mesures calorimétriques des chaleurs de combustion. Ces procédés calorimétriques ont surtout acquis une grande précision par la découverte de la bombe à combustion de BERTHELOT.

En construisant son appareil, Berthelot n'avait en vue que la solution de problèmes se rapportant à la thermochimie; ce fut HEMPEL et en même temps MAHLER qui adaptèrent cette méthode à la détermination de la valeur calorifique des combustibles et construisirent des bombes calorimétriques particulièrement bien conditionnées pour répondre à ce but. Cependant, la chaleur de combustion mesurée dans un calorimètre de Mahler, ne peut

pas être comparée directement à la chaleur développée par la combustion sur la grille. La bombe est construite de telle façon, que tous les produits de la combustion sont refroidis à environ 20° C.; il en résulte que la vapeur d'eau provenant de la combustion se condense également. Donc, par la combustion dans la bombe calorimétrique de Berthelot, la chaleur de condensation de la vapeur d'eau se mesure également. Les différents échantillons de houille renferment des quantités variables d'eau (humidité des fosses) et donnent de plus, par leur combustion, une notable quantité de vapeur d'eau. Toute cette eau provenant de la combustion de la houille sous une chaudière, s'élève par la cheminée sous forme de vapeur, ayant environ 200° C. et soutire donc à la flamme une notable quantité de chaleur. Cette erreur dans la détermination calorimétrique des chaleurs de combustion ne peut être évitée qu'en déterminant quantitativement non seulement l'eau retenue hygroscopiquement, mais aussi celle formée par la combustion et en soustrayant la quantité de chaleur qui y correspond de la quantité totale de chaleur trouvée.

Comme l'a fort bien montré le Dr. KRÖKER, cette opération peut très bien se faire en dirigeant les gaz comprimés et l'eau provenant de la combustion dans un dispositif renfermant du chlorure de calcium. La marche à suivre pour la détermination de la valeur calorifique au moyen de la bombe de Kröker sera décrite ci-après. Si dans l'ensemble on critique la formule de Dulong, c'est dans le but de montrer les avantages importants que présente la méthode calorimétrique comparativement à la méthode par pesées de l'analyse élémentaire.

Dulong, pour la détermination de sa formule :

Pouvoir calorifique : $81 C + 290 (H - \frac{1}{8} O) + 25 S - 6 W$

admettait que les éléments constituant les combustibles n'existaient pas en combinaisons organiques à structure atomique complexe — comme c'est réellement le cas — mais qu'ils étaient simplement rangés côte à côte pour former la substance. Il supposait de plus que par la combustion il se dégage une quantité de chaleur précisément égale à la somme des quantités de chaleur que produiraient les divers éléments constituants (carbone, hydrogène et soufre) s'ils étaient brûlés séparément. En partant de ces principes et en déterminant la valeur calorifique d'un combustible à l'aide de l'analyse élémentaire, on n'obtient nullement sa valeur réelle, car :

1) il a été démontré expérimentalement que la combinaison chimique de deux ou de plusieurs éléments — tout combustible est ainsi constitué — possède une chaleur spécifique différente de celle obtenue en additionnant les valeurs respectives de leurs composés élémentaires.

2) En admettant même l'hypothèse de Dulong, c'est-à-dire

si on suppose les combustibles formés d'un assemblage d'éléments et non d'une série de combinaisons chimiques, la chaleur de combustion calculée au moyen de la formule serait erronée, car les constantes 81.290,25, employées dans l'équation — respectivement les chaleurs spécifiques du carbone (81), hydrogène (290) et soufre (25) — ne sont pas encore déterminées d'une façon précise; ainsi, par exemple, pour le carbone les différents auteurs donnent:

Scheuerer-Kestner	81,03
Silbermann	80,71
Berthelot	81,37

Les mêmes raisons existent pour l'hydrogène et le soufre. L'hydrogène en brûlant donne naissance à de la vapeur d'eau, dont la chaleur spécifique change avec la température. Le soufre ne se transforme pas en brûlant, comme on l'admet dans l'équation, totalement en acide sulfureux (SO_2), mais partiellement aussi en anhydride sulfureux (SO_3), et produit dans le premier cas 2230 calories et dans le second cas 3300 calories.

3) Dans l'analyse chimique, tout ce qui n'est pas dosé à l'état de carbone, d'hydrogène, de soufre, d'azote, de cendres et d'eau est dosé par différence comme étant de l'oxygène, ce qui constitue de nouveau une grave erreur.

Donc, à l'aide de la formule de Dulong on ne peut déterminer la chaleur de combustion d'une substance que d'une façon approchée; il est vrai que les différences trouvées pour les valeurs calorifiques par la méthode calorimétrique dépendent de la nature des combustibles. Pour la houille, ces écarts ne sont pas aussi considérables que pour le lignite, la tourbe et le bois.

Le tableau suivant, dressé d'après les expériences de l'ingénieur L. C. Wolf le montre clairement.

Combustibles expérimentés.	Cal. calculé d'après for- mule Dulong.	Cal. détermina- tion calorimé- trique.	Différences en %
Houille (anglaise Victoria). . .	7 171	7 288	1,6
Lignite (prov. de Saxe)	2 456	2 230	10,1
Tourbe (Mecklembourg). . . .	2 498	2 711	7,9
Bois (bouleau).	2 967	3 428	13,5

Le tableau A, page 4 montre les écarts existant entre les chaleurs de combustion déterminées par le calcul et celles

obtenues par la méthode calorimétrique (Résultats d'expériences de l'Institut de Munich pour les essais calorifiques.)

Il convient également ici d'attirer l'attention sur deux résultats d'analyses de Scheuerer-Kestner et de Meunier publiés dans le livre du Dr Muck „Chimie de la houille“ et démontrant que deux espèces de charbon, de composition centésimale identique, peuvent avoir respectivement des chaleurs de combustion très différentes l'une de l'autre, si on en fait la détermination par l'analyse élémentaire (Tabl. B. ci-dessous)

Tableau A.

Nature du charbon.	Chaleurs de combustion en calories.		Différences.		
	au moyen du calorimètre	calculé d'après la form. Dulong	En calories	En % de la valeur calculée	
Charbons de la Saar	St-Ingbert	7704	7981	-277	-3,6
	Dudweiler I	7801	7938	-132	-1,7
	Reden Merchweiler	7031	7319	-288	-3,9
	St-Ingbert III	7065	7291	-226	-3,8
	Zichwald II	6728	7026	-293	-4,2
	Mittelbexbach (Flötz)	7188	7496	-308	-3,8

Tableau B.

Espèce de charbons.	C %	H %	(O + N) %	Chaleurs de combustion en calories.
Charbon du Creusot	88,40	4,41	7,19	9628
Charbon de Rouchamp.	88,42	4,41	7,17	9117

Les lignes qui précèdent n'ont pas pour but d'amoinrir les mérites de Dulong; au contraire, il est à remarquer que pendant très longtemps la détermination de la chaleur de combustion d'une substance, quoiqu'elle ne fut qu'approchée, n'était possible qu'en appliquant la formule de Dulong. A la suite de Dulong, plusieurs chimistes tentèrent aussi d'introduire d'autres méthodes empiriques de détermination de chaleurs de combustion des combustibles; ainsi par exemple, Berthier, dont la méthode repose sur la détermination de la quantité d'oxygène nécessaire à la combustion complète d'une substance, d'après la loi de Welter. Cette dernière étant depuis longtemps déjà reconnue comme erronée, la méthode

de Berthier ne peut plus être prise en sérieuse considération.

Le D^r Gmelin faisait dépendre sa formule empirique de la quantité d'eau retenue hygroscopiquement dans le combustible. Sa méthode n'a pas été beaucoup appliquée. Le même sort a été réservé à la formule introduite par Jüptner.

Il est à remarquer que les appareils se construisent suivant deux modèles pour les essais industriels et pour des recherches scientifiques plus précises.

L'appareil pour les **essais industriels** comprend les pièces suivantes :

1. La bombe à combustion, émaillée intérieurement, avec électrode isolée en platine, un tube en platine allant jusqu'au fond de la bombe et une nacelle en terre réfractaire.
2. Un support s'adaptant sous la bombe pour la soutenir lorsqu'on visse le couvercle. Le support doit se fixer sur une table.
3. Un manomètre sur support avec tuyauterie amenant l'oxygène et s'adaptant d'un côté à un récipient à oxygène et de l'autre au couvercle de la bombe à combustion.
4. Deux petits tubes nickelés de faible diamètre avec vis s'adaptant au couvercle de la bombe à combustion.
5. Une vis de pression à 2 branches, découpée en forme de carré, passant au-dessus des bords du couvercle de la bombe. Ensuite deux clefs (vis) plus petites, une tige pour resserrer les soupapes du fil métallique pour enflammer, et des rondelles en plomb pour le joint.
6. Une presse avec forme en acier pour la confection des briquettes.
7. Un récipient à eau, nickelé.
8. Un manteau isolant consistant en un tonnelet en bois de chêne.
9. Un mécanisme pour mélanger, marchant à la main ou à l'aide d'un moteur (voir la figure sur la couverture).
10. Un thermomètre centigrade divisé en $\frac{1}{100}^{\circ}$.

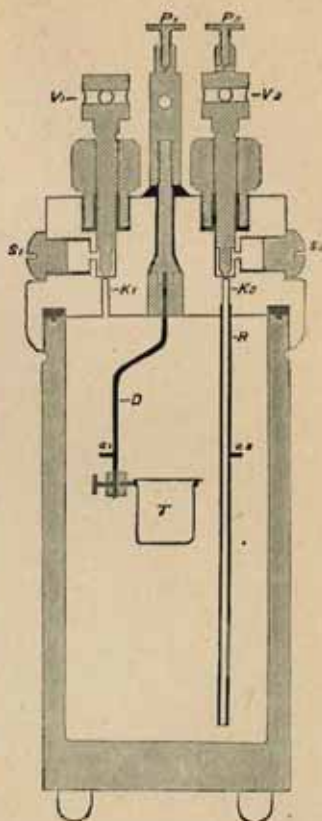
L'appareil destiné aux **usages scientifiques** diffère du précédent par les dispositifs suivants :

ad.1. La surface interne du couvercle de la bombe est revêtue d'une feuille de platine. Les deux pointes de soupape se corrodant très rapidement sont en platine irridiée. La nacelle en porcelaine est remplacée par un creuset en platine avec support et vis de serrage en platine.

ad.8. Le récipient isolant consiste en une enveloppe protectrice à double parois, en cuivre que l'on remplit d'eau ayant la température du laboratoire.

ad.10. Le thermomètre est divisé en $\frac{1}{100}^{\circ}$ c. avec certificat de l'Institut physico-technique de l'Empire; la lecture de l'échelle se fait au moyen de loupes.

La bombe consiste en un récipient en acier nickelé avec couvercle se vissant hermétiquement, d'une contenance d'environ 300 c.c. Le couvercle porte à sa partie centrale des bandes pour renforcer le système et auxquelles est adaptée la tuyauterie pour amener et évacuer les gaz. Le canal K_1 , auquel fait suite le tube en platine R , sert à l'introduction de l'oxygène; le canal K_2 , est destiné à donner issue aux gaz de la combustion. Ces deux conduits peuvent être fermés au moyen des vis V_1 et V_2 passant dans des boîtes à bouchage. Si on veut chasser l'air atmosphérique que se trouve dans la bombe, on ouvre un instant la soupape V_1 pendant l'introduction de l'oxygène. Il faut être certain que les conduits ne sont pas obstrués. Avant de plonger la bombe dans le récipient à eau, il est nécessaire de fermer les ouvertures latérales de connexion au moyen des vis S_1 et S_2 . Par la partie centrale du couvercle passe l'électrode isolée en platine D . Celle-ci porte de même que le tube en platine R , un petit appendice a_1 et a_2 destiné à retenir le fil métallique devant produire l'inflammation. T est le creuset en platine; dans l'appareil pour essais industriels, on se sert d'une nacelle en terre réfractaire. P_1 et P_2 sont deux petites vis de serrage pour maintenir les fils amenant le courant électrique.



Il est bien entendu que pour visser le couvercle, il n'est pas nécessaire de déployer un effort considérable; il faut surtout veiller à ce que les deux surfaces formant joint (l'anneau en plomb du couvercle et le bord du récipient) soient toujours propres et indemnes. La fermeture des soupapes ne nécessite également qu'un effort modéré.

Il faut aussi avoir soin que les pas de vis ne retiennent pas de corps étrangers et il est bon de les graisser au moyen de vaseline; on agira de même pour les surfaces en contact avant la fermeture de l'appareil.

Toute recherche comprend trois périodes; les préparatifs, la combustion proprement dite et la détermination.

La deuxième période se subdivise à son tour en trois phases: observation préliminaire, principale et finale.

Les préparatifs comprennent d'abord la pesée d'un fil de fer mince de 5-6 cm. de long, son introduction dans la forme-presse, le remplissage de celle-ci avec 1-1,5 gr. de la substance à essayer finement pulvérisée et la fabrication d'une sorte de briquette que l'on pèse. Ensuite, on pèse une quantité d'eau de 2000 à 2200 gr. — dans le récipient calorimétrique. Après que la bombe et son couvercle ont été placés à l'étuve pour enlever toute trace d'humidité, on place dans

l'appareil la briquette à essayer, en ayant soin d'attacher les bouts du fil de fer sortant de celle-ci aux petits appendices a1 et a2 des deux électrodes en platine. On ferme ensuite la bombe et on la remplit d'oxygène sous une pression de 20 atmosphères. Alors on place la bombe dans le récipient calorimétrique : Celui-ci contient, comme il a été dit plus haut, 2000 à 2200 gr. d'eau dont la température doit être réglée, afin d'éviter des corrections subséquentes, de façon à ce qu'après la combustion cette température atteigne à peu près celle du laboratoire ou mieux encore, qu'elle soit supérieure à celle-ci du même nombre de degrés que l'eau du calorimètre avait primitivement au-dessous de la température du laboratoire. Les divers préparatifs sont alors terminés et alors commence la combustion proprement dite.

Quelques instants après que la bombe a été portée dans le réservoir du calorimètre et que la compensation de température ait commencée, on met le mélangeur en mouvement et on note de minute en minute la température de l'eau, environ 8 ou 10 fois. Il est important que les oscillations de température soient à peu près constantes. Pour faire ces observations on s'est servi d'un thermomètre de laboratoire de Richter (marqué N^o. 12.043) dont chaque degré est divisé en 100 parties, de façon qu'au moyen d'une loupe, on puisse encore apprécier $\frac{1}{1000}$ de degré. Ce thermomètre a été contrôlé par l'Institut physico-technique et donnait les indications suivantes :

à	{	+ 14 degrés il y avait 0,01	} de degré en trop.	à	{	+ 20 degrés il y avait 0,01	} de degré en trop.
		+ 15 " " 0,02				+ 21 " " 0,01	
		+ 16 " " 0,01				+ 22 " " 0,01	
		+ 17 " " 0,01				+ 23 " " 0,01	
		+ 18 " " 0,01				+ 24 sans erreur appréciable.	
		+ 19 " " 0,01					

Ces corrections ne sont applicables que si la colonne mercurielle du thermomètre plonge entièrement dans l'eau. Si au contraire, comme cela se présente toujours au cours de nos recherches, une partie de la colonne mercurielle est émergée de l'eau du calorimètre dont il faut déterminer la température, il est nécessaire après avoir fait la correction provenant des erreurs du thermomètre, d'ajouter la correction $\frac{n(T-t)}{6300}$. Dans cette formule n est la longueur, exprimée en degrés, de la colonne mercurielle émergeant de l'eau, T est la température lue sur l'échelle et t la température moyenne de la partie non immergée du thermomètre. Cette dernière se mesure au moyen d'un thermomètre accessoire dont le réservoir à mercure se trouve à mi-hauteur de la partie de la tige du thermomètre principal ne plongeant pas dans l'eau du calorimètre. Lorsque les

oscillations de température sont restées constantes de minute en minute (pendant 8-10 minutes environ,) ou, si pendant ce laps de temps on n'observe pas de différences de température, alors seulement l'observation préliminaire est terminée. Dix secondes avant d'avoir atteint ce moment, on ferme le circuit électrique et alors commence l'observation principale. Les électrodes sortant du couvercle de la bombe étant intercalées dans le circuit, en fermant le courant, le fil de fer qui se trouve à l'intérieur de la bombe devient instantanément incandescent et vu l'atmosphère d'oxygène à haute pression, brûle immédiatement ainsi que la briquette de combustible qui y adhère. Le fil de fer est entièrement transformé en oxyde de fer, qui après ouverture de la bombe, se présente sous l'aspect de petites sphères d'un bleu foncé; quant au charbon — et Berthelot l'a démontré pour tout combustible (Annales de chimie et de physique [6]) — il est complètement brûlé sans résidu, donc sans cette condensation de goudron, presque toujours inévitable, qui se produit avec d'autres calorimètres à combustion à air libre. Relativement à ce dernier point, le coke seul fait exception, car cette substance, même dans l'oxygène à haute pression, ne brûle pas complètement. (Pour le phosphore un fait analogue se présente: ce corps très inflammable d'ordinaire ne présente plus de réaction, pas même de lueurs dans l'oxygène pur à la pression atmosphérique). Dans les recherches calorimétriques concernant le coke il est nécessaire de mélanger celui-ci à une quantité de paraffine rigoureusement pesée, dont la chaleur de combustion est exactement connue. Le coke et l'antracite, celui-ci à un degré moindre, même finement pulvérisés, se laissent difficilement comprimer en une briquette; il est par ce fait très recommandable de brûler ces substances à l'état pulvérulent.

Peu après la fermeture du courant, le thermomètre monte rapidement. Les changements de température doivent être observés très rigoureusement et il est surtout nécessaire d'apporter tous ses soins dans la détermination du maximum de température. Ceci se fait normalement de 4 à 6 minutes après l'inflammation. Alors se termine l'observation principale et l'observation finale commence.

La température baisse lentement et doit être observée encore pendant 8 à 10 minutes. Durant ces différentes observations, l'appareil mélangeur doit être mis en mouvement, autant que possible d'une manière uniforme. Lorsque l'observation finale est terminée, on enlève la bombe du réservoir calorimétrique et on l'essuie soigneusement: elle est prête pour la détermination de la teneur en eau.

En brûlant des combustibles ordinaires, il se produit de l'eau provenant en partie de l'hydrogène combiné et en partie

de l'humidité retenue hygroscopiquement par la matière. Par la combustion de ces substances sur la grille d'une chaudière, toute cette eau se transforme en vapeur et se perd dans l'atmosphère avec la fumée. La chaleur de cette vapeur dont la température atteint 200° à 350° et même davantage, est donc totalement perdue dans le chauffage d'une chaudière. Lorsqu'on opère la combustion dans la bombe, cette eau ainsi que les autres produits sont refroidis à environ 20° , elle se condense donc et la quantité de chaleur qui devient libre se transmet au calorimètre. Conséquemment, par la méthode de recherche du calorimètre, il est accusé une plus grande quantité de chaleur que par la combustion sur la grille d'un foyer et c'est là le motif pour lequel, à chaque détermination de chaleur de combustion, il faut doser quantitativement l'eau produite pendant la combustion. Les houilles, possédant des chaleurs de combustion très élevées, développent relativement peu d'eau: aussi, au maximum, la valeur trouvée au calorimètre est-elle plus élevée que la chaleur de combustion utile (chaleur de combustion moins la chaleur de formation de l'eau qui a pris naissance) de 250 à 300 calories. L'erreur n'est donc pas si considérable. Mais pour tous les autres produits: lignites, bois, tourbe, tant à cause de leur teneur très élevée en hydrogène que de l'humidité y adhérente, (appelée humidité des fosses pour le charbon) l'erreur est si grande qu'il est impossible de juger de la valeur de la substance uniquement par la combustion, il arrive parfois que pour les produits en question, l'eau de combustion atteint 60 %. Il est donc nécessaire pour avoir une idée exacte de la valeur de combustible de faire un dosage de l'eau formé et de faire cadrer cette donnée avec les mesures faites au calorimètre.

Pour réaliser cette opération, le Dr Kröker a transformé la bombe calorimétrique construite primitivement par Berthelot en fixant au travers du couvercle deux conduits pouvant être fermés hermétiquement par des soupapes. L'un de ces conduits est prolongé à l'intérieur de la bombe par un petit tube en platine touchant presque le fond de celle-ci. (Ce petit tube constitue en même temps l'une des électrodes). A l'aide de ces deux conduits, il est possible, après la combustion, d'envoyer dans la bombe un courant continu d'air absolument sec. Pour cela, on adapte au conduit K un tube à chlorure de calcium dont on connaît le poids exact et on relie l'autre conduit à une éprouvette remplie également de chlorure de calcium. Cette dernière est mise en communication avec un dispositif fournissant de l'air sous pression. Pour arriver à ce résultat d'une façon très simple, on prend deux grands flacons en verre dont l'un est plein d'eau et situé à un niveau plus élevé que l'autre

Marche de la température :

Nos	Observation préliminaire.		Observation principale.		Observation finale.		Remarques.
	Lecture.	Diff.	Lecture.	Lecture après cor.	Lecture.	Diff.	
	$\tau =$	$v =$	$t =$	$t =$	$\tau' =$	$v' =$	
1	18,750	+	18,759	18,749	21,744	—	Le charbon fut analysé tel qu'il fut livré, n'ayant donc pas la sécheresse de l'air.
2	18,753	0,003	19,170		21,742	0,002	
3	18,753	0,000	20,530		21,739	0,003	
4	18,756	0,003	21,240		21,729	0,010	
5	18,756	0,000	21,590		21,720	0,009	
6	18,757	0,001	21,723		21,713	0,007	
7	18,758	0,001	21,749	21,739	21,707	0,006	
8	18,758	0,000	Diff.	2,990	21,704	0,003	
9	18,759	0,001					
10	18,759	0,000					
Tot.	187,559	0,009			173,798	0,040	
Moyenne	18,756	0,001			21,725	0,005	

Comme on peut le voir, la température de l'eau du calorimètre s'est élevée de 2,990°. Ceci n'est pourtant que l'élévation de température apparente, car on n'a pas tenu compte ici de l'influence du milieu ambiant sur l'eau du calorimètre. L'erreur résidant pour cette cause dans le nombre 2,990°, peut être corrigée par une formule dite formule de Regnault-Stohmann-Pfaundler.

D'après celle-ci, on a :

$$\text{Corr.} = \frac{v - v'}{\tau' - \tau} \left(\frac{t_2 - t_1}{9} + \frac{t_1 - t_n}{2} + \sum_1^{n-1} (t) - n\tau \right) - (n-1)v.$$

Voici les désignations :

v = Moyenne des différences de température de l'observ. prélim.

τ = Moyenne des températures lues pendant l'observ. prélim.

$t_1, t_2 \dots t_n$ = Températures lues pendant l'observation principale.

v' = Moyenne des différences des températures de l'observ. finale.

τ' = Moyenne des températures lues pendant l'observ. finale.

n = Nombre de lectures pendant l'observation principale.

Voici les valeurs respectives pour notre exemple :

$$\begin{aligned} v-v' &= 0,001 + 0,005 = 0,006^{\circ} \\ \tau'-\tau &= 21,725 - 18,756 = 2,969^{\circ} \\ \frac{t_2-t_1}{9} &= \frac{0,411}{9} \dots\dots = 0,046^{\circ} \\ \frac{t_1+t_n}{2} &= \frac{40\ 488}{2} \dots\dots = 20,244^{\circ} \\ \sum_{1}^{n-1} (t) &\dots\dots\dots = 123,012^{\circ} \\ n \tau &= 7 \cdot 18,756 \dots\dots = 131,292^{\circ} \\ (n-1) v &= 6 \cdot 0,001 \dots\dots = 0,006^{\circ} \end{aligned}$$

Conséquemment :

$$\text{Corr.} = \frac{0,006}{2,969} (0,046 + 20,244 + 123,012 - 131,292) = 0,006$$

$$\text{Corr.} = 0,012^{\circ}$$

Élévation de température après Correction : $2,990^{\circ} + 0,012^{\circ} = 3,002^{\circ}$

Capacité calorifique d'eau = 2100 gr.

Chaleur spécifique du calorimètre = 340 „

$$\text{Total} = 2440 \text{ gr.}$$

En tout, il fut produit :

$$3,002 \cdot 2440 \text{ cal.} = 7324,8 \text{ cal.}$$

Ont concourrus à ce développement total de chaleur :

- a) le charbon consumé.
- b) le fil de fer brûlé.
- c) les chaleurs de formation de petites quantités d'acide nitrique et d'acide sulfurique.

La chaleur de combustion cherchée pour l'échantillon de charbon est représentée par la formule :

$$\begin{aligned} \text{Chaleur de combustion} &= [a - (b + c)] : 1,0772 \\ &= [7324,8 - (b + c)] : 1,0772 \end{aligned}$$

ad b). 0,0187 gr. de fil de fer donne par sa combustion complète en oxyde de fer 30 cal. (Exactement 29,92 cal).

ad c). Pour les acides formés on peut évaluer à 5-8 cal., la quantité de chaleur à retrancher et cette hypothèse sera exacte pour la majeure partie des espèces de charbon.

La quantité totale de chaleur développée dans la bombe calorimétrique devient donc :

$$[7324,8 - (30 + 8)] : 1,0772 = [7324,8 - 38] : 1,0772 = \\ 7286,8 : 1,0772 = \mathbf{6764 \text{ cal.}}$$

En tout, 0,5436 gr. d'eau ont été retenus dans l'appareil à chlorure de calcium. Dans cette quantité totale d'eau, il y a 0,025 gr. d'eau, qui proviennent de l'oxygène comprimé, cela a été démontré dans une série d'expériences. Donc par la combustion du charbon, il n'y a effectivement que (0,5436 - 0,025) gr. = 0,5186 gr. d'eau produite ; soit 48 % du charbon consommé.

La quantité de chaleur provenant de cette eau comporte :
48,6,0 cal. = **288 cal.**

La chaleur de combustion effective du charbon envisagé est donc égale à :

$$6764 \text{ cal.} - 288 \text{ cal.} = \mathbf{6476 \text{ cal.}}$$

Il reste à dire quelques mots concernant les quantités d'eau de la bombe et du calorimètre auxquelles on a fait allusion au commencement de cette détermination calorimétrique.

La chaleur de combustion produite dans un essai calorimétrique n'est pas absorbée complètement par l'eau du calorimètre ; une certaine quantité sert à porter le réservoir de l'appareil, la bombe et la partie du thermomètre plongeant dans l'eau du calorimètre, à la température maximum. La quantité de chaleur employée à cet effet, lorsque la température de l'eau du calorimètre s'élève de 1°, s'appelle *valeur d'eau du calorimètre*. Cette constante se détermine en tenant compte du poids des différentes parties en contact avec l'eau du calorimètre et de leurs chaleurs spécifiques respectives ; seulement, cette façon de procéder présente de nombreuses difficultés.

La valeur d'eau du calorimètre peut se déterminer plus facilement et plus sûrement par l'expérience.

On brûle, comme dans les essais de charbon, une quantité déterminée d'une substance dont on connaît la chaleur de combustion et on établit la différence existant entre celle-ci et le résultat trouvé au calorimètre. On se sert ordinairement pour cette détermination de sucre chimiquement pur dont la chaleur de combustion a été fixée, par Berthelot, d'une façon positive, à 3962 cal.

Dans la recherche établie plus haut, la valeur d'eau du calorimètre, après trois expériences, fut fixée à

$$\mathbf{340 \text{ cal.}}$$

BRUXELLES. IMPRIMERIE HENRI REIS, RUE MARCO, 18.

Appareils pour les essais des huiles servant dans l'industrie.

9. **Appareil pour déterminer le point d'inflammabilité des huiles minérales et huiles grasses** d'après Pensky-Martens pour les huiles de 50 à 250° C. (officiellement employé en Allemagne) Fr. 135.—
10. Idem. pour le pétrole d'après Abel, complet avec baromètre, certificat de vérification, etc. (officiellement employé en Allemagne). . . Fr. 195.—
11. **Viscosimètre d'Engler** pour la détermination du pouvoir lubrifiant des huiles, complet avec certificat de vérification (employé officiellement en Allemagne) chauffage au gaz Fr. 85.—
12. **Nouveaux aréomètres** (densimètres), modèle allemand pour la vérification des huiles industrielles, minérales, etc. Fr. 7.50

de 0,610 — 0,700	}	avec thermomètre de	}	pour la benzine, huiles éclairantes, etc.
0,680 — 0,770		- 10 à + 50° C.		
0,750 — 0,840				
0,820 — 0,910	}	avec thermomètre de	}	pour huiles de graissage, etc.
0,890 — 0,990		de -1 à + 60° C.		
13. Eprouvette à pied et bord pour ces aréomètres Fr. 2.50

THERMOMÈTRES ET PYROMÈTRES.

14. **Thermomètres** à mercure en chemise de verre allant jusque 100, 200, 360° C avec échelle en papier Fr. 2.00 2.50 —
 " " " verre opale Fr. 3.25 3.75 4.50
15. **Thermomètres** à mercure pour hautes températures (Pyromètres). (L'espace au dessus du mercure est rempli d'acide carbonique sous une pression de 20 atmosphères); échelle avec point de zéro et allant de 180 à 550° C en degrés entiers, 42 à 43 cm de long, échelle gravée et vitrifiée sur le verre Fr. 30.—
16. **Les mêmes** avec certificat officiel de vérification de l'Institut physico-technique d'Allemagne Fr. 45.—
17. **Les mêmes thermomètres** plus longs pour usage de fabriques en monture de fer, longueur de l'échelle 35 à 40 cm de 0 à 550° C, divisé de 5 en 5 degrés, longueur de la tige inférieure. $\frac{1}{2}$ 1 mètre
 Fr. 55.— 70.—
18. **Les mêmes thermomètres** de 0 à 550° C divisé de 5 en 5 degrés avec échelle en verre opale (donc plus lisible) en monture de laiton, la tige inférieure en monture de fer
 longueur de la tige inférieure $\frac{1}{2}$ $\frac{3}{4}$ 1 mètre
 Fr. 70.— 80.— 98.—
19. **Pyromètre d'après Lechatelier** pour la mesure de très hautes températures jusque 1600° C.

L'appareil se compose d'une paire de fils en platine-platine-rhodium soudés ensemble par un bout et formant ainsi une pile thermoélectrique. Cette pile est introduite dans le four dont on veut mesurer la température; les deux fils pour les isoler l'un de l'autre et pour les protéger contre les influences corrosives des gaz de four, sont montés entre deux tubes en porcelaine d'une composition spéciale.

Les deux fils amenés par les deux tubes en porcelaine sortant des fours sont reliés par des bornes à des fils de cuivre ordinaires qui conduisent à un galvanomètre (millivoltmètre) gradué en centigrades et permettant ainsi la lecture directe de la température. Ce galvanomètre peut être installé à n'importe quelle distance du pyromètre.

En possédant plusieurs pyromètres dans plusieurs fours on peut à l'aide d'un commutateur lire successivement les différentes températures sur le même galvanomètre.

Le pyromètre (couple thermoélectrique) est vérifié par l'Institut physico-technique de l'Allemagne. Ces appareils donnent le plus haut degré de précision que l'on peut obtenir pour des températures aussi élevées.

Prix de l'appareil complet se composant du pyromètre en platine-platine-rhodium, monture en tubes de porcelaine spéciale, galvanomètre fin aperiédique gradué jusque 1600° C. Fr. 525.—

Le pyromètre Lechatelier est en usage dans de nombreux établissements industriels tels que fabriques de produits chimiques, ciments, matières réfractaires, verreries, hauts fourneaux, fours à coke, aciéries et industries les plus diverses.

La brochure descriptive donnant de nombreux certificats est envoyée franco sur demande.

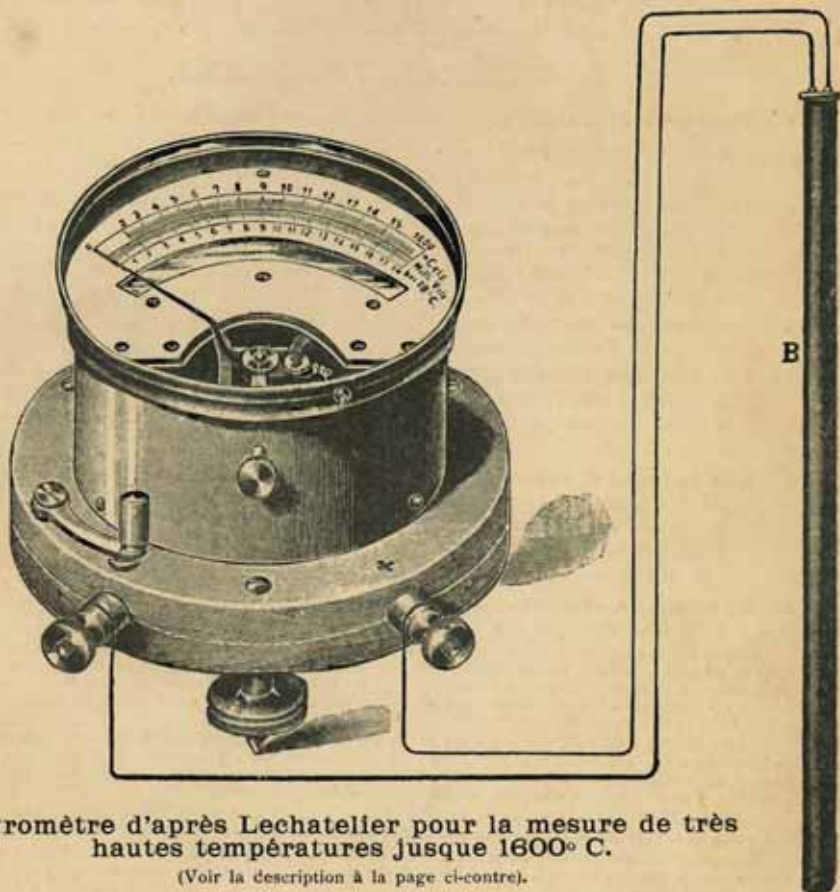
20. **Indicateur de Watt** d'après Richards, nouveau modèle muni des perfectionnements les plus récents Fr. 350.—
 21. **Réducteur de course** pour indicateur Fr. 125.—
 22. **Planimètre Amsler** suivant brochure spéciale . . Fr. 60.— à 150.—
 La maison fournit comme spécialité tous les instruments scientifiques pour laboratoires et pour l'industrie.

Appareils (Dynamomètres) pour les essais des métaux, fils, tissus, papiers, etc.

Idem pour les essais des matières de construction, ciments, etc.

Photomètres, Colorimètres, Microscopes, Polarimètres, Spectroscopes, Refractomètres, Balances de précision et Balances à l'usage technique, Fours de laboratoires des meilleurs systèmes, Presses de laboratoires, Verreries, Produits chimiques.

Spécialité : Thermomètres, Aréomètres, Densimètres pour toutes les industries.



Pyromètre d'après Lechatelier pour la mesure de très hautes températures jusque 1600° C.

(Voir la description à la page ci-contre).