

ANNALES

DE

CHIMIE ET DE PHYSIQUE,

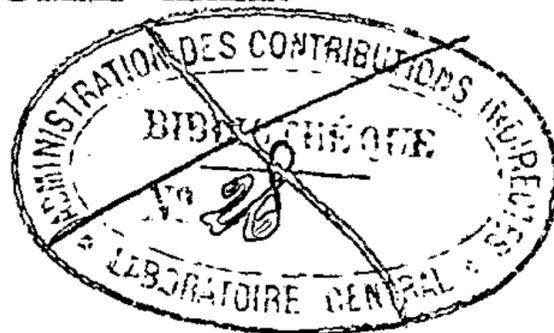
PAR

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

AVEC LA COLLABORATION DE

M. BERTIN.

QUATRIÈME SÉRIE. — TOME XXI.



PARIS,

VICTOR MASSON ET FILS, LIBRAIRES,

PLACE DE L'ÉCOLE DE MÉDECINE.

IMPRIMERIE DE GAUTHIER-VILLARS,

RUE DE SEINE-SAINT-GERMAIN, 10, PRÈS L'INSTITUT.

1870

PER. 8° 1157

verni à sa surface comme tous les autres, a en outre éprouvé un refroidissement sensiblement supérieur à celui qu'avaient manifesté les métaux précédemment employés. Le plomb, en effet, se distingue par un pouvoir émissif considérable.

Pour ces raisons, les expériences sur le plomb et même jusqu'à un certain point les expériences sur l'étain ne nous paraissent pas mériter la même confiance que les expériences sur le cuivre. On trouve, au contraire, dans l'aluminium les mêmes garanties que dans le cuivre, et, sous quelques rapports, une supériorité que nous avons signalée plus haut. Je mettrai donc le résultat relatif à l'aluminium sur le même rang que le résultat relatif au cuivre, et je prendrai pour valeur de l'équivalent mécanique de la chaleur

435.

.....

**NOUVELLES ÉTUDES SUR LES PROPRIÉTÉS DES CORPS
EXPLOSIBLES ;**

PAR M. F.-A. ABEL.

La rapidité plus ou moins grande avec laquelle une matière explosive change d'état, la nature et les résultats de cette transformation sont autant d'éléments qui peuvent se modifier, si l'on fait varier les circonstances dont le concours assure la production de l'action chimique. La poudre-coton offre un exemple frappant des moyens à l'aide desquels cette diversité d'effets peut être obtenue. Si l'on enflamme à l'air libre, par le contact ou par l'action à petite distance d'une source de chaleur d'au moins 135 degrés centigrades, un flacon de coton-poudre non comprimé, ou même une grande quantité de coton-poudre en laine, la déflagration est rapide, presque instantanée ;

un bruit sourd accompagne le changement d'état qui se traduit en une production de gaz et de vapeur, parmi lesquels les oxides d'azote se trouvent en proportion considérable. Emploie-t-on le coton-poudre sous forme de fil non retors, de tissu ou de papier, la rapidité de la combustion à l'air libre s'atténue en raison directe de la capacité et du degré de torsion des fils, et, cela, qu'il s'agisse de matière tissée ou de coton brut. Si, à l'aide de la pression, on transforme le coton en une masse compacte, homogène, solide, la combustion marche plus lentement encore. On peut même la ralentir au point de lui donner toute l'apparence d'un feu qui couve sans jamais flamber; il suffit, pour cela, d'opérer sur une petite quantité de coton-poudre, réduit à l'état de fil fin ou de masse rendue compacte par la compression, et de le soumettre à l'action d'une source de chaleur dont la température soit à la fois assez puissante pour déterminer le changement d'état de la matière, et assez peu élevée pour ne pas enflammer les produits de la décomposition (hydrogène, oxide de carbone, etc.). C'est une expérience que j'ai faite avec succès en 1864 devant la Société royale, et dont on se rend facilement compte. En se dégageant, les gaz et les vapeurs produits par la décomposition absorbent d'une manière continue et rapide le calorique développé par la combustion, si bien que la chaleur ne parvient pas à s'accumuler en quantité suffisante pour déterminer le phénomène ordinaire de la combustion avec flamme.

Si l'on allume le coton-poudre dans une atmosphère raréfiée, les mêmes causes rendent la décomposition d'autant plus lente et plus incomplète que le vide est plus parfait; c'est au point que si l'on touche avec un fil incandescent du coton-poudre renfermé dans une atmosphère extrêmement purgée d'air, on obtient une combustion étouffée tant que la pression développée par l'accumulation des gaz n'est pas suffisante pour contre-balancer la

force d'absorption avec laquelle ceux-ci s'approprient la chaleur, sans laquelle la combustion rapide ou l'explosion ne saurait se produire.

Si l'on retarde, au contraire, le dégagement des gaz dus à la combustion, en enflammant du coton-poudre préalablement renfermé, soit dans une enveloppe ou sac de papier, soit dans un récipient imparfaitement clos, la déperdition de chaleur n'a point lieu tant que les gaz n'ont point développé une pression suffisante pour se frayer un passage au travers de l'enveloppe ou par l'ouverture du vase; de leur réclusion plus ou moins longue naît une explosion plus ou moins violente, et le résultat final est une décomposition plus ou moins parfaite du coton-poudre. Ainsi, jusqu'à une certaine limite, l'explosion déterminée par l'approche d'une flamme ou d'un corps en ignition est d'autant plus vive que la résistance initiale au dégagement du gaz est plus considérable, ou, si l'on veut, que la résistance de l'enveloppe du coton-poudre donne lieu, au moment de l'explosion, à une pression plus élevée. De là ces anomalies apparentes : si l'on emploie le coton-poudre dans les bouches à feu, l'explosion peut être trop soudaine et les effets trop violents; appliqué aux projectiles creux, il se comporte toujours comme l'agent destructeur le plus formidable; à l'air libre, au contraire, ou dans une enveloppe peu résistante, il semble jusqu'ici le plus inoffensif des composés détonants.

D'autres corps et même d'autres mélanges explosibles subissent, comme le coton-poudre, l'influence des circonstances qui président à leur décomposition, mais les différences sont en général moins sensibles. Pour la poudre à canon, par exemple, la rapidité de l'explosion varie avec la densité, la grosseur des grains, les facilités offertes à l'échappement des gaz, et, par suite, l'intensité de la chaleur développée par l'explosion. Le fulminate de mercure enflammé en petite quantité à l'air libre, et sur une feuille

de métal assez mince, n'y produit point de détérioration; l'explosion même est relativement faible. Mais, si l'on renferme le fulminate dans une enveloppe métallique de même épaisseur, quand bien même la quantité serait beaucoup plus petite encore, l'enveloppe est brisée en morceaux par la déflagration, et l'explosion prend le caractère d'une détonation violente.

Si l'on opère à l'air libre sur ces matières explosibles, en conservant les mêmes conditions expérimentales, mais en faisant varier d'une manière insignifiante, à première vue, le mode d'action de la source de chaleur, cette simple modification suffit pour communiquer à l'explosion des caractères singulièrement différents. Il suffit, par exemple, pour changer complètement la nature de l'explosion produite par une charge de poudre à canon placée dans une enveloppe non fermée, de faire varier le point d'application de la chaleur. On en jugera par l'expérience suivante.

Une enveloppe cylindrique, formée d'une feuille de fer-blanc de $2\frac{1}{2}$ pouces de diamètre et de 6 pouces de long, ouverte à l'une de ses extrémités seulement, fut entourée jusqu'à son ouverture d'un matelas de terre glaise, préalablement durcie et fortement comprimée contre les parois. On remplit le cylindre d'environ $1\frac{1}{2}$ livre de poudre fine, et l'on mit le feu un peu au-dessous de la surface supérieure, à l'aide d'une petite fusée électrique introduite dans la charge. La poudre fit entendre, au moment de la combustion, un bruit strident semblable, sauf la durée, à celui qui accompagne le départ d'une fusée de guerre, bruit évidemment déterminé par l'inflammation rapide, mais successive, des diverses couches de poudre. Le récipient se fendit le long de la soudure, mais ne fut point projeté hors de son logement. Une petite quantité de terre fut soulevée et retomba dans le trou. L'expérience fut ensuite répétée avec la même charge placée dans des conditions identiques, seulement on mit le feu cette fois en plaçant la fusée élec-

trique *au fond* du récipient. On obtint une explosion sonore; la terre fut projetée en abondance; le fond du cylindre resta et fut retrouvé dans l'excavation produite, mais il fut impossible de retrouver la paroi cylindrique, qui avait été indubitablement lancée à une grande distance. Dans cette expérience, le gros de la charge avait évidemment agi, au moment de la naissance du feu, comme le fait un bourrage dans un trou de mine; il avait offert à l'échappement des gaz une résistance capable de développer momentanément assez de pression pour déterminer la combustion parfaite et l'explosion de la portion de la poudre enflammée au début. Le même phénomène s'était ensuite reproduit de proche en proche dans toute la masse.

Le fulminate de mercure fournit des exemples plus frappants encore de l'influence que peut exercer sur le caractère de l'explosion la position de la source de chaleur par rapport à la masse de matière à enflammer. On en jugera par le récit et la discussion d'une série d'expériences que j'ai faites au sujet de l'inflammation du coton-poudre, et qui m'ont amené à comparer les effets obtenus successivement par l'explosion *en vases clos* de petites quantités de fulminates de mercure et par la combustion, *à l'air libre*, de masses relativement considérables de la même matière. Je me servais, pour déterminer l'inflammation, de petites fusées électriques et le résultat était pour moi plein de surprises. Dans certains cas, une petite quantité (0^{gr}, 65) de fulminate de mercure produisit une explosion beaucoup plus forte que celle que j'avais obtenue l'instant d'au-paravant avec une quantité double enflammée, en apparence au moins, de la même manière. Dans d'autres cas, opérant sur des quantités identiques que j'enflammais successivement, j'obtenais soit un bruit sourd, semblable à celui qu'eut produit l'inflammation à l'air libre d'une quantité minime, soit une détonation se rapprochant de celle qu'eut fait entendre la même charge faisant explo-

sion en vase clos. Croyant que ces différences remarquables dans les effets pourraient être attribuées à des inégalités dans l'intensité de la force explosive des petites fusées électriques, je pris en leur lieu et place un fil de platine comme moyen d'ignition. La même diversité se manifesta dans les résultats. Je commençai par l'attribuer à des différences d'étendue dans les surfaces de fulminate soumises au même moment à l'action de la chaleur, mais je fus promptement amené à rechercher la cause de ces variations dans la *situation* même de la source de chaleur. En plaçant sur une feuille de cuivre mince 1^{er}, 32 ou même 2 grammes de fulminate, et en l'enflammant avec un fil de platine rougi que l'on met en contact avec la surface supérieure ou avec les bords de la masse fulminante, l'explosion se résume en un bruit sourd; elle n'est accompagnée d'aucun résultat appréciable. En enflammant, au contraire, 1 gramme (15 grains) de fulminate par les mêmes moyens, mais en plaçant le fil de platine à la partie *inférieure*, l'explosion est accompagnée d'un bruit aigu, et sa vivacité suffit pour déchirer profondément la feuille de cuivre en détériorant le support. C'est ainsi que, en faisant varier le point d'application de la source de chaleur, on peut à volonté faire détoner, ou faiblement, ou avec violence, des quantités identiques de fulminate de mercure.

Il est un petit nombre de corps qui jouissent de la propriété de se transformer en gaz ou en vapeur sous l'action de causes extérieures, infiniment moins puissantes que celles dont il vient d'être question. Pour déterminer l'explosion de ces matières fulminantes, il suffit de produire une faible élévation de température, ou même de provoquer, par une action mécanique ou chimique, une légère commotion perturbatrice dans l'état moléculaire, en sorte que, à première vue, ces corps semblent difficilement comporter comme les précédents une variation de phénomènes correspondants à la variation des causes. Citons pour

exemple le chlorure d'azote, l'iodure d'azote et le fulminate d'argent. Il suffit, pour provoquer l'explosion de ces corps, soit de l'action directe d'une source de chaleur peu élevée, soit d'une légère élévation de température déterminée ou par le frottement, ou par la pression, ou par une action chimique circonscrite à une très-petite partie de la masse ; l'explosion d'une simple molécule développe une commotion désagrégeante qui dépasse de beaucoup la limite voulue pour troubler l'équilibre moléculaire tout entier, en sorte que la décomposition est totale et presque instantanée. La propension que ces corps ont à s'altérer sous l'influence de la moindre cause perturbatrice est caractérisée de la manière la plus saillante par la façon dont se comporte l'iodure d'azote dans une chambre même spacieuse. Si l'on ébranle l'air au moyen d'une faible explosion, si l'on ferme avec violence une porte, la commotion suffit pour faire détoner la substance. Mais, même si l'on emploie ces corps sous des conditions qui offrent une résistance aux gaz produits par leur explosion, au moment même de leur naissance, la violence de leur détonation s'accroît dans des proportions considérables, attendu que le développement de la force explosive est restreint au moment où la rupture de l'enveloppe est accomplie par les gaz emprisonnés. C'est ainsi qu'une petite quantité de fulminate d'argent, renfermée dans une boîte métallique à parois épaisses, donne lieu à une détonation beaucoup plus forte que celle produite par l'explosion de la même dose, enflammée de la même manière, soit dans une enveloppe de clinquant, soit à l'air libre. En opérant sur l'iodure d'azote, on augmente notablement la violence de l'explosion, en renfermant la matière dans une sorte d'obus en plâtre de Paris ; l'expérience est plus caractéristique encore en renfermant l'iodure dans une feuille de métal. Le chlorure d'azote, au contraire, offre cette particularité de ne détoner que faiblement tant qu'il n'est pas à l'abri du contact de l'air et si ce corps passe universelle-

ent pour le plus redoutable des agents détonants connus, il semble que cette réputation soit due à la manière dont les expériences ont été constamment faites, c'est-à-dire à la manipulation sous l'eau. Placez trois ou quatre gouttes de chlorure d'azote (environ 0^{gr}, 14) sur un verre de montre, recouvrez les d'une couche d'eau très-mince et vous obtenez, par le contact d'un peu de térébenthine, une explosion si violente que le verre est pour ainsi dire réduit en poussière. Répétez la même expérience en opérant sur la même quantité, mais en laissant la surface supérieure au contact de l'air libre, presque jamais le verre n'est brisé. Voici des expériences qui ont été faites avec succès : on verse 2 grammes de chlorure d'azote dans un verre de montre, on recouvre le liquide d'une couche d'eau très-mince et on fait reposer le tout sur un petit cylindre solide de papier mâché placé sur un pavé. Le contact d'un peu de térébenthine détermine une explosion violente; le verre est pulvérisé, le cylindre complètement brisé, les débris projetés dans toutes les directions. Si l'on opère ensuite sur 4 grammes de chlorure d'azote placés dans les mêmes conditions, mais sans addition d'eau, l'explosion obtenue est relativement faible, le verre se brise, il est vrai, mais le cylindre ne supporte aucune atteinte; il reste immobile à sa place primitive. La même expérience enfin, répétée en recouvrant les 4 grammes de chlorure d'une mince couche d'eau, amène la destruction complète du cylindre qui servait de support. Que conclure de ces effets, sinon que, dans le cas où la décomposition du chlorure d'azote est instantanée, la résistance offerte par l'eau développe l'intensité de la force explosive, et remplit vis à vis du chlorure le même office que la feuille métallique vis-à-vis du fulminate d'argent, ou l'épaisse enveloppe de fer vis à vis de la poudre-coton et de la poudre ordinaire?

Le corps obtenu en traitant la glycérine par l'acide azotique, corps qui est connu sous le nom de nitroglycérine

ou glonoïne, et qui présente sous le rapport des propriétés détonantes quelque analogie avec le chlorure d'azote, ne semble être susceptible que de deux variétés distinctes dans son mode de changement d'état. Si l'on soumet à l'influence d'une source de chaleur suffisamment intense une portion de la masse liquide, on obtient à l'air libre une inflammation et une combustion graduelles, que n'accompagne aucune explosion. Il arrive même, lorsque l'on met la nitroglycérine à l'abri du contact de l'air, que l'on rencontre une véritable difficulté pour faire naître et développer avec certitude la force explosive à l'aide d'une source de chaleur ordinaire. Mais si l'on soumet la matière à un choc brusque, comme celui d'un marteau vigoureusement frappé sur une surface dure, on obtient une explosion accompagnée d'une détonation violente, la nitroglycérine se comportant dans ce cas absolument comme la poudre-coton. Il est à remarquer, toutefois, que la seule portion du liquide qui détone, est celle qui correspond exactement aux deux surfaces momentanément rapprochées par le choc. L'action du marteau sur l'enclume isole si bien une portion de la masse que la décomposition instantanée de cette portion ne peut se propager, ou faire détoner dans les mêmes conditions les parties voisines exposées au contact de l'air. Le même phénomène se reproduit, du reste, pour tout composé ou mélange explosible soumis à un choc violent, et la communication de l'explosion aux parties environnantes est d'autant plus difficile que la substance est plus susceptible d'une décomposition explosive instantanée.

Les difficultés pratiques et les incertitudes qu'ont rencontrées les premières expériences tentées pour développer, soit par l'action directe de la flamme, soit par l'approche d'un corps d'une haute température, la force explosive de la nitroglycérine, ont semblé dès le début rendre irrévocablement impossible toute application usuelle des propriétés fulminantes de ce corps. On eût beau renfermer

le liquide dans des enveloppes résistantes, telles que projectiles creux ou fourneaux de mine fortement bourrés, les résultats n'offrirent rien de concluant, jusqu'au jour où M. Alfred Nobel, dans ses recherches persévérantes sur ce nouvel agent explosif, arriva par hasard à découvrir une méthode qui permet de développer la force explosive presque avec certitude. M. Nobel pensa d'abord que la poudre à canon pourrait servir avantageusement de véhicule à la nitroglycérine. Il humecta des grains de poudre avec ce liquide et il remarqua que le pouvoir destructeur de la poudre se trouvait ainsi notablement accru, lorsque l'explosion avait lieu en vase clos et sous l'action des moyens ordinaires. Les efforts subséquents de M. Nobel pour employer la nitroglycérine *seule* reposèrent sur une donnée fixe; il fut évident pour lui, que s'il parvenait à porter une partie de la masse liquide à la température voulue pour déterminer une décomposition partielle, mais violente, l'explosion initiale se communiquerait forcément à une quantité quelconque de la même matière et entraînerait une explosion générale.

Je n'ai jamais réussi à faire détoner la nitroglycérine en la mettant simplement en contact avec un corps enflammé ou incandescent; mais les expériences suivantes indiquent de quelle manière une source de chaleur peut déterminer l'explosion de cet agent chimique.

On plongea d'abord dans la nitroglycérine, contenue dans un vase de verre, un morceau de fil de platine très-fin, rattaché aux extrémités de deux fils de cuivre isolés qui communiquaient eux-mêmes avec les deux pôles d'une pile de Bunsen composée de cinq forts éléments. On introduisit après cela dans le circuit un second fil de platine semblable à celui qui était plongé dans le liquide. On compléta enfin le circuit par l'insertion d'un long fil de platine rattaché par une de ses extrémités à l'un des fils conducteurs et par l'autre à la pile. On réduisit ensuite progressivement

la longueur de ce dernier fil, ce qui atténuait la résistance au passage du courant jusqu'au point où le fil non-immersé commença à fondre. La nitroglycérine ne prit pas feu, ne détona point et le fil immergé résista à la fusion parceque la chaleur développée fut aussitôt absorbée que produite, grâce à la masse du liquide ambiant. Cette première expérience faite, on remplaça le fil immergé par un fil de beaucoup plus gros diamètre ; on supprima le fil non immergé, mais l'on conserva, comme moyen de réduire graduellement la résistance au passage du courant, un long fil de platine de même grosseur que le fil immergé. Lorsque ce dernier ne mesura plus que 5 pouces de longueur, une vive incandescence se manifesta et se maintint pendant une minute environ, sans que le fil immergé rougit, et sans que le liquide présentât aucun signe de décomposition. On enleva ensuite le long fil de platine, ce qui eut pour résultat de concentrer sur le fil immergé toute la puissance calorifique de la pile. Après une minute environ, le liquide commença à prendre une teinte brunâtre rappelant celle d'une dissolution ferrugineuse chargée de vapeurs nitreuses ; la couleur devint plus foncée d'instant en instant, sans que cependant l'on aperçût aucune vapeur rougeâtre à la partie supérieure du vase, jusqu'à ce qu'enfin, au bout de quatre-vingt-dix secondes environ, la nitroglycérine fit explosion avec une forte détonation.

On tenta ensuite diverses expériences pour déterminer, à l'aide de l'étincelle électrique, l'explosion de la nitroglycérine. On plongea d'abord dans le liquide les extrémités libres de deux fils isolés et, après les avoir rapprochés, on essaya de faire passer des décharges en employant la bouteille de Leyde. La force isolante du liquide empêche le passage de l'étincelle. Les fils furent ensuite disposés de manière à effleurer seulement la surface du liquide ; de fortes étincelles passèrent, mais elles ne produisirent aucun effet. On employa enfin une bobine de Ruhmkorff renforcée d'une

bouteille de Leyde et, entre les deux pôles qui effleuraient la surface de la nitroglycérine, on fit passer sans interruption une série d'étincelles qui agitaient légèrement le liquide. Cette fois, après quelques secondes, la surface commença à noircir ; au bout de trente secondes l'explosion se produisit.

Ces expériences prouvent jusqu'à l'évidence, que la nitroglycérine ne peut faire explosion sous l'influence de l'électricité, ou sous l'action directe de toute autre source de chaleur, à moins que l'action ne soit assez puissante ou assez prolongée pour déterminer la décomposition d'une portion du liquide. L'effet partiel obtenu, le travail de décomposition se poursuit rapidement par le fait de l'accumulation de la chaleur (surtout si l'on prolonge l'action d'une source extérieure), jusqu'au moment où la décomposition est assez avancée pour que l'explosion se produise (1).

(1) En étudiant récemment l'action de la chaleur sur la nitroglycérine, je me suis aperçu qu'une petite quantité (une ou deux gouttes) pouvait atteindre, sans faire explosion, la température de 193 degrés C., à la condition de ne développer que lentement et progressivement l'action de la chaleur. Le liquide se décompose peu à peu, au point de perdre toute puissance explosive. J'ai pu même, sans rencontrer l'explosion, entretenir pendant quatre jours une quantité plus considérable enfermée dans un tube scellé, à la température de 100 degrés. Le liquide avait pris, pendant l'opération, une couleur brune qui disparut par degrés, et complètement, après le refroidissement. On ouvrit le tube au bout de quelques jours et l'on constata qu'il n'y avait pas la moindre pression de gaz, et que le liquide ne présentait aucune trace d'acidité. Dans cette expérience, la décomposition, dont le résultat est probablement le dégagement d'une certaine quantité d'oxyde d'azote, et qui a pour origine la permanence de la température de 100 degrés, aurait marché d'un pas rapide comme dans les expériences faites avec l'électricité, si l'on avait poussé l'action de la chaleur jusqu'au point où son accumulation dans la masse liquide en nécessite l'explosion.

La différence que l'on observe dans la manière de se comporter de la nitroglycérine et du coton-poudre sous l'action d'une source de chaleur (différence étudiée, abstraction faite des degrés de chaleur auxquels l'explosion se produit) provient évidemment, en grande partie, de ce que la constitution chimique des deux substances n'est point la même. Le contact d'un corps en ignition avec la nitroglycérine a pour effet, eu égard à l'état liquide de cet agent chimique, de répartir dans toute la masse la chaleur

M. Nobel a décrit différents procédés, à l'aide desquels on obtient ce qu'il appelle l'explosion « initiale » d'une por-

empruntée à la source. La distribution s'opère assez rapidement pour rendre difficile l'inflammation du liquide qui est par lui-même médiocrement volatil. C'est à tel point que l'on peut, sans obtenir au début d'autre effet que l'inflammation, toucher le liquide avec un corps fortement chauffé, tel qu'un fil ou une baguette de fer rougi, ou même un morceau de bois enflammé. Il ne se produit, au premier moment, qu'une combustion sans explosion, parce que, dans la masse liquide, tout aussi bien que dans les couches immédiatement en contact avec la surface enflammée, l'élévation de température est trop lente pour provoquer la décomposition soudaine et l'explosion concomitante. Si l'on développe, au contraire, la tendance du liquide à la désagrégation moléculaire, en produisant la décomposition lente de tout ou partie de la masse, il en résulte un trouble de l'équilibre chimique, qui prédispose la nitroglycérine à subir l'influence de toute action extérieure, telle que l'application directe de la chaleur, par exemple. Dans cet état, on obtient la décomposition subite et l'explosion violente, même en employant une puissance calorifique qui, dans les conditions ordinaires, serait complètement insuffisante pour produire de semblables effets.

Si l'on opère sur le coton-poudre, corps solide et peu conducteur, avec la précaution de se servir, pour enflammer une partie de la masse, d'une source de chaleur juste suffisante, on n'a point à redouter, comme pour la nitroglycérine, un abaissement de température dû à l'absorption du calorique par la masse ambiante. Les molécules voisines de la source de chaleur prennent feu presque instantanément et, si le coton est à l'état de floches non tassées, en laine ou en fil non retors, la masse entière flambe avec tant de rapidité qu'il se produit comme une sorte d'explosion d'autant plus importante que la chaleur développée par la combustion initiale a cheminé plus promptement dans l'intérieur de la masse. Si l'on opère, au contraire, sur de la poudre-coton comprimée et faisant une masse compacte, cas dans lequel le rapprochement des molécules rappelle la situation relative des molécules liquides de la nitroglycérine, la combustion marche graduellement de la périphérie au centre.

Lorsque l'on soumet la poudre-coton à l'action d'une source de chaleur insuffisante pour causer son inflammation, la chaleur s'accumule progressivement dans les parties les plus voisines de la source et se propage avec une lenteur relative au travers de la masse. On obtient alors un double résultat; d'abord la chaleur commence par s'accumuler au point de déterminer dans toute la masse une décomposition chimique qui est d'autant plus complète que la distance à la source de chaleur est moindre; la preuve en est que, si l'on n'interrompait pas l'action calorifique, les parties les plus directement échauffées atteindraient rapidement le degré où la combustion est inévitable. Mais l'effet produit ne se borne pas, dans ce cas, à

tion d'une charge de nitroglycérine. Les deux moyens qui réussissent le plus sûrement sont l'inflammation d'une petite

une inflammation pure et simple, marchant avec plus ou moins de rapidité; l'explosion ne tarde pas à suivre comme dans le cas de la nitroglycérine, et sa violence est d'autant plus grande qu'il y a eu plus d'accumulation de chaleur et que l'équilibre chimique a été plus profondément troublé.

En étudiant les effets de la chaleur sur la poudre-coton, j'ai obtenu de nombreuses confirmations de la théorie que je viens d'indiquer. Si l'on enferme, par exemple, dans un flacon à large col des flocons de poudre-coton ayant déjà subi un commencement de décomposition sous l'influence prolongée d'une température notablement inférieure au point d'inflammation, la violence de l'explosion dépasse de beaucoup celle qui correspond à l'explosion de la même matière renfermée dans un flacon semblable sous l'action momentanée d'un corps fortement chauffé. Il semble résulter d'observations thermométriques qui furent faites pendant une série d'expériences de ce genre (*Philosophical Transactions*, t. CLVII, p. 223-226), que la violence de l'explosion doit être en partie attribuée, pour le cas présent, à une accumulation rapide de chaleur dans la masse explosible au moment où la décomposition a atteint le degré voulu. Il n'est pas douteux du reste que, dans la période qui avait immédiatement précédé l'explosion, la poudre-coton ne se trouvât dans un état de tension chimique très-prononcé qui la prédisposait à changer d'état, au moindre effort, d'une manière complète et instantanée. Ce phénomène rappelle la facilité avec laquelle se produit la désagrégation moléculaire des larmes bataviques (larmes de Rupert); la transition entre la décomposition graduelle et la décomposition brusque s'accomplit dès que l'accumulation de chaleur a causé dans la masse un trouble moléculaire suffisant.

Les conclusions précédentes eurent pour base, à l'origine, des résultats dûs au hasard; mais elles ne tardèrent pas à rencontrer une éclatante confirmation dans une série d'expériences dont nous allons parler.

Dans une éprouvette en verre remplie de poudre-coton à peu près jusqu'au quart de sa capacité, on enflamme la matière explosible avec un fil de platine rougi par l'électricité. Une explosion faible, un jet de flamme considérable, une portion du coton-poudre projetée hors de l'éprouvette sans prendre feu; tels furent les résultats de l'expérience.

On répéta l'expérience après avoir préalablement plongé l'éprouvette dans un bain-marie chauffé à 100 degrés, et l'y avoir laissé séjourner quelques minutes, précaution qui garantissait à l'avance que la matière explosible aurait cette température au moment de l'inflammation. L'explosion fut incontestablement plus vive que la précédente sans être cependant très-violente. L'éprouvette ne fut point brisée.

Dans une feuille de platine très-mince on découpa une bande rectangulaire d'environ 4 pouces de long sur 2 pouces de large, et l'on rattacha

quantité de poudre renfermée dans une enveloppe, et l'explosion d'une forte capsule fulminante. Dans l'un et l'autre cas, la matière destinée à produire l'explosion doit être, ou plongée dans le liquide, ou placée immédiatement au-dessus de la surface. Ces deux procédés, qui reposent sur l'emploi d'un agent chimique explosible lui-même, ne semblent pas pour M. Nobel différer de plusieurs autres moyens qui consistent, sans exception, à soumettre certaines parties de la nitroglycérine à la simple influence d'une haute température. Aussi, tout en rendant compte, dans la description de différentes méthodes, des difficultés

les petits côtés à deux fils de cuivre communiquant avec les pôles d'une pile. On prit le soin d'introduire dans le circuit une résistance suffisante pour que la température de la feuille métallique ne pût en aucun cas dépasser une limite de 90 à 100 degrés, et l'on rapprocha ensuite ses bords, de manière à former une sorte de tube ouvert à ses extrémités et entrouvert sur toute sa longueur. On introduisit dans ce tube la même quantité de poudre-coton que dans l'expérience précédente; la matière explosive se trouvant ainsi presque complètement entourée de la feuille de platine, on introduisit le tout dans une éprouvette semblable à celles dont on avait fait précédemment usage, et l'on fit passer le courant. L'odeur caractéristique de la poudre-coton en décomposition se fit sentir au bout de quelques minutes à l'ouverture de l'éprouvette. Bientôt, de légères vapeurs nitreuses se dégagèrent, et, seize minutes environ après les premières manifestations de chaleur, la matière détona violemment avec une faible flamme. Le tube fût brisé en mille pièces.

En 1866, une explosion de poudre-coton se produisit à Woolwich. On soumettait depuis dix mois à une température élevée 140 livres de poudre-coton, et l'on savait que quelques balles, imparfaitement purifiées à dessein, étaient déjà parvenues à un degré assez avancé de décomposition (*Philosophical Transactions*, t. CLVII, p. 243 et suiv.), lorsque la détonation eut lieu. Ce serait une erreur d'attribuer exclusivement la violence de cette détonation à ce que la matière était, au moment de l'explosion, renfermée dans une enveloppe solide et maintenue à la température de 50 degrés C. environ. On doit admettre, indépendamment de cette cause, que, à l'instant où la décomposition de quelques portions de coton-poudre se trouva assez avancée pour qu'une explosion partielle pût se produire, presque toute la masse était déjà en voie de transformation chimique, remplissant ainsi les conditions voulues pour rendre possible le changement subit de l'état moléculaire. Cette circonstance a dû puissamment contribuer à la violence et à l'instantanéité de l'explosion.

qu'il a rencontrées pour faire naître l'explosion sous la simple action d'un corps fortement chauffé ou même enflammé, M. Nobel n'attribue cependant l'effet produit dans les deux premiers cas qu'à la chaleur développée par l'explosion de la poudre ou par celle de la capsule.

Il est cependant manifeste que, d'une part on peut, à l'air libre, obtenir l'explosion violente de la nitroglycérine et de toutes les préparations de cette substance (en particulier la dynamite), par le moyen de la détonation d'une petite charge de poudre ou d'autre substance explosible; tandis que si l'on emploie seulement, d'après les indications de M. Nobel, une flamme ou un corps chaud, on ne parvient à déterminer l'explosion que dans des conditions particulières. Ne doit-on pas voir une différence marquée dans le mode d'action des deux espèces d'agents d'inflammation, et ne semble-t-il pas naturel de supposer que la chaleur développée par le changement d'état chimique de la poudre ou du fulminate, n'est pas la seule cause agissante dans l'explosion du liquide ?

Tel a été le sujet de recherches et d'expériences qui ont montré, de manière à dissiper tous les doutes, que, dans le cas où le liquide fait explosion sous l'action d'une petite détonation, l'explosion générale est due, dans une certaine mesure, à *l'effet mécanique* de la détonation même. Il est établi aujourd'hui que cette cause, négligée jusqu'alors, peut à elle seule déterminer l'explosion de la nitroglycérine, indépendamment de toute action directe due à la chaleur que développe la combustion de la poudre ou du fulminate.

Voici comment je fus conduit à étudier cette question. Mon préparateur, M. E. O. Brown, observa récemment, en s'occupant de la poudre-coton, un fait intéressant et d'une grande importance. Jusqu'à ce jour, on avait admis sans discussion que le coton-poudre ne pouvait faire explosion qu'à la condition d'être renfermé dans une enveloppe

d'une certaine solidité. M. Brown, frappé de l'analogie que présentent la poudre-coton et la nitroglycérine quant à leur nature, aux moyens de les produire et à leurs propriétés comme corps explosifs, supposa que la poudre-coton pouvait elle aussi faire explosion avec violence et à l'air libre, à la condition de provoquer l'inflammation par une détonation. C'est ce que l'expérience confirma. Si l'on expose à l'air libre une certaine quantité de coton-poudre comprimé, et si on l'enflamme simplement par l'approche d'un corps enflammé ou à une haute température, on n'observe qu'une combustion graduelle de la matière. Mais, si l'on met le feu au moyen d'une petite charge de poudre détonante enflammée, à proximité ou au contact, il se produit une explosion violente, accompagnée d'effets destructeurs égaux à ceux de la nitroglycérine. Ces effets sont incomparablement supérieurs à ceux du coton-poudre, quand on lui fait faire explosion dans les conditions considérées jusqu'ici comme étant les plus favorables au développement complet de sa force explosive. Bien plus, il arrive que, en opérant sur une petite quantité de coton-poudre comprimé, l'explosion produite par les moyens indiqués plus haut est suffisante pour déterminer à son tour l'explosion de morceaux séparés de la même matière détonante. Un intervalle de 0^p, 5 à 1 pouce laissé entre la matière et l'amorce, ou entre les différents morceaux, n'empêche pas les explosions successives d'avoir la même violence et les détonations multiples de paraître simultanées. Place-t-on sur le sol une rangée de 4 ou 5 pieds de long, formée de petits blocs de coton-poudre comprimé, il suffit pour déterminer l'explosion générale d'enflammer au contact du dernier morceau une petite fusée détonante. On dirait une seule explosion répartissant sa violence d'une manière uniforme sur tout son parcours.

Les premières expériences, tentées pour déterminer les conditions qui seules peuvent développer avec certitude la

force brisante de la poudre-coton, ou, en d'autres termes, qui assurent l'explosion de la matière lorsqu'elle n'est renfermée dans aucune enveloppe, conduisent aux observations suivantes :

I. Si l'on prend du coton-poudre sous la forme de laine ou de fil de carret, et que l'on introduise au milieu de la masse une petite charge de fulminate de mercure renfermée dans une enveloppe, on ne remarque pas, au moment de l'explosion du fulminate, la même puissance d'action que l'ont eût observée, si le coton-poudre avait été réduit à l'état de masse compacte, dure, homogène, sous la forme enfin où on l'obtient à l'aide de la presse hydraulique. Le coton léger et non tassé est simplement dispersé dans toutes les directions; quelques parties prennent feu accidentellement, mais on remarque que la quantité ainsi dévorée par la combustion est d'autant moindre que la détonation produite par le fulminate est plus violente.

II. Si l'on place au contact immédiat de coton-poudre en laine, ou en fil de carret, une petite masse de coton-poudre comprimée, et que l'on allume cette dernière à l'aide du fulminate de mercure, l'explosion ainsi produite ne se communique pas; le coton non comprimé ne subit qu'une inflammation partielle, et est dispersé dans diverses directions. Les choses se passent exactement comme dans l'expérience précédente.

III. Si la détonation de la charge de fulminate que l'on place au contact du coton-poudre comprimé n'est ni assez violente, ni assez brusque pour déterminer l'explosion, la masse solide est simplement broyée par le choc et les fragments sont dispersés avec force. Si l'importance de la détonation dépasse sensiblement la limite à laquelle se produit la désagrégation de la masse, il n'y a point d'inflammation. Si, au contraire, la détonation est relativement faible, quelques portions de coton-poudre comprimé s'enflamment au moment de la dispersion des fragments.

IV. Les substances explosibles, qui détonent avec moins de vivacité que le fulminate de mercure et qui sont par suite moins susceptibles d'une action instantanée, ne sauraient déterminer l'explosion violente de la poudre-coton à l'état de liberté, quand bien même on emploierait la matière détonante en quantités relativement considérables. C'est ainsi que la composition ordinaire des capsules, mélange de fulminate de mercure et de chlorate de potasse, ne peut donner de bons résultats qu'à la condition d'employer beaucoup plus de matière fulminante qu'il n'en faudrait en opérant avec le fulminate de mercure à l'état de pureté. Beaucoup d'autres mélanges détonants, dont l'explosion est moins vive et moins rapide encore, ont été essayés sans succès, même en les employant en quantités considérables. Citons parmi ces agents chimiques, à l'aide desquels on cherche vainement à faire détoner le coton-poudre à l'air libre, les préparations fulminantes que l'on obtient en mélangeant le plus parfaitement possible, avec le chlorate de potasse, le ferrocyanure et le ferricyanure de potassium, le sulfure d'antimoine ou le ferrocyanure de plomb, et le picrate de potasse.

V. La quantité de fulminate de mercure dont on est obligé de charger l'amorce pour produire, à l'air libre, la détonation du coton-poudre dépend aussi de la solidité de l'enveloppe; car de la résistance de celle-ci résulte une accumulation de force qui augmente d'autant la vivacité de la détonation. Ainsi il faut de 1 à 2 grammes (de 20 à 30 grains) si le fulminate est renfermé dans une enveloppe de bois ou de papier enroulé, tandis qu'il suffit de 0^{gr},32 (5 grains) si l'enveloppe est en papier métallique mince.

VI. Il est presque superflu de dire que la distance à laquelle on doit placer l'amorce détonante qui détermine l'explosion de la poudre-coton dépend aussi de la puissance de la détonation que l'amorce renferme en elle-même. Ainsi, en opérant sur 0^{gr},35 (5 grains) de fulminate de

mercure renfermés dans une enveloppe métallique, il faut placer cette amorce au contact immédiat du coton-poudre pour obtenir, à l'air libre, l'explosion de la matière. Tandis que 1^{er},33 (20 grains), employés de la même manière, produisent un résultat identique, même en plaçant l'amorce à la distance de 0^p,5 de la surface du coton-poudre.

Ces faits semblent indiquer que c'est l'action mécanique produite par la détonation de l'amorce qui est la cause réelle de l'explosion à l'air libre du coton-poudre ou de la nitroglycérine; au moins démontrent-ils, d'une manière péremptoire, que l'explosion n'est pas uniquement due à l'action directe de la chaleur développée par le fulminate. En effet, si cette dernière cause suffisait à elle seule, les mélanges détonants tels que la composition des capsules et autres, dont la combustion dégage beaucoup plus de chaleur que celle du fulminate de mercure à l'état de pureté, ne manqueraient pas de produire l'explosion à l'air libre avec plus de facilité que ce dernier; ces mélanges devraient même agir d'autant plus facilement que les quantités employées seraient plus considérables; nous venons de voir qu'il n'en est rien. De plus, le coton-poudre devrait faire explosion bien plus volontiers à l'état floconneux ou en masses peu serrées que sous la forme compacte dont il est revêtu par une forte pression, car le premier état est plus favorable que le second à la perméabilité de la chaleur et à la rapidité de son action; cependant, là encore, nous observons le contraire. Enfin, puisque la nitroglycérine a pu, à l'aide de certaines précautions, supporter, sans faire explosion, la chaleur de 193 degrés C. (380 degrés F.), tandis que le coton-poudre s'enflamme à la température de 150 degrés, la chaleur effective de l'amorce détonante, indispensable pour provoquer l'explosion, devrait donc être notablement plus élevée pour la nitroglycérine que pour le coton-poudre. L'expérience démontre précisément le contraire; il suffit, pour produire l'explosion de la ni-

troglycérine à l'air libre, d'une dose beaucoup plus faible de fulminate de mercure (un cinquième environ) que celle que requiert le coton-poudre. Bien plus, une certaine quantité de mélange à *capsule*, renfermée dans une enveloppe, suffit pour faire détoner la nitroglycérine, tandis que la même quantité de *fulminate pur* est tout à fait incapable de faire détoner le coton-poudre.

Les faits qui précèdent ne laissaient guère de doute sur la question. Comment ne pas voir, après des preuves si convaincantes, que l'action directe de la chaleur développée par l'amorce n'entre pour rien dans la violence des effets détonants de la nitroglycérine et du coton-poudre ? Toutefois, on chercha une confirmation dans des expériences nouvelles ; on essaya d'obtenir la détonation de l'un ou l'autre des deux agents chimiques sans rien changer aux moyens d'inflammation, mais en mettant les matières explosibles à l'abri du contact des gaz échauffés et de la flamme qui résultent forcément de la combustion du fulminate destiné à produire la détonation initiale.

Plusieurs disques de coton-poudre comprimé, d'un demi-pouce de diamètre, furent saturés de nitroglycérine et placés dans un cylindre en bois creux fermé à l'une de ses extrémités, et fixés au fond d'un auget plein d'eau. Les espaces vides compris entre les disques se trouvèrent ainsi occupés par l'eau qui recouvrait la charge d'un *piéd* environ. On prit ensuite une fusée détonante (étoupille) chargée de 2 grammes de fulminate ; on la rendit imperméable à l'aide d'un enduit de gutta-percha et de poix mélangées, et on la lesta avec un corps pesant, de manière à la placer au fond de l'auget, à 2 pouces du cylindre. La détonation du fulminate ne détermina pas l'explosion. On répéta ensuite l'expérience en réduisant à 1 pouce la distance de l'amorce à la charge ; l'inflammation de la fusée fit détoner les disques ; l'eau fut projetée à une grande hauteur, l'auget fut brisé en petits morceaux, et au-dessous de son support

se creusa une excavation dans le sol. Plusieurs fois renouvelée, cette expérience donna constamment les mêmes résultats. On renferma ensuite un cylindre de coton-poudre comprimé, d'environ 1 pouce de diamètre et de 2 pouces de long, préalablement saturé de nitroglycérine, dans une enveloppe de papier enduite d'une couche épaisse de vernis à la gutta-percha. La charge ainsi imperméabilisée, on la lesta et on la plaça, comme dans le cas précédent, au fond d'un auget ; puis l'on adapta, à la distance d'un quart de pouce de ses extrémités, un écran formé d'une feuille de cuivre mince, de 4 pouces carrés. De l'autre côté de l'écran, et à la distance d'un pouce, on plaça une fusée électrique rendue également imperméable et chargée de 2^{gr}, 6 de fulminate de mercure. L'auget fut alors rempli d'une quantité d'eau suffisante pour que le cylindre, l'écran et la fusée se trouvassent entièrement séparés les uns des autres par le liquide. Une première tentative d'inflammation dans ces conditions fut marquée par un insuccès ; la fusée détona seule. Mais il suffit de rapprocher la fusée à $\frac{3}{4}$ de pouce de l'écran pour obtenir l'explosion du coton-poudre avec les mêmes résultats que dans la première expérience.

On opéra ensuite d'une manière tout à fait analogue sur un cylindre de coton-poudre pur, recouvert d'un enduit de gutta-percha, mais cette fois on prit ses dispositions pour que la fusée et la charge touchassent chacune les faces de l'écran ; le coton-poudre ne fit pas explosion. On obtint un résultat négatif de même nature en opérant successivement à l'air libre d'abord, puis sous l'eau avec des fusées recouvertes d'un enduit imperméable que l'on plaçait au contact de poudre-coton enveloppée d'un papier imperméabilisé. Ces insuccès furent instructifs ; ils indiquèrent que, suivant toute probabilité, l'enveloppe flexible mais épaisse qui recouvre la charge sert, concurremment avec le matelas d'air qui l'entoure, à protéger le coton-poudre, matière explosible relativement peu sensible, en diminuant ou

même en détruisant l'action de la cause perturbatrice quelle qu'elle soit, choc, commotion, etc. La nitroglycérine, au contraire, matière explosive beaucoup plus impressionnable, n'est pas suffisamment protégée (cela ressort des expériences précédentes) par une enveloppe qui suffit à protéger le coton-poudre.

On immergea dans l'eau un cylindre de coton-poudre renfermé dans une enveloppe étanche formée d'une feuille mince de métal, et l'on fit détoner sous l'eau, à la distance d'un quart de pouce du cylindre, une fusée chargée de fulminate de mercure. On obtint une violente explosion. Cette fois, la puissance explosive de la fusée n'avait point été paralysée par l'enveloppe métallique.

On plaça au fond d'un auget rempli d'eau un gobelet de verre contenant de la nitroglycérine, et l'on chercha en vain à la faire détoner à l'aide d'une fusée fulminante placée à 2 pouces de la paroi du verre. On obtint au contraire l'explosion en réduisant à 1 pouce l'épaisseur du matelas d'eau interposé.

On remplit à peu près jusqu'à moitié la cavité intérieure d'un obus en fonte de 12 pouces de longueur, 4^p,45 de diamètre intérieur et 0^p,75 d'épaisseur de métal, avec de petits grains de poudre-coton imprégnés de nitroglycérine. On acheva de remplir le projectile avec de l'eau et l'on introduisit, au travers du bouchon qui fermait l'orifice, une fusée de fulminate de mercure préalablement rendue imperméable; l'eau se trouvait ainsi baigner les grains de poudre-coton et la fusée. Au moment où l'on mit le feu à la fusée, le projectile, qui avait été placé dans une chambre d'éclatement, fit explosion avec une forte détonation; ses fragments, remarquables par leur faible grosseur, allèrent en très-grand nombre se loger dans les parois de la chambre.

On prit un projectile semblable, et, après l'avoir chargé à moitié avec la même matière explosive que le précédent, on remplit tous les interstices et la cavité intérieure avec

du plâtre de Paris très-fin. On enfouit une fusée de fulminate de mercure dans la masse de plâtre qui garnissait la partie supérieure du projectile, et l'on mit le feu. Le résultat fut exactement le même que dans l'expérience précédente.

Les expériences que nous venons d'indiquer, rapprochées des faits rapportés plus haut, et qui caractérisent si nettement la manière de se comporter de la poudre-coton, permettent d'affirmer en toute sécurité la théorie suivante : L'explosion violente du coton-poudre et de la nitroglycérine, sous l'influence d'une fusée détonante, doit être attribuée, tantôt à l'effet mécanique de la détonation, c'est-à-dire au trouble moléculaire jeté dans les parties les plus rapprochées du siège du choc ou de la commotion, tantôt à la perturbation de l'équilibre chimique qui résulte, soit de l'instantanéité des commotions d'un certain genre, soit des vibrations causées par la détonation.

La facilité et la certitude avec lesquelles on peut faire détoner, sous le choc du marteau ou sous l'action de la chute d'un corps pesant la poudre ordinaire, la poudre-coton et d'autres substances explosibles dépendent du concours de certaines circonstances. Elles augmentent avec le poids du corps qui tombe et la hauteur de sa chute, avec la force dont il est animé au bas de sa course et sa vitesse acquise, avec sa masse et la résistance plus ou moins grande de l'enclume qui l'arrêtent dans sa course. Elles dépendent aussi de l'état moléculaire de la matière explosible et de son degré plus ou moins grand d'impressionnabilité. Ainsi l'on est bien plus certain de faire détoner de la poudre ordinaire en frappant un coup sec avec un petit marteau sur une surface de fer qu'en frappant sans effort un coup avec un marteau puissant, ou en le laissant tomber librement. Si l'on place de la poudre-coton sur un support de bois ou de plomb, il est fort difficile de l'enflammer en frappant des coups nombreux et très-rapprochés. La force se trans-

met par l'entremise de la matière explosive; elle se perd dans le corps qui sert d'enclume et qui cède à l'impression du choc. Si l'on prend, au contraire, pour enclume un métal dont la dépression ne soit que momentanée, un morceau de fer par exemple, la détonation se produit sans difficulté. Toutefois, si la quantité de matière explosive est assez considérable pour former une couche épaisse entre l'enclume et le marteau, la force du choc semble neutralisée par le tassement moléculaire d'une substance éminemment compressible, si bien que l'explosion est difficile à obtenir. Il peut même arriver, si la matière est à l'état de floches ou de masse poreuse (coton en laine ou en poudre), que les molécules ayant à parcourir, pour se rapprocher, un chemin considérable, on soit obligé, pour obtenir l'explosion, de donner un second et même un troisième coup de marteau.

Toutes ces circonstances concourent à nous faire croire sans hésitation que la détonation ou l'explosion de certaines matières sous l'action d'un choc est due à un développement de chaleur qui suffit à établir un changement assez notable dans l'état chimique du corps. Peu importe d'ailleurs la cause, que ce soit une force extérieure déterminant une compression de la masse, ou bien le frottement des molécules les unes contre les autres, frottement dû au mouvement qui leur est momentanément communiqué. On comprend que, dans l'un comme dans l'autre cas, il puisse s'accumuler, presque instantanément et dans une portion limitée du corps explosible, assez de chaleur pour modifier instantanément l'état chimique ⁽¹⁾.

(1) Parmi les exemples d'explosion produits sous l'action du frottement intermoléculaire, nous citerons l'expérience suivante. On plaça, entre deux surfaces métalliques polies, un disque très-poreux formé d'un mélange de chlorate de potasse et de phosphore amorphe complètement débarrassé de phosphore ordinaire; puis on soumit le mélange ainsi préparé à une pression rapidement croissante. L'explosion se produisit presque immédiate-

Nous avons dit plus haut que, en opérant sur certaines matières explosibles telles que le coton-poudre et la nitroglycérine, on remarque que l'inflammation des parties qui détonent entre l'enclume et le marteau ne se communique pas aux parties environnantes. Nous avons ajouté que cette particularité semblait devoir être attribuée à deux causes : la nature instantanée de l'explosion et l'isolement relatif des parties frappées, au moment du choc. Il arrive dans ce cas que l'effet mécanique de l'explosion se perd dans les masses de métal entre lesquelles elle se produit, et que les gaz dégagés dispersent les parties voisines de la partie brûlée en les chassant de dessous les surfaces métalliques. Il est également facile de faire détoner sous un choc très-violent la poudre à canon et d'autres matières explosibles, en empêchant l'inflammation de se propager au delà des parties frappées; mais si l'on emploie une force moins instantanée et moins violente, la détonation, tout en pouvant encore se produire, est sensiblement plus faible; un grand jet de flamme l'accompagne, et l'inflammation se communique aux parties que le marteau n'a point touchées.

Lorsqu'une matière solide ou liquide se transforme en vapeur ou en gaz à une haute température, un mouvement de translation moléculaire rapide et violent est la conséquence du changement d'état. Ce mouvement ne saurait manquer de faire naître une force capable d'agir sur un corps résistant placé à proximité de la même manière qu'un

ment, et par conséquent bien avant le moment où la force dépensée aurait été suffisante pour transformer la matière poreuse en une masse compacte. On prit ensuite un disque semblable au premier, et, après l'avoir placé de même entre les deux surfaces polies, on le soumit avec précaution à une pression lentement et progressivement croissante. La matière put être ainsi transformée en une masse compacte, sans faire explosion. Dans cet état, on la soumit, ainsi qu'on l'avait fait dans le premier cas, à une pression rapidement croissante; l'explosion se produisit encore, mais il fallut dépenser une force de compression beaucoup plus considérable que dans le premier cas.

corps solide animé d'une grande vitesse agit sur un obstacle qui s'oppose à son passage. En d'autres termes, une détonation exerce sur un corps résistant, quel qu'il soit, une action mécanique tout à fait analogue à celle que produit un coup violent, la chute d'un marteau ou le choc d'un projectile lancé par une bouche à feu. Aussi, de même que la force due au choc brusque d'un marteau se transforme en chaleur sous le double effet de la résistance qu'opposent au mouvement du marteau les molécules du corps percuté et du frottement intermoléculaire, de même il y a transformation en chaleur de la force ou de la commotion que fait naître le mouvement moléculaire dû à la transformation en gaz ou en vapeur d'un corps solide ou liquide. Le développement de la chaleur dans l'obstacle sera d'autant plus considérable que ses molécules offriront plus de résistance et que leur ébranlement sera plus soudain et plus violent. Il semble donc, quand on obtient sans difficulté à l'air libre l'explosion du coton-poudre ou de la nitroglycérine sous l'action d'une détonation produite à proximité, que l'on doive attribuer ce résultat à la chaleur développée tout à coup dans quelques portions de la masse par la secousse mécanique qui provient de la détonation même. Mais, en même temps, ce résultat paraît être subordonné à la nature de la détonation qui peut être violente ou soudaine, ou les deux à la fois, à la résistance plus ou moins grande que la matière explosible oppose à l'action mécanique, et enfin à son degré d'impressionnabilité sous l'influence d'une commotion extérieure.

Les faits suivants paraissent justifier ces appréciations :

1. Un agent chimique moins soudain et moins violent dans ses effets que le fulminate de mercure ne saurait déterminer l'explosion du coton-poudre à l'air libre. Ainsi des mélanges détonants, tels que la composition des capsules (voir page 115), le mélange du chlorate et du picrate de potasse, et d'autres composés qui, sous le rapport de la puis-

sance explosive, semblent marcher de pair avec le fulminate de mercure, ne parviennent pas à produire l'explosion du coton-poudre à l'air libre. C'est en vain qu'on les renferme dans une enveloppe; c'est en vain que l'on opère sur des quantités décuples de celle qui serait nécessaire en employant le fulminate de mercure; tous les efforts échouent.

2. D'un autre côté, la nitroglycérine qui, sous l'action d'un choc, détone bien plus facilement que le coton-poudre, peut faire explosion sous l'action d'une matière détonante moins violente que le fulminate. On obtient un succès complet en opérant avec la composition des capsules, et il suffit d'en employer la *moitié* environ de ce qu'il faudrait au minimum de *fulminate pur* pour obtenir l'explosion du coton-poudre dans les mêmes conditions.

3. Si l'on augmente la vivacité détonante du fulminate de mercure en l'enfermant dans une enveloppe très-résistante, ainsi qu'on l'a indiqué plus haut (page 115) il suffit, pour produire la détonation du coton-poudre, d'employer une quantité bien moindre que si le fulminate était à l'air libre ou entouré d'une enveloppe qui n'offrirait qu'une faible résistance initiale.

4. Lorsque le coton-poudre est soumis à une action détonante, les conditions de son état moléculaire exercent une influence matérielle sur le résultat obtenu. Il faut, pour faciliter l'explosion, que la matière soit sous forme de masse compacte et très-dense, de manière à offrir une grande résistance au déplacement moléculaire (*voir* page 109).

On peut citer cependant certains faits constatés, et quelques résultats d'expériences spécialement faites pour élucider ces points, qui ne semblent pas être en harmonie avec l'hypothèse qui attribue *simplement* la détonation de la nitroglycérine et du coton-poudre, dans les conditions ci-dessus indiquées, à *la vivacité* avec laquelle la force mé-

canique se développe et agit. Voici quelques-uns des faits les plus importants qui se rattachent à cet ordre d'idées.

1. En voyant que certains corps dont la détonation est moins soudaine que celle du fulminate de mercure sont incapables de déterminer l'explosion du coton-poudre, que ce dernier fait détoner sans difficulté, on serait en droit de supposer que le fulminate d'argent, dont la détonation, produite dans les mêmes conditions, est plus soudaine que celle du fulminate de mercure, doit faire détoner la poudre-coton avec plus de facilité encore. On est, par conséquent, porté à supposer que, pour produire des résultats identiques, il doit falloir moins de fulminate d'argent que de fulminate de mercure. Les faits ne justifient pas cette prévision. L'effet du premier corps équivaut à celui du second, mais ne lui est aucunement supérieur. La quantité minima de fulminate de mercure nécessaire pour faire détoner le coton-poudre est $0^{\text{sr}},324$ (5 grains), et encore deux précautions sont-elles nécessaires; on doit renfermer le fulminate dans une feuille de métal (fer-blanc), et placer l'amorce ainsi préparée immédiatement au contact avec le coton-poudre (*voir page 114*). La même quantité de fulminate d'argent, renfermée dans une feuille de clinquant, donne bien lieu, il est vrai, à une détonation aussi sèche que la précédente, malgré la différence d'épaisseur de l'enveloppe; mais le coton-poudre ne fait pas explosion, même alors qu'il touche l'amorce et la recouvre de tous côtés. Il y a seulement déchirement de la masse et dispersion des fragments. Mais si l'on enferme $0^{\text{sr}},3$ de fulminate d'argent dans une capsule de fer-blanc, le coton-poudre fait explosion.

2. On a fait des expériences sur l'iodure d'azote, qui est, de toutes les matières explosibles connues, l'une des plus sensibles, et semble aussi être une des plus violentes dans ses effets. Au point de vue de la vivacité de la détonation, l'impressionnabilité du fulminate d'argent n'approche point

de celle de l'iodure d'azote; encore moins est-elle comparable à celle du chlorure d'azote, quoique sous le rapport de l'effet mécanique, c'est-à-dire au point de vue de l'action destructive locale, les deux composés de l'azote soient infiniment moins redoutables que le fulminate d'argent employé dans les mêmes conditions.

On a fait de nombreuses tentatives infructueuses pour faire détoner le coton-poudre sous l'action de l'iodure d'azote. On place d'abord, avec précaution, sur le coton-poudre comprimé, des disques d'iodure d'azote du poids de 0^{gr}, 20 à 0^{gr}, 35. Ces disques étaient parfaitement desséchés et reposaient sur du papier ou sur des feuilles de carton très-mince. On mit le feu en touchant l'iodure avec l'extrémité d'une longue baguette. L'explosion de l'amorce désagrégea plus ou moins la masse du coton-poudre, mais ne le fit point détoner. Comme l'on avait constaté qu'en renfermant l'iodure dans une enveloppe on augmentait notablement la violence de l'explosion (*voir* page 103), on prépara de petits projectiles creux de deux espèces, et on les chargea avec la matière explosible. Ainsi, dans une petite coupe de plâtre de Paris, on enfermait 1 gramme environ d'iodure d'azote encore humide, puis on enveloppait le tout dans une masse sphérique de même plâtre, de telle sorte que l'iodure d'azote se trouvait enveloppé dans une écorce solide dont la paroi avait environ 0,3 pouces d'épaisseur. On soumettait ensuite la sphère, pendant plusieurs jours, à l'action d'un agent hygrométrique, jusqu'au moment où l'on pouvait être parfaitement sûr (et l'on en faisait l'épreuve) que l'iodure s'était complètement débarrassé de son eau au travers des pores du plâtre. Ces préparatifs terminés, on laissa tomber les petits projectiles d'une hauteur variant de 11 à 20 pieds sur des blocs de coton-poudre comprimé. L'iodure détona, mais ne produisit point d'autre effet que de désagréger les masses sur lesquelles il faisait explosion.

On remplit ensuite de 1 gramme d'iodure d'azote encore humide des tubes de cuivre courts et épais, ouverts à l'une de leurs extrémités, et on les ferma avec de solides tampons de plâtre ou de papier buvard. Lorsque l'iodure se fût entièrement débarrassé de son humidité au travers des pores des tampons, on déposa avec précaution les cylindres chargés sur des disques de poudre-coton comprimée, qui se trouvaient eux-mêmes placés précisément au-dessous de tubes de fer verticaux de 20 pieds de hauteur. On laissa tomber un poids dans l'intérieur de ces tubes. Sous le choc, les cylindres de cuivre firent violemment explosion, et leurs débris furent projetés de tous côtés, mais le coton-poudre ne fit pas explosion. Le même résultat négatif se reproduisit à plusieurs reprises, bien que l'on eût porté la charge des cylindres jusqu'à 1^{gr}, 5 de matière détonante.

On aggloméra à l'état humide 6^{gr}, 5 (100 grains) d'iodure d'azote, et on l'amoncela en un petit tas à la surface supérieure d'un disque de coton-poudre comprimé de 1,25 pouce de diamètre. Un plateau de cuivre de 0,05 pouce d'épaisseur supportait le disque et reposait lui-même sur un lit épais de pierre-ponce concassée et saturée d'acide sulfurique concentré. Tout cet appareil fut installé en plein air et abrité sous un couvercle de bois qu'à l'aide d'une corde on pouvait retirer de loin et sans secousse. Immédiatement au-dessus, on avait placé un petit vase rempli de sable dont on pouvait verser le contenu sur l'iodure d'azote par la simple manœuvre d'une ficelle. Au bout de cinq jours d'un temps sec, on jugea que l'iodure avait perdu toute humidité; on enleva le couvercle et l'on fit tomber le sable. Une forte détonation se produisit aussitôt, mais, d'après le caractère du bruit, il était évident que l'iodure seul avait fait explosion. On remarqua alors que le coton-poudre, qui avait absorbé en partie l'humidité de l'iodure, en avait conservé une quantité suffisante pour perdre sa propriété explosive. L'expérience en elle-même ne présentait donc rien de

concluant, mais elle n'en offrit pas moins un témoignage frappant de la force développée par l'explosion de la quantité d'iodure sur laquelle on avait opéré.

L'épaisse plaque de cuivre avait été enfoncée comme par un choc, et avait pris la forme d'un verre de montre. Le coton-poudre (matière dure, obtenue sous l'action d'une pression de 4 tonnes par pouce carré, qui l'amène de l'état pâteux à celui de cylindre compact) avait pénétré fortement dans le métal, au point d'y laisser l'empreinte de ses bords, et de porter lui-même en relief la marque des irrégularités de la surface de cuivre.

On répéta ensuite cette expérience, mais avec cette seule différence que la charge d'iodure d'azote fut placée dans une capsule de platine très-mince et à fond plat. La surface inférieure de la capsule se trouvait en contact immédiat avec le coton-poudre comprimé, qui reposait lui-même sur un plateau en cuivre semblable à celui dont on avait fait usage dans l'expérience précédente. Tout le système enfin était supporté par une couche épaisse de chlorure de calcium, et abrité par un couvercle de bois comme précédemment. Au bout de cinq jours, on enleva le couvercle et l'on fit détoner l'iodure en renversant le sable. La détonation ne détermina pas l'explosion du coton-poudre, mais, comme dans le premier cas, le disque fut refoulé contre le fond de la capsule de cuivre, de telle manière qu'il s'y moula et prit toutes les empreintes des rugosités. Et cependant le coton-poudre était parfaitement sec, on s'en assura. L'expérience prouvait cette fois, de la façon la plus évidente, l'impossibilité d'obtenir l'explosion du coton-poudre, même en employant la quantité relativement considérable de 6^{sr},5 d'iodure d'azote.

3. Les expériences qui suivirent eurent pour objet de comparer, au point de vue de la propriété de faire détoner le coton-poudre, le chlorure d'azote et les autres matières explosibles déjà citées. On plaça d'abord sur un

verre de montre 0^{gr},65 de chlorure (1) que l'on recouvrit d'une pellicule d'eau mince. Le verre de montre était placé sur un disque de coton-poudre qui reposait lui-même sur le sol. On fit détoner le chlorure d'azote à l'aide d'une longue baguette mouillée de térébenthine à l'une de ses extrémités. Le verre fut brisé en mille pièces, mais le coton-poudre ne subit qu'une désagrégation moléculaire de peu d'étendue. 1 gramme de chlorure (15,4 grains) employé dans les mêmes conditions ne détermina point davantage l'explosion; la désagrégation moléculaire fut seulement beaucoup plus considérable. 2 grammes (31 grains), employés pareillement, n'eurent pas plus de succès, seulement le disque de coton-poudre fut complètement broyé, et les morceaux dispersés dans toutes les directions. La même quantité de chlorure enflammée à l'air libre, sans pellicule d'eau, brisa en petits morceaux le verre de montre qui la contenait, mais elle produisit si peu d'effet sur le coton-poudre que le disque ne fut même pas déplacé par l'explosion. On revint enfin aux conditions premières, c'est-à-dire à l'emploi d'une petite couche d'eau, et l'on opéra sur 3^{gr},25 (50 grains) de chlorure; cette fois le coton-poudre fit explosion sous l'action de la détonation du liquide.

On recommença cette dernière expérience avec une quantité de chlorure que l'on jugea être la même que la précédente; mais, contrairement aux prévisions, le coton-poudre ne fit pas explosion; il fut simplement désagrégé et éparpillé; le résultat fut absolument semblable à celui que l'on avait obtenu en opérant sur une quantité de fulminate de mercure légèrement inférieure à celle qui est nécessaire pour déterminer sûrement l'explosion du coton-poudre. Il paraît donc naturel d'admettre que 3^{gr},25 de

(1) Les poids de chlorure d'azote employés ont été estimés approximativement en déterminant les poids des volumes égaux d'un liquide possédant la même densité.

chlorure d'azote recouvert d'eau représentent à peu près la quantité minima qui suffit à produire le même effet que 0^{sr},32 de fulminate de mercure renfermé dans une enveloppe métallique.

Les expériences précédentes ne confirment pas l'opinion qui attribue à l'*instantanéité* ou à la vivacité de la détonation le pouvoir de favoriser, indépendamment de toute autre cause, le développement à l'air libre de la force explosive du coton-poudre. Le fulminate d'argent détone plus vivement que le fulminate de mercure, cependant on n'a pas constaté qu'il fallut, pour provoquer l'explosion du coton-poudre, une moins grande quantité du premier fulminate que du second. L'explosion de l'iodure ou du chlorure d'azote est certainement plus soudaine que celle de l'un des deux fulminates, employés à l'air libre, et cependant on n'a pas réussi à faire détoner le coton-poudre avec 6^{sr},5 d'iodure placés au contact; de plus, ce n'est qu'avec 3^{sr},24 de chlorure recouvert d'eau que l'on a pu obtenir le résultat que donnent facilement 0^{sr},32 de l'un des deux fulminates renfermés dans une enveloppe, ou 2 grammes de fulminate de mercure enflammé à l'air libre.

Dans le but de vérifier si la propriété relative des diverses matières détonantes, en ce qui touche l'inflammation du coton poudre, est bien, comme elle semble l'être, en proportion directe des *effets mécaniques* de leur explosion propre (la quantité de travail produite sur un corps au contact), on entreprit, à ce point de vue spécial, une série d'expériences comparatives.

Dans une feuille de cuivre mince et parfaitement uniforme dans son épaisseur, on coupa des carrés d'égale dimension que l'on plaça tous dans des conditions analogues, supportés seulement par les quatre angles. On prit alors des quantités égales de chacune des quatre matières explosibles suivantes : fulminate de mercure, fulminate

d'argent, iodure d'argent et chlorure d'azote. On détermina directement le poids des trois premiers corps et on dosa le dernier aussi exactement que possible, à l'aide de la méthode indiquée plus haut (*voir* p. 129). Dans quelques expériences, les fulminates furent mis en contact direct avec le cuivre; dans d'autres, afin de diminuer les chances d'erreur dans les comparaisons où entrerait l'iodure d'azote, on interposa entre le cuivre et le corps détonant une feuille de carton mince; c'est toujours avec cette précaution que l'on opéra pour l'iodure d'azote. Quant au chlorure d'azote, qui ne pouvait pas être employé de la même manière, on le plaça dans des verres de montre minces, qui reposaient immédiatement sur la feuille de cuivre. La force perdue dans la destruction d'un verre de montre ne pouvait évidemment pas diminuer d'une manière notable l'effort qu'aurait à supporter le métal.

Il nous reste maintenant à faire connaître les résultats de la série d'expériences dans lesquelles on fit intervenir à des dosages différents ces quatre agents chimiques.

L'effet mécanique du fulminate d'argent *employé à l'air libre*, en petites quantités, est incomparablement supérieur à celui des trois autres substances agissant dans les mêmes conditions : 7 centigrammes (1 grain) seulement de ce fulminate produisirent une dépression profonde et fortement accusée dans une des feuilles de cuivre. La même quantité d'iodure d'azote, arrangée de manière à recouvrir à peu près la même surface, produisit sur une autre feuille métallique une dépression beaucoup moins profonde et surtout moins nettement accusée. En employant une quantité égale et même double de chlorure d'azote *à l'air libre*, on ne parvint même pas à briser le verre de montre où le liquide se trouvait contenu; mais, en couvrant d'une légère couche d'eau la même quantité de chlorure que l'on avait primitivement employée, le cuivre eut à supporter une action mécanique beaucoup plus grande que celle qui avait

été observée pour l'iodure d'azote dans les mêmes conditions : 7 centigrammes (1 grain) de fulminate de mercure détonant à l'air libre ne produisirent aucun effet appréciable sur les feuilles de cuivre ; mais la même quantité, renfermée dans une enveloppe de métal, se signala par une action mécanique un peu plus grande que celle du fulminate d'argent détonant à l'air libre. On fit détoner successivement 1 gramme (15 grains), 1^{er},62 (25 grains) et 3^{er},25 (50 grains) de fulminate de mercure sans obtenir d'érosion sur le cuivre, mais à la condition d'enflammer les petits tas de fulminate en approchant un corps à une haute température d'un point quelconque de leur *surface externe* ; lorsqu'on fit agir la source de chaleur sur la *base* du tas, de manière à ce qu'elle fût entièrement recouverte par la matière explosible, on obtint, au contraire, au lieu d'un bruit sourd, une forte détonation. L'effet mécanique produit sur le cuivre était, dans ce cas, à peu près équivalent à celui du chlorure d'azote employé en même quantité et sous une pellicule d'eau, mais notamment inférieur à celui de la même quantité de fulminate d'argent détonant à l'air libre sous l'action de l'acide sulfurique. L'effet destructif du fulminate de mercure s'accrut sensiblement lorsqu'on le plaça dans un petit cylindre de papier ouvert à la partie supérieure, et qu'on provoqua l'inflammation en faisant agir la source de chaleur au plus profond de la charge (*voir plus haut*). Toutefois, les effets mécaniques dus au fulminate de mercure enflammé à l'air libre, même avec ces précautions, ne furent jamais comparables à ceux que produisait le même corps enveloppé dans une feuille de métal. Une charge de 0^{er},32 (5 grains) enfermée dans une enveloppe métallique agit à peu près avec la même violence que 1 gramme de la même matière entassée à l'air libre, et enflammée par l'application de la chaleur à la base du tas. On obtient une confirmation des résultats précédents par la comparaison des divers effets obtenus lorsqu'on opère

sur des quantités de matière explosible plus considérables. Ainsi, l'effet destructeur de $0^{\text{sr}}, 28$ (4 grains) de chlorure d'azote, détonant à l'air libre, est bien moindre que celui d'une quantité égale d'iodure d'azote agissant dans les mêmes conditions. Mais, si le premier est recouvert d'une simple couche d'eau, il devient sensiblement plus énergique, à quantité égale, que le fulminate d'argent à l'air libre. Le fulminate de mercure, à la dose de $0^{\text{sr}}, 28$ (4 grains), ne produit, à l'air libre, aucun effet sur la feuille de cuivre; renfermée dans un tube métallique, la même quantité est douée d'une plus grande puissance destructive qu'une dose égale de fulminate d'argent détonant à l'air libre.

1 gramme d'iodure d'azote et la même quantité de chlorure du même corps recouvert d'eau, ne produisent pas plus d'effet que $0^{\text{sr}}, 5$ de fulminate d'argent à l'air libre; tandis que, dans ses effets, ce dernier corps est surpassé par le fulminate de mercure employé à quantité égale, mais renfermé dans un cylindre de cuivre épais; 1 gramme de fulminate de mercure, enflammé à l'air libre par l'action d'une source de chaleur sur la partie inférieure de la masse, exerce une action destructive légèrement inférieure à celle du chlorure d'azote recouvert d'eau.

Il semble donc résulter de ces expériences qu'à l'air libre le chlorure d'azote est une matière bien moins violente que l'iodure, tandis que, recouvert d'une couche d'eau, il est notablement plus énergique, tout en restant sensiblement au-dessous de la puissance du fulminate d'argent à l'air libre. Il semble également que le fulminate de mercure, qui fait explosion moins rapidement que les autres matières, exerce une action mécanique moindre qu'aucune d'elles, tant qu'il agit, à l'air libre, enflammé par sa surface extérieure; mais que, si l'inflammation commence à la partie inférieure, si par conséquent les parties qui sont les premières atteintes par la combustion demeurent à l'abri du contact de l'air sous la protection de la masse qui

les recouvre, le fulminate exerce une action destructive légèrement inférieure à celle du chlorure d'azote. Il semble prouvé enfin que, si l'on enferme le fulminate de mercure dans une enveloppe résistante, telle qu'une feuille de fer-blanc, son effet brisant dépasse notablement celui du fulminate d'argent détonant à l'air libre.

Ces résultats viennent confirmer d'une manière à peu près incontestable l'exactitude de la supposition que nous avons mise en avant. C'est bien à l'intensité plus ou moins grande de la *force mécanique* engendrée par la détonation initiale, qu'il faut attribuer la facilité ou la difficulté de provoquer l'explosion du coton-poudre. Les fulminates d'argent et de mercure, employés en petites quantités et dans des enveloppes solides, produisent une force très-supérieure à celle que développent des quantités bien plus considérables d'iodure et de chlorure d'azote. On peut s'expliquer jusqu'à un certain point, par cette particularité, pourquoi l'on n'obtient pas l'explosion du coton-poudre avec une quantité d'iodure d'azote 20 fois plus considérable que la dose de fulminate suffisante pour provoquer la détonation, et pourquoi l'on est obligé de dépasser 10 fois cette limite lorsqu'on opère sur le chlorure d'azote recouvert d'eau. C'est également une confirmation de la théorie indiquée, de constater que la quantité de fulminate de mercure nécessaire pour faire détoner le coton-poudre devient moindre lorsqu'on use d'artifices pour accroître la violence de la force développée momentanément par l'explosion de l'amorce.

Nous avons observé, néanmoins, au milieu de beaucoup d'expériences relatées dans ce Mémoire, quelques effets curieux qui présentaient l'apparence de véritables anomalies. On est naturellement conduit à rechercher, si, dans la commotion ou, si l'on veut, dans la vibration puissante que produisent certaines détonations, il n'y aurait pas quelque chose de particulier, quelque action spéciale, dis-

incte de la force mécanique produite par l'explosion, et dont le rôle consisterait à provoquer dans un corps détonant, placé à proximité, une décomposition moléculaire instantanée, qui est accompagnée du phénomène de l'explosion.

Les résultats de quelques expériences tentées sur la nitroglycérine semblent donner complètement raison à cette hypothèse.

On chercha d'abord à établir une comparaison entre l'action mécanique produite par l'explosion de la nitroglycérine et celle que développaient les autres agents chimiques dont nous avons parlé. On plaça des charges de nitroglycérine dans de petits tubes en fer-blanc de grand diamètre, ouverts à l'une de leurs extrémités, ou simplement bouchés avec du mastic. Puis l'on détermina l'explosion au moyen de petites capsules chargées de 0^{sr},07 de fulminate de mercure, les unes plongées dans le liquide un peu au-dessous de sa surface, les autres l'effleurant simplement. La nitroglycérine, en détonant, produisit sur le cuivre qui lui servait de support, un effet destructeur très-supérieur à celui que causait la même dose de fulminate d'argent détonant à l'air libre, et au moins égal à celui que l'on observe avec le même fulminate, lorsqu'il est renfermé dans une enveloppe. Voyant que la force mécanique obtenue avec la nitroglycérine était si considérable, et pensant, d'après les faits connus, que sa détonation devait présenter quelque analogie avec celle du coton-poudre, on supposa qu'il y avait beaucoup de chances de provoquer l'explosion de ce dernier, en employant une quantité de nitroglycérine bien moindre que la quantité de fulminate emprisonné qui est nécessaire pour atteindre le but. De nombreux essais furent tentés, mais le succès ne répondit pas aux prévisions; le coton-poudre ne détona pas sous l'action de la nitroglycérine, bien que l'on eût employé jusqu'à 0^{sr},7 (10 grains) du liquide, après avoir commencé

par 0^{gr},07 (1 grain) et avoir accru progressivement la charge. On ne pouvait guère, cependant, tirer grand enseignement de ces expériences, attendu que l'on avait toujours difficilement réussi à faire détoner le liquide avec d'aussi petites charges de fulminate (insuccès qui, du reste, pouvait tenir à la difficulté d'ajuster convenablement la capsule et aussi aux minimes quantités de nitroglycérine soumises aux essais : savoir de 2 à 10 gouttes). On répéta donc les expériences avec des quantités égales de liquide, mais en le mélangeant avec du sable, de manière à former une pâte épaisse que l'on introduisit dans des tubes semblables à ceux dont on avait fait précédemment usage. Il était naturel de penser que cet arrangement rendrait plus certaine l'explosion de la nitroglycérine; toutefois, pour être encore plus sûr du résultat, on porta la charge de fulminate à 0^{gr},14 (2 grains). Le coton-poudre ne fit pas explosion. On porta progressivement la quantité de nitroglycérine à 1 gramme et on enregistra de nouveaux insuccès; cependant, à la dose de 1 gramme, le disque de coton-poudre comprimé, qui reposait sur un support de bois, était presque réduit en poussière, et quelques-uns de ses fragments s'incrustaient dans l'épaisseur du bois qui portait à sa surface l'empreinte du disque. Dans le but de comparer l'effet mécanique de la nitroglycérine à celui du fulminate enfermé dans une enveloppe, on versa 0^{gr},65 (10 grains) du liquide détonant dans un petit tube de fer-blanc placé sur une feuille de cuivre épais; puis l'on produisit la détonation au moyen de 0^{gr},14 (2 grains) de fulminate de mercure. L'effet produit sur la feuille de cuivre fut sensiblement pareil à celui que l'on obtenait en employant le fulminate de mercure renfermé dans une enveloppe, à la même dose (quantité double de celle qui est nécessaire pour produire la détonation du coton-poudre). Il ne semble pas douteux, d'après cela, qu'il manque à la nitroglycérine une certaine puissance, autre que la violence

de l'explosion, pour qu'elle soit capable de produire des effets égaux à ceux du fulminate. Cependant, pour être fixé d'une manière plus décisive encore sur cette question, on continua les expériences sur une plus grande échelle. On fit reposer sur de solides supports en bois dur des disques de coton-poudre du poids de 125^{gr},5 (4 onces), et l'on plaça sur ces disques des charges de nitroglycérine d'environ 23^{gr},3 renfermées dans des enveloppes. On fit détoner successivement ces charges. Les supports de bois furent brisés et tous profondément entamés, portant l'empreinte visible de la circonférence des disques. Le coton-poudre avait été pulvérisé et violemment éparpillé, si bien que quelques-uns de ses fragments étaient logés dans l'épaisseur du bois, mais aucune des détonations n'avait produit le résultat désiré. Comme dernière expérience, on enterra le support d'environ 6 pouces dans un sol de glaise très-compacte. On plaça ensuite sur le support le disque de coton-poudre et le tube où se trouvaient contenus les 23^{gr},3 ($\frac{3}{4}$ d'once) de nitroglycérine, puis on tassa fortement la terre par dessus tout. L'explosion projeta la terre avec violence; la pièce de bois fut fendue perpendiculairement aux fibres et brisée en son centre, mais on retrouva le coton-poudre soit disséminé de tous côtés sur le sol, dans un état de division extrême, soit incrusté dans les fibres du bois.

A côté de ces résultats, et pour faire contraste, on pourrait citer les faits suivants. Si l'on prend un petit cylindre de coton-poudre d'un poids de 7^{gr},75 à 15^{gr},50 (de $\frac{1}{4}$ d'once à $\frac{1}{2}$ once), et si on l'amorce avec un petit tube rempli de fulminate inséré dans un logement préalablement ménagé à cet effet, on obtient infailliblement l'explosion du coton-poudre. On a fait souvent détoner ainsi de gros morceaux de coton-poudre comprimé présentant la forme de disques ou de pavés, ou même plusieurs à la fois que l'on disposait à l'air libre à côté les uns des autres, et il suffisait, pour

obtenir le résultat sûrement, de placer le morceau amorcé au-dessus ou contre la surface de l'un quelconque des morceaux. On pourrait aussi constater que la détonation d'une petite quantité de nitroglycérine peut faire détoner simultanément d'autres charges dans de petites enveloppes de fer-blanc et placées à la distance de deux ou trois pouces de la première. Enfin, par la détonation de 7^{sr},77 ($\frac{1}{4}$ d'once) de coton-poudre, on obtient simultanément l'explosion d'une charge de nitroglycérine, enfermée dans une enveloppe et placée à la distance de 1 pouce de l'amorce ; et l'on peut même faire réussir également bien l'expérience en augmentant la distance jusqu'à concurrence de 3 pouces, pourvu que l'on emploie une quantité double 15^{sr},55 ($\frac{1}{2}$ once) de coton-poudre. Toutes ces expériences furent faites de manière à ne pouvoir jamais confondre les cas où la charge faisait véritablement explosion sous l'action de l'amorce, et ceux où elle était simplement brisée par la détonation. La précaution était d'autant plus importante, qu'il était matériellement impossible d'apprécier, par une différence quelconque dans la soudaineté ou la vivacité du son, si l'amorce seule avait détoné ou bien s'il y avait eu en même temps explosion des charges environnantes.

Les résultats obtenus en essayant de faire détoner le coton-poudre au moyen de la nitroglycérine me semblent donner la consécration des faits aux idées qui se sont présentées fréquemment à mon esprit, lorsque je réfléchissais à plusieurs des expériences relatées dans le cours de ce Mémoire. Ainsi, une explosion ou une détonation d'une certaine nature peut, en vertu d'une force particulière, provoquer, au moment où elle se produit, l'explosion également violente de masses distinctes de la même matière ou même d'autres matières explosibles placées à proximité. Cette force est peut-être tout à fait indépendante de l'action directe de la force mécanique développée par l'explosion

dont elle ne serait que l'auxiliaire. De même que certaines vibrations musicales déterminent des vibrations synchrones dans certains corps et sont sans action sur d'autres, de même que l'on peut provoquer la décomposition chimique de certaines substances en leur faisant intercepter certaines ondes lumineuses, de même il paraît que certaines explosions sont accompagnées de vibrations assez puissantes pour troubler l'équilibre chimique de certains corps en déterminant instantanément la désagrégation moléculaire, tandis que d'autres explosions, tout en développant une force mécanique au moins égale ou supérieure, ne produisent aucun résultat. Par exemple, la force mécanique que développe l'explosion de 2^{gr}, 23 (50 grains) de chlorure d'azote dépasse de beaucoup celle que fait naître la détonation de 0^{gr}, 32 (5 grains) d'un fulminate quelconque enfermé dans une enveloppe solide. Et cependant, il faut employer les deux matières aux doses que nous venons de rappeler pour produire sur le coton-poudre des actions équivalentes. Il résulte de là que, pour obtenir le résultat voulu avec le chlorure d'azote, il est nécessaire d'augmenter beaucoup sa force mécanique, attendu que la force particulière dont nous avons parlé, et que développe l'explosion du fulminate, est beaucoup trop faible ou même fait complètement défaut. De même, la nitroglycérine est un corps dont l'explosion développe une force au moins égale à celle du fulminate détonant dans une enveloppe; et cependant, elle est incapable de déterminer l'explosion du coton-poudre, alors même que la quantité employée est soixante-cinq fois plus considérable que la dose de fulminate d'argent ou de fulminate de mercure avec laquelle on obtient à coup sûr la détonation. Ces faits ne semblent-ils pas démontrer qu'il existe une différence fondamentale dans le caractère des commotions, ou, si l'on veut, des vibrations produites par l'explosion des deux substances?

Voici ce qui me paraît, à moi, l'explication la plus satis-

faisante de ces différences extraordinaires que l'on remarque dans la manière de se comporter des différentes matières explosibles. Une explosion donnée est toujours accompagnée de vibrations : s'il y a synchronisme entre ces vibrations et celles que produirait, en détonant, un corps placé à proximité, qui se trouve dans un haut état de tension chimique, il résulte de cette corrélation que, dans ce dernier corps, les vibrations ont une tendance naturelle à se produire. C'est là la cause qui détermine l'explosion ou, si l'on veut, qui facilite dans une certaine mesure l'action perturbatrice et subite de la force mécanique. Si les vibrations, au contraire, sont d'un caractère différent, la force mécanique due à l'explosion du premier corps ne trouve dans le second qu'un auxiliaire faible ou inerte; on est obligé alors, pour provoquer l'explosion de ce dernier, d'employer le premier en proportions bien plus considérables, c'est-à-dire de s'assurer de prime abord une détonation beaucoup plus puissante.

On aurait tort, d'après cela, d'être surpris en voyant l'explosion violente de certaines substances, telles que le coton-poudre et la nitroglycérine, se communiquer sans intervalle de temps appréciable à d'autres masses parfaitement séparées les unes des autres. Il n'est pas rare de voir se produire, avec toute l'apparence de la simultanéité, plusieurs explosions de masses de la même substance explosible séparées et parfois très-distantes entre elles. Ainsi, dans la fabrication de la poudre, il est souvent arrivé, pendant le travail sous les meules, que plusieurs bâtiments séparés fissent simultanément explosion. Dans ce cas, c'est aux vibrations destructives produites par l'explosion initiale et communiquées avec rapidité aux masses contiguës de même composition chimique qu'il semble le plus naturel d'attribuer la simultanéité des explosions, bien plutôt qu'à l'action directe de la chaleur et de la force mécanique développée par la détonation initiale. Je n'ai point la préten-

tion, en donnant cette explication, d'être le promoteur d'une idée nouvelle; mon but est simplement d'apporter à l'appui d'une opinion qui a été déjà soutenue le témoignage de faits consciencieusement étudiés.

Il semble remarquable que deux substances qui ont autant d'analogie que le coton-poudre et la nitroglycérine, au point de vue de leur constitution chimique et de leur manière de se comporter individuellement comme matières explosibles, offrent des dissemblances aussi considérables que celles qui ont été observées sous le rapport de leur disposition à faire explosion par l'action d'un corps détonant. On se rappelle qu'un mélange détonant, tel que la composition des capsules, est impuissant, même en quantités considérables et dans des enveloppes solides, pour faire détoner le coton-poudre, tandis qu'il suffit de $0^{\text{sr}}, 2$ à $0^{\text{sr}}, 32$ (de 3 à 5 grains) de la même matière pour faire détoner la nitroglycérine. On sait qu'il faut $0^{\text{sr}}, 32$ (5 grains) de fulminate d'argent ou de mercure renfermé dans une enveloppe solide pour faire détoner le coton-poudre, tandis qu'il suffit de $0^{\text{sr}}, 07$, et peut-être d'une quantité moindre encore, pour faire détoner la nitroglycérine. On a vu qu'on était obligé d'employer le chlorure d'azote à la dose de $3^{\text{sr}}, 23$ (50 grains) au minimum pour faire détoner le coton-poudre, tandis que l'on arrivait au but avec $0^{\text{sr}}, 1$ (1,5 grain) lorsqu'on opérait sur la nitroglycérine. Il n'est point douteux, d'après ces résultats, qu'il suffise de l'action subite d'une force mécanique en quantité relativement très-faible, pour produire la décomposition violente de la nitroglycérine. Il est, par suite, facile de comprendre pourquoi cette substance, qui ne peut, même à fortes charges, faire détoner le coton-poudre, peut au contraire très-facilement détoner sous l'action de ce dernier. Il n'a pas été possible de déterminer la limite inférieure de la quantité de coton-poudre qui rend le résultat certain, attendu que, dans les expériences qui seules

pouvaient trancher la question, il aurait fallu placer le coton-poudre presque au contact du liquide, et qu'alors la charge de fulminate nécessaire pour faire détoner le coton-poudre aurait été, à elle seule, plus que suffisante pour déterminer l'explosion de la nitroglycérine.

Si cette substance a une tendance relativement très-prononcée à détoner sous l'influence d'une matière explosible, il est probable que l'on peut attribuer cette propriété en partie aux caractères physiques que la nitroglycérine doit à son état liquide, et en partie à l'oxygène qu'elle offre aux corps oxydables en proportion beaucoup plus considérable que le coton-poudre.

En recherchant la manière dont une détonation provoque à l'air libre l'explosion violente de la nitroglycérine et de la poudre-coton, j'ai dû me borner, au début, pour plus de simplicité, à étudier le mode suivant lequel ces deux agents chimiques sont impressionnés par l'action de la force perturbatrice. Il est cependant impossible d'admettre que ces composés détonants, exposés à l'air libre en tout ou en partie, jouissent seuls de la propriété d'exercer une violente explosion. Un petit nombre d'expériences entreprises avec des mélanges détonants ont montré que l'on pouvait développer d'une manière complète la force explosive ou destructive de ces corps, même dans les conditions qui d'ordinaire sont les plus défavorables à leur action spéciale comme agents explosifs, mais à la condition toutefois de les soumettre à l'influence d'une détonation. Les mélanges employés avaient été préparés en rapprochant le plus intimement possible des substances, les unes fortement oxydantes, les autres facilement oxydables, des préparations obtenues, par exemple, en mélangeant le chlorate de potasse avec le sulfure d'antimoine ou le sulfure d'arsenic, avec le ferrocyanure ou le ferricyanure de potassium, ou enfin avec le picrate de potasse. D'autres mélanges détonants de même

nature, la poudre à canon elle-même, ont pu, à la condition d'être soumis à l'action d'une charge de fulminate renfermée dans une enveloppe, faire explosion à l'air libre et avec toute la force dont ils sont susceptibles. Autant qu'il est permis d'en juger par de petites expériences comparatives, l'explosion de ces mélanges est, comme il était naturel de le prévoir, d'autant plus facile à provoquer qu'il est plus aisé de les faire détoner par la percussion. C'est ainsi qu'un mélange de chlorate et de picrate de potasse, exposé à l'air libre, semble détoner aussi facilement que le coton-poudre sous l'action d'une petite charge de fulminate, et que la violence de l'explosion se rapproche de celles que fournit le coton-poudre dans les mêmes conditions d'inflammation. La détonation d'un mélange de chlorate de potasse et de sulfure d'antimoine est moins facile à produire que les précédentes; quant à l'explosion de la poudre de guerre, elle exige un concours de circonstances favorables à l'action de la charge de fulminate employé. Si les grains d'une petite charge de poudre sont simplement amoncelés sur une surface plane, l'enveloppe qui contient le fulminate se trouvant immergée dans le tas, les grains sont simplement éparpillés par la détonation du fulminate; mais si, sans changer la quantité de poudre employée, on s'oppose à la dispersion des grains en plaçant la charge dans un cylindre, qui cependant reste ouvert à sa partie supérieure, on est certain d'obtenir une explosion violente.

Les expériences suivantes offrent un exemple de la différence qui existe entre les effets produits par la poudre de guerre, suivant qu'on l'enflamme à la manière ordinaire ou par détonation, les autres conditions restant d'ailleurs les mêmes. On prit un petit cylindre de 1 pouce de diamètre et de 4 pouces de longueur, 0^{po},15 d'épaisseur; on l'enfouit dans la terre glaise, de manière à ce que l'ouverture se trouvât au niveau du sol, puis l'on comprima for-

tement la terre tout autour des parois. On remplit le cylindre de poudre fine, et l'on enfonça dans cette charge, à moitié de la hauteur, une fusée électrique ordinaire remplie de poudre écrasée. L'inflammation de la fusée provoqua celle de la poudre, qui fit explosion avec un bruit sourd. Le cylindre resta intact et ne fut aucunement dérangé de sa position première.

On prit ensuite un second cylindre semblable au premier; on le plaça en terre dans les mêmes conditions, puis on le remplit de poudre, et l'on y enfonça, comme précédemment, une petite fusée qui était chargée d'une quantité de fulminate de mercure. L'explosion de la fusée entraîna l'explosion de la poudre, qui détona avec un bruit sec. Le cylindre se déchira, et les morceaux en furent dispersés; le sol présentait une excavation, et la terre avait été projetée à une grande distance; enfin, le résultat était le même que celui qu'aurait produit la même charge de poudre détonant dans un obus enterré et hermétiquement fermé. D'autres expériences donnèrent des résultats analogues, qui confirment le fait déjà observé, savoir : l'existence de cette propriété de la poudre de guerre, de manifester, sous l'influence d'une détonation, une force explosible redoutable, même alors qu'elle se trouve, sous tous les autres rapports, dans les mêmes conditions les plus défavorables à une action violente.

Voici les résultats de quelques observations faites avec de petites charges de poudre (8 onces et 1 livre), observations d'après lesquelles il paraît incontestable que l'explosion de la poudre sous l'influence d'un corps détonant est notablement plus rapide que quand elle est due à l'action d'un corps enflammé. On renferma les charges dans des boîtes de fer-blanc entièrement semblables entre elles; puis on enfouit les boîtes dans la terre, à la profondeur de 4 pieds; les trous pratiqués pour le recevoir étaient de

mêmes dimensions qu'elles ; la terre fut ensuite fortement tassée de la même manière, et par la même personne, autour de chacune des charges ; chacune d'elles contenait une fusée électrique, qui était ou une fusée ordinaire chargée avec de la poudre, ou une fusée à fulminate de mercure. Avec les fusées ordinaires, l'explosion des charges produisit des excavations propres : la terre était en partie amoncelée autour des bords, en partie dispersée ; au contraire, avec les fusées détonantes, une grande quantité de terre était projetée verticalement avec violence, mais il n'y avait que peu d'action dispersive ; car la terre, momentanément déplacée, retombait dans les trous qu'on trouvait en grande partie comblés ⁽¹⁾.

Le coton-poudre, faisant explosion à l'air libre sous l'influence d'une détonation, exerce une action destructive plus violente que si, en vase clos, on l'enflamme par la simple action de la chaleur. On a trouvé d'abondantes preuves du fait en opérant contre des roches de différente nature, et en comparant entre eux les effets destructifs produits par des charges placées sous l'eau. Avec des charges de coton-poudre logées dans des trous de mine et enflammées au moyen de fusées détonantes, placées soit à l'intérieur des charges, soit au-dessous de leur surface, on obtient de très-grands effets de déchirement et de brisement sur des rocs durs et sur du bois, alors même que les trous de mine restent entièrement ouverts, ou sont seulement remplis de sable, de terre ou de poussière de roc non tassés. Si, au contraire, on emploie, des fusées ordinaires, les mêmes charges placées dans les mêmes positions par rapport au roc, emprisonnées même par un

(1) On est sur le point d'entreprendre, à l'École du Génie de Chatham, des expériences pratiques dont le but est de comparer entre elles les forces de projection que ces deux procédés d'inflammation communiquent à des charges de poudre placées dans les mêmes conditions.

bourrage qui ferme hermétiquement les trous de mine sur une grande épaisseur, ne produisent que des résultats relativement bien moindres.

Une commission chargée par le Gouvernement de s'occuper des obstacles flottants a réalisé, à Chatham, tout un programme d'expériences dont le but était de comparer entre elles les forces destructives de la poudre ordinaire et de la poudre-coton. Les charges étaient placées à côté de *targets* ⁽¹⁾ submergées, et l'on faisait varier, d'après une loi déterminée, la force de l'enveloppe qui contenait l'une ou l'autre poudre, la profondeur de l'immersion au-dessous de la surface de l'eau et la distance de l'obstacle.

Des résultats obtenus, on peut conclure avec certitude que le coton-poudre renfermé dans une enveloppe suffisamment résistante pour développer toute la force explosive dont il est capable (et enflammé à la manière ordinaire) produit un effet destructif égal à celui que produirait une quantité environ cinq fois plus grande de poudre ordinaire.

Tout récemment, quelques autres expériences ont été faites, comme complément des précédentes, avec des charges de coton-poudre renfermées dans des enveloppes de métal mince et enflammées à l'aide de fusées détonantes; dans ce cas, on a trouvé que l'action exercée contre des *targets* verticales, placées à des distances considérables des charges, était de dix à douze fois plus grande que celle de la poudre ordinaire; transmise à travers l'eau à une grande distance, la commotion résultant de faibles charges (2 à 3 livres) de coton-poudre donnait, par suite de cette nouvelle disposition, des résultats de beaucoup plus efficaces que ceux de charges de 20 à 25 livres de poudre ordinaire.

(¹) *Target* signifie un mur en bois recouvert ou non d'une plaque de fonte, et qui sert pour le tir à la cible.

On entreprit ensuite une série d'expériences dans le but de s'assurer si les résultats remarquables produits par le coton-poudre faisant explosion sous l'influence d'une détonation peuvent se rattacher, par quelque point, à un caractère particulier des produits de décomposition. On enflamma, dans le vide, des poids connus de coton-poudre à l'aide de petites fusées détonantes, et l'on détermina, d'une manière précise, le volume des gaz produits; déduction faite des gaz fournis par la fusée, les résultats furent presque identiques à ceux que donnait le coton-poudre enfermé dans des enveloppes solides et enflammé à l'aide d'un fil de platine rougi, les autres conditions restant du reste les mêmes.

Les produits de la combustion du coton-poudre par détonation ont été soumis à une analyse complète; les résultats ne diffèrent pas essentiellement de ceux obtenus lorsque la transformation s'opère, aussi complètement que possible, dans des enveloppes résistantes et dans les conditions ordinaires. (J'espère soumettre bientôt le détail de ces expériences à la Société Royale, dans un Mémoire intitulé « Des résultats de l'explosion du coton-poudre ».)

Lorsque le coton-poudre fait explosion par suite de l'action d'une détonation, on ne peut pas dire que le changement chimique qui résulte de sa décomposition soit plus ou moins profond que celui que l'on obtient en remplissant toutes les conditions nécessaires pour développer complètement sa force explosive. On doit donc attribuer l'accroissement de la force destructive qui accompagne l'explosion de coton-poudre produite par une détonation à l'augmentation de la rapidité de l'explosion. Cette conclusion semble confirmée par quelques-uns des résultats obtenus dans une série de travaux de mines que j'ai faits récemment à Allensheads, avec le concours de M. Sopwith. Nous opérions sur du roc dur, et les crevasses produites, les éclats détachés,

étaient bien plus considérables lorsqu'on enflammait le coton-poudre par détonation que lorsqu'on employait les moyens ordinaires. Avec ce dernier genre d'inflammation, les déplacements de masses et les projections de débris sont beaucoup moindres qu'avec le premier. De plus, si l'on opère dans un sol relativement mou et compressible, comme du roc très-faible, de la craie ou de la pierre à chaux, le travail de déplacement produit est beaucoup moindre lorsqu'on enflamme le coton-poudre par détonation que lorsqu'on emploie les moyens ordinaires. Lorsque le coton-poudre fait explosion au milieu de ces matériaux, la force qui agit presque instantanément commence par désagréger et comprimer les masses environnantes, et se trouve en grande partie absorbée quand arrive le moment où le mouvement pourrait se communiquer dans le sol au travers d'une masse considérable.

On trouve une autre preuve de la différence que présente, au point de vue de la rapidité, l'explosion de coton-poudre, suivant qu'elle est produite par une détonation ou par la simple application de la chaleur, dans la différence de phénomènes lumineux qui ont lieu dans les deux cas. La simple combustion est accompagnée d'un grand jet de flamme, dû à l'inflammation de l'oxyde de carbone, tandis qu'avec la détonation il ne se produit qu'une lueur de courte durée, qu'il est difficile d'observer en plein jour si l'on opère sur de petites quantités. Il semble que la transformation des corps solides en gaz soit trop soudaine pour que les gaz combustibles produits puissent s'enflammer.

Pour conclure, il ne serait peut-être pas hors de propos de rappeler en peu de mots, et en s'appuyant sur quelques exemples, combien le nouveau moyen de développer la force explosive du coton-poudre est un auxiliaire important de son emploi pratique comme agent destructif. On sait par exemple que, pour assurer le succès d'une mine

ordinaire, il est indispensable que la charge de poudre ordinaire ou de coton-poudre soit emprisonnée dans un trou, et que ce trou soit hermétiquement fermé au moyen d'un bourrage fait avec du roc pilé, de la terre ou d'autres matériaux compressibles, tassés avec force sur une longueur plus grande que la ligne de moindre résistance offerte à l'action de la charge. Au contraire, en enflammant par détonation une charge de coton-poudre, toutes ces précautions deviennent inutiles ; l'effet destructif obtenu en laissant le trou ouvert n'est pas inférieur à celui que produirait la même charge emprisonnée : on peut donc supprimer complètement l'opération la plus dangereuse du travail des mines.

De même, grâce à ce mode d'inflammation, il n'est plus nécessaire, pour opérer sous l'eau, de renfermer la charge de matières explosibles dans des enveloppes métalliques, résistantes et par suite incommodes, comme on a été obligé de le faire jusqu'à ce jour pour assurer le développement de la force explosive. En renfermant une charge de coton-poudre dans un sac imperméable ou un vase de verre mince, et mettant le feu par détonation, on obtient un effet destructif plus considérable que celui que donnerait la même charge renfermée dans une forte enveloppe de fer, et allumée par la simple action d'un corps enflammé. De petites quantités de coton-poudre, simplement posées sur la surface supérieure d'énormes blocs des rocs les plus durs, ou bien introduites dans leurs cavités naturelles, ou bien encore insérées dans des trous pratiqués dans des pièces de fonte de grandes dimensions, ont suffi pour briser les uns et les autres, aussi complètement que si l'on avait enfermé les mêmes charges dans le centre de la masse et qu'on les eût enflammées à la manière ordinaire.

Enfin, la certitude, la facilité et la rapidité avec laquelle on peut exécuter d'importants travaux militaires de des-

truction au moyen du coton-poudre enflammé par détonation, ne sont pas les moindres avantages que l'on accorde maintenant à cette intéressante et remarquable matière explosive.

.....

**RECHERCHES EXPÉRIMENTALES SUR LES TUYAUX SONORES
DE FORME CONIQUE;**

PAR M. J.-F. BOUTET,
Docteur ès sciences.

—————

INTRODUCTION.

D. Bernoulli, dans l'important Mémoire ⁽¹⁾ qu'il a présenté à l'Académie des Sciences de Paris, en 1762, a le premier soumis au calcul les vibrations de l'air dans les tuyaux sonores de forme conique. Mais, ainsi qu'il le reconnaît lui-même, il n'a pu appliquer son analyse au cas général, et sa théorie ne se rapporte qu'au cas particulier où la plus petite base est nulle. En considérant cependant les troncs de cône particuliers limités par les positions déterminées des nœuds et des ventres, il est arrivé à quelques lois qu'il a en partie vérifiées par l'expérience.

La même question a été depuis lors reprise et traitée dans toute sa généralité par M. Duhamel dans un remarquable Mémoire ⁽²⁾ présenté à l'Académie des Sciences le 8 avril 1839.

⁽¹⁾ *Recherches physiques, mécaniques et analytiques sur le son et sur les tons des tuyaux d'orgues différemment construits*, par D. Bernoulli (*Mémoires de l'Académie des Sciences*, année 1762).

⁽²⁾ *Mémoire sur les vibrations des gaz dans les tuyaux cylindriques, coniques, etc.*; par M. J.-M.-C. Duhamel (*Journal de Mathématiques pures et appliquées*, t. XIV; 1849).