

**Zeitschrift:** Bulletin de la Société Vaudoise des Sciences Naturelles  
**Herausgeber:** Société Vaudoise des Sciences Naturelles  
**Band:** 40 (1904)  
**Heft:** 150

**Artikel:** Sur les combustions en vases clos  
**Autor:** Garuti, V. / Pelet, L.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-284140>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 15.04.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# SUR LES COMBUSTIONS EN VASES CLOS

PAR

MM. V. GARUTI et L. PELET

Dans une étude précédente, l'un de nous, en collaboration avec M. Jomini, a montré que dans des espaces clos de différents volumes l'extinction de la flamme d'un combustible quelconque se produit d'autant plus rapidement que le volume de l'espace clos est plus grand.

Les résultats obtenus étaient les suivants :

Volumes . .	0,7	2	7	12	60	1250 litres.
Bougies . .	8,77	7,12	6,68	5,24	4,50	4,19
Pétrole . .	—	7,12	6,22	5,98	4,80	4,66
Soufre . .	11,10	8,30	8,42	8,24	7,88	4,26
Benzène . .	13,29	12,70	12,28	8,45	7,06	5,50
Alcool . .	13,33	12,19	10,98	9,50	7,71	7,13
Acétylène .	15,35	14,89	13,86	12,98	11,64	—

Les valeurs exprimées indiquent la proportion en pour cent d'oxygène disparu correspondant à chaque corps considéré.

De leurs résultats, les auteurs concluaient que la combustion est indépendante du volume de la cloche et que dans les petits volumes la combustion était poussée plus loin grâce à l'échauffement proportionnellement plus rapide et plus élevé de l'air ambiant.

D'autre part, en établissant des courbes graphiques correspondantes aux données trouvées pour chaque corps,

on constatait que dans de très grands volumes la limite de combustibilité varie à peine, et semble tendre vers une constante.

Il nous a paru intéressant de rechercher si réellement cette constante existait et s'il était possible de déterminer la limite de combustibilité dans un volume infini, et d'examiner si cette valeur pouvait être considérée comme une constante physique pour les corps combustibles.

Dans nos recherches, nous ne sommes pas parvenus à établir cette constante, mais les résultats que nous avons obtenus peuvent présenter quelque intérêt et servir à mettre au point cette intéressante question.

Afin d'étudier la limite de combustibilité dans un volume infini, nous avons considéré le cas d'une très petite flamme brûlant dans un très grand volume ; dans ces conditions nous nous serions approchés du volume infini, lorsque le rapport entre le volume de la flamme et celui de l'espace clos est très petit ( $10^{-5}$  par exemple).

Des recherches précédentes, il ressortait en outre qu'il devait exister une relation entre la limite de combustibilité et les propriétés physiques du combustible ; afin d'obtenir des renseignements qui nous permettraient d'élucider la chose, il fallait posséder non pas des données isolées, mais au contraire étudier des composés appartenant à des séries homologues. C'est pourquoi nous avons opéré d'une part avec les hydrocarbures liquides homologues du benzène et les premiers termes de la série des alcools monoatomiques saturés de la série grasse.

*Méthode expérimentale de travail.* Les combustions ont été opérées dans des espaces clos formés par des cloches de verre soit placées sur un bain de mercure, soit lutées hermétiquement sur une plaque de verre.

Dans nos différentes séries, nous avons toujours opéré avec deux cloches l'une de 15,95 litres de contenance interne, l'autre de 18,002 litres.

La prise de gaz se faisant toujours à la partie supérieure. Les cloches étaient munies :

- a) D'un manomètre à air libre.
- b) D'un thermomètre à mercure divisé en degrés.
- c) D'un tube de prise d'essai.

Nous avons réalisé des flammes aussi petites que possible en employant une mèche par un seul fil.

Comme nous avons constaté (ce qui était facile à prévoir) que la combustion d'un même liquide varie avec la distance qui sépare le point où se produit la flamme de la surface du liquide à brûler (influence de la capillarité) nous avons fait toutes nos mesures en opérant dans des conditions identiques et en plaçant la flamme à 3 cm. au-dessus du liquide.

La mèche sortait à peine d'un ajutage formé d'un petit tube de verre étiré, placé verticalement au-dessus du liquide.

Après quelques tâtonnements nous avons réussi à obtenir des flammes excessivement petites dont la grandeur maxima ne dépassait pas 10 mm<sup>3</sup>.

Le rapport entre le volume de la flamme et le volume de l'air de l'espace clos était approximativement pour la petite cloche 1/1 500 000 et pour la grande cloche 1/1 800 000.

L'analyse des gaz a été faite comme précédemment au moyen de l'appareil d'Orsat.

Les produits que nous avons employés étaient tous chimiquement purs.

1<sup>re</sup> SÉRIE. — *Hydrocarbures de la série du benzène brûlant dans la grande cloche.*

Noms	Eb :	CO <sub>2</sub>	OR	OD	N	T	D
Benzène . . .	80°4	3,11	17,11	3,69	79,24	20°8	44'
Toluène . . .	110°3	2,05	18,36	2,44	79,58	20°	27
<i>o</i> -xylène . .	142°	1,85	18,58	2,22	79,56	20°5	17
<i>m</i> -xylène . .	137°	1,62	18,72	2,08	79,64	20°2	19
Mésitylène . .	162°	1,66	18,72	2,08	79,73	21°	16
ψ-cumol . .	170°	1,73	18,75	2,05	79,54	21°5	19,5

Les valeurs que nous indiquons sont la moyenne de quatre dosages pour chacun des corps considérés CO<sup>2</sup> indique la quantité de CO<sup>2</sup> trouvée en volume pour cent à chaque dosage, OR et OD indiquent respectivement les valeurs, calculées comme précédemment, de l'oxygène restant et de l'oxygène disparu, T désigne la température de l'air de l'espace clos pendant l'expérience et D désigne la durée de la combustion en minutes.

2<sup>e</sup> SÉRIE. — *Hydrocarbures de la série du benzène brûlant dans la petite cloche.*

	Eb :	CO <sub>2</sub>	OR	OD	N	T	D
Benzène . . .	80 <sup>o</sup> ,4	3,12	17,05	3,75	79,79	21 <sup>o</sup> ,4	34
Toluène . . .	110 <sup>o</sup> ,3	2,06	18,44	2,36	79,49	19 <sup>o</sup> ,5	21
<i>o</i> -xylène . . .	142 <sup>o</sup>	1,91	18,46	2,34	79,62	21 <sup>o</sup>	13
<i>p</i> -xylène . . .	136 <sup>o</sup>	1,74	18,83	1,97	79,42	21 <sup>o</sup> ,8	13
<i>m</i> -xylène . . .	137 <sup>o</sup>	1,61	18,88	1,35	79,49	23 <sup>o</sup>	12,5
Mésitylène . . .	162 <sup>o</sup>	1,67	18,83	1,97	79,49	23 <sup>o</sup>	13
ψ-cumol . . .	170 <sup>o</sup>	1,63	18,28	2,52	80,08	22 <sup>o</sup> ,1	15,5

3<sup>e</sup> SÉRIE. — *Alcools monoatomiques de la série grasse brûlant dans la grande cloche.*

Alcool	Eb.	CO <sub>2</sub>	OR	OD	N	T	D
Méthylque . . .	66 <sup>o</sup> ,3	2,21	17,72	3,08	80,06	19 <sup>o</sup>	25
Ethylque . . .	78 <sup>o</sup>	1,81	18,53	2,27	79,65	19 <sup>o</sup> ,2	19
Propylque . . .	97 <sup>o</sup>	2,08	17,83	2,97	80,06	21 <sup>o</sup>	17
Amylique . . .	137 <sup>o</sup>	1,51	18,61	2,19	79,85	19 <sup>o</sup>	22

4<sup>e</sup> SÉRIE. — *Alcools monoatomiques de la série grasse brûlant dans la petite cloche.*

Alcool	Eb.	CO <sub>2</sub>	OR	OD	N	T	D
Méthylque . . .	66 <sup>o</sup> ,3	2,21	17,81	2,99	79,98	19 <sup>o</sup>	20
Ethylque . . .	78 <sup>o</sup>	1,66	18,72	2,27	79,62	18 <sup>o</sup>	17
Propylque . . .	97 <sup>o</sup>	2,01	18,04	2,97	79,97	21 <sup>o</sup>	11
Amylique . . .	137 <sup>o</sup>	1,48	18,97	2,19	79,55	19 <sup>o</sup> ,5	14

De ces résultats nous pouvons admettre d'une façon générale :

1<sup>o</sup> Que le pour cent d'oxygène disparu sous la forme

d'acide carbonique est indépendant du volume, ce qui confirme les conclusions tirées précédemment par MM. Pelet et Jomini.

2° Que d'une façon générale la quantité d'acide carbonique qui se forme, diminue à mesure que le poids moléculaire s'élève ou ce qui revient au même que le point d'ébullition augmente. Cette décroissance de  $\text{CO}_2$  est surtout sensible pour les premiers termes des hydrocarbures, tandis qu'elle est presque insensible pour les derniers.

Les expériences faites dans la grande cloche, où nous nous rapprochions davantage du volume infini, donnent des valeurs légèrement plus faibles que dans la petite cloche.

Nous devons cependant faire remarquer que les différences entre les valeurs obtenues dans les deux cloches sont comprises dans la limite d'erreur admissible avec la méthode d'analyse que nous avons employée.

## II

Dans cette deuxième partie nous chercherons à discuter les résultats obtenus jusqu'à maintenant, et nous essaierons d'établir une expression mathématique du phénomène étudié. Nous ne croyons pas cependant que cet essai puisse être considéré comme une solution définitive de la question, mais comme il introduit des considérations nouvelles et qu'il est susceptible d'en amener d'autres encore, nous avons cependant tenu à le publier.

Nous devons tout d'abord distinguer nettement le cas des combustions dans des espaces clos que nous avons exécuté et les combustions dans le volume infini.

Nos expériences ne réalisent certainement pas le volume infini, car dans ce cas nous pouvons admettre que la combustion est toujours identique à elle-même et l'extinction ne peut s'y produire que mécaniquement ou par

manque de combustible, tandis que dans nos expériences en vase clos, la combustion prend fin quand les produits de la combustion sont en quantité telle qu'ils empêchent la continuation des réactions entre l'oxygène et les éléments du combustible; aussi trouve-t-on que la flamme dure plus ou moins longtemps suivant que le rapport du volume de la flamme au volume de l'espace est plus ou moins grand.

Si donc dans le volume infini le phénomène de combustion est toujours identique à lui-même, dans les espaces clos la combustion varie nécessairement d'un instant à l'autre.

La combustion en vase clos pourrait donc être étudiée, au moins théoriquement, par l'étude partielle des réactions qui se produisent pendant la durée de la combustion. Nous ne possédons, pour le moment, aucun des éléments expérimentaux de ce problème et nous nous contenterons de l'étudier d'une manière pour ainsi dire globale, en faisant l'examen de l'état initial et de l'état final de l'atmosphère renfermée dans l'espace clos et en tenant compte de la durée de la combustion.

Les bases théoriques de notre manière d'envisager la combustion dans les espaces clos sont les suivantes :

Lorsque le rapport entre le volume de la flamme et celui de l'espace clos est très petit, la combustion peut être assimilée à une réaction isothermique se passant à volume constant. Cette hypothèse se justifie par le fait qu'en réalité la différence entre la température de la flamme et celle du milieu ambiant varie d'une manière très peu sensible pendant la durée de la combustion.

Notre hypothèse pourrait encore se justifier par le fait que les phénomènes d'explosion, qui ont tant d'analogie avec les combustions, sont traités, par les auteurs les plus compétents, d'une façon toute semblable.

Notre hypothèse implique en outre que la combustion

dans un espace clos se fait avec une vitesse et une accélération déterminée.

Si nous avons admis que la réaction peut être assimilée à une réaction isothermique à volume constant, c'est encore parce qu'elle est modérée, c'est-à-dire que sa vitesse diminue d'un instant à l'instant suivant.

En représentant par  $\alpha$  la vitesse de combinaison de l'oxygène et par  $2\beta$  l'accélération négative de la combinaison de l'oxygène à un instant  $\theta$  compté à partir du commencement de la réaction on aura :

$$\alpha \theta + \beta \theta^2 = \gamma$$

ou  $\gamma$  représentera la quantité d'oxygène disparu depuis le commencement de la réaction jusqu'à l'instant  $\theta$ .

Au lieu de considérer un temps  $\theta$  quelconque, considérons le temps  $T$  durée totale de la combustion,  $\gamma$  dans ce cas sera l'oxygène disparu pendant la durée de la combustion.

Notre formule sera

$$\alpha T + \beta T^2 - OD = 0$$

Par l'expérience nous pourrions aisément déterminer les valeurs de  $T$  et  $OD$ .

Examinons maintenant de quels facteurs dépend la durée totale de la combustion. L'observation nous a appris qu'elle est en fonction du volume de l'espace  $V$ , la durée  $T$  étant d'autant plus grande que celui-ci est plus grand.

La durée est aussi fonction de la température  $t$  et de la pression  $p$  qui existent dans l'espace où la combustion a lieu, elle sera en outre fonction d'autres facteurs que nous ne pouvons apprécier et qui dépendent en partie de la nature du corps; nous désignerons ces facteurs par  $n$ .

Nous pouvons donc donner à  $T$  la forme

$$T = f(v. t. p. n.)$$

et la représentation générale de la combustion en vase clos prendra la forme suivante :

$$\alpha f(v. t. p. n.) + \beta [f(v. t. p. n.)]^2 - OD = 0.$$

Nous ne connaissons pas les relations qui existent entre  $v. t. p.$  et  $n.$ , mais nous connaissons la valeur globale  $T$  de la fonction qui les contient.

Afin de déterminer les valeurs de  $\alpha$  et  $2\beta$ , il nous suffira de connaître les valeurs de  $T$  et de  $OD$  pour deux cloches de volumes différents à la condition cependant que la température et la pression restent identiques ; il ne serait pas sans intérêt aussi de rechercher les variations de  $\alpha$  et  $2\beta$  dans une même cloche, lorsque la température varie ; nous espérons étudier ces divers points dans une prochaine étude.

De la formule générale il résulte comme corollaire que dans deux cloches de volume différent les quantités d'oxygène disparu doivent être différentes, s'il n'en était pas ainsi notre système d'équations

$$\left\{ \begin{array}{l} \alpha T_1 + \beta T_1^2 - OD = 0 \\ \alpha T_2 + \beta T_2^2 - OD = 0 \end{array} \right\}$$

correspondant aux résultats d'expérience effectuée serait indéterminé ; il en résulte encore que dans un cas pareil on pourrait donner à  $2\beta$  une valeur quelconque et en particulier positive ce qui serait en contradiction avec la réalité.

Laboratoire de chimie industrielle de l'Université.

Juin 1904.

