

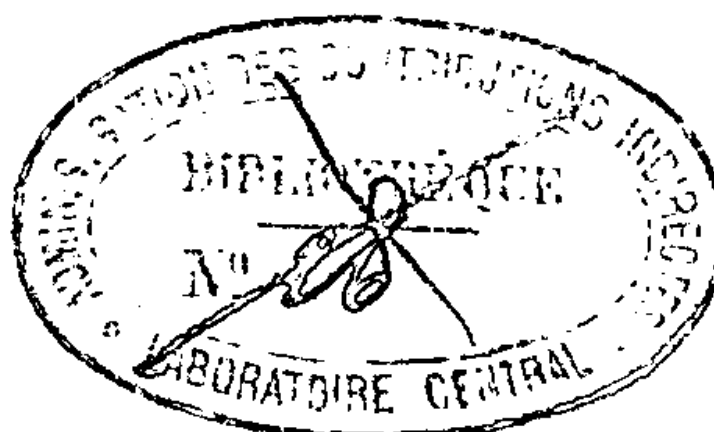
**ANNALES**  
DE  
**CHIMIE ET DE PHYSIQUE,**

PAR  
MM. CHEVREUL, DUMAS, BOUSSINGAULT,  
REGNAULT, WURTZ,

AVEC LA COLLABORATION DE

M. BERTIN.

**CINQUIÈME SÉRIE. — TOME II.**



**PARIS,**  
**G. MASSON, ÉDITEUR,**  
LIBRAIRE DE L'ACADÉMIE DE MÉDECINE,  
Place de l'École de Médecine, 17.

IMPRIMERIE DE GAUTHIER-VILLARS,  
Quai des Augustins, 55.

1874

PER. 8° 7457

La partie solidifiée, bien égouttée, possédait tous les caractères fondamentaux de l'acide bihydraté.

Sous l'influence d'un refroidissement suffisant, l'acide sulfurique ordinaire affaibli, mais ne contenant pas encore 2 équivalents d'eau, peut se dédoubler en acide bihydraté cristallisé et en acide plus concentré.

Mais, s'il est possible de concentrer par cristallisation de l'acide sulfurique dont l'état d'hydratation se trouve entre 1 et 2 équivalents d'eau pour 1 équivalent d'acide, il doit être beaucoup plus difficile de concentrer par le même moyen l'acide plus faible; du moins les essais que nous avons tentés dans cette voie n'ont pas réussi à des températures de  $-8^{\circ}$  à  $-10^{\circ}$ , même sous l'influence de l'addition de petits cristaux d'acide bihydraté.

OBSERVATION. — Quelques doutes s'étant élevés sur l'exactitude du nombre que nous donnons pour exprimer la température de fusion de l'acide  $\text{SO}^3, 2\text{HO}$ , nous avons soumis cette dernière à un nouveau contrôle. Un tube de verre, rempli aux  $\frac{4}{5}$  d'acide sulfurique bihydraté cristallisé, a été plongé pendant vingt-quatre heures dans un bain d'eau dont la température est constamment restée comprise entre 8 degrés et  $8^{\circ},5$ . L'acide avait éprouvé, au bout de ce temps, une fusion partielle d'environ un tiers. La température de fusion de  $\text{SO}^3, 2\text{HO}$  doit donc être inférieure à  $8^{\circ},5$ .

## ÉTUDES SUR LES PROPRIÉTÉS DES CORPS EXPLOSIBLES;

PAR M. F.-A. ABEL.

### DEUXIÈME MÉMOIRE (EXTRAIT).

Les recherches dont il est question dans ce Mémoire forment la suite de celles qui ont été décrites dans le Mémoire sur les agents explosibles, publié en 1870 (*An-*

*nales de Chimie et de Physique*, t. XXI, p. 97); elles ont principalement pour but l'examen des conditions à remplir pour déterminer la détonation des substances explosibles, et les circonstances et les résultats qui accompagnent la *transmission* de leur détonation.

Le caractère exceptionnel que présentent certains corps explosibles au point de vue de leur aptitude à provoquer, par leur explosion, la détonation d'autres substances, déjà examinée et démontrée dans le Mémoire précédent, a été confirmé par de nouvelles expériences. La susceptibilité de certaines substances, quand on les soumet aux effets de la détonation de certains composés, et leur inertie remarquable sous l'influence de la détonation de certains autres composés, qui d'ailleurs ne sont pas inférieurs aux premiers, quant à la force mécanique et à la chaleur développées par leur explosion, ont amené l'auteur à la conclusion qu'on rappelle ici.

Une similitude de caractère ou synchronisme dans les vibrations développées par l'explosion de certaines substances semble favoriser la détonation d'une substance par la détonation initiale d'une petite quantité d'une autre, tandis qu'à défaut d'un tel synchronisme une détonation initiale bien plus puissante, ou l'application d'une force bien plus considérable, serait nécessaire pour effectuer cette détonation par influence.

Cette hypothèse, favorablement accueillie comme servant à expliquer d'une manière rationnelle l'anomalie apparente des faits qu'on avait cités, paraît avoir reçu un nouvel appui des expériences de MM. Champion et Pellet sur l'iodure d'azote et d'autres composés explosibles. Ils ont démontré que l'explosion de certains corps sensibles ne peut être déterminée que par les vibrations d'un son d'une élévation donnée. Ils ont vu aussi que l'explosion d'une substance donnée détermine le chant des flammes sensibles qui représentent seulement certaines

notes d'une gamme; les autres flammes de la gamme étant mises en action par une explosion beaucoup plus forte de la même substance, ou par une explosion faible produite par un autre corps.

MM. Champion et Pellet ont fait des expériences sur la transmission de la détonation à l'iodure d'azote à des distances considérables au moyen de tubes. M. Trauzl, capitaine du génie autrichien, a aussi fait quelques expériences, d'un caractère purement pratique, sur la transmission de la détonation, par l'explosion d'une charge de dynamite à des cartouches de dynamite, séparées par des intervalles dans des tubes de fer. J'ai pensé que des expériences systématiques sur la transmission de la détonation au moyen de tubes, en opérant sur des agents explosibles d'une sensibilité moins grande, mais d'une composition plus uniforme et plus constante que celle de l'iodure d'azote, pourraient contribuer à préciser la manière dont se comportent les substances explosibles, sous l'influence de détonations produites dans des conditions diverses.

On expérimenta d'abord avec des tubes en fer forgé de 25 à 101 millimètres de diamètre, et de 153 millimètres à 2<sup>m</sup>,12 de longueur. On employa comme agents explosibles la poudre-coton dans des conditions mécaniques diverses, la dynamite, le fulminate de mercure, et certaines préparations qui contenaient ce dernier comme ingrédient.

Entre autres résultats intéressants, on reconnut, entre le coton-poudre et le fulminate de mercure, quant à la transmission de la détonation de l'un à l'autre, un manque de réciprocité dans leur mode d'action, semblable à celui qu'on avait déjà observé avec la nitroglycérine, le chlorure d'azote et le coton-poudre.

Les conditions changent d'une manière remarquable lorsqu'on dépasse certaines limites dans la quantité du *détonateur* initial. Ainsi, pour faire détoner du coton-

poudre, inséré dans l'une des extrémités d'un tube en fer qui n'avait que 152 millimètres de longueur et 25 millimètres de diamètre, il ne fallut pas moins de 7 grammes de fulminate de mercure fortement renfermé. Or cette charge est 50 fois plus forte que celle qui suffit pour assurer la détonation du coton-poudre comprimé, lorsqu'il est en contact immédiat avec le fulminate en explosion. D'un autre côté, la détonation de 7 grammes de coton-poudre comprimé, mis dans l'une des extrémités d'un conduit composé de deux tubes de fer placés bout à bout, mesurant ensemble 2<sup>m</sup>, 128 de longueur et ayant chacun 31 millimètres de diamètre, fit détoner du fulminate inséré dans l'autre extrémité; tandis que pour provoquer la détonation du coton-poudre, à travers un conduit de mêmes dimensions que ce dernier, il fallut 14 grammes de fulminate de mercure renfermé. De plus, 7 grammes de cette substance suffirent, à peine, pour développer la détonation à travers un tube d'un plus petit diamètre et qui n'avait que 152 millimètres de longueur; et 10 grammes pour la transmettre à travers un tube semblable de 525 millimètres de longueur seulement.

Ces exemples suffisent pour indiquer la direction des résultats instructifs obtenus dans cette série d'épreuves.

Quelques expériences sur une échelle relativement grande, avec les matières explosibles dont on vient de parler, ont été dirigées en vue de constater l'influence de *la matière composant le tube* sur l'effet produit. On a obtenu aussi des résultats fort nets, en interposant sur le parcours de l'onde gazeuse des obstacles très-légers, des flocons de coton non tassé, par exemple, qui contrariaient la transmission de la détonation, laquelle était certaine, d'ailleurs, quand le passage n'était pas obstrué par ces faibles obstacles.

Mais ces points ont été examinés plus en détail dans une série d'expériences exactes, faites sur une petite échelle,

avec du fulminate d'argent : les tubes employés étaient de même diamètre et de même épaisseur; mais ils variaient en longueur et étaient faits de matières différentes, savoir : verre, étain, laiton, papier, caoutchouc vulcanisé. Tout d'abord, les résultats obtenus semblaient montrer une différence considérable, entre les tubes de matière différente, relativement à leur aptitude à favoriser la transmission de la détonation, les tubes de verre étant très-supérieurs aux autres à cet égard. Des expériences ont bien établi, néanmoins, le fait que cette différence n'est pas due, à un degré décisif, aux propriétés physiques : sonorité, élasticité, particulières à la substance des tubes; mais spécialement et surtout aux différents degrés d'aspérité de leur surface intérieure, et par conséquent à la résistance variable opposée par ces surfaces à l'onde gazeuse. Ainsi, en revêtant d'une très-légère couche de blanc d'Espagne la surface intérieure d'un tube de verre, on a réduit d'environ deux tiers son aptitude à favoriser la transmission de la détonation; la facilité de transmission à travers un tube de laiton a été presque doublée, au contraire, en polissant ce tube à l'intérieur; elle a même été triplée dans un tube de papier, quand on a revêtu son intérieur de papier glacé.

Voici quelques-uns des résultats relatifs à la transmission de la détonation dans les tubes.

1. La distance à laquelle la détonation peut se transmettre, au moyen d'un tube, à une masse distincte de matière explosible est subordonnée aux conditions suivantes :

1° A la nature et à la quantité de la substance employée comme *détonateur* initial, ainsi qu'à la nature de la substance qu'on veut faire détoner; mais non pas à la quantité de celle-ci, ni à l'*état mécanique* dans lequel elle est exposée à l'action de la détonation;

2° Au rapport qui existe entre le diamètre du détona-

teur, celui de la charge qu'on veut faire détoner, et celui du tube employé;

3° A la ténacité ou à la roideur de la matière qui compose le tube, et, par suite, à la résistance qu'il offre à la transmission latérale de la force développée à l'instant de la détonation : cette dernière condition ne paraît pas affecter d'une manière importante les résultats produits par les détonations sur une petite échelle, mais l'influence en devient décidément manifeste dans les opérations faites sur une plus grande échelle;

4° Au degré d'aspérité de la surface intérieure du tube employé pour transmettre la détonation, ou, en d'autres termes, au degré de résistance opposé aux ondes gazeuses et par conséquent à la quantité de force dépensée pour vaincre le frottement du gaz sur les parois du tube ou sur tout autre obstacle introduit dans ce dernier;

5° Au degré de perfection du conduit, aux positions assignées au *détonateur* et à la charge qu'on veut faire détoner. Si le tube est fendillé ou agrandi, soit à l'endroit où s'effectue la détonation, soit ailleurs; s'il est endommagé par les effets d'une détonation antérieure, s'il y existe même une légère solution de continuité, on observe une diminution proportionnelle dans l'étendue de la transmission de la force. Si l'agent détonant, ou la substance qu'on veut faire détoner, est placé à l'orifice du tube au lieu d'être inséré dans l'une de ses extrémités, il est évident que les conditions deviennent comparativement défavorables à la transmission de la détonation. D'un autre côté, si l'on introduit l'agent détonant à quelque distance dans l'intérieur du tube ou si on l'insère à son extrémité, la perte de force par la dispersion latérale étant diminuée, l'onde gazeuse conserve son énergie de détonation à une plus grande distance du point de départ.

2. Abstraction faite de la solidité ou pouvoir de résister à un déchirement ou à une désagrégation, la na-



ture de la matière dont se compose le tube à travers lequel la détonation est transmise semble en général, autant qu'il a été possible d'en juger par l'expérience, ne pas exercer d'influence importante sur le résultat. En tout cas, les différences provenant du degré de poli de l'intérieur des tubes sont bien plus importantes que celles qui peuvent résulter des variations quant à la nature des substances dont ces tubes sont formés.

Dans les expériences faites au moyen des tubes avec du coton-poudre, la masse sur laquelle on opérait a fait *explosion*, mais avec un effet relativement peu destructif, si même il l'était à un degré quelconque ; des portions de coton-poudre étant en même temps dispersées ou quelquefois simplement enflammées. De même, l'explosion du fulminate de mercure au moyen d'une détonation transmise s'est faite, dans bien des cas, d'une manière tout à fait distincte de la violente détonation qui est développée dans les autres cas. Le fulminate d'argent qui, dans les circonstances ordinaires, détone toujours violemment, alors même qu'une seule particule de la masse est soumise à une influence perturbatrice suffisante, a fait explosion par l'action transmise d'une détonation de fulminate de mercure, sans produire ses résultats destructifs habituels. Dans ces cas, la violence du choc étant simplement voisine de celle qui est nécessaire au développement de la détonation, il paraît fort probable que quelques faibles parties de la masse se trouvaient seules dans la position favorable à l'action de la force explosive transmise par le tube. Le reste de la masse était alors dispersé par les gaz provenant de la portion qui avait détoné ; quelquefois les particules étaient enflammées, d'autres fois elles échappaient même à l'ignition.

Ce dernier cas semble toujours être celui du coton-poudre, lorsque l'explosion en est causée par un coup de marteau ou par la chute d'un poids. La concentration sur quelque point de la masse de la force appliquée paraît iné-



vitale, même dans les expériences le plus soigneusement préparées; il en résulte qu'il n'y a qu'une faible portion de la masse qui détone réellement, le reste étant dispersé à l'instant par les gaz qui se développent tout à coup, au moment où le poids atteint le support et vient reposer sur lui.

On l'a démontré par une série d'expériences conduites avec le plus grand soin, avec des masses cylindriques de coton-poudre comprimé, de même poids et de mêmes dimensions, placées entre des plaques de laiton polies, sur une enclume bien horizontale, et soumises au choc d'un poids de 22<sup>kg</sup>,70, maintenu horizontalement par des guides pendant qu'il tombait d'une hauteur déterminée. En faisant tomber le poids d'une hauteur de 0<sup>m</sup>,914, les petits disques de coton-poudre ont été comprimés et réduits au tiers de leur longueur antérieure, mais il n'y a pas eu explosion. Une chute de 1<sup>m</sup>,828 n'a produit qu'une légère détonation, la plus grande partie du coton-poudre étant dispersée. En élevant encore la hauteur de la chute, une partie un peu plus considérable de la substance a détoné; mais, même en laissant tomber le poids de la plus grande hauteur disponible, 11<sup>m</sup>,882, une faible partie du coton-poudre a détoné seule, le reste étant violemment dispersé dans un état de grande division.

Une série d'expériences faites avec des disques ou des tablettes de coton-poudre comprimé, librement suspendus en l'air ou placés contre des supports verticaux en fer ou en bois à surface plane, et sur lesquels on tirait avec une carabine à des distances de 36<sup>m</sup>,57 à 91<sup>m</sup>,43, ont constaté comment les variations du choc sur la masse qui le reçoit affectent les résultats obtenus; car, selon les circonstances, tantôt, cette masse était perforée sans ignition, tantôt elle était enflammée, tantôt elle faisait explosion en partie; et tantôt, enfin, cette explosion atteignait la totalité. Les explosions produites dans ces expériences, ainsi que

quelques-uns des résultats obtenus dans celles faites avec des tubes, sont tout à fait distinctes de la détonation ; l'effet sonore en est décidément différent, et elles ne produisent pas des effets destructifs égaux à ceux fournis par de bien moindres quantités de coton-poudre.

La différence qui existe entre l'explosion et la détonation a été constatée, dans le cours d'expériences subséquentes, faites en vue de déterminer la vitesse avec laquelle se transmet la détonation à travers les tubes.

#### TROISIÈME MÉMOIRE (EXTRAIT).

L'influence que les solides et les liquides, lorsqu'on les mêle avec des substances explosibles, exercent sur la susceptibilité de détoner de celles-ci, a été l'objet d'une expérimentation systématique, et quelques-uns des résultats obtenus ont acquis déjà une grande importance. Le mélange d'un composé explosible et de substances inertes produit des effets bien différents, selon que le corps explosible est liquide ou solide. Ainsi, on peut mêler des solides inertes en proportions considérables à la nitroglycérine liquide, comme dans le cas de la dynamite ou d'autres préparations semblables, sans que ce corps devienne moins sensible à la détonation, parce que ce mélange n'interrompt pas la continuité de la substance explosible. L'agent détonant initial, entouré d'un tel mélange, est par conséquent, dans tous les points, en contact avec quelque portion de la nitroglycérine, et celle-ci est partout en connexion continue avec elle-même ; c'est pourquoi la détonation se produit et se transmet à travers le mélange avec la même facilité que si le liquide n'était pas mêlé d'un solide. Mais, lorsqu'on mêle un solide inerte à un agent explosible solide lui-même, et divisé, il est évident que les particules de celui-ci doivent être complètement séparées en un nombre de points propor-

tionné à la quantité du corps inerte qui entre dans le mélange et à l'état de division des deux corps. Il s'ensuit que la production de la détonation ou sa transmission sont entravées, soit par la diminution des points de contact entre l'agent détonant initial et la substance dont il doit déterminer l'explosion, soit par la barrière que les particules non explosibles intermédiaires opposent à la transmission de la détonation, soit par ces deux causes réunies. Ceci a été démontré par des expériences faites avec des mélanges intimes de fulminate de mercure et d'une poudre fine, telle que le blanc d'Espagne.

Les mélanges intimes d'un composé explosible sensible, divisé en parties très-fines et d'un solide inerte, étant comprimés en masses compactes, deviennent plus susceptibles de détoner que lorsqu'ils étaient à l'état de poudre non tassée. Des mélanges comprimés de coton-poudre bien divisé et de corps solides inertes en proportions considérables montrent une sensibilité à peine inférieure à celle de l'agent explosible à l'état pur. Si l'on fait le mélange avec un sel soluble, tel que le chlorure de potassium, bien incorporé à l'aide d'un dissolvant, l'eau par exemple, que l'on comprime le mélange et qu'ensuite on le sèche, on obtient la masse dans un état de rigidité et de dureté plus grandes, et par conséquent sous une forme qui la rend plus sensible à l'effet de la détonation que ne l'est le coton-poudre pur, même quand il a été soumis à une compression bien plus considérable. La cristallisation du sel, par l'évaporation du dissolvant, relie très-intimement ensemble les particules qui composent cette masse. La diminution de sensibilité, due à l'incorporation du corps inerte à la substance explosible, est, par conséquent, presque contre-balancée par une plus grande rigidité.

Lorsque la substance avec laquelle on mélange le coton-poudre est un *agent oxydant*, un nitrate ou un chlorate par exemple, la prédisposition à une réaction chimique

entre les deux substances augmente beaucoup la susceptibilité de détoner. Agissant conjointement avec l'effet du sel soluble pour donner de la rigidité au mélange, elle rend ce dernier aussi sensible à l'effet de la détonation de la charge minima de fulminate que le coton-poudre lui-même, pur et fortement comprimé.

Ce fait a donné un surcroît d'importance aux résultats obtenus, il y a quelque temps, par l'auteur, qui a mis à profit la facilité avec laquelle le coton-poudre, bien pulvérisé par le procédé de la réduction en pulpe, se mêle intimement à la proportion d'un agent oxydant tel que le nitrate de potassium, nécessaire pour l'oxydation *complète* de son charbon. La proportion du sel oxydant, théoriquement exigée pour atteindre l'effet maximum du coton-poudre, serait d'environ 38 pour 62 de trinitrocellulose; mais la perte de force due au remplacement de plus du tiers d'un poids donné de coton-poudre par un poids égal du sel employé ne serait pas tout à fait compensée par le surcroît d'effet obtenu pour les deux tiers restants du coton-poudre. Cependant, si l'on emploie les trois quarts de la quantité théorique du nitrate de potassium ou de sodium, les produits qui en résultent donnent des effets entièrement égaux à ceux d'un poids correspondant de coton-poudre, et, comme on a remplacé près d'un tiers de cette substance par une autre beaucoup moins coûteuse, il s'ensuit un grand avantage au point de vue de l'économie. De plus, l'accroissement de rigidité, déjà expliqué par le mélange de coton-poudre et de nitrate, rend ces masses moins susceptibles d'être endommagées par le transport et le manque de précautions que ne l'est le coton-poudre comprimé ordinaire.

° Ces mélanges comprimés ayant été reconnus aussi sensibles à la détonation que le corps explosible comprimé et pur, il devenait intéressant de comparer la manière de se comporter des premiers à celle du dernier, lorsqu'on les

expose à la détonation de la nitroglycérine. Or les résultats ont démontré que ces mélanges comprimés sont plus susceptibles de détoner que le coton-poudre comprimé et pur. Ainsi, soumis à l'explosion de 62<sup>gr</sup>,4 de nitro-glycérine au contact immédiat, celui-ci ne détona qu'une fois, tandis que la même charge fit invariablement détoner le coton-poudre mêlé de nitrate. On obtint le même résultat, par l'explosion d'une charge de 31<sup>gr</sup>,2 de nitroglycérine, dans trois expériences sur quatre; dans la quatrième, le corps mélangé fit *explosion*, mais sans produire l'effet destructif obtenu dans les trois autres. On obtint de semblables explosions avec des charges de 15<sup>gr</sup>,6 de nitroglycérine. Avec le coton-poudre pur, on obtint toujours ou une simple désagrégation de la masse, ou bien la détonation, lorsqu'on employait une charge suffisante de nitroglycérine.

Pour s'assurer si la différence dans la manière de se comporter des préparations faites avec un nitrate ou un chlorate était due à leur plus haut degré de dureté et de rigidité, on a opéré sur des masses comprimées et produites exactement de la même manière, mais contenant un sel inerte, du chlorure de potassium, au lieu d'un *agent oxydant*. Ces préparations sont plus susceptibles d'explosion par la nitroglycérine que par le coton-poudre pur, mais elles le sont décidément moins que celles qu'on fait avec un *nitrate*.

De toutes ces expériences il semble donc résulter que l'explosion du coton-poudre par la détonation d'une charge de nitroglycérine est facilitée, jusqu'à un certain point, par l'accroissement de résistance qu'il oppose à la désagrégation, lorsqu'on l'incorpore à un sel; mais que la sensibilité supérieure des préparations faites avec un nitrate ou un chlorate est, selon toute probabilité, principalement due à quelque influence prédisposante exercée par ces agents oxydants.

Le coton-poudre imprégné d'un corps inerte, lequel est

*liquide*, ou qui, étant solide à la température ordinaire, a été incorporé à l'état liquide avec sa masse, perd beaucoup plus de sensibilité à la détonation que lorsqu'il est mélangé avec un poids correspondant d'un solide incorporé *comme tel*. La cause de ce résultat est évidemment réciproque de celle qui empêche la diminution de sensibilité de la nitroglycérine, lorsqu'on la mélange avec une proportion considérable d'un corps inerte solide. C'est le liquide inerte qui enveloppe chacune des particules du corps explosible solide, qui l'isole de ses voisines, et oppose par suite de la résistance à la transmission de la détonation, tandis que, dans le cas de la nitroglycérine, c'est l'agent explosible liquide qui enveloppe le solide inerte et qui, par conséquent, reste continu dans toute la masse.

L'absorption de 3 pour 100 d'eau par le coton-poudre, en sus des 2 pour 100 d'eau qu'il contient à l'état normal, rend douteuse la détonation de cette substance, au moyen de l'agent détonant ordinaire. Ainsi, il a été impossible, au moyen de 1 gramme de fulminate de mercure renfermé dans une enveloppe métallique, de déterminer l'explosion des disques secs de coton-poudre qu'on avait imprégnés d'huile ou de suif. Toutefois, on a pu faire détoner le coton-poudre humide, en augmentant considérablement la charge du fulminate initial, et M. E.-O. Brown, préparateur de M. Abel, a eu l'idée d'appliquer le coton-poudre sec, lui-même, au développement de la force explosive de cette substance comprimée, et à l'état humide.

Une série d'expériences bien précises ont montré que, lors même que le coton-poudre comprimé contient jusqu'à 17 pour 100 d'eau, on peut, bien que ce ne soit pas avec une certitude absolue, en déterminer la détonation par l'explosion de 6<sup>sr</sup>,5 de coton-poudre compacte et séché à l'air, l'explosion initiale étant provoquée par la quantité ordinaire de fulminate mis en contact immédiat avec le



coton-poudre sec. En élevant la proportion d'eau jusqu'à 20 pour 100, la détonation ne s'est pas toujours accomplie avec certitude par l'emploi de 31<sup>er</sup>, 2 de coton-poudre séché à l'air, comme agent détonant initial, et, lorsque les disques contiennent le maximum d'eau qu'ils sont capables d'absorber, c'est-à-dire de 30 à 35 pour 100, on ne peut compter d'une manière absolue sur la détonation, si l'on emploie moins de 112 grammes de coton-poudre séché à l'air et appliqué en *contact immédiat*.

Il a été établi, par une série d'expériences comparatives, que le coton-poudre comprimé, humide ou mouillé, est décidément plus susceptible de détoner par l'explosion du coton-poudre sec libre produite au moyen du fulminate de mercure que par l'explosion du fulminate seul, en vase clos. Ainsi, lorsque le coton-poudre contenait 17 pour 100 d'eau, sa détonation par l'explosion directe du fulminate n'était pas certaine, à moins d'une charge de 13 grammes de cette substance, tandis qu'elle était absolument certaine par l'emploi d'environ 10 grammes de coton-poudre.

La transmission par un tube de la détonation du coton-poudre sec à un disque de ce même corps mouillé semble se produire avec la même facilité que si la masse qu'on veut faire détoner était sèche : il en est de même à l'égard de la propagation de la détonation d'une masse de coton-poudre humide à d'autres masses de la même substance, librement exposées à l'air, mais qui se touchent, pourvu que celle qui détone la première ne contienne pas moins d'eau que les autres masses auxquelles elle doit transmettre la détonation ; mais il n'en est pas ainsi lorsque même de petits intervalles séparent les masses, et, à cet égard, le coton-poudre humide se comporte bien différemment de celui qui a été séché à l'air.

Les préparations faites avec le coton-poudre et un nitrate ou un chlorate sont aussi susceptibles de détoner à l'état humide que le coton-poudre comprimé ordinaire, et



dans les mêmes conditions. Quant aux effets mécaniques obtenus par la détonation de ces substances humides ou mouillées, de nombreuses expériences comparatives sur une petite ou sur une grande échelle ont démontré qu'ils ne sont point amoindris, lorsqu'on les emploie à l'état mouillé. Il paraît donc que la perte d'expansion des gaz engendrés, résultant de la dépense de chaleur absorbée par la vaporisation de l'eau, serait compensée par le volume additionnel de vapeur d'eau qui en résulte. Cependant, une plus grande vivacité d'action, lorsqu'on fait détoner le coton-poudre ou des préparations de cette substance à l'état mouillé, a décidément démontré ceci, qui s'accorde parfaitement avec les observations faites au début de ces recherches : moins une masse de matière explosible donnée est susceptible de compression, lorsqu'on la soumet à l'action d'une détonation initiale suffisante, plus la détonation se transmet facilement, et plus est soudaine la transformation du solide en gaz et en vapeur. Lorsque l'eau remplace l'air dans les masses comprimées, la transmission de la détonation est évidemment favorisée par le surcroît de résistance au mouvement qu'opposent les particules à l'instant où elles sont exposées à la force de détonation.

En congelant le coton-poudre comprimé et *mouillé*, on le rend aussi susceptible de détoner que les mélanges de coton-poudre avec des sels solubles cristallisés, auxquels il devient tout à fait semblable par la solidification de l'eau.

Le fulminate de mercure et des mélanges de cette substance avec du chlorate de potassium détonent facilement par l'explosion de petites charges de fulminate en vase clos, lorsqu'on mêle à ces substances la quantité d'eau nécessaire pour les convertir en masses pâteuses; ainsi 194 grammes de fulminate sec ont infailliblement déterminé l'explosion de la substance pâteuse à une distance de 38 millimètres. Le coton-poudre bien pulvérisé et converti en pâte avec de l'eau ne s'est pas montré susceptible de dé-

toner, même dans des circonstances bien plus favorables que celles dont on vient de parler; car le mélange était placé dans des cylindres de feuilles de zinc ou d'étain ouverts à l'une des extrémités, et au milieu desquels on provoquait l'explosion d'un disque de coton-poudre sec au moyen de l'agent détonant ordinaire.

Mais si l'on charge des vases de fer forgé avec du coton-poudre comprimé et mouillé, de telle sorte que la charge initiale de coton-poudre en soit immédiatement enveloppée et que l'on remplisse d'eau les petits espaces qui séparent les masses, la charge étant alors submergée, l'explosion se produit avec certitude et donne des résultats plus grands que ceux qui seraient produits par cette substance à l'état sec, dans les mêmes conditions. Pourvu que la dispersion de la force, par la transmission dans l'eau, soit retardée à l'instant de la première détonation, ou par la matière dont est formée l'enveloppe, ou par la pression d'une colonne d'eau considérable, la détonation du coton-poudre comprimé et mouillé, immergé dans l'eau, les masses étant séparées de la charge initiale et des masses contiguës par des couches minces de ce liquide mêlé de coton-poudre, s'accomplit toujours avec certitude. On a obtenu des résultats tout à fait égaux à ceux produits par les charges renfermées dans de forts vases de fer forgé, en n'employant que des enveloppes de feuilles d'étain ou des sacs, ou même de simples filets de pêche qui servent uniquement à retenir compactes les masses qui composent la charge. Toutefois, si l'on néglige cette dernière condition ou que la profondeur de l'immersion de la charge soit insuffisante, la détonation ne se produit pas, même lorsqu'on emploie pour la réaliser une charge détonante relativement puissante.

La manière soudaine et complète avec laquelle la détonation se transmet à travers de petits espaces d'eau, dans les expériences faites avec des enveloppes de fer forgé, a amené l'auteur à essayer d'appliquer l'eau comme

véhicule pour de petites charges détonantes, destinées à briser ou à faire éclater des obus de fer forgé en fragments nombreux et relativement uniformes. On fait ainsi remplir à l'obus, ou projectile creux de la construction la plus simple, les fonctions des obus Shrapnel, ou à segments, dont la construction est relativement plus compliquée. Les résultats obtenus ont fourni de remarquables exemples de la transmission de la force par l'eau, et peuvent devenir d'une importance pratique considérable. Les effets destructifs produits par de petites charges détonantes, lorsqu'on en détermine l'explosion dans des obus remplis d'eau, et parfaitement clos, sont proportionnés non-seulement à la quantité de matière explosible employée, mais aussi à la soudaineté du choc communiqué à l'eau par l'explosion. Ainsi, la détonation, dans un obus rempli d'eau, de 7 grammes de coton-poudre comprimé, fait éclater l'obus en un nombre de fragments près de 8 fois plus grand que celui des fragments obtenus par l'explosion, dans un obus pareil, de toute la charge de poudre ordinaire qu'il était capable de contenir, c'est-à-dire 368<sup>gr</sup>,5. Lorsque dans un de ces obus, au lieu de la petite charge de coton-poudre comprimé, on faisait détoner de la même manière une charge 4 fois plus forte (28<sup>gr</sup>,3) de *poudre picrique* mélangée de salpêtre et de picrate d'ammoniaque, qui est aussi un agent explosible très-violent, mais d'une action moins soudaine, l'obus éclatait en un nombre de fragments à peu près égal à celui produit par les 368<sup>gr</sup>,5 de poudre ordinaire au lieu de 8 fois ce nombre, comme dans le cas de 7 grammes de coton-poudre. Les expériences avec des obus ont donné lieu à plusieurs autres observations d'un grand intérêt; elles ont conduit, en outre, à quelques autres expériences analogues qui ont donné d'importants résultats.

En développant la détonation dans un vase parfaitement clos, et qu'on a complètement rempli d'eau, après

y avoir introduit la matière explosive, on peut regarder la résistance offerte par l'eau, à l'instant de l'explosion, comme semblable à celle que présenterait une masse tout à fait solide. De même, si, au lieu d'eau seulement, on remplissait complètement le vase, à fortes parois, d'un mélange d'eau et d'une substance solide, par exemple d'une poudre bien fine ou d'un corps fibreux divisé en parties bien fines, un tel mélange, à l'instant de la détonation, devrait aussi se comporter comme un solide très-compacte, dans la résistance qu'il opposerait, à l'instant de l'explosion, à la charge détonante qu'il renferme. S'il en est ainsi, un mélange d'eau et de fibres de coton-poudre divisé en parties aussi fines que possible, renfermé dans un obus, devra détoner facilement, parce qu'à l'instant de l'explosion de la charge initiale les particules du coton-poudre offriront une grande résistance au mouvement mécanique. L'expérience a complètement vérifié l'exactitude de ce raisonnement, et elle a démontré que, tandis que, dans toute autre condition, il est indispensable d'employer le coton-poudre dans un état fortement comprimé pour en assurer la détonation, on peut, en le renfermant dans des vases à fortes parois, tels que les obus, l'employer d'une manière tout aussi efficace à l'état de division en parties bien fines, pourvu que les espaces entre les particules soient complètement remplis d'eau, la petite charge qui détone étant immergée dans le mélange aqueux.

#### QUATRIÈME MÉMOIRE (EXTRAIT).

Les résultats obtenus dans les diverses expériences relatives à la transmission de la détonation ont amené l'auteur à essayer de déterminer la vitesse avec laquelle se transmet la détonation dans des conditions diverses. Il s'est servi, pour cela, du chronoscope électrique, inventé par le capitaine A. Nobel, cet appareil ayant déjà fourni des résultats satisfaisants, dans la détermination de la vitesse

des projectiles dans l'intérieur d'un canon, entre les mains de la Commission que le gouvernement anglais avait chargée des études sur les substances explosibles.

Dans cette série d'expériences, on a opéré avec du coton-poudre comprimé, sec ou mouillé, avec du coton-poudre mêlé de nitrate de potassium, avec de la nitroglycérine ou de la dynamite; enfin avec de petites charges de coton-poudre, insérées dans des tubes, et séparées par des espaces intermédiaires considérables. Les disques de coton-poudre sec, de coton-poudre mouillé, et ceux de coton-poudre mélangé de nitrate, employés dans ces expériences, avaient en général 76 millimètres de diamètre, et ils étaient disposés, soit en rangées continues ou trainées, l'un touchant l'autre, soit en rangées espacées par des intervalles définis et uniformes. On a aussi employé une rangée continue de disques, ayant 31 millimètres de diamètre, et reposant sur le côté, de sorte qu'ils représentaient une masse cylindrique continue. Au commencement de la trainée, un mince fil métallique isolé, faisant partie du circuit électrique primaire, et dont la soudaine rupture donne sur le chronoscope l'indication électrique de la vitesse de transmission, était fortement tendu sur le premier disque, et rigidement fixé au contact immédiat de la substance dont on voulait provoquer l'explosion. D'autres fils métalliques semblables étaient fixés de la même manière, à des distances uniformes de 0<sup>m</sup>,304, 0<sup>m</sup>,605, 1<sup>m</sup>,219 et 1<sup>m</sup>,828 les uns des autres. Pour déterminer la vitesse de transmission de la détonation dans des tubes, on employa des tuyaux à gaz en fer forgé, de 31 millimètres de diamètre; on y pratiqua, aux intervalles voulus, de petites perforations par lesquelles on fit passer les fils métalliques isolés. Les disques de coton-poudre auxquels la détonation devait être transmise furent insérés dans les tubes, de manière à les mettre en contact immédiat avec ces fils bien tendus. Les trainées de dynamite furent arrangées de la

même manière que celles du coton-poudre, et l'on employa celui-ci en charges comprimées de 76 millimètres de longueur et de 25 millimètres de diamètre, placées bout à bout, ou bien à des distances définies les unes des autres. La nitroglycérine fut placée dans une auge en forme de V, à travers les parois de laquelle on fit passer transversalement aux intervalles voulus les fils métalliques isolés, de sorte qu'ils étaient immergés dans le liquide explosible.

Les résultats d'expériences nombreuses avec le coton-poudre comprimé ont démontré que la vitesse de transmission de la détonation d'une masse à l'autre, lorsqu'elles sont en contact immédiat, varie entre 5320 mètres à 6080 mètres par seconde, et que cette vitesse est affectée par la densité de la matière explosible, mais qu'elle ne l'est ni par la différence de forme, ni par la disposition de chacune des masses de coton-poudre, ni par de considérables variations dans le poids de ces masses. Les expériences faites avec des disques de coton-poudre *espacés* ont démontré que la séparation des masses peut retarder la vitesse de transmission, et que la mesure de ce retard est déterminée par le rapport entre le poids de chacune des masses et l'étendue de l'espace qui les sépare. Avec du coton-poudre comprimé, contenant 15 pour 100 d'humidité, on a obtenu des résultats qui indiquaient une vitesse de transmission de la détonation légèrement supérieure à celle qui est donnée par cette substance de même densité prise à l'état sec. Mais lorsqu'on emploie du coton-poudre saturé d'eau, la vitesse de transmission de la détonation augmente d'une manière très-sensible; elle était d'environ 6097 mètres par seconde, avec du coton-poudre, lequel, dans l'état sec, donna une vitesse de transmission d'environ 5320 mètres. Avec du coton-poudre *nitraté*, mélange comprimé de cette substance et de salpêtre, la vitesse de transmission, comme on devait s'y attendre, est décidément inférieure à celle qu'on obtient avec la substance pure à l'état sec;



elle varie entre 4712 mètres et 4864 mètres par seconde.

Les résultats obtenus avec la dynamite et la nitroglycérine, comparés à ceux que donne le coton-poudre, présentent des différences fort intéressantes, que l'on doit attribuer à la nature liquide de la substance explosible. La dynamite employée était sous forme de rouleaux ou cylindres comprimés, semblables en fermeté et en solidité à de l'argile ferme, mais peu plastique. On forma des rangées ou traînées de ces charges juxtaposées bout à bout, et pressées ensemble de manière à ne former que des masses continues de 8<sup>m</sup>,533 et de 12<sup>m</sup>,80 de longueur. On les fit détoner au moyen d'une amorce fulminante du même genre que celle qu'on avait employée pour le coton-poudre, insérée dans un petit cylindre de coton-poudre ou dans une cartouche de dynamite, et que l'on plaça à l'une des extrémités de la traînée. La vitesse de transmission de la détonation varia entre 5928 mètres et 6566 mètres par seconde ; elle était par conséquent décidément supérieure à celle obtenue avec du coton-poudre sec comprimé, et bien certainement égale à celle obtenue avec du coton-poudre saturé d'eau.

Cependant, la séparation des cartouches ou cylindres par des intervalles de 13 millimètres eut pour effet un retard bien plus considérable que celui qui était résulté d'une séparation identique pour des masses de coton-poudre comprimé. La vitesse moyenne de transmission le long des masses de dynamite espacées, dans une expérience remarquable par la grande uniformité de la vitesse dans les différentes parties de la traînée, ne fut que de 1896 mètres par seconde. Avec des masses de coton-poudre du même poids et de la même longueur que les cartouches de dynamite, et séparées par des intervalles de 13 millimètres, la vitesse moyenne de transmission (dans deux expériences, fut de près de 5180 mètres par seconde. En employant la nitroglycérine à l'état pur, c'est-à-dire



liquide, la détonation étant déterminée à une extrémité des traînées, au moyen d'une cartouche de dynamite, la vitesse de transmission obtenue ne fut que de 1672 mètres par seconde. Ces résultats furent les mêmes dans deux expériences, bien que, dans l'une d'elles, la quantité de nitroglycérine sur une longueur donnée de la traînée fût double de celle employée dans l'autre (1).

Il se pourrait que, si l'on augmentait considérablement la quantité de nitroglycérine employée, la vitesse de transmission de la détonation augmentât aussi; mais il n'y a pas de doute que la mobilité et l'élasticité du liquide, et, par suite, la facilité avec laquelle il cède à une force mécanique, lorsqu'il n'est pas renfermé, n'agissent de manière à contrarier la transmission de la détonation dans une masse de nitroglycérine, *librement exposée* à l'action du détonateur.

M. Abel espère avoir les moyens et l'occasion d'étendre ces intéressantes expériences, et de rechercher quel serait l'effet produit sur la vitesse de transmission de la détonation le long de masses continues de nitroglycérine aussi bien que de coton-poudre, ces agents explosibles étant renfermés dans des vases clos, tels que des tubes à parois épaisses.

Les détails numériques fournis par ces expériences prouvent suffisamment la confiance que méritent les résultats obtenus dans les déterminations de vitesse; ils démontrent l'uniformité de vitesse dans la transmission de la détonation le long de traînées d'une longueur considérable, composées de masses distinctes de la substance explosive, même lorsque des intervalles séparent ces masses les unes des autres. Avec des traînées de 12<sup>m</sup>,18 à 15<sup>m</sup>,23 de longueur, la détonation voyageait, pour les deux derniers

---

(1) La quantité de nitroglycérine employée sur une longueur donnée de la traînée correspondait à celle qu'on avait employée dans certaines expériences faites avec le coton-poudre et qui avaient donné pour résultat une vitesse de transmission de la détonation variant entre 5487 mètres et 6400 mètres par seconde.

mètres, avec la même vitesse que dans la première partie de la traînée.

Les chiffres suivants représentent les vitesses de transmission de la détonation le long d'une traînée, composée de disques de coton-poudre comprimé, contenant 30 pour 100 d'eau; ces vitesses étant mesurées à des intervalles successifs de 1<sup>m</sup>,85 étaient : 5928<sup>m</sup>,3; 5925<sup>m</sup>,3; 5901<sup>m</sup>,8; 6084<sup>m</sup>,3.

Il n'en était pas ainsi de la transmission de la détonation dans des tubes à des masses de coton-poudre séparées par de grands intervalles. Le temps écoulé entre la détonation de la charge initiale à l'une des extrémités du tube et celle de la première charge placée à 1 mètre de distance était quelque peu variable et correspondait à une vitesse de 3000 mètres à 3900 mètres par seconde; la vitesse de transmission subséquente d'une charge à l'autre était passablement uniforme, mais considérablement inférieure, la moyenne n'étant que de 1800 mètres par seconde.

Dans une expérience faite avec des charges réduites, la détonation se transmet, comme à l'ordinaire, aux trois premières masses séparées; mais la quatrième masse et les suivantes firent simplement explosion sans détoner. Les portions du tube où elles étaient placées ne furent point endommagées, mais les fils métalliques furent brisés à l'endroit occupé par chacune des charges, indiquant une vitesse de transmission de l'*explosion* d'une masse à l'autre de 450 mètres à 640 mètres par seconde.

Ces expériences, effectuées avec des tubes, ont montré que, lorsqu'il existe entre la quantité de la substance explosible, le diamètre du tube et l'intervalle qui sépare les charges, un rapport suffisant pour assurer la transmission de la détonation, la vitesse de cette transmission est d'environ le tiers de celle que l'on obtient en opérant sur une masse continue ou sur une traînée de masses de la même substance.

