

~~XVIII-14-15~~
1

XIV $\frac{30}{1}$

COMPTES RENDUS

HEBDOMADAIRES

DES SÉANCES

DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES

PUBLIÉS,

CONFORMÉMENT A UNE DÉCISION DE L'ACADÉMIE

En date du 13 Juillet 1835,

PAR MM. LES SECRÉTAIRES PERPÉTUELS.

TOME QUATRE-VINGT-TREIZIÈME.

93

JUILLET — DÉCEMBRE 1881.

1841
2

8 $\frac{14}{2}$ 36.



93.22-5075

PARIS,

GAUTHIER-VILLARS, IMPRIMEUR-LIBRAIRE

DES COMPTES RENDUS DES SÉANCES DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES,

SUCESSEUR DE MALLET-BACHELIER,

Quai des Augustins, 55.

1881

THERMOCHIMIE. — *Sur la vitesse de propagation des phénomènes explosifs dans les gaz*; par M. **BERTHELOT**.

« La suite des expériences que j'ai entreprises, avec la collaboration de M. Vieille, sur les matières explosives, nous a conduits à examiner la vitesse de propagation de l'explosion dans ces matières, et tout d'abord dans les gaz, dont la constitution physique donne à ces recherches une portée théorique et un intérêt tout particuliers. Nous avons entrepris cette étude, en variant les conditions du phénomène, la pression des gaz, leur nature et leur proportion relative, la forme et les dimensions des vases qui les renferment : le sujet est vaste et difficile. Quoiqu'il nous occupe depuis plusieurs mois et qu'il nous ait donné des résultats inattendus, nous ne comptons pas encore les faire connaître; mais ces jours-ci, MM. Mallard et Le Châtelier, savants dont l'Académie connaît le grand mérite, sont venus me communiquer leurs recherches sur une question analogue, qu'ils avaient abordée par une méthode d'ailleurs toute différente. Je leur ai fait part de nos propres résultats et je les ai engagés à publier les leurs, me réservant d'en faire autant de mon côté, afin de conserver de part et d'autre l'originalité de nos travaux et le droit de les poursuivre.

» Les premières expériences que nous avons faites, M. Vieille et moi, ont été exécutées sur deux mélanges explosifs homogènes, savoir : l'hydrogène mêlé à l'oxygène, dans le rapport de 2 volumes de l'un pour 1 volume de l'autre; et l'oxyde de carbone mêlé à l'oxygène, suivant les mêmes rapports, qui sont ceux d'une combustion totale. Observons que les produits de la combustion du premier mélange (vapeur d'eau) se condensent entièrement; tandis que ceux du second (acide carbonique) sont entièrement gazeux, mais avec une condensation finale d'un tiers. Nous nous proposons aussi d'étudier divers autres mélanges, par exemple le cyanogène et l'oxygène, $C^4Az^2 + O^4$, qui forment des produits gazeux sans condensation ($C^2O^4 + Az^2$).

» On a rempli chaque fois avec le mélange explosif, sous la pression atmosphérique, un tuyau de fer long de 5^m, d'un diamètre intérieur égal à 8^{mm}, susceptible d'être maintenu soit ouvert, soit fermé, à ses extrémités. Ce tuyau était formé de deux bouts, de 2^m,50 chacun, assemblés à l'aide d'un collier à gorge; entre deux se trouvent deux rondelles de cuir, percées dans leur partie centrale, de façon à établir la pleine continuité du canal;



(19)

entre ces rondelles était pincée une bande de papier étroite, sur laquelle on avait collé à l'avance une bande plus étroite encore, formée d'une feuille d'étain très mince, pouvant cependant résister à un effort même notable, et incapable, dès lors, d'être brisée par le simple passage d'une onde sonore : cette bande d'étain laissait circuler un courant électrique, destiné à être interrompu au moment du passage de l'onde explosive, par les effets de choc violent et d'inflammation subite qui l'accompagnent. Ceux-ci ne suffisant même pas en général pour rompre la lame, on a dû avoir recours à l'artifice suivant. Pour rendre cette interruption instantanée, on a fixé dans un pli de la bande d'étain un grain presque impondérable d'une substance explosive solide, incapable, d'ailleurs, de détoner par le simple passage d'une onde sonore. Nous avons employé tour à tour à cet effet le fulminate de mercure, et le picrate de potasse, qui est beaucoup moins sensible au choc, tout à fait insensible aux vibrations sonores, et qui ne se détruit qu'à une température plus haute (300°) : les résultats ont été les mêmes.

» A l'une des extrémités, on enflammait le mélange à l'aide d'une seule étincelle électrique, très faible.

» Nous avons enregistré, sur un cylindre tournant enduit de noir de fumée, et avec le concours des appareils ingénieux dus à M. Marcel Deprez :

» 1° Le passage de l'onde explosive à quelques millimètres du point enflammé par l'étincelle;

» 2° Le passage de l'onde explosive au bout d'un trajet de 2^m,50.

» 3° L'arrivée de l'onde explosive au bout d'un trajet de 5^m,0.

» Dans quelques essais, l'étincelle elle-même a été pareillement enregistrée.

» Un diapason enregistrait en même temps ses vibrations sur le cylindre tournant, de façon à permettre d'apprécier la durée des phénomènes.

» Les expériences que nous avons déjà faites ont été exécutées : tantôt avec un mélange d'hydrogène et d'oxygène, tantôt avec un mélange d'oxyde de carbone et d'oxygène; tantôt avec le tuyau ouvert, tantôt avec le tuyau fermé; tantôt avec le tuyau placé horizontalement, tantôt avec le tuyau placé verticalement; tantôt sous la pression atmosphérique, tantôt sous une pression d'un dixième d'atmosphère.

» Nous nous proposons d'étendre ces essais à des pressions et à des conditions différentes; mais nous nous bornerons aujourd'hui à reproduire les indications de notre cahier d'expériences.

Première expérience. — Tube horizontal, rempli sous la pression atmosphérique avec le gaz de la pile (électrolyse d'une solution étendue d'acide phosphorique). La lame d'étain est amorcée au fulminate de mercure. Le tube est fermé. Le diapason donne 500 vibrations simples par seconde.

» On fait passer l'étincelle.

» Après l'explosion, on trouve que les trois enregistreurs ont tracé. La première et la deuxième lame d'étain sont franchement volatilisées. La troisième n'a brûlé que partiellement, le fulminate ayant été imbibé d'huile par accident : cependant elle s'est rompue comme les autres. Ces détails montrent que la rupture est due à un échauffement proprement dit.

» Distance du premier au deuxième signal, $0^{\text{mm}}, 25$.

» Distance du premier au troisième signal, $0^{\text{mm}}, 50$.

» Le millimètre vaut, d'après le tracé du diapason, $\frac{3,8}{1000}$ de seconde.

» La vitesse de propagation serait donc de 2500^{m} environ par seconde, pour chacune des deux distances parcourues ; chiffre que nous donnons sous les réserves formulées plus loin.

» *Cinquième expérience.* — Mêmes dispositions, à cela près que l'amorçage est fait avec du picrate de potasse, matière relativement peu sensible au choc et qui détone par la chaleur vers 300° seulement. Hydrogène et oxygène. Les trois signaux ont marqué.

» Vitesse de propagation, 2500^{m} environ.

» *Sixième expérience* (H + O). — Le tube est fermé, et placé *verticalement*. On amorce au picrate de potasse.

» Le premier signal n'a pas fonctionné (le picrate étant mouillé d'un peu d'huile par accident).

» Le deuxième est nettement coupé.

» Le troisième n'a brûlé que partiellement, à cause de la présence d'un peu d'huile ; il est cependant interrompu.

» Même vitesse que précédemment entre le deuxième et le troisième signal.

» *Huitième expérience* (H + O). — Le tube est *ouvert* à son extrémité la plus éloignée. Les trois signaux fonctionnent. La distance du premier au deuxième signal et même au troisième n'est pas appréciable : c'est-à-dire que la vitesse semble avoir été plus grande que dans le tube ouvert, comme il convient dans l'hypothèse où la vitesse des gaz dilatés et projetés s'ajoute à celle de l'onde proprement dite.

» *Troisième expérience.* — Oxyde de carbone et oxygène, sous la pression

atmosphérique; tube fermé; amorce au fulminate. Les trois signaux fonctionnent et sont franchement volatilés.

Distance du premier au deuxième signal.....	0,25
» du premier au troisième signal.....	0,50

» Le millimètre vaut $\frac{3,9}{1000}$ de seconde.

» La vitesse de propagation serait 2500^m environ par seconde, pour chacune des deux distances.

» Observons ici que ces résultats ne doivent pas être regardés comme fournissant la valeur absolue de la vitesse du phénomène explosif, parce que les quantités mesurées sont trop petites, nos appareils ayant été installés d'abord en vue de vitesses supposées beaucoup plus faibles; mais ils donnent au moins une indication inattendue sur l'ordre de grandeur de cette vitesse. Elle avait été estimée, par exemple, par M. Bunsen, en 1867, à 34^m par seconde pour le gaz tonnant, et à 1^m pour le gaz oxyde de carbone mêlé d'oxygène; mais cette estimation résulte d'essais faits dans des conditions très différentes des nôtres, les gaz enflammés étant refroidis au contact de l'air, et l'onde explosive ne se produisant pas. La différence entre les deux ordres de combustion paraît analogue à celle qui existe entre l'inflammation simple des matières explosives solides, se propageant par échauffement de proche en proche; et leur détonation subite, provoquée par une amorce fulminante. Quelques-unes des observations faites sur le grisou semblent comporter une interprétation analogue.

» Quoiqu'il en soit, nous sommes occupés à installer des appareils plus délicats et à mesurer les limites d'erreurs qu'ils comportent. Nous nous proposons également de mesurer, à l'aide de dispositions analogues à celles que l'on emploie pour l'étincelle électrique, la durée totale de la combustion, dans les conditions où nous opérons, ainsi que l'origine et la durée du phénomène lumineux qui accompagne le passage de l'onde explosive, et nous espérons pouvoir donner, à la suite d'expériences faites dans des conditions variées, une théorie proprement dite de ces effets, si importants pour l'étude générale des explosifs et en particulier pour celle des explosions par influence et pour celle du grisou.

» Cependant, qu'il nous soit permis de remarquer, dès aujourd'hui, que la propagation si rapide des phénomènes explosifs paraît due à la transmission des chocs successifs des molécules gazeuses, amenées à un état vibratoire plus intense par la chaleur dégagée dans leur combinaison et transformées sur place, ou plus exactement avec un faible déplacement

relatif. Cette circonstance la rapproche de la propagation des détonations dans les matières solides, telle qu'elle résulte de la théorie présentée par l'un de nous ⁽¹⁾. Par suite, la vitesse de propagation de l'explosion dans un gaz devient comparable à la vitesse du son, qui se propage également en vertu d'un mouvement ondulatoire; la vitesse de ces deux mouvements étant du même ordre que la vitesse même de translation des molécules gazeuses.

» On peut préciser davantage ce point de vue, en faisant observer que la vitesse de translation des molécules gazeuses est égale, d'après les formules de M. Clausius, à $29^m,354\sqrt{\frac{T}{\rho}}$ par seconde.

» T exprime ici la température absolue, ρ la densité du mélange gazeux rapportée à celle de l'air. Soit $T = 3000^o$, température dont il est permis d'admettre le développement ⁽²⁾ dans les mélanges gazeux que nous envisageons ici, pris à la pression normale : la vitesse propre de translation des molécules gazeuses sera comprise entre 1300^m et 1600^m par seconde, suivant que l'on opère sur l'acide carbonique, ou sur le mélange d'oxyde de carbone et d'oxygène, ou sur un mélange dissocié renfermant ces divers composants; elle serait comprise entre 2000^m et 2500^m par seconde, pour la vapeur d'eau ou ses composants.

» Mais, si ces chiffres peuvent fournir un premier terme de comparaison, il est essentiel d'ajouter que les phénomènes explosifs sont plus complexes qu'un simple mouvement de translation, ou même que la propagation d'une onde sonore, et le moment ne nous paraît pas venu d'insister davantage. »

PHYSIQUE DU GLOBE. — Réponse à la dernière Communication de M. de Lesseps sur le projet de M. Roudaire; par M. E. Cosson.

« Dans la séance du 13 juin, en réponse à une Communication faite le 6 par M. de Lesseps sur le projet d'établissement d'une mer intérieure dans le sud de la Tunisie et de la province de Constantine : 1° j'ai constaté que le projet de M. Roudaire a eu pour point de départ une hypothèse démentie par les observations géologiques recueillies dans le cours même de sa mis-

(1) *Sur la force de la poudre*, p. 165, 2^e édition (1872).

(2) *Annales de Chimie et de Physique*, 5^e série, t. XII, p. 309.



de leur valeur pour les doubles déviations et aux deux tiers pour les déviations triples.

» On trouve en outre dans les diverses déterminations un contrôle mutuel très précieux qui permet de fixer la valeur de l'approximation que comportent les nombres obtenus.

» Les considérations qui précèdent m'ont engagé à présenter à l'Académie cette méthode nouvelle, qui, par la simple interposition d'une lame cristalline convenablement choisie, permet d'augmenter la précision des mesures relatives à divers phénomènes de *polarisation rotatoire* dont l'observation est parfois d'une extrême délicatesse. »

PHYSIQUE. — *Sur les vitesses de propagation de l'inflammation dans les mélanges gazeux explosifs.* Note de MM. MALLARD et LE CHATELIER, présentée par M. Daubrée.

« Nous avons décrit, dans les pièces annexées aux procès-verbaux de la Commission du Grisou, le procédé expérimental au moyen duquel nous avons mesuré la vitesse de propagation de la flamme dans un mélange d'air et de grisou. Ce procédé se prête assez mal à l'observation des vitesses de propagation un peu considérables. Pour mesurer les vitesses propres à divers mélanges détonants, nous avons eu recours à la mesure directe de la durée de la propagation dans un tube de longueur connue. À chaque bout de ce tube sont placées en regard les extrémités de deux fils métalliques reliés à une bobine d'induction. Ces deux extrémités sont assez écartées pour que l'étincelle ne jaillisse entre elles qu'au moment du passage de la flamme ; le courant qui se produit alors, vient actionner un enregistreur Deprez.

» Ce système est délicat et un peu capricieux ; nous l'avons remplacé, au moins pour les mélanges à forte vitesse, par le suivant. À chaque extrémité du tube on pratique latéralement un orifice assez étroit débouchant dans un tube en caoutchouc qui se termine dans une petite chambre fermée par une membrane élastique. Sur cette membrane s'appuie un style très léger. La flamme, passant en regard de l'orifice, le traverse et va produire une petite détonation dans la portion avoisinante du tube de caoutchouc, portion remplie de mélange détonant. La membrane se gonfle, le style se déplace, et ce déplacement s'enregistre sur un cylindre tournant, dont la vitesse constante est connue par les enregistrements des vibrations d'un diapason. On s'est assuré que la différence du retard dans les enregistre-

ments des déplacements des deux styles est négligeable, la durée de la propagation de l'onde dans chacun des tubes, d'ailleurs égaux entre eux, ne dépassant pas $\frac{1}{2}$ centième de seconde.

» La propagation de l'inflammation dans une enceinte ne se fait d'ailleurs avec la vitesse normale que lorsque la partie non encore enflammée reste en repos pendant toute la durée du phénomène. Lorsqu'il en est autrement, les mouvements qui se produisent dans cette portion du gaz peuvent, s'ils sont intenses, accroître si fortement la rapidité de la propagation, que celle-ci devient presque instantanée. Ce fait, très important à tous égards, et particulièrement intéressant pour l'étude des explosions de grison, nous avait été obligeamment signalé par M. Schloësing, qui a fait sur ce sujet, avec M. de Mondésir, des observations nombreuses, restées malheureusement presque inédites. Nous l'avons vérifié dans des circonstances assez variées. C'est ainsi que nous avons constaté que, dans un tube ouvert à une extrémité et fermé à l'autre, les choses se passent d'une façon très différente suivant qu'on met l'inflammation du côté de l'extrémité libre ou du côté de l'extrémité fermée.

» Dans le premier cas, si la vitesse normale de propagation n'est pas trop grande, la portion non brûlée du gaz reste sensiblement en repos, et la flamme se propage dans le tube sans bruit et avec une vitesse à peu près égale à la vitesse normale. Dans le second cas, l'énorme dilatation du gaz brûlé produit dans la masse gazeuse des mouvements très intenses ; aussi, même avec des mélanges à faible vitesse normale, l'extrême rapidité de la propagation s'annonce par une forte détonation ⁽¹⁾. Dans ces conditions, anormales au point de vue de nos recherches, nous n'avions pas songé à mesurer la vitesse effective de la propagation, lorsque M. Berthelot voulut bien nous communiquer les expériences dont il a entretenu l'Académie dans sa dernière séance. Nous avons alors fait avec notre appareil les observations suivantes. Le mélange de 1^{vol} de gaz tonnant de H et O et de 1^{vol} de H nous a donné, dans un tube enflammé vers l'extrémité fermée, une vitesse effective supérieure à 1000^m ; le mélange tonnant d'hydrogène et d'air, une vitesse au plus égale à 300^m.

» Même lorsque l'inflammation est mise du côté de l'extrémité ouverte du tube, si la vitesse de propagation normale dans le gaz est trop considérable, l'expansion du gaz brûlé ne se fait pas tout entière du côté de l'extrémité

⁽¹⁾ Nous avons même constaté que cette rapidité de marche de la flamme peut entraîner l'extinction de celle-ci, qui n'arrive pas alors à parcourir le tube tout entier.

ouverte, et des mouvements violents peuvent encore se produire dans la masse non brûlée. C'est ce que l'on observe, par exemple, avec les mélanges tonnants de grisou et d'oxygène ou d'hydrogène et d'oxygène. Avec ce dernier, et dans un tube de 1^m,35 de long, nous avons mesuré une vitesse effective de 570^m par seconde. Mais cette vitesse, peu constante d'ailleurs d'une expérience à l'autre, s'accélère considérablement à mesure que la flamme s'avance dans le tube. En réduisant la longueur de celui-ci, on réduit donc la vitesse moyenne. Dans un tube de 0^m,347 de longueur, nous avons observé pour le mélange tonnant d'hydrogène et d'oxygène des vitesses de 70^m et 100^m seulement. On arrive à réduire cette vitesse à 40^m, chiffre encore trop fort, en prolongeant en outre le tube par un autre tube de grande longueur et de même diamètre qu'on laisse rempli d'air.

» Avec des mélanges moins rapides que celui d'hydrogène et d'oxygène, l'inflammation par le côté ouvert du tube ne donne pas lieu aux mêmes effets perturbateurs, et les expériences deviennent concordantes. Toutefois quelques irrégularités dans la marche de la flamme se constatent encore à l'œil dans des tubes de verre. La vitesse paraît accélérée dans le voisinage des ventres de vibration, sans doute parce que le mouvement vibratoire y facilite un brassage du gaz. Ces irrégularités, qui s'atténuent d'ailleurs beaucoup lorsqu'on prolonge le tube à expérience par un autre tube de même section et de grande longueur, ne permettent pas de fixer les vitesses normales de propagation avec une approximation supérieure à $\frac{1}{10}$ de leur valeur.

» Voici quelques-uns de nos résultats numériques :

	H et O.	H et air.	CO et O.	Gaz d'écl. et air.
Mél. tonn.	+ $\frac{1}{2}$ O... 17,3	0,20 H... 2,0	CO + O... 2,2	0,125 gaz... 0,83
»	+ 1 O... 10,0	0,25 ... 2,8	»	0,15... 1,00
»	+ $\frac{1}{2}$ H... 18,0	0,30 ... 3,4	»	0,175... 1,16
»	+ 1 H... 11,9	0,35 ... 4,1	»	0,20... 0,9
»	+ 2 H... 8,1	0,40 ... 4,4	»	»
»	»	0,50 ... 3,8	»	»
»	»	0,60 ... 2,3	»	»

» On remarquera que, pour les mélanges d'hydrogène et d'air, le maximum de vitesse se produit pour un mélange tenant environ 10 pour 100 d'hydrogène de plus que le mélange tonnant théorique. L'anomalie est analogue à celle que nous avons constatée pour les mélanges de grisou et d'air; elle a sans doute la même cause et doit être attribuée à la grande conductibilité calorifique relative de l'hydrogène.

» Les nombres qui se rapportent aux mélanges de H et O sont sans doute

trop forts; ils conduiraient, pour le mélange tonnant, à une vitesse peu supérieure à 20^m .

» Lorsque les gaz sont chauffés, la vitesse de propagation augmente. Le mélange contenant $0,30H$ et $0,70$ air possède à 100° une vitesse égale à $4^m,30$ environ.

» Le diamètre du tube n'influe notablement sur la vitesse que lorsqu'il est très petit. Le mélange de $0,30H$ et $0,70$ air conserve encore une vitesse de $3^m,4$ dans un tube de 3^{mm} de diamètre; mais cette vitesse est réduite à $1^m,72$ et la propagation peut même s'arrêter dans un tube de $0^{mm},9$ de diamètre. Le diamètre suffisant pour arrêter la flamme est d'ailleurs d'autant plus grand que la vitesse de propagation est plus faible. La flamme du mélange le plus détonant d'air et de grisou ne se propage pas dans un tube de $3^{mm},2$ de diamètre. »

OPTIQUE. -- *Sur le dédoublement et l'élargissement des bandes de l'arc-en-ciel.*

Note de M. CH. RITTER.

« L'arc-en-ciel est défini par deux systèmes distincts de cônes semblables, à axes parallèles, et dont les sommets sont respectivement sur chacun des deux yeux. Au voisinage immédiat de l'observateur, ces deux systèmes de cônes sont entièrement séparés et extérieurs l'un à l'autre, et ce n'est qu'à une certaine distance, $1^m,50$ environ pour un écartement des deux yeux de $0^m,07$, que ces cônes commencent à se croiser par pénétration.

» Une construction géométrique montre de suite ce qui doit arriver selon que les gouttes éclairées et les plus rapprochées de l'observateur seront en deçà en au deçà du lieu de pénétration des cônes.

» Nous supposerons, pour simplifier, la ligne des deux yeux horizontale. Si les gouttelettes d'eau sont à une distance moindre que $1^m,50$, on devra, en les regardant des deux yeux, apercevoir deux arcs ou anneaux circulaires distincts : ces arcs auront leur écartement maximum sur leur diamètre horizontal, et l'intervalle, en forme de croissant, qui sépare le violet intérieur de l'un du rouge extérieur de l'autre ira en diminuant jusqu'aux points supérieurs et inférieurs de croisement de ces deux anneaux.

» A la distance de $1^m,50$, les deux arcs sont en contact (violet contre rouge) sur l'horizontale. Enfin, plus loin que $1^m,50$, les deux arcs se croisent sur toute la circonférence, mais sans que jamais, cependant, il y ait superposition complète.

» Ces conséquences de la théorie de l'arc-en-ciel se vérifient exacte-