

# MÉMOIRES

---

## ÉTUDE SUR LES EXPLOSIFS DE SÉCURITÉ

EN USAGE DANS LES MINES GRISOUTEUSES

PAR

J. HENROTTE

Inspecteur principal du travail au Ministère de l'Industrie et du Travail.

[622.81] \*

---

Tous les explosifs ne présentent pas la même aptitude à enflammer le grisou ou les poussières de charbon.

C'est un fait connu expérimentalement depuis plusieurs années, et que la Commission française des substances explosives <sup>(1)</sup> a mis en lumière, en démontrant que la valeur de température de détonation des explosifs sert de mesure à leur sécurité.

Le principe a été consacré en France par des prescriptions administratives qui réglementent l'emploi des explosifs détonants, dans les chantiers, où, d'après l'avis des ingénieurs des mines, l'inflammation du grisou ou des poussières de charbon est à craindre.

---

\* Les Mémoires et articles qui paraîtront dans les *Annales des Mines* porteront les indices de la classification décimale qui sont destinés à faciliter dans les tables le classement des matières. Voir la note que nous publions à la p. 124.

<sup>(1)</sup> Rapport de la sous-commission chargée de l'étude des questions relatives à l'emploi des explosifs en présence du grisou.— *Annales des mines*, septembre-octobre 1888.

Les règles admises sont les suivantes <sup>(1)</sup> :

« Il est interdit à l'exploitant de faire usage d'explosifs autres que les explosifs satisfaisant aux conditions suivantes :

» 1° Les produits de leur détonation ne contiendront aucun élément combustible, tel que hydrogène, oxyde de carbone, carbone solide, etc. ;

» 2° Leur température de détonation, calculée selon une formule spéciale, ne devra pas être supérieure à 1900 degrés pour les explosifs employés au travail du percement du rocher, ni à 1500 degrés pour ceux qui seront employés dans les travaux en couche. »

En Belgique, il n'existe aucune règle administrative quant à la composition des explosifs et à la valeur de leur température de détonation ; mais la nécessité de tenir compte de ces éléments a été reconnue officiellement par les dispositions de l'art. 302 du règlement général du 29 octobre 1894 concernant les produits explosifs, lesquelles portent :

« Les fabricants notifieront aux ingénieurs en chef des mines la nature des dynamites et des explosifs difficilement inflammables vendus aux mines de houille de leurs arrondissements.

» Ces notifications, qui stipuleront la composition des explosifs avec dosage exact des substances constituantes, seront renouvelées chaque fois que la composition sera modifiée ainsi qu'à chaque demande de l'administration des mines. »

D'autre part, le règlement de police de 1884 sur les mines vient d'être modifié de façon à interdire, dans certains cas spéciaux, l'emploi d'explosifs reconnus dangereux.

Des discussions ne peuvent donc manquer d'être soulevées au sujet de la température de détonation des explosifs de sécurité vendus dans notre pays.

---

(1) Art. 2 du Modèle d'arrêté préfectoral annexé à la circulaire ministérielle du 1<sup>er</sup> août 1890.

Aussi, croyons-nous faire chose utile en exposant les principes sur lesquels repose la détermination de la température de détonation, et en appliquant ces principes à quelques cas qui intéressent particulièrement nos exploitants de mines grisouteuses et poussiéreuses (1).

\* \*

Le calcul de la température de détonation est basé sur un principe simple et d'une exactitude rigoureuse, à savoir que la température T développée dans une réaction quelconque se calcule en divisant la quantité de chaleur dégagée Q, par la chaleur spécifique moyenne des produits C, évaluée entre T et la température ambiante :

$$T = \frac{Q}{C}$$

*Chaleur dégagée par l'explosion.* La quantité de chaleur Q dégagée par toute réaction chimique se détermine d'après les données thermo-chimiques, en se basant sur le principe suivant :

« La chaleur dégagée pour passer d'un système composé à un second système composé, est égale à la différence des chaleurs de formation des composés de l'état final et des composés de l'état initial. »

Il est donc nécessaire de connaître les chaleurs de forma-

---

(1) Ouvrages consultés :

Berthelot : *Essai de mécanique chimique.*

» : *La force des matières explosives.*

Mallard et Le Chatelier : Note théorique sur le calcul des températures de détonation, annexée aux rapport présenté au nom de la sous-commission des substances explosives. *Annales des mines*, septembre-octobre 1888.

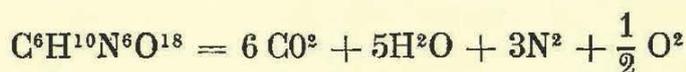
tion des corps qui entrent dans la composition des explosifs, et de ceux qui sont formés lors de la détonation.

Le tableau ci-après donne ces valeurs pour les différents corps dont il sera question dans l'étude ci-après, c'est à-dire les quantités de chaleur nécessaires pour former ces corps, à partir de leurs éléments, en admettant qu'ils soient produits à 15 degrés centigrades et sous la pression atmosphérique.

DÉSIGNATION	Formule	Poids moléculaire en grammes	Chaleurs de formation exprimées en grandes calories		
			État solide	État liquide	État gazeux
Acide chlorhydrique . . . . .	HCl	36,5			22
Ammoniaque . . . . .	NH <sup>3</sup>	17,0			12,2
Chlorure d'ammoniaque . . . . .	NH <sup>4</sup> Cl	53,5			76,7
Eau . . . . .	H <sup>2</sup> O	18	70,4	69	58,2
Acide sulfureux . . . . .	SO <sup>2</sup>	64			69,2
Acide carbonique . . . . .	CO <sup>2</sup>	44			94,0
Oxyde de carbone . . . . .	CO	28			25,8
Sulfate de magnésie cristallisé . . . . .	MgSO <sup>4</sup> .7H <sup>2</sup> O	246	798,2		
Sulfate de magnésie anhydre . . . . .	MgSO <sup>4</sup>	120	301,2		
Oxyde de magnésie . . . . .	MgO	40	149		
Binitronaphtaline . . . . .	C <sup>10</sup> H <sup>6</sup> N <sup>2</sup> O <sup>4</sup>	218	—24		
Trinitronaphtaline . . . . .	C <sup>10</sup> H <sup>5</sup> N <sup>3</sup> O <sup>6</sup>	263	—15		
Coton-collodion . . . . .	C <sup>24</sup> H <sup>32</sup> N <sup>8</sup> O <sup>36</sup>	1008	672		
Nitrate d'ammoniaque . . . . .	N <sup>2</sup> H <sup>4</sup> O <sup>3</sup>	80	87,9		
Nitroglycérine . . . . .	C <sup>6</sup> H <sup>10</sup> N <sup>6</sup> O <sup>18</sup>	454	197,8		
Cellulose . . . . .	C <sup>6</sup> H <sup>10</sup> O <sup>5</sup>	162	200		

A titre d'exemple, recherchons la chaleur  $Q_p$  dégagée sous pression constante, par un poids de nitroglycérine égal au poids moléculaire, lorsqu'il détone à l'air libre et à la température de 15 degrés centigrades.

La nitroglycérine se décompose selon la formule suivante :



En employant les chiffres indiqués au tableau précédent, on trouve les éléments suivants :

Chaleurs positives	{	6 molécules $CO^2$	. . .	$6 \times 94$	=	564
		5 molécules $H^2O$	. . .	$5 \times 58,2$	=	291
				Total.		855
Chaleur négative : 1 molécule nitroglycérine . . . . .						197,8

d'où

$$Q_p = 855 - 197,8 = 697,2 \text{ calories.}$$

Mais ce n'est pas la chaleur de décomposition sous pression constante qui intervient dans le calcul de la température de détonation, tel qu'il a été proposé par MM. Mallard et Le Chatelier ; c'est la chaleur  $Q_v$ , dégagée à volume constant.

Si la décomposition a lieu sous volume constant, la chaleur développée  $Q_v$  est un peu plus grande qu'à l'air libre et sous pression constante, parce que les gaz développés à l'air libre exécutent un travail de refoulement de l'air, ce qui absorbe de la chaleur.

Si T désigne ce travail exprimé en kilogrammètres, et E l'équivalent mécanique de la chaleur, soit 425 kilogrammètres, on a :

$$Q_v = Q_p + \frac{T}{E}$$

En admettant comme pression atmosphérique le chiffre

de 10335 kilogs par mètre carré, le travail de refoulement T a pour expression :

$$T = 10335 [v_1 - v_0]$$

$v_0$  étant le volume des gaz sous volume constant, et  $v_1$  celui des mêmes gaz sous pression constante.

Pour un poids d'explosif égal au poids moléculaire, les volumes  $v_0$  et  $v_1$  peuvent se déduire facilement de l'équation de décomposition.

Si l'explosif détone dans son volume, ce dernier est très petit par rapport à celui que les gaz occupent sous la pression atmosphérique ; on peut donc admettre  $v_0 = 0$ .

Quant à  $v_1$ , il est sous la pression de 10335 kilogs par mètre carré, et à 15 degrés centigrades, égal à autant de fois 23,55 <sup>(1)</sup> litres qu'il y a de molécules gazeuses fournies par la décomposition.

En désignant par N ce nombre de molécules gazeuses, on a donc :

$$Q_v = Q_p + \frac{10335 \times 0^{\text{m}^3},02355}{425} N$$

ou bien

$$Q_v = Q_p + 0,57 N \text{ (C).}$$

Ainsi, par exemple, dans le cas de la nitroglycérine qui, d'après l'équation (1), fournit, pour 454 grammes

$$6 + 5 + 3 + \frac{1}{2} = 14\frac{1}{2} \text{ molécules gazeuses,}$$

on a :

$$Q_v = Q_p + 0,57 \times 14,5 = 657,2 + 8,3 = 666,5.$$

---

(1)  $23,55 = 22,32 [1 + \alpha t] = 22,32 [1 + \frac{15}{273}]$

22,32 litres, étant le volume de toute molécule gazeuse à 0 degré et sous la pression atmosphérique.

Les considérations qui précèdent montrent que la chaleur de décomposition d'un explosif ne peut être déterminée que si l'on connaît son mode de décomposition.

Tel est le cas des explosifs qui détonent facilement d'une manière complète comme la nitroglycérine ou les mélanges de nitroglycérine avec des corps qui apportent un surcroît de chaleur dans la réaction.

Dans beaucoup de cas, il y a doute sur le mode de décomposition des explosifs, et ce doute rejaillit sur la valeur de la température de détonation.

Le mode de décomposition d'un explosif peut notamment différer du mode théorique admis, en raison des dissociations des gaz de la détonation.

Dans l'état actuel de la science, ces dissociations ne peuvent être prévues.

CHALEURS SPÉCIFIQUES. La chaleur spécifique moyenne qui entre dans l'équation

$$T = \frac{Q}{C} \text{ (A)}$$

peut être considérée comme constante lorsqu'il s'agit d'un corps solide.

Lorsqu'il s'agit d'un gaz, cette chaleur spécifique dépend de la température.

MM. Mallard et Le Chatelier préconisent pour cette valeur, une expression de la forme :

$$C = a + bT.$$

Dès lors, l'équation (A) prend aussi la forme

$$T = \frac{Q}{a + bT}$$

ou bien :

$$bT^2 + aT - Q = 0.$$

On voit donc que l'équation qui détermine la température de détonation est du second degré en T.

Afin de permettre l'application de cette équation, nous avons réuni dans le tableau ci-après, les chaleurs spécifiques des corps qui interviennent comme produits de détonation des explosifs de sécurité qui seront étudiés plus loin.

DÉSIGNATION DES CORPS	Formule	Poids moléculaire en grammes	Chaleurs spécifiques exprimées en petites calories <sup>(1)</sup>
Silice . . . . .	SiO <sup>2</sup>	60	11,40
Oxyde de magnésium.	MgO	40	10,00
Chlorhydrate d'ammoniaque . . . . .	NH <sup>4</sup> Cl	53,5	20,00
Sulfate de magnésie . . . . .	MgSO <sup>4</sup>	120	26,60
Acide carbonique . . . . .	CO <sup>2</sup>	44	6,26 + 0,0037 T
Eau . . . . .	H <sup>2</sup> O	18	5,61 + 0,0033 T
Azote . . . . .	N <sup>2</sup>	28	4,8 + 0,0006 T
Oxygène . . . . .	O <sup>2</sup>	32	4,8 + 0,0006 T
Chlore . . . . .	Cl <sup>2</sup>	71	4,8 + 0,0006 T

\*  
\*\*

*Force comparative des explosifs.* On ne peut comparer divers explosifs, au point de vue de la sécurité qu'ils présentent, si l'on ne tient compte de la quantité nécessaire pour produire un travail déterminé.

La quantité de kilogrammètres, contenus à l'état potentiel, dans un kilogramme d'explosif, peut être estimée en

(1) La petite calorie vaut la millième partie de la calorie ordinaire; c'est la quantité de chaleur nécessaire pour élever un *gramme* d'eau de 0° à 1°].

la supposant égale au plus grand travail que l'on peut obtenir d'une quantité de chaleur  $Q$ , utilisée depuis la température de détonation  $T$ , jusqu'à la température ambiante  $t$ .

D'après un principe de thermodynamique, connu sous le nom de principe de Carnot, on sait qu'une quantité de chaleur  $Q$ , qui serait utilisée dans une machine parfaite, entre les températures absolues  $T$  et  $t$ , fournit un travail qui est au plus égal à

$$Q \frac{T - t}{T}$$

ou

$$Q \left( 1 - \frac{t}{T} \right) \quad (B)$$

Nous appliquerons plus loin cette formule en y faisant  $t$  égal à 15 degrés centigrades, et  $T$  égal à la température de détonation.

GRISOUTITE. La grisoutite employée couramment est fabriquée à la dynamiterie de Matagne-la-Grande et possède la composition centésimale ci-après :

Nitroglycérine . . . . .	0 <sup>k</sup> ,440
Sulfate de magnésie cristallisé . . . . .	0 <sup>k</sup> ,440
Cellulose . . . . .	0 <sup>k</sup> ,120
	1 <sup>k</sup> ,000

La même dynamiterie fabrique une grisoutite de dosage analogue, dans laquelle la cellulose est remplacée par le kieselgühr (sable siliceux), mais cette variété de grisoutite n'est pas vendue en Belgique.

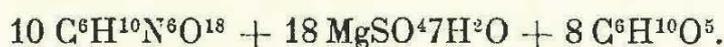
La composition moléculaire correspondant à la composition centésimale ci-dessus, est la suivante :



ou bien



ou, très approximativement :



Quel est le mode de détonation d'un explosif ainsi composé?

Il faut distinguer deux cas, selon que la détonation s'effectue à l'air libre ou en vase clos (1).

La Commission française des explosifs, se basant sur des résultats fournis par des mélanges de dynamite soit avec l'alun ammoniacal soit avec le chlorure d'ammoniaque, pense que, dans les explosions à l'air libre, les corps qui nécessitent, comme le sulfate de magnésie cristallisé, une absorption de chaleur pour être décomposés, ne subissent aucune transformation et sont simplement projetés, comme le seraient des corps fixes.

D'après la même Commission, la décomposition d'un corps tel que le sulfate de magnésie cristallisé, ne s'opère pas complètement, même en vase clos.

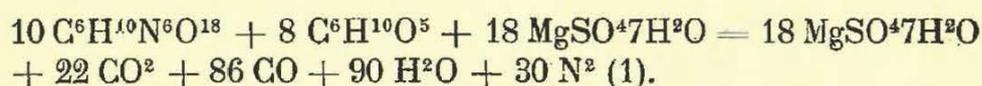
L'autorité de la Commission française des explosifs est telle, qu'il est prudent d'accepter ces conclusions, si contestées qu'elles puissent être, aussi longtemps qu'elles n'auront pas été infirmées par des expériences spéciales.

---

(1) Il doit être entendu que dans le cours de cette étude, nous ne tenons pas compte, dans le cas d'une explosion en vase clos, de la diminution de température résultant de la disparition d'une quantité de chaleur correspondante au travail de rupture de l'enveloppe.

Aussi, dans le cours de cette note, nous admettons que le sulfate de magnésie cristallisé, et le chlorure d'ammoniaque, ne sont pas décomposés dans les explosions à l'air libre. De même, il eût fallu tenir compte de l'imperfection de la décomposition de ces corps dans les détonations en vase clos. Mais afin d'éviter des complications, il nous a paru préférable de supposer une décomposition complète, hypothèse dans laquelle les calculs fournissent une limite minimum de la température qui peut servir de terme de comparaison.

GRISOUTITE DÉTONANT A L'AIR LIBRE. La grisoutite détonant à l'air libre se décomposera de la manière indiquée par l'équation ci-après :



Avant d'aller plus loin, il est à noter que les gaz de la détonation renferment nécessairement de l'oxyde de carbone dans une proportion assez forte et que, par conséquent, la grisoutite à la cellulose ne satisfait pas à la prescription française qui stipule que les produits de la détonation ne peuvent contenir aucun élément combustible.

D'après l'équation (1), la chaleur dégagée sous pression constante sera calculée comme suit :

Chaleurs positives	}	22 CO <sup>2</sup> . . . . .	22 × 94 =	2068,0
		86 CO . . . . .	86 × 25.8 =	2218,8
		90 H <sup>2</sup> O . . . . .	90 × 58.2 =	5238,0
				9524,8
Chaleurs négatives	}	10 C <sup>6</sup> H <sup>10</sup> N <sup>6</sup> O <sup>18</sup> . . . . .	10 × 197.8 =	1978,00
		8 C <sup>6</sup> H <sup>10</sup> O <sup>5</sup> . . . . .	8 × 200 =	1600,00
				3578,00

$$Q_p = 9524,8 - 3578,00 = 5946,8.$$

Quant à la chaleur dégagée sous volume constant, elle a pour expression, d'après la formule (C) :

$$Q_v = 5946,8 + 0,57 [22 + 86 + 90 + 30] = 6076,76 \text{ calories}$$

ou bien :

$$Q_v = 6.076.760 \text{ petites calories.}$$

Si l'on admet que la chaleur spécifique du sulfate de magnésie cristallisé est 0,200 petite calorie par gramme, ou 49,2 petites calories pour le poids moléculaire, l'équation qui détermine la température d'explosion sera :

$$6.076.760 = 22 T [6,26 + 0,0037 T] + 90 T [5,61 + 0,0033 T] + [86 + 30] T [4,8 + 0,0006 T] + 18 \times 49,2 T$$

ou bien :

$$6.076.760 = 2085,02 T + 0,4480 T^2,$$

ou

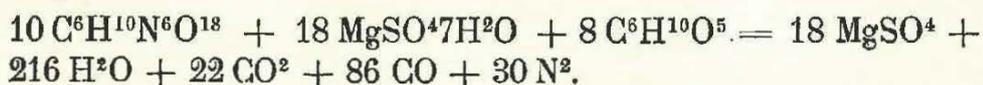
$$T^2 + 4654 T - 13.564.190 = 0,$$

d'où

$$T = 2029 \text{ degrés.}$$

*Grisoutite détonant en vase clos.* Examinons maintenant le cas où la grisoutite détonerait en vase clos, dans des conditions telles que le sulfate de magnésie cristallisé soit entièrement déshydraté.

Dans ce cas, la décomposition s'effectuerait selon l'équation suivante :



D'après cette équation, la quantité de chaleur  $Q_p$  dégagée sous pression constante, sera calculée comme suit :

$$\text{Chaleurs positives} \left\{ \begin{array}{l} 18 \text{ MgSO}^4 \cdot \cdot \cdot 18 \times 301,2 = 5.421,60 \\ 216 \text{ H}^2\text{O} \cdot \cdot \cdot 216 \times 58,2 = 12.571,20 \\ 22 \text{ CO}^2 \cdot \cdot \cdot 22 \times 94 = 2.068,00 \\ 86 \text{ CO} \cdot \cdot \cdot 86 \times 25,8 = 2.218,80 \\ \hline 22.279,60 \end{array} \right.$$

$$\text{Chaleurs négatives} \left\{ \begin{array}{l} 10 \text{ C}^6\text{H}^{10}\text{N}^6\text{O}^{18} \cdot 10 \times 197,8 = 1.9780,0 \\ 18 \text{ MgSO}^4\text{7H}^2\text{O} \cdot 18 \times 798,2 = 14.367,60 \\ 8 \text{ C}^6\text{H}^{10}\text{O}^5 \cdot \cdot 8 \times 200 = 1.600,00 \\ \hline 17.945,60 \end{array} \right.$$

$$Q_p = 22.279,60 - 17.945,60 = 4334 \text{ calories.}$$

La chaleur  $Q_v$  dégagée sous volume constant a pour expression :

$$Q_v = 4334 + 0,57 [216 + 22 + 86 + 30] = 4535,78 \text{ calories}$$

ou

$$Q_v = 4.535.780 \text{ petites calories.}$$

L'équation qui détermine la température de détonation est :

$$4.535.780 = 18 \times 26,6 T + 216 T [5,61 + 0,0033 T] + 22 T [6,26 + 0,0037 T] + 116 T [4,8 + 0,0006 T]$$

ou

$$4\ 535.780 = 2385,08 T + 0,8638 T^2$$

ou

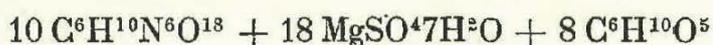
$$T^2 + 2 \times 1380 T - 5.250.900 = 0,$$

d'où

$$T = 1295 \text{ degrés.}$$

*Travail maximum développé par la grisoutite détonant en vase clos.* Nous venons de voir que la chaleur dégagée à volume constant est 4536 calories.

Cette quantité de chaleur est relative à un poids d'explosif correspondant à la formule :



c'est-à-dire 10264 grammes.

La quantité de chaleur dégagée sous volume constant, par un kilogramme d'explosif, sera donc :

$$4536 \times \frac{1000}{10264} = 442 \text{ calories.}$$

D'après la formule (B), le travail maximum qui peut être produit par un kilogramme de grisoutite est donc égal à

$$425 \times 442 \times \left(1 - \frac{273 + 15}{273 + 1295}\right) = 425 \times 442 \times 0.82,$$

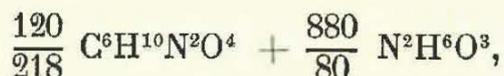
Soit 154.037 kilogrammètres.

\*  
\* \*

*Explosif Favier type* <sup>(1)</sup>. L'explosif Favier type, fabriqué à Vilvorde par la Société belge des explosifs Favier, a la composition suivante :

Nitrate d'ammoniaque . . . . .	0k.880
Binitronaphtaline . . . . .	0k.120
	<hr/>
	1k.000

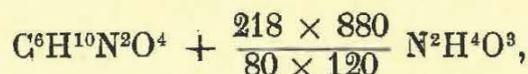
Cette composition correspond à la formule ci-après :



---

<sup>(1)</sup> La Société belge des explosifs Favier a maintenant donné à cet explosif le nom d'Antigrisou Favier n° 1.

ou bien :



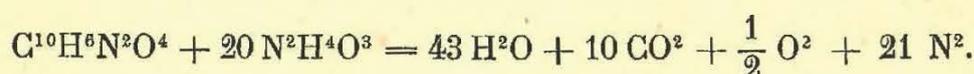
ou encore :



L'explosif Favier-type détone d'une façon complète à l'air libre, si l'on emploie un détonateur de force suffisante.

Il n'y a donc pas lieu d'examiner à part le cas de la détonation à l'air libre et celui de la détonation en vase clos.

Dans l'un et l'autre cas, la décomposition s'effectue conformément à la formule suivante :



D'après cette équation, la chaleur dégagée à pression constante  $Q_p$  se détermine comme suit :

Chaleurs positives	{	43 H <sup>2</sup> O . . .	43 × 58,2 =	2502,6	
		10 CO <sup>2</sup> . . .	10 × 94 =	940,0	
				3442,6	
Chaleurs négatives	{	20 N <sup>2</sup> H <sup>4</sup> O <sup>3</sup> . .	20 × 87,9 =	1758,00	
		C <sup>10</sup> H <sup>6</sup> N <sup>2</sup> O <sup>4</sup> . .	— 24 =	—24,00	
				1734,00	

$$Q_p = 3442,60 - 1734,00 = 1708,60.$$

La chaleur dégagée sous volume constant a la valeur suivante :

$$Q_v = 1708,60 + 0,57 [43 + 10 + \frac{1}{2} + 21] = 1751.065 \text{ calories}$$

ou bien

$$Q_v = 1.751.065 \text{ petites calories.}$$

L'équation qui détermine la température de détonation est la suivante :

$$1.751.065 = 43 T [5,61 + 0,0033 T] + 10 T [6,26 + 0,0037 T] + 21,5 T [4,8 + 0,0006 T]$$

ou bien :

$$1.751.065 = 407,03 T + 0,1918 T^2$$

ou encore :

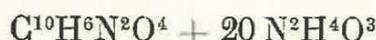
$$T^2 + 2122 T - 9.129.640 = 0$$

d'où

$$T = 2139 \text{ degrés.}$$

*Travail maximum effectué par un kilogramme d'explosif Favier type.* Nous venons de voir que la détonation de l'explosif Favier type sous volume constant dégage 1751 calories.

Ce chiffre est relatif au poids moléculaire représenté par la formule suivante :



c'est-à-dire 1818 grammes.

La chaleur dégagée dans les mêmes conditions par 1 kilogramme d'explosif est donc

$$1751 \times \frac{1000}{1818} = 963 \text{ calories.}$$

D'après la formule (B), le travail maximum qui peut être développé par un kilogramme d'explosif Favier type a donc pour valeur :

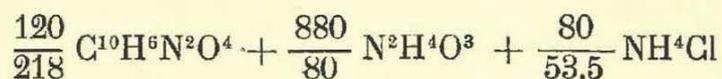
$$425 \times 963 \left[ 1 - \frac{273 + 15}{273 + 2139} \right] = 425 \times 963 \times 0,88$$

soit 360.162 kilogrammètres.

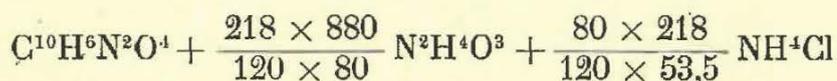
*Antigrisou Favier n° 2.* La Société belge des explosifs Favier vend sous le nom d'antigrisou Favier n° 2, un produit qui est obtenu en ajoutant 8 parties de chlorure d'am-

moniaque, à 100 parties de l'explosif précédent. C'est cet explosif qui a été essayé à Marchienne.

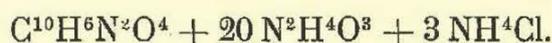
La formule moléculaire qui répond à ce mélange est la suivante :



ou bien :

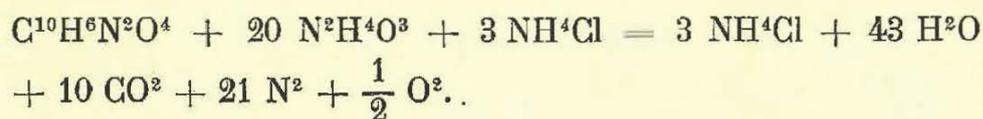


ou encore, très approximativement :



Ainsi qu'il a été dit plus haut, à propos de la grisoutite, on ne peut admettre que le chlorure d'ammoniaque soit décomposé dans la détonation à l'air libre; il joue simplement le rôle d'un corps inerte.

La formule de décomposition de l'antigrisou Favier est donc la suivante :



Comme précédemment, on en déduit l'équation suivante, servant à déterminer la température de détonation :

$$1.751.065 = 407,03 T + 0.1918 T^2 + 3 \times 20 T$$

ou bien :

$$T^2 + 2436 T - 9.129.640 = 0$$

d'où :

$$T = 2040 \text{ degrés}$$

Lorsque l'antigrisou Favier détone en vase clos, le chlorure d'ammoniaque est très probablement décomposé en partie.

Quoi qu'il en soit, les modes théoriques de décomposition du chlorure d'ammoniaque sont très nombreux et laissent le champ à trop de suppositions pour que l'on puisse faire un calcul sérieux.

Nous reconnaissons cependant que, selon toutes probabilités, la température de détonation en vase clos est inférieure à celle qui se produit dans l'explosion à l'air libre.

Si, pour estimer la force de ce produit, on suppose que le chlorure d'ammoniaque ne se décompose pas, et si l'on admet 2040 degrés comme température de détonation, on trouve les résultats suivants :

Chaleur dégagée sous volume constant, pour un poids correspondant à la formule moléculaire, soit 1978.5 grammes.

$$Q_v = 1751 \text{ calories.}$$

Chaleur dégagée par 1 kilogramme d'explosif : 885 calories.  
Quant au travail maximum qui peut être produit par un kilogramme, il est :

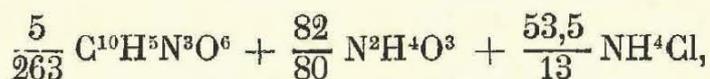
$$885 \times 425 \times \left[ 1 - \frac{273 + 15}{273 + 2040} \right]$$

soit 330.990 kilogrammètres.

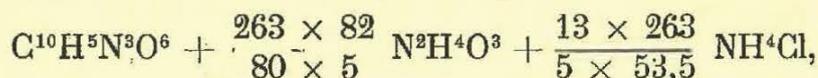
*Antigrisou Favier n° 3.* La Société belge des explosifs Favier, étant arrivée à produire industriellement la naphthaline trinitrée, a fait reconnaître officiellement, sous le nom d'antigrisou n° 3, un produit ayant la composition suivante :

Trinitronaphtaline . . . . .	5
Nitrate d'ammoniaque . . . . .	82
Chlorure d'ammoniaque . . . . .	13
	100

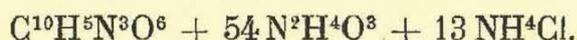
ce qui correspond à la composition moléculaire suivante :



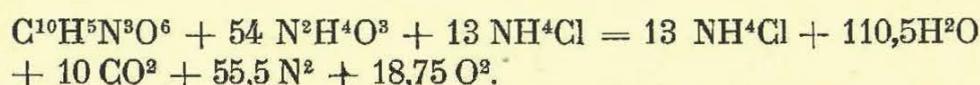
ou bien :



ou encore, très approximativement :



Lorsque cet explosif détone à l'air libre, on ne peut admettre que le chlorure d'ammoniaque soit décomposé; la formule de détonation est alors la suivante :



on en déduit

$$Q_v = 2.750.507 \text{ petites calories.}$$

L'équation qui sert à déterminer la température de détonation est :

$$2.750.507 = 1298,905 T + 0,4462 T^2,$$

ou bien :

$$T^2 + 2 \times 1455 T - 6.164.292 = 0,$$

d'où

$$T = 1420 \text{ degrés.}$$

Si le même explosif détonait en vase clos, une partie du chlorure d'ammoniaque serait probablement décomposée, mais ne pouvant faire une hypothèse raisonnable sur ce mode de décomposition, nous préférons ne pas le soumettre au calcul, tout en constatant que, selon toutes probabilités, la température serait inférieure à 1420 degrés.

Si l'on admet que cette dernière température soit également celle de la détonation en vase clos, on trouvera les chiffres suivants qui caractérisent la force de l'antigrisou Favier n° 3.

Chaleur dégagée sous volume constant, par un poids

d'explosif indiqué par la formule moléculaire, soit 5278,5 grammes :

$$Q_v = 2.750.507 \text{ calories.}$$

Chaleur dégagée par un kilogramme d'explosif : 520 calories.

Enfin, le travail maximum qui pourrait être produit par un kilogramme d'explosif sera :

$$520 \times 425 \left[ 1 - \frac{273 + 15}{273 + 1420} \right],$$

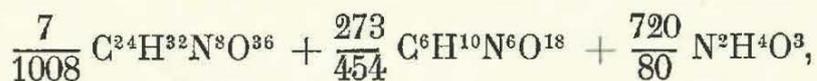
soit 185.640 kilogrammètres.

*Dynamites-gélatine au nitrate d'ammoniaque.* Les dynamiteries de Matagne-la-Grande et d'Arendonck fabriquent des dynamites-gélatine contenant de fortes proportions de nitrate d'ammoniaque.

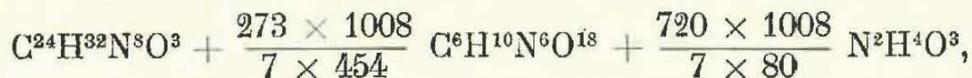
A notre connaissance, jusqu'ici, la dynamiterie d'Arendonck, seule, a mis en vente en Belgique une variété de ces produits ayant la composition suivante :

Nitroglycérine . . . . .	27,3
Coton-collodion (coton poudre octonitrique). . . . .	0,7
Nitrate d'ammoniaque . . . . .	72,0
	100,0

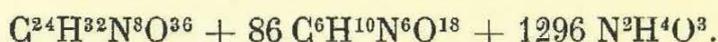
La composition moléculaire de cette dynamite-gélatine est donc la suivante :



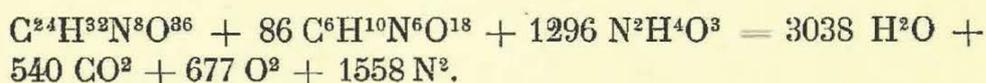
ou bien :



ou encore, très approximativement :



Cet explosif détone complètement à l'air libre, comme en vase clos, suivant la formule ci-après :



De cette équation, on déduit la chaleur dégagée sous pression constante, de la manière suivante :

Chaleurs positives	{	3038 H <sup>2</sup> O . .	3038 × 58,2 =	176.811,60	
		540 CO <sup>2</sup> . .	540 × 94 =	50.760,00	
					227.571,60
Chaleurs négatives	{	C <sup>24</sup> H <sup>32</sup> N <sup>8</sup> O <sup>36</sup> .	672 =	672,0	
		86 C <sup>6</sup> H <sup>10</sup> N <sup>6</sup> O <sup>18</sup> .	86 × 197,8 =	17.010,8	
		1296 N <sup>2</sup> H <sup>4</sup> O <sup>3</sup> .	1296 × 87,9 =	113.918,4	
					131.601,2

$$Q_p = 227.571,60 - 131.601,2 = 95.970,40.$$

La chaleur dégagée sous volume constant a pour valeur :  
 $Q_v = 95.970,40 + 0,57 [3038 + 540 + 677 + 1558] = 99.283,810$   
 calories,

ou bien :

$$Q_v = 99.283,810 \text{ petites calories.}$$

L'équation qui détermine la température de détonation est la suivante :

$$99.283,810 = 3038 T [5,61 + 0,0033 T] + 540 T [6,26 + 0,0037 T] + 2235 T [4,8 + 0,0006 T]$$

ou bien :

$$99.283,810 = 31.151,58 T + 13,3644 T^2$$

ou encore :

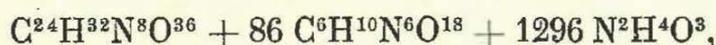
$$T^2 + 2 \times 1165 T - 7.421.493 = 0$$

d'où

$$T = 1800 \text{ degrés.}$$

*Travail maximum dégagé par 1 kilogramme de dynamite-gélatine au nitrate d'ammoniaque.* Nous venons de voir que la chaleur dégagée par ce produit, sous volume constant, est 99.284 calories.

Ce chiffre est relatif à un poids d'explosif marqué par la formule



c'est-à-dire 143.732 grammes.

La chaleur dégagée, dans les mêmes conditions, par un kilogramme d'explosif est donc égale à

$$\frac{99284 \times 1000}{143732} = 690 \text{ calories.}$$

En appliquant la formule (B), on trouve comme valeur du travail maximum :

$$425 \times 690 \times \left[ 1 - \frac{272 + 15}{273 + 1800} \right] = 425 \times 690 \times 0.86$$

Soit 252.195 kilogrammètres.

\*  
\* \*

*Comparaison des explosifs au point de vue de leur sécurité dans les mines grisouteuses ou poussiéreuses.*

Le tableau ci-contre, dans lequel nous avons groupé les divers chiffres obtenus jusqu'ici, fournit nombre de conclusions intéressantes.

DÉSIGNATION DE L'EXPLOSIF	Température de détonation en degrés centigrades		Travail maximum effectué par 1 kilogramme d'explosif, exprimé en kilogrammètres	Chiffre proportionnel indiquant la force	Observations relatives aux produits de la détonation en vase clos
	à l'air libre	en vase clos			
Grisoutite à la cellulose	2029°	1295°	154.037	1	Les produits de la détonation contiennent de l'oxyde de carbone, gaz combustible et toxique.
Antigrisou Favier n° 1	2139°	2139°	360.162	2.34	Les produits de la détonation ne contiennent que des gaz simples ou complètement brûlés.
Antigrisou Favier n° 2	2040°	inférieure à 2040°	330.990	2.15	Les produits de la détonation avec vase clos doivent être considérés comme inconnus en partie.
Antigrisou Favier n° 3	1420°	inférieure à 1420°	185.460	1.20	Les produits de la détonation en vase clos doivent être considérés comme inconnus en partie.
Dynamite-gélatine contenant 72 % de nitrate d'ammoniaque	1800°	1800°	252.195	1.63	Les produits de la détonation ne contiennent que des gaz simples ou complètement brûlés.

Si l'on examine les valeurs des températures de détonation sans distinguer le cas de la détonation à l'air libre et celui de la détonation en vase clos, on constate que l'explosif qui jouit de la température de détonation la plus basse est la grisoutite détonant *en vase clos* (1295 degrés).

Cette température est notablement inférieure à celle des autres explosifs de sécurité en usage en Belgique, car le chiffre immédiatement supérieur dans le tableau est 1420° (Antigrisou Favier n° 3).

Le seul explosif dont la température de détonation soit voisine de 1295 degrés est le nitrate d'ammoniaque (1130°); mais ce produit est plutôt un explosif théorique, qu'on ne saurait utiliser dans l'industrie.

Ainsi s'explique que dans les expériences où l'on provoque la détonation au fond d'un canon en acier, la grisoutite, essayée à outrance, ait fourni des résultats supérieurs aux autres produits employés.

Dans ces conditions, même sans bourrage, il est à supposer que le sulfate de magnésie cristallisé est bien près d'être entièrement déshydraté.

Mais il ne faut pas se hâter de conclure. Il ne suffit pas qu'un mode de décomposition présente de la sécurité; tous les modes possibles de détonation doivent donner les mêmes garanties.

Les expériences effectuées dans un canon, comme on l'a fait à Flénu et à Marchienne, au lieu d'être des expériences à outrance, sont particulièrement favorables aux explosifs qui contiennent des sels refroidissants.

La véritable expérience à outrance, pour de tels explosifs, c'est la détonation à l'air libre, ou tout au moins dans une grande capacité, comme l'a effectuée la Commission française des explosifs.

Ainsi, notamment, si la grisoutite détone à l'air libre, la

température de détonation au lieu d'être 1295 degrés s'élève à 2029 degrés.

C'est ce dernier chiffre qui doit servir de mesure à la sécurité de ce produit. Ne pas vouloir en tenir compte, ce serait commettre la même erreur que de tolérer une seule maille trop large dans le tissu métallique de la lampe de sûreté.

Il résulte donc des chiffres indiqués ci-dessus que les explosifs usités en Belgique doivent être classés comme suit, au point de vue de leur température de détonation.

1. Antigrisou Favier n° 3 (température inférieure à 1420°).
2. Dynamite gélatine d'Arendonck (1800°).
3. Grisoutite (2029°).
4. Antigrisou Favier n° 2. (2040°).
5. Antigrisou Favier n° 1. (2139°).

Mais pour juger de la valeur relative de ces produits au point de vue de leur sécurité, il ne suffit pas de tenir compte de leur température de détonation, il faut aussi examiner la grandeur des charges qui sont nécessaires pour produire un travail déterminé, car le danger d'inflammation augmente indubitablement avec le poids des charges.

Or, au point de vue de leur force, les explosifs ci-dessus doivent être classés comme suit, en commençant par les plus forts.

1. Antigrisou Favier n° 1. (2.34).
2. Antigrisou Favier n° 2. (2.15).
3. Dynamite gélatine (1.65).
4. Antigrisou Favier n° 3. (1.20).
5. Grisoutite (1.00).

Il serait imprudent d'accorder une confiance absolue aux divers chiffres qui ont été calculés au cours de cette étude ;

il faut y voir simplement des indications ayant le même degré de certitude que la science des explosifs, science imparfaite en plus d'un point.

Ces réserves faites, nous nous croyons autorisé à conclure que les antigrisous Favier, sans distinction, sont à la tête des explosifs de sécurité.

En outre, la sécurité absolue de tous les explosifs Favier dans leur fabrication, leur emmagasinage, leur transport et leur maniement, les place à tous les points de vue, au-dessus des explosifs à base de nitroglycérine.

