

Sur la durée des luminosités qui accompagnent la détonation des explosifs

A. Michel-Lévy, H. Muraour

▶ To cite this version:

A. Michel-Lévy, H. Muraour. Sur la durée des luminosités qui accompagnent la détonation des explosifs. Journal de Physique et le Radium, 1935, 6 (12), pp.496-498. 10.1051/jphysrad:01935006012049600. jpa-00233371

HAL Id: jpa-00233371 https://hal.science/jpa-00233371

Submitted on 4 Feb 2008

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers. L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

SUR LA DURÉE DES LUMINOSITÉS QUI ACCOMPAGNENT LA DÉTONATION DES EXPLOSIFS

Par A. MICHEL-LÉVY et H. MURAOUR.

Sommaire. — Par un enregistrement sur tambour tournant avec un objectif fortement diaphragmé on démontre l'extrême brièveté du phénomène lumineux intense obtenu par la rencontre d'ondes de choc. Le même enregistrement effectué à plus grande distance et avec un objectif très ouvert montre l'existence de luminosités rémanentes beaucoup plus faibles mais de plus longue durée. Ainsi se trouve expliquée la contradiction relevée entre nos expériences et celles d'autres expérimentateurs qui, opérant à grande distance et avec un objectif largement ouvert, avaient conclu à une durée relativement considérable des phénomènes lumineux qui accompagnent la détonation des explosifs.

La durée du puissant éclat lumineux qui accompagne la détonation d'un mélange à combustion complète (en $CO^2 + H^2O$) de tétranitrométhane et de toluène est, comme nous l'avons montré (⁴), inférieure à 4 millionièmes de seconde. Cette affirmation pourrait apparaître en désaccord avec les résultats obtenus par d'autres expérimentateurs qui, photographiant sur tambour tournant, par visée directe, la détonation de divers explosifs, ont enregistré des durées voisines de 0,3 à 0,5 millisecondes, c'est-à-dire environ 100 fois plus grandes. Or, il n'en est rien et nous allons montrer dans cette note la complexité du phénomène lumineux qui accompagne la détonation d'un explosif, l'éclat de grande brillance étant suivi de luminosités atténuées dont la durée est beaucoup plus grande.

Rappelons certaines particularités du dispositif que nous avons employé :



Fig. 1. -- Face supérieure et coupe du bloc de laiton utilisé pour l'étude des phénomènes lumineux provoqués par la détonation du mélange liquide de tétranitrométhane et de toluène. a, emplacement de l'amorce; b, lieu de rencontre des ondes de choc dont la marche est indiquée par des flèches.

A la suite d'expériences antérieures exécutées avec les explosifs solides, tels que l'azoture de plomb (²) et en vue de provoquer une rencontre d'ondes de choc, nous avons été amenés à introduire le mélange liquide

(¹) C. R. 1935, t. 200, p. 543.

(2) C. R. 1934, t. 198, p. 1499. Voir également « Chimie et Industrie » n° d'octobre 1934, et Memorial des Poudres, 1935, t. 26, p. 721. de tétranitrométhane et de toluène dans une rigole circulaire, à section rectangulaire, creusée dans un bloc de laiton cylindrique (fig. 1).

Le liquide, en faible quantité $(0, 4 \text{ cm}^3)$, ne monte pas à moitié de la profondeur de la rigole. La détonation est provoquée par une petite amorce de perchlorate du diazo de métanitraniline placée au--dessus de cette rigole circulaire. L'onde de choc, venant de l'amorce, frappe en un point le liquide explosif. De ce point partent dans le liquide deux ondes explosives qui se propagent dans la rigole suivant les deux demicercles et se rencontrent en un point diamétralement opposé à l'amorce. Pendant son parcours dans le liquide, chaque onde explosive ne pouvant se propager en ligne droite, heurte les parois en créant dans l'atmosphère située au-dessus de la surface du liquide, une série d'ondes de choc dont les intersections se dessinent sur les photographies (effectuées au banc d'optique à des grossissements de 1 1/2 à 2 fois et avec un objectif diaphragmé à 1:32) par une série de traits lumineux ayant une inclinaison d'environ 45° sur la surface horizontale du liquide et dirigés dans le sens de la marche. Le heurt des deux séries d'ondes de choc, à l'opposé de l'amorce, produit une luminosité beaucoup plus intense dont le dessin affecte, dans son ensemble, la forme d'une colonne ou aigrette verticale, mince mais puissamment lumineuse à la base, s'épanouissant en éventail en diminuant d'intensité dans ses parties hautes. Voir pl. I, fig. 1 (1).

Le phénomène lumineux principal a une double origine; on distingue en effet une première colonne lumineuse sortant du liquide au point de rencontre des ondes (Pl. I, fig. 4 et 2, a); elle se propage verticalement par suite de la rencontre d'ondes nées antérieurement, mais venant de points de la rigole plus éloignés et ayant ainsi un retard sur les précédentes, peutêtre aussi par une projection verticale des gaz lumineux formés à la rencontre des deux séries d'ondes de choc. On voit, d'autre part, sur des photographies faites perpendiculairement au plan amorce-aigrette, que les diverses ondes de choc issues des deux demicercles de la rigole, se rencontrent également à l'intérieur du cercle et donnent naissance dans le même plan diamétral, à une deuxième colonne lumineuse qui se marque à sa base par une tache située un peu en avant

(1) Les photographies qui accompagnent cetteNote ont pu être obtenues grâce à la collaboration dévouée de M. Henri Ragot que nous tenons ici à remercier. du centre du culot de laiton (Pl. I. fig. 1 et 2, b).

Ainsi le procédé qui consiste à photographier l'explosion avec un grossissement notable et avec un objectif fortement diaphragmé, nous a permis de mettre en évidence les détails de la propagation dans la rigole et de la rencontre des ondes de choc.

Nous rappellerons ici que l'étude de l'intensité exceptionnelle du phénomène observé en opérant dans l'argon a fait l'objet d'une note publiée aux C. R. de l'Académie des Sciences (t. 200, p. 543, 1935) (¹) et que l'extrême brièveté de l'éclat lumineux a été démontrée de deux façons différentes :

1. En photographiant un disque de 15 cm de diamètre tournant à 10 600 tours-minute et éclairé par réflexion. Sur la photographie, ce disque paraît immobile (Pl. I, fig. 3). La durée de l'éclairement du disque est, d'après cette expérience, inférieure à 4 millionièmes de seconde.

2. En utilisant la luminosité produite par une détonation à l'air libre pour photographier une balle de fusil dont la vitesse était de 650 m : sec (Pl. I, fig. 4). Le léger flou observé sur la photographie correspond à une durée du même ordre de l'éclair lumineux (quelques millionièmes de seconde) (²).

Si au lieu de photographier l'explosion avec un grossissement notable et avec un objectif fortement diaphragmé, on la photographie à distance (2 à 3 m), c'està-dire en réduisant fortement l'image et avec un objectif largement ouvert, on observe une extension considérable, dans l'espace, du phénomène lumineux, les intensités lumineuses étant décroissantes à partir du point de rencontre des ondes de choc. A cet élargissement de la plage lumineuse correspond une disparition à peu près complète des détails que l'on peut observer sur les photographies faites en grossissant et avec un objectif fortement diaphragmé.

(1) Cette intensité atteint plusieurs millions de bougies, elle varie avec la nature du gaz environnant. A chaleur spécifique moléculaire égale elle est d'autant plus forte que la densité du gaz est plus élevée. Voir *Mémorial des Poudres*, 1935, t. 26, p. 171.

⁽²⁾ Les expériences ont pu être exécutées grâce à l'aimable collaboration du C^L Libessart et de M. Proust. La durée de la luminosité observée non plus à la rencontre de deux ondes de choc mais en provoquant la réflexion d'une onde sur une paroi solide, est du mème ordre de grandeur. Dans un nouveau dispositif que nous utilisons pour l'étude de la détonation dans différents gaz le cylindre de cellophane est fermé à sa partie supérieure par un disque de laiton, la distance entre les deux disques métalliques étant de 8 cm. (Pl. III, fig. 2). En utilisant cet appareil comme source lumineuse pour photographier le disque tournant on observe sur la photographie un « doublé » (Pl. III, fig. 3) dù à la seconde luminosité qui prend naissance au moment où les ondes de choc rencontrent le plafond de l'appareil L'intervalle entre les deux éclats lumineux est de l'ordre de deux cent-millèmes de seconde (0,00002 s).

Nous avons cherché à analyser ces phénomènes non seulement dans l'espace, mais aussi dans le temps et nous avons photographié la détonation à l'air libre de notre mélange de tétranitrométhane et de toluène, non plus sur une plaque fixe mais sur film fixé sur un tambour dont la vitesse périphérique était de 90 m : sec. Deux photographies ont été exécutées, l'une avec l'objectif diaphragmé à 1:11 (Pl. II, fig. 2) l'autre à plus grande distance, avec l'objectif ouvert à 4 : 2,8 (Pl. III, fig. 1). La première photographie, tout à fait analogue à celle réalisée sur le banc d'optique à 4 : 32, montre le détail des phénomènes de grande brillance. La durée du phénomène lumineux a été si courte que le dessin obtenu avec le tambour tournant à 90 m : sec est presque identique à celui obtenu avec le tambour immobile (Pl. II, fig. 1) (⁴). Par contre sur la deuxième photographie, exécutée à pleine ouverture, tous les détails ont été voilés par un nuage lumineux dont la déformation indique une persistance lumineuse beaucoup plus considérable et de l'ordre de 2 à 3 dix-mill. de seconde.

Ainsi se trouve expliquée la contradiction qui paraissait exister entre nos expériences et celles de nos prédécesseurs. Ces derniers n'ayant jamais opéré qu'à grande distance et avec des objectifs largement ouverts ont enregistré sur la plaque photographique les nuages lumineux dont la persistance est relativement considérable et qui masquent le phénomène lumineux principal dont la durée est beaucoup plus courte.

Ces constatations nous paraissent en accord avec la théorie que nous avons formulée (C. R. de l'Académie des Sciences, t. 200, p. 924, 1935 et Mémorial des Poudres, t. 26, p. 174): elles montrent en effet l'existence de deux phases distinctes :

 $1^{1^{c}}$ phase. — Luminosité extrêmement intense, mais de très courte durée, due selon nous à l'activation du milieu environnant par la rencontre des ondes de choc.

 2° phase. — Luminosité beaucoup plus faible mais de plus longue durée, sans doute attribuable au fait que la fraction du gaz environnant, activée pendant la première phase, conserve encore, tout en se détendant, sa luminosité pendant un temps appréciable après le passage des ondes de choc.

Au cours de cette seconde phase, la luminosité des produits de l'explosion peut éventuellement jouer un rôle dans la formation du nuage lumineux.

(1) En interposant entre l'explosion et l'objectif un écran opaque percé d'une fente verticale, nous avons pu préciser la durée du grand éclat lumineux provoqué par la rencontre entre elles des ondes de choc (Voir Pl. I, fig. 6). Cette durée est de l'ordre de 3 millionièmes de seconde, valeur en accord avec le résultat de nos premières expériences exécutées en photographiant par réflexion un disque tournant.

LÉGENDES DES PLANCHES

PLANCHE I.

Fig. 1. — Photographie, prise de face, de la détonation à l'air libre du mélange à combustion complète de tétranirométhane et de toluène (0, 4 cm³) placé dans la rainure du bloc de laiton. Objectif ouvert à 1: 32. Plaque Fulgur 2 400 HD.

Emplacement de l'amorce en arrière de la colonne lumineuse, On distingue nettement à la base la double origine de cette colonne (a, b). A droite et à gauche de la colonne lumineuse on aperçoit, sortant de la rainure, les traits lumineux inclinés à environ $45^{\circ}.$

- Fig. 2. Détonation à l'air libre de 0,4 cm³ du mélange de tétranitromélhane et de toluène placé dans la rainure du bloc de laiton. Photographie prise de côté. (Axe de l'objectif perpendiculaire au plan amorce-aigrette.)
- A droite, l'amorce (d). En avant de l'amorce, pelit mur en cire (c) destiné à arrêter l'onde de choc émise par l'amorce

et encore en place au moment où se produit la luminosité. On distingue très nettement à gauche, la double origine du phénomène lumineux, en a et b.

- Fig. 3. Photographie d'un disque de 15,8 cm de diamètre, tournant à 10 225 tours par minute, éclairé par la détonation, dans l'argon, de 0,4 cm³ du mélange à combustion complète de tétranitrométhane et de toluène. (La figure est celle d'un secteur de ce disque). Objectif ouvert à 1 : 16 plaque Lumichrome. Durée de l'éclair lumineux inférieure à 4 millionièmes de seconde.
- Pour éviter le « doublé » dù au second éclair lumineux provoqué par la rencontre de l'onde de choc avec le cylindre supérieur de laiton (Voir pl. III, fig 3) on n'a pas utilisé ici le dispositif de la Pl. III, fig. 2. mais un cylindre de cellophane de très faible hauteur (max. 2 cm.) fermé par une feuille de papier inclinée à 40° et formant réflecteur.
- Fig. 4. Une balle de fusil (vitesse 650 m par seconde) passe devant un écran translucide (à titre de comparaison une balle du mème type. à pointe coupée, a été fixée à l'extrémité d'une tige métallique) Derrière l'ecran on provoque la détonation, à l'air libre, de 0.4 cm³ du mélange de tétranitrométhane et de toluène Le flou qui entoure la balle en mouvement correspond à une durée de l'éclairement d'environ 4 millionièmes de seconde.
- Fig. 5. Photographie obtenue sur le film immobile en éclairant à l'aide d'une lampe électriqu^a, donnant une lumière diffuse et placée en arrière une fente verticale de 1 mm de lar_beur percée dans un bloc de bois de 87 mm d'épaisseur. La photographie originale a été agrandie 7,5 fois. La largeur apparente de la fente est de 3 mm.
- Fig. 6. Photographie obtenue sur le film tournant à 89,8 m par seconde, par la détonation dans l'argon du mélange de tétranitrométhane et de toluène, avec le dispositif de la figure 2, Pl. III; mais ici le manchon de cellophane a été remplacé par un manchon de papier noir muni, a l'opposé de l'amorce, d'une fenètre verticale en cellophane. Sur cette fenètre, ont été collées horizontal-ment des bandes étroites de papier noir (distance eutre les bords supérieurs de chaque bande 20 mm). Entre le lieu de la détonation et l'objectif, on a disposé le bloc de bois de 87 mm d'épaisseur percé d'une fente verticale de 1 mm (utilisé, pour obtenir la figure précédente).
 - Distance entre la plaque porte-objectif et le centre du bloc de laiton 40 cm.
 - Distance entre cette plaque porte objectif et la face du bloc de bois tournée vers l'objectif 28,3 cm.

La photographie originale a été agrandie 7,5 fois. En s_4 , on a indiqué la surface supérieure du bloc de laiton à rainure; en s_2 , la su face inférieure du bloc supérieur; en s_3 , la surface supérieure du mème bloc.

Sur la photographie ainsi agrandie, un déplacement horizontal de 1 mm représente 1,48 millionième de seconde. Malgré la grande vitesse du film, la fente ne paraît que très peu élargie. La largeur apparente de la fente atteint en effet seulement 5 mm contre 3 mm dans la figure précédente. En chaque point de la fente la durée de la luminosité a donc été très courte, de l'ordre de 3 millionièmes de sec.

Vitesse moyenne du déplacement de la luminosité entre les deux blocs de laiton: 4 900 m : sec.

On remarquera:

1° Une faible luminosité à la partie supérieure de la photographie, elle est due à une légère fuite entre le tube de dégagement et le bloc de laiton (s_3) .

2° Un petit point lumineux à la base et à gauche (a), il correspond à la détonation de l'amorce. Les ondes parcourant les deux demi-cercles ont été ensuite masquées par le papier noir et la luminosité n'a été à nouveau enregistrée qu'au moment de la rencontre des deux séries d'ondes devant la fenètre de cellophane (b). L'écart entre les deux luminosités correspond à 5,2 millionièmes de seconde soit à une vitesse de transmission de l'onde explosive, dans le liquide, de 9 000 mètres sec. (longueur de la 1 2 circonférence : 46,4 mm). En ce qui concerne l'ordre de gran.leur, cette valeur est en accord avec la valeur admise pour la vitesse de détonation des mélanges à base de tétranitrométhane (8 000 m par sec).

Le choc des ondes contre le bloc de laiton supérieur a donné naissance à une forte luminosité qui a, à nouveau éclairé la fente (faible luminosité verticale, à droite du phénomène principale (c). Il y a eu ensuite réflexion à une vitesse relativement faible, de l'ordre de 800 m. par sec (r).

PLANCHE II.

- Fig. 1. Photographie de la détonation à l'air libre de 0,4 cm³ du mélange de tétranitrométhane et de toluène, faite sur un film fixé au tambour pouvant tourner à une vitesse d'environ 90 m par seconde, mais laissé *immobile* pour servir de témoin.
 - Objectif ouvert à 1: 11. Distance entre la plaque porte-objectif et le centre du bloc de laiton : 29 cm.
 - La photographie originale a été agrandie 7,7 fois.
- Fig. 2. Photographie exécutée dans les mêmes conditions que celle de la figure précédente, mais sur le tambour tournant
- (vitesse de déplacement du film 90,40 m par seconde). Objectif ouvert à 1 : 11.
- Sur l'agrandissement à 7.7 fois de la photographie originale, la vitesse apparente de déplacement horizontal (de la droite vers la gauche), est de 700 m : sec; un déplacement de 1 mm représente 1,43 millionième de seconde.
- La comparaison des figures 1 et 2 montre combien est brève la durée du phénomène principal.

PLANCHE III.

Fig. 1. — Photographie exécutée dans les mêmes conditions que celle figurée Pl. II, fig. 2 mais à plus grande distance et avec objectif plus ouvert. Vitesse de déplacement du film 89 m par seconde. Objectif ouvert à 1: 2,8. — Distance entre la plaque porte-objectif et le centre du bloc de laiton = 0,60 m. La photographie originale a été agrandie 7 fois. Sur cet agrandissement un déplacement horizontal de 1 mm représente donc 1,60 millionième de seconde.

Oa voit sur cette photographie que les détails ont été noyés dans une luminosité rémanente dont la durée a été relativement considérable (plus de 2,4 dix millièmes de seconde).

- Remarque : Cette luminosité trop faible pour impressionner la plaque photographique si l'objectif est fortement diaphragmé ne l'impressionne pas non plus si au lieu d'opérer par visée directe on photographie par réflexion, comme dans l'expérience du disque tournant (PI. 1, fig. 3).
- Fig. 2. Photographie du dispositif utilisé pour étudier la détonation du mélange de tétranitrométhane et de toluène dans différents gaz. On distingue à la partie inférieure les fils (e) amenant le courant qui provoque la fusion d'un fil de fer fin plongé dans l'amorce (Perchlorate du diazo de métanitraniline) et le tube (t) amenant le gaz choisi. Entre les deux blocs cylindriques de laiton (distance % cm) est tendue l'enveloppe de cellophane (c). A la partie supérieure tube de dégagement du gaz (q). Pour l'étude de la détonation dans l'air on n'utilise que le bloc inférieur et on supprime le reste du dispositif.
- Fig. 3. Devant un disque de 30 cm de diamètre tournant à 7 800 tours minute on a fait détoner dans l'argon et en utilisant le dispositif de la Pl. III, fig. 2, 0,4 cm³ du mélange à combustion complète de tétranitrométhane et de toluène. (La figure est celle d'un secteur de ce disque). On remarquera que les repères (trait et tâche blanche sur fond noir) sont « doublés ». Par suite de la rencontre de l'onde de choc avec le culot supérieur il se produit, en effet, un second éclair lumineux assez puissant pour être enregistré par réflexion (au 1^{er} éclair correspond le trait *a*; au 2^e éclair, le trait *b*).

L'infervalle entre le début du premier éclair et le début du second correspond à 16,8 microsecondes soit environ 2/100.000 de sec.

L'intervalle entre la fin du premier éclair et le début du second (zone obscure) à 5 millionièmes de seconde. Comme le montre la largeur plus grande du trait b, la durée du second éclair est un peu plus considérable. Remarque : L'existence de la zone obscure entre les deux traits

Remarque : L'existence de la zone obscure entre les deux traits nous parait incompatible avec l'hypothèse que les luminosités observées ont pour origine les gaz émis par l'explosif et en accord, au contraire, avec la théorie que nous avons formulée.

JOURNAL DE PHYSIQUE

 s_3

 s_2

 s_4



Fig. 4.



Film immobile. Larg. apparente de la fente = 3 mm.

 $\begin{array}{c} c \quad 1 \text{ mm} = 1,48 \text{ mill}^{e} \\ \text{ de seconde.} \end{array}$ a b Fig. 6.

Vitesse, 89,80 m. Largeur apparente de la fente = 5 mm. Grossissement du film \times 7,5.



b a Fig. 1.



b ',Fig. 2.

A. MICHEL-LÉVY et H. MURAOUR.

đ

·

JOURNAL DE PHYSIQUE

Ріансив II.



Fil**m** immobile. Distance, 0,29 m. Fig. 1.

Diaphr**a**gme 4 : 44. Gross. du film × 7,7. 4 mm = 1.43 millionième de seconde.

Fig. 2.

Vitesse, 90,40 m : s. Distance, 0,29 m. Diaphragme 1 : 11. Gross du film \times 7,7

JOURNAL DE PHYSIQUE















Fig 1

1 mm = 1,60 millionième de seconde.

Vitesse, 89,20 m : s. Distance, 0,60 m.

Diaphragme 1 : 2,8. Grossissement du fil \times 7.

A. MICHEL-LÉVY et H. MURAOUR.