

MINISTERE DES AFFAIRES ECONOMIQUES
ADMINISTRATION DE LA QUALITE ET DE LA SECURITE
Division Sécurité

ENSEIGNEMENT COMPLEMENTAIRE EN SECURITE ET HYGIENE DU
TRAVAIL

MESURES DE PREVENTION ET DE PRECAUTION
DANS L'EMMAGASINAGE, LE TRANSPORT ET L'EMPLOI
DES PRODUITS EXPLOSIFS

Ir M. MAINJOT
Ingénieur des Mines
Conseiller général

Octobre 2000

1. *APERÇU HISTORIQUE*
2. *DEFINITIONS*
3. *CONSOMMATIONS, ACCIDENTS*
4. *CARACTERISTIQUES*
5. *NATURE*
6. *DISPOSITIFS D'AMORÇAGE*
7. *MOYENS DE MISE A FEU*
8. *REGLEMENTATION*
9. *STOCKAGE*
10. *TRANSPORT*
11. *EMPLOI*
12. *NUISANCES*
13. *TERRORISME*

TABLE DES MATIERES.

1. APERÇU HISTORIQUE.	9
2. DEFINITIONS.	13
2.1. <i>Substances explosives.</i>	13
2.2. <i>Glossaire.</i>	14
3. CONSOMMATIONS D'EXPLOSIFS ET ACCIDENTS.	17
4. CARACTERISTIQUES DES EXPLOSIFS	24
4.1. <i>Caractéristiques théoriques (calculées)</i>	25
4.1.1. <i>Bilan d'oxygène</i>	25
4.1.2. <i>Puissance théorique</i>	27
4.1.3. <i>Volume des gaz</i>	27
4.1.4. <i>Température d'explosion</i>	28
4.2. <i>Caractéristiques pratiques (mesurées).</i>	28
4.2.1. <i>Densité</i>	28
4.2.2. <i>Puissance</i>	29
4.2.6. <i>Epreuves de sensibilité chocs et frottements</i>	41
4.2.7. <i>Stabilité et comportement à la chaleur</i>	43
4.2.8. <i>Résistance aux sollicitations climatiques</i>	43
4.2.9. <i>Durée limite de conservation</i>	44
4.2.10. <i>Fumées de tir</i>	45
4.2.11. <i>Effets d'une explosion</i>	46
5. NATURE DES EXPLOSIFS.	48
5.1. <i>La Poudre Noire.</i>	48
5.1.1. <i>Généralités</i>	48

5.1.2. <i>Production.</i>	48
5.1.3. <i>Compositions-types.</i>	48
5.1.4. <i>Propriétés.</i>	49
5.1.5. <i>Usages.</i>	49
5.1.6. <i>Dangers et inconvénients.</i>	49
5.2. Les Dynamites.	50
5.2.1. <i>Généralités.</i>	50
5.2.2. <i>Matières premières.</i>	51
5.2.3. <i>Production.</i>	54
5.2.4. <i>Types de dynamites et usages.</i>	55
5.2.5. <i>Avantages et inconvénients.</i>	56
5.3. Les explosifs nitratés.	57
5.3.1. <i>Généralités.</i>	57
5.3.2. <i>Matières premières.</i>	57
5.3.3. <i>Préparation.</i>	59
5.3.4. <i>Types de Nitratés et usages.</i>	59
5.3.5. <i>Avantages et inconvénients.</i>	60
5.4. L'ANFO.	60
5.4.1. <i>Généralités.</i>	60
5.4.2. <i>Composition.</i>	61
5.4.3. <i>Préparation.</i>	61
5.4.4. <i>Usages - Avantages et inconvénients.</i>	62
5.5. Les bouillies explosives (slurries).	62
5.5.1. <i>Généralités.</i>	62
5.5.2. <i>Slurry de première génération.</i>	63
5.5.3. <i>Slurry de deuxième génération.</i>	63
5.5.4. <i>Les explosifs du type émulsion.</i>	67
6. DISPOSITIFS D'AMORÇAGE.	77
6.1. <i>Les mèches à combustion lente.</i>	77

6.2. Les détonateurs ordinaires ou détonateurs à mèche.	79
6.3. Les détonateurs électriques.	79
6.3.1. Les détonateurs électriques instantanés.	79
6.3.2. Les détonateurs électriques à retards.	81
6.4. Les inflammateurs électriques.	84
6.5. Les cordaux détonants.	84
6.6. Amorçage non électrique, en abrégé, NONEL.	87
6.6.1. Cordon Nonel.	87
6.6.2. Détonateur Nonel.	88
6.6.3. Raccord Nonel.	89
6.6.4. Exemple d'utilisation du Nonel lors d'un tir en masse.	90
6.7. Les détonateurs électroniques.	96
 7. MOYENS DE MISE A FEU.	100
7.1. Classification des types de détonateurs.	100
7.2. Choix de la source de courant.	104
7.2.1. Batterie d'accumulateurs.	104
7.2.2. Courant du réseau.	105
7.2.3. Exploseur portatif	106
7.2.4. Exploseurs séquentiels	111
 8. REGLEMENTATION SUR LES EXPLOSIFS.	112
8.1. Réglementation générale sur les explosifs.	112
8.1.1. Loi de base.	112
8.1.2. Arrêté royal du 23 septembre 1958	112
8.1.3. Arrêté royal du 3 septembre 1958.	117
8.2. Réglementations particulières à l'emploi des explosifs.	117
8.2.1. Arrêté du Régent du 31 mars 1949.	117
8.2.2. Arrêté royal du 12 septembre 1955.	117

8.2.3. Arrêté royal du 4 août 1959.	118
8.2.4. Arrêté royal du 4 août 1959.	118
8.2.5. Circulaires du Directeur général des Mines.	121
8.2.6. Projets ayant été discutés	121
8.3. Réglementation spécifique à la Région wallonne.	121
9. STOCKAGE DES EXPLOSIFS.	122
9.1 Généralités.	122
9.2. Le dépôt C.	123
9.2.1. Emplacement du dépôt.	123
9.2.2. Construction et aménagement du dépôt - gardiennage.	123
9.2.3. Merlonnage - Clôture.	125
9.2.4. Protection contre la foudre.	126
9.2.5. Sécurité générale.	127
9.2.6. Registre.	127
9.2.7. Remarques particulières.	128
9.3. Le dépôt F.	128
9.4. Le dépôt G.	129
9.5. Tirs en masse.130	
9.6. Travaux de courte durée.	131
10. TRANSPORT D'EXPLOSIFS.	132
10.1. Transport par air.	132
10.2. Transport par route.	132
10.3. Transport par rail.	133
10.4. Transport par eau.	133
10.5. Port aux chantiers.	134

11. EMPLOI DES EXPLOSIFS.	136
11.1. Emploi des explosifs dans les industries extractives.	136
11.1.1. Les minières et carrières à ciel ouvert.	136
11.1.2. Les exploitations souterraines.	151
11.2. Emploi des explosifs dans les travaux publics.	154
11.2.1. Creusement de tunnels de grande section.	154
11.2.2. Creusement de tranchées, de galeries ou de puits.	154
11.2.3. Creusement de trous pour la pose de poteaux.	154
11.2.4. Travaux de nivellement.	154
11.2.5. Travaux maritimes.	155
11.3. Utilisation des explosifs pour les travaux de démolition.	155
11.3.1. Démolition de murs.	155
11.3.2. Démolition de cheminées d'usine, de ponts.	155
11.3.3. Destructures diverses.	156
11.4. Tir en masse chaude	156
11.5. Utilisation des explosifs en agriculture.	160
11.5.1. Le dérochage.	160
11.5.2. Le drainage.	160
11.5.3. Le dessouchage, l'abattage d'arbres, la plantation d'arbres, le sous-solage.	160
11.6. Utilisation des explosifs pour le travail des métaux.	161
11.7. Utilisation des explosifs pour la prospection sismique.	163
11.7.1. Sur terre.	163
11.7.2. En mer.	163
11.8. Applications diverses.	164

12.3. Les projections de roches	167
12.4. Les vibrations	183
12.4.1. Paramètres caractéristiques des vibrations	183
12.4.2. Facteurs influençant les vibrations	183
12.4.3. Loi d'amortissement des vibrations	184
12.4.4. Effet des vibrations	186
12.4.5. Critères de référence	187
12.4.6. Appareils de mesure	189
12.4.7. Solutions	191
 13. TERRORISME A L'EXPLOSIF	 192
13.1. Considérations générales	192
13.2. Mesures de sécurité	198
 <u>BIBLIOGRAPHIE</u>	 200

1. APERÇU HISTORIQUE. (1)

La Poudre Noire, le premier explosif historiquement connu a dû voir le jour en Asie (Chine ou Indes) dans les premiers siècles de notre ère; une variante, le feu grégeois, est connue des Perses au VIIe siècle; son secret passera dès lors aux Grecs, puis aux Arabes; la poudre sera introduite en Europe par l'intermédiaire des Croisés au début du XIIIe siècle; elle entre officiellement dans la science vers 1250, quand le moine anglais Bacon en donne une description dans son Opus Major. Il faudra attendre un siècle encore pour qu'un européen l'étudie et parvienne à la fabriquer; ce sera l'oeuvre de Berthold Schwarz vers 1350.

*Les choses en resteront là jusqu'à l'aube de notre époque industrielle, mais à partir de 1800 - date de la découverte du premier explosif d'amorçage, le **fulminate de mercure** -, les progrès vont s'accélérer. Coup sur coup, en 1845 et en 1846, Sobrero découvre la **nitroglycérine** et Schoenbein la **nitrocellulose**; la combinaison de ces deux éléments et leur production industrielle permettront à Alfred Nobel à partir de 1860 d'ouvrir l'ère des **Dynamites**; c'est le même savant qui, à la même époque, permettra le premier système d'amorçage : le **détonateur**.*

*De nombreuses variantes aux **Dynamites** et aux systèmes d'amorçage vont dès lors voir le jour; citons par exemple :*

- *le remplacement partiel de la nitroglycérine*
 - *par des corps moins sensibles : le TNT, la nitronaphtaline*
 - *ou qui conféreront à l'explosif des propriétés particulières :*
 - *des corps oxygénés, comme les nitrates ou les chlorates, pour améliorer les fumées de tir;*
 - *l'aluminium pour augmenter la puissance;*
 - *les sels inertes pour étouffer le danger des flammes en atmosphère grisouteuse;*
- *la naissance du détonateur électrique vers 1900, celle du cordeau détonant vers 1930, celle du détonateur à retard en 1945.*

Une nouvelle ère, amorcée un peu avant la guerre (les premiers Nitramons de Dupont datant de 1934) commença vers 1950 lorsque l'étude approfondie de divers accidents survenus avec le $\text{NO}_3 \text{NH}_4$ confirma que ce corps pouvait, sous certaines conditions, se comporter comme un véritable explosif; entre 1950 et 1960, Cook et Farman développèrent ainsi les mélanges $\text{NO}_3 \text{NH}_4$ et de combustibles qui aboutirent à l'ANFO, le premier explosif industriel qui pouvait détoner (en gros diamètre, il est vrai, et avec un amorçage puissant), bien que ne contenant pas de matière explosive noble telle que la nitroglycérine ou le TNT.

Toute l'évolution des explosifs industriels depuis 1960 ne reflète que la préoccupation de porter remède aux défauts de l'ANFO, entre autres : sa médiocre résistance à l'eau et sa grande insensibilité; c'est dans cette optique que sont nées les bouillies de première génération, à l'origine, simples ANFO présolubilisés et gélatinisés, renforcés par le TNT, puis ensuite celles de seconde génération, plus élaborées, d'où tout explosif a disparu et qui joignent, à la résistance à l'eau, une sensibilité à l'amorçage au moins équivalente à celle des Dynamites; ces bouillies sont commercialisées en Belgique notamment sous les noms d'Irémites (en cartouches) et d'Irégels (en vrac) et sont à base d'aluminium.

Enfin, les dernières années ont été caractérisées par :

- l'introduction de chargement de bouillies en vrac, au lieu de cartouches, avec fabrication sur camion-pompe,*
- des perfectionnements aux systèmes d'amorçage avec une orientation de plus en plus vive vers l'amorçage ponctuel et non électrique,*
- le développement de bouillies de troisième génération appelées émulsions, mélange intime de nitrate d'ammonium en solution aqueuse sous forme de gouttelettes microscopiques emprisonnées dans une matrice liquide à base d'huile.*

Les nitrates-fiouls alourdis sont les explosifs de la génération la plus récente. Ils sont constitués par du nitrate-fioul enrobé dans une matrice d'explosif bouillie ou d'émulsion.

Dans des environnements sensibles aux vibrations engendrées par les explosifs, l'utilisation d'exploseurs séquentiels se développe aujourd'hui pour les tirs de grandes volées à ciel ouvert ainsi que pour le creusement de tunnels.

En 1996, dans les carrières du Tournaisis, on effectue des essais de tirs avec des détonateurs à retard électronique.

<i>HISTORIQUE</i>		
<i>1er siècle</i>	<i>Poudre Noire</i>	<i>Asie (Chine - Indes)</i>
<i>7e siècle</i>	<i>Poudre Noire</i>	<i>→ Perse → Grèce</i>
<i>12e siècle</i>	<i>Poudre Noire</i>	<i>→ Croisades → Europe</i>
<i>1250 - 1350</i>	<i>Poudre Noire</i>	<i>Etude : Bacon (GB)/Fabrication : Schwarz (D)</i>
<i>1800</i>	<i>Fulminate de Mercure</i>	<i>Howard</i>
<i>1831</i>	<i>Mèche de sûreté</i>	<i>Bickford (GB)</i>
<i>1845 - 1846</i>	<i>Nitroglycérine Nitrocellulose</i>	<i>Sobrero (I) Schoenbein (CH)</i>
<i>1860 - 1867</i>	<i>Dynamites/Détonateur</i>	<i>Nobel (S)</i>
<i>1863</i>	<i>Trinitrotoluène (T.N.T.)</i>	<i>Wilbrand</i>
<i>1891</i>	<i>Azoture de Plomb</i>	<i>Curtius</i>
<i>1900</i>	<i>Amorçage électrique</i>	<i>Watson (GB) - Franklin (USA) : 1750 → Hare : 1832 → Krannichfelt (D)</i>
<i>1930</i>	<i>Cordeau détonant</i>	<i>L'Heure (F) : 1907</i>
<i>1934</i>	<i>Nitramon (N.C.N.)</i>	<i>Dupont de Nemours</i>
<i>1945</i>	<i>Détonateur à retards</i>	<i>GB : 1911 → USA : 1938</i>
<i>1955</i>	<i>ANFO</i>	<i>Akre - Lee</i>
<i>1957</i>	<i>Bouillie 1ère génération</i>	<i>Diverses firmes USA</i>
<i>1965</i>	<i>Bouillie 2ème génération</i>	<i>Cook (IRECO)</i>
<i>1980</i>	<i>Amorçage ponctuel non électrique</i>	<i>Suède - USA</i>
<i>1989</i>	<i>Bouillie 3ème génération</i>	<i>USA</i>
<i>1990</i>	<i>Exploseur séquentiel</i>	<i>France</i>
<i>1996</i>	<i>Détonateur électronique</i>	<i>Essais en Belgique</i>

STAD-HUY'S VERBRANT

«Stadhuys verbrant», illustration du plan gravé par J. Bouttats (Archives de la Ville de Bruxelles, A.A. plans).

1695

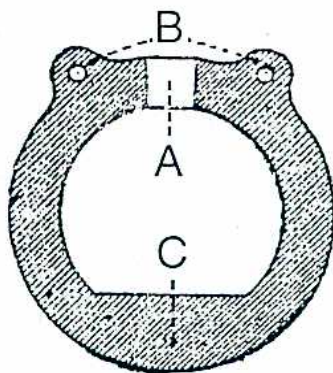
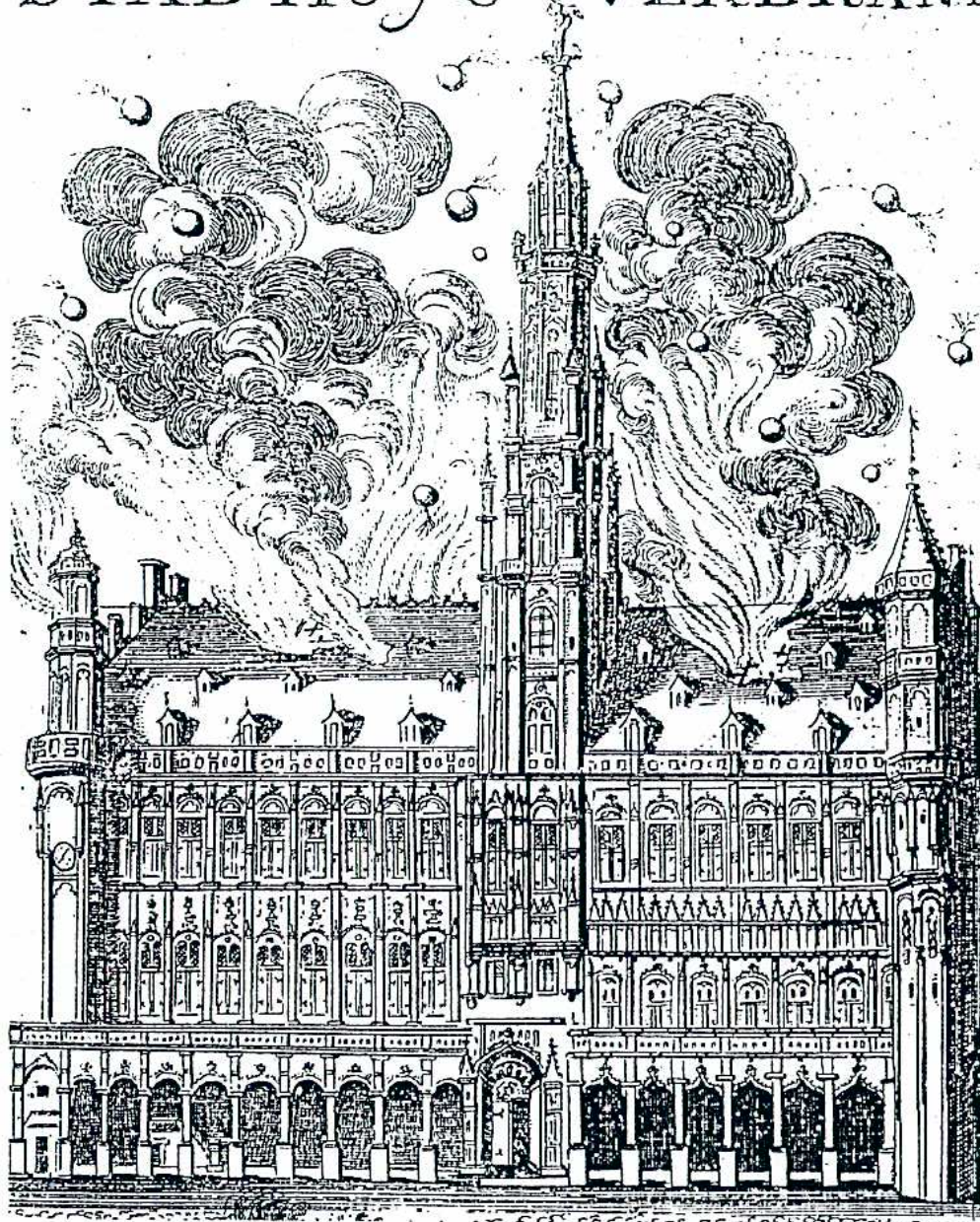
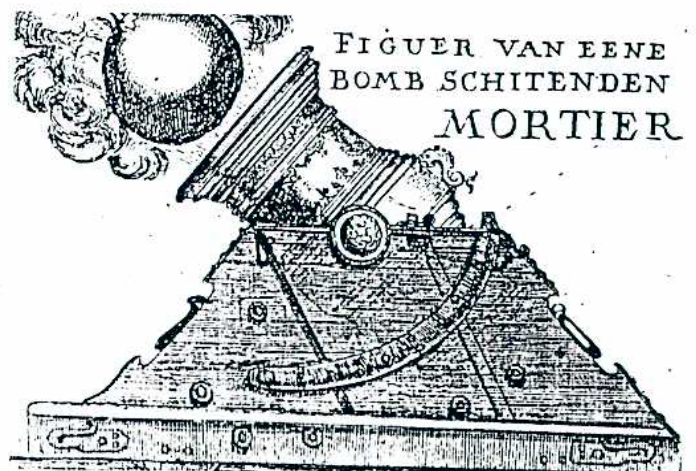


Fig. 2 - Coupe dans une bombe. A: œil; B: mentonnet; C: culot (d'après le Nouveau Larousse Illustré).



«Figuer van eene bomb schittenden mortier», illustration du plan gravé par J. Bouttats (Archives de la Ville de Bruxelles, A.A. plans).

2. DEFINITIONS. (2)

2.1. Substances explosives.

Un explosif intentionnel est un système matériel utilisé pour ses propriétés explosives.

C'est un composé chimique qui, sous l'action d'un choc, ou sous l'action d'une source de chaleur, se transforme presque instantanément en une grande quantité de gaz très chauds.

Une explosion est une manifestation brusque de force due à l'expansion des gaz : c'est la conséquence du phénomène qui fait l'objet de la définition.

Lorsqu'un explosif, enfermé dans un trou bouché (c'est-à-dire un trou foré dans un matériau dur tel qu'une roche ou un bloc de béton), est soumis à un choc d'amorçage, il se transforme en une grande quantité de gaz chauds.

La pression des gaz, agissant sur le matériau à l'intérieur du trou, détruit le matériau et le fragmente plus ou moins fort.

Les gaz sont alors libérés dans l'air environnant et leur température sera d'autant plus abaissée qu'ils auront trouvé plus de résistance à briser le matériau. Seule la partie de l'explosif, qui ne s'est pas transformée en gaz, se dégage encore sous forme de fumée.

Au sens de la réglementation générale sur les explosifs, les explosifs sont des produits susceptibles d'être utilisés pour leurs propriétés explosives, déflagrantes ou pyrotechniques. Ces produits sont rangés en trois classes : les substances explosives, les munitions et les artifices.

Les substances explosives sont donc des produits susceptibles de donner, en un temps très court, une grande quantité de gaz, dont la pression sera utilisée pour briser des matériaux, et notamment des roches.

Dans la classe des munitions, sont rangés notamment les détonateurs et les cordons détonants qui sont les dispositifs d'amorçage.

Illustrons enfin la différence entre les explosifs occasionnels et intentionnels :

Sur base de leur pureté technique, les azotiers produisent d'une part des prills (granules) de nitrate d'ammonium à usage d'engrais et d'autre part des prills de nitrate d'ammonium pour explosifs en vrac.

Les premiers sont en général des prills denses tandis que les seconds ont une porosité leur permettant d'absorber du fuel oil à concurrence d'au moins 6 % de leur poids.

Les nitrates utilisés comme engrais sont des explosifs occasionnels; ils ne sont pas classés.

Les nitrates-fuel sont des explosifs intentionnels : ils sont rangés dans la classe des substances explosives, catégorie des explosifs difficilement inflammables.

2.2. Glossaire.

- **chantier de tir** : espace délimité par une signalisation conforme aux dispositions de l'art. 54 quinquies du R.G.P.T. et comprenant l'emplacement où les charges sont mises en oeuvre ainsi que les abords immédiats;
- **fourneau de mine** : cavité existante, aménagée ou réalisée, naturelle ou non, utilisée pour loger une charge d'explosifs;
- **trou de mine** : fourneau de mine réalisé exclusivement par forage;
- **mine** : fourneau de mine contenant une charge d'explosif;
- **mine profonde** : mine de profondeur supérieure ou égale à 6 mètres;
- **mine de chambrage** : (mine de pochage ou mine de doudelage) mine destinée à élargir progressivement un fourneau de mine par des tirs successifs de charge croissante;

- *charge appliquée* : charge d'explosif mise en oeuvre au contact du matériau à abattre sans être logée dans un fourneau de mine;
- *charges étagées* : charges discontinues;
- *zone de danger* : zone où existe un danger de projections ou de dégâts dus aux ondes de choc dans les divers milieux;
- *alerte* : période située entre l'annonce d'un tir et le signal de fin de tir;
- *tir* : explosion d'une mine, d'une charge d'explosif ou d'une volée de mines ou de charges, consécutive à sa mise à feu au moment prévu;
- *tir primaire* : tir effectué dans la roche en site originel;
- *tir en masse* : tir primaire comportant au moins une rangée de trous de mines parallèles à une face libre du rocher, de manière à abattre en masse une importante quantité de roche; (n'est pas considéré comme tir en masse, le tir primaire qui ne comporte que quelques mines ou charges en un endroit particulier d'un front);
- *tir secondaire* : tir de fragmentation de blocs préalablement abattus;
- *mise à feu* : déclenchement irréversible du processus de tir;
- *raté de tir* : défaut d'explosion d'une ou plusieurs mines ou charges dont la mise à feu était prévue dans le tir;
- *explosion incomplète* : défaut d'explosion d'une partie de charge;
- *départ intempestif* : explosion d'une ou plusieurs mines ou charges à un autre moment que lors d'un tir;

- *projections* : matériaux expulsés;
- *déblais ou décombres* : matériaux abattus ou débris de matériaux et gravats provenant de démolitions;
- *chef-mineur* : personne qui sur le terrain est responsable sous l'autorité de l'agent responsable de tous les travaux de tir; possède un certificat de capacité (actuellement, uniquement imposé dans les mines, minières et carrières à ciel ouvert);
- *mineur ou boutefeu* : personne assistant le chef-mineur et qui possède une connaissance étendue sur la technique de l'emploi des explosifs;
- *aide-mineur* : personne assistant le chef-mineur ou le mineur et qui possède une connaissance élémentaire en matière d'emploi des explosifs;
- *agent responsable* : personne désignée par l'employeur, ou tout autre personne déléguée par celle-ci pour veiller à l'observation des lois et règlements en vigueur;
- *bourrage* : substances inertes placées dans tout fourneau de mine;
- *calotte* : substance inerte recouvrant une charge appliquée;
- *dispositif d'amorçage* : dispositif permettant l'ignition des charges explosives;
- *moyen de mise à feu* : moyen permettant l'ignition du dispositif d'amorçage;
- *circuit de tir* : ensemble des dispositifs d'amorçage et des moyens de mise à feu;
- *masse chaude* : toute masse dont la température est supérieure à 100° C.

3. CONSOMMATIONS D'EXPLOSIFS ET ACCIDENTS. (2, 3)

3.1. Consommations d'explosifs

Les explosifs sont utilisés en très grande quantité dans les mines, minières et carrières. Ils sont indispensables aux travaux de génie civil (tracés d'autoroute, poses de canalisations souterraines, etc...).

Ils sont également nécessaires lors des travaux de démolition de bâtiments, de constructions, de murs de quai sous eau, de "loups" de haut fourneau, etc...

Les chiffres suivants se rapportent à la Belgique (Service des statistiques de l'Administration des Mines).

En 1978, l'activité des minières et carrières, dans le seul domaine des produits concassés, abattus essentiellement au moyen de tirs en masse, a été la suivante :

<i>Grès</i>	<i>2.500.000 tonnes</i>
<i>Porphyre</i>	<i>5.000.000 tonnes</i>
<i>Calcaire</i>	<i>22.500.000 tonnes</i>
	<i>-----</i>
	<i>30.000.000 tonnes</i>

La consommation d'explosifs, dans toutes les minières et carrières, a été :

<i>Poudre Noire</i>	<i>181 tonnes</i>
<i>Explosifs brisants sauf nitrate-fuel</i>	<i>2.537 tonnes</i>
<i>Nitrate-fuel</i>	<i>1.252 tonnes</i>
<i>Nitrate ammonique</i>	<i>1.300 tonnes</i>
<i>Détonateurs</i>	<i>920.000 pièces</i>

En toute première approximation, la consommation d'explosifs par tonne de produit concassé était de l'ordre de 100 gr/t.

En 1980, l'exploitation charbonnière a produit 6.325.000 tonnes nettes de charbon et a consommé 775 tonnes d'explosifs et 1.000.000 de détonateurs. La consommation d'explosifs par tonne nette de charbon a été de 122 gr/t.

La consommation annuelle d'explosifs en Belgique est reprise au tableau ci-dessous.

<i>1987</i>	<i>6.190 tonnes</i>
<i>1989</i>	<i>7.375 tonnes</i>
<i>1991</i>	<i>6.066 tonnes</i>
<i>1993</i>	<i>6.087 tonnes</i>
<i>1995</i>	<i>8.142 tonnes</i>

Actuellement, elle s'évalue approximativement à 30.000 tonnes en France et 900.000 tonnes aux USA.

3.2. Accidents

En ce qui concerne les accidents, les données disponibles ne permettent également qu'une analyse sommaire.

Le tableau n°1 reprend les chiffres de 1980 pour les entreprises surveillées par l'Administration des Mines : le personnel ouvrier inscrit (fond et surface), le nombre d'accidents mortels ainsi que le rapport entre le nombre de tués et le nombre d'inscrits.

Tableau n° 1

	<i>Inscrits</i>	<i>Tués</i>	<i>Tués/inscrits</i> ‰
<i>Fabrique d'explosifs</i>	<i>2.450</i>	<i>2</i>	<i>0,82</i>
<i>Magasin de vente d'explosifs</i>	<i>19</i>	<i>-</i>	<i>-</i>
<i>Mines de houille</i>	<i>20.455</i>	<i>10</i>	<i>0,49</i>
<i>Minières, carrières...</i>	<i>13.159</i>	<i>10</i>	<i>0,76</i>
<i>Sidérurgie</i>	<i>44.625</i>	<i>15</i>	<i>0,34</i>
	<i>80.708</i>	<i>37</i>	<i>0,46</i>

Il y a eu en 1980 dans les fabriques d'explosifs 192 accidents chômants contre 177 en 1979, dont 2 accidents mortels.

Par contre, dans tous les autres établissements, aucun des 35 accidents mortels n'a été occasionné par l'emploi des explosifs.

Le tableau n°2 donne, dans les mêmes entreprises, les statistiques entre 1980 et 1998

ANNEE	Fabrication et vente d'explosifs		Mines de houille		Carrières		Sidérurgie		TOTAL	
	P.I.	A.M.	P.I.	A.M.	P.I.	A.M.	P.I.	A.M.	P.I.	A.M.
1980	2.469	2	20.455	10	13.159	10	44.625	15	80.708	37
1981	2.375	2	20.356	8	12.881	7	41.060	10	76.672	27
1982	2.477	-	20.063	9	11.889	4	39.122	15	73.551	28
1983	2.544	3	19.591	4	10.834	1	38.172	12	71.141	20
1984	2.423	1	18.049	15	10.326	3	35.892	12	66.690	31
1985	2.171	-	17.414	7	9.370	3	30.716	17	59.671	27
1986	1.947	-	15.923	7	8.562	5	27.318	10	53.750	22
1987	1.760	-	9.547	2	9.064	3	26.329	4	46.700	9
1988	1.243	-	6.529	-	8.028	4	23.710	3	39.510	7
1989	1.270	-	4.196	2	8.381	6	25.115	7	38.962	15
1990	763	-	2.358	-	8.352	3	24.115	1	35.588	4
1991	778	2	2.114	-	7.857	3	23.793	13	34.542	18
1992	790	-	1.529	-	7.389	7	23.060	6	32.769	13
1993	846	-	1.198	-	7.029	1	20.917	2	29.990	3
1994	504	-	799	-	6.820	1	18.446	7	26.569	8
1995	476	-	535	-	6.955	1	18.077	4	26.043	5
1996	448	-	500	-	6.732	3	16.766	5	24.446	8
1997	481	-	39	-	5.567	3	15.161	1	21.248	4
1998	247	-	-	-	5.234	1	9.625	3	15.106	4

P.I. = Personnel inscrit - A.M. = Accidents mortels - N.C. = Non communiqué

Le tableau n°3 donne les accidents sur le lieu du travail en Belgique, pour la période 1980 - 1995, survenus aux ouvriers

<i>Année</i>	<i>Effectifs assujettis à l'ONSS</i>	<i>Total accidents déclarés (refusés non compris)</i>	<i>Accidents avec conséquence</i>	<i>Incapacité temporaire</i>	<i>Incapacité permanente</i>	<i>Décès</i>
1980	1.385.000	249.481	190.806	180.807	9.803	196
1981	1.304.500	218.683	161.296	151.560	9.539	197
1982	1.257.500	208.060	151.049	141.968	8.892	189
1983	1.215.000	198.193	141.537	132.908	8.484	145
1984	1.207.000	201.694	144.670	135.418	9.093	159
1985	1.208.600	207.323	149.480	140.300	9.017	163
1986	1.206.600	202.910	146.709	136.629	9.930	150
1987	1.191.100	199.758	142.462	132.886	9.442	134
1988	1.244.600	211.163	153.067	143.923	9.010	134
1989	1.281.650	225.912	170.334	159.959	10.214	161
1990	1.299.818	233.703	176.496	165.968	10.384	144
1991	1.292.419	223.999	171.418	161.016	10.252	145
1992	1.279.676	208.806	160.222	149.919	10.180	123
1993	1.235.954	174.639	133.607	123.506	9.978	123
1994	1.223.000	168.284	128.753	118.192	10.440	121
1995	1.245.320	167.017	126.721	115.623	10.979	119

Source A.N.P.A.T.

Le tableau n° 4 donne les accidents sur le lieu du travail en Belgique, pour la période 1980 - 1995, survenus aux employés

<i>Année</i>	<i>Effectifs assujettis à l'ONSS</i>	<i>Total accidents déclarés (refusés non compris)</i>	<i>Accidents avec conséquence</i>	<i>Incapacité temporaire</i>	<i>Incapacité permanente</i>	<i>Décès</i>
1980	1.034.000	33.588	19.926	18.427	1.445	54
1981	1.021.500	32.638	18.333	16.757	1.525	51
1982	1.004.000	31.575	17.464	16.019	1.410	35
1983	994.000	31.607	17.577	16.073	1.455	49
1984	1.009.000	32.279	17.776	16.218	1.519	39
1985	1.030.000	33.837	18.568	16.995	1.538	35
1986	1.049.700	33.664	18.966	17.193	1.748	25
1987	1.096.800	35.042	19.862	18.162	1.658	42
1988	1.163.750	35.507	20.818	19.350	1.439	29
1989	1.210.734	37.008	22.334	20.645	1.654	35
1990	1.260.305	39.251	23.719	22.101	1.581	37
1991	1.281.330	40.339	24.388	22.632	1.723	33
1992	1.298.851	38.916	23.713	21.904	1.781	28
1993	1.296.765	36.781	22.639	20.759	1.848	32
1994	1.294.000	35.734	21.106	19.197	1.884	25
1995	1.316.000	36.054	21.382	19.305	2.041	36

Source A.N.P.A.T.

*Le tableau n°5 reprend les dix plus grandes explosions accidentelles
(d'après M.A. COOK).*

<i>Date</i>	<i>Lieu</i>	<i>Tonnes</i>	<i>Type</i>	<i>Dégâts</i>		<i>Nombre de victimes</i>	
				<i>Sérieux</i>	<i>Faibles</i>	<i>Morts</i>	<i>Blessés</i>
1950	South Amboy, N.J.	450	Dynamite	1.500 m	+ieurs Km	26	400
1918	Morgan N.J.	450	Nitrate d'ammonium	1.500 m		64	100
1944	Hasting Neb.	500	Bombes au Torpex			10	
1926	Lake Denmark, N.J.	730	Tolite	1.800 m	7 Km		
1944	Port Chicago, Californie	1940	Torpex	1.400 m	40 Km	300	
1917	Halifax, Canada	2360	Tolite, Acide picrique, Nitrocellulose	2.800 m		1.800	8.000
1917	Steinfeld	2490	Hexogène flegmatisé	2.900 m			
1947	Brest, France	3000	Nitrate d'ammonium	4.800 m	16Km	21	100
1947	Texas-City, Texas	3170	Nitrate d'ammonium	2.100 m	8 Km	560	3.000
1923	Oppau, Allemagne	4080	Nitrate d'ammonium	6.400 m		1.100	1.500

4. CARACTERISTIQUES DES EXPLOSIFS. (1, 2, 4)

<u>Calculées :</u>	Bilan d'Oxygène :	O_2	%
	Puissance théorique :	Q_v	Kcal/kg (KJ/kg)
	Volume des gaz :	V_o	l/kg
	Température d'explosion :	t	°C
<u>Mesurées :</u>	Densité	d	g/cc
	Puissance - Bloc de Plomb (C.U.P.)		cc
	- Mortier balistique (T.M.B.)		R_{ws}
	- Energie de bulles		cal/g
Performance	Vitesse de détonation :	V	m/sec
	Brisance - pression de détonation		mm
	Aptitude - à détoner		
	- diamètre critique		mm
	- à transmettre la détonation		cm
	Sensibilité - aux chocs		kgm (J)
	- aux frottements		kgf (N)
Sécurité	Stabilité et comportement à la chaleur		
	Résistance aux sollicitations climatiques		
	Conservation - exsudation		
	Facilité et sécurité de chargement		
	Fumées de tir		
	Effets d'une explosion		
	Grisou et poussières (S.G.P.)		

Les explosifs qui vont être étudiés dans les chapitres suivants se distinguent les uns des autres non seulement par leurs compositions mais surtout par leurs diverses propriétés; ce sont celles-ci qu'il importe de connaître d'abord de façon à permettre une utilisation logique et rationnelle des produits mis à la disposition des usagers.

L'emploi d'un tel explosif plutôt que d'un tel autre pour conduire au mieux au résultat attendu, dépend de la bonne connaissance des caractéristiques explosives. Elle permettra non seulement de comparer entre eux les divers produits mis sur le marché, mais surtout de sélectionner celui qui se révélera le plus apte à donner l'effet souhaité.

On distinguera ci-après :

- *d'une part, les caractéristiques théoriques qui, bien que n'échappant pas complètement à l'expérimentation, relèvent plutôt du domaine du calcul,*
- *d'autre part, les caractéristiques pratiques qui sont basées sur des mesures et des manipulations de laboratoire.*

4.1. Caractéristiques théoriques (calculées)

4.1.1. Bilan d'oxygène

Il est important de connaître le bilan d'oxygène d'un explosif, c'est-à-dire de voir si la quantité de comburant disponible dans la composition est bien équilibrée par rapport aux combustibles qu'il va s'agir de brûler; ce bilan agit sur la puissance de la formule, et dans ce sens, on peut admettre qu'il soit légèrement négatif, - ainsi que sur les fumées de la détonation, auquel cas, et surtout en tirs souterrains, on donnera la préférence à un bilan positif, présentant en finale un léger excès d'oxygène, de façon à se mettre dans les meilleures conditions quant à la salubrité des gaz formés.

L'explosif industriel étant constitué d'un mélange de corps, il est toujours possible d'écrire la réaction chimique d'oxydoréduction établissant la décomposition de la formule.

Le premier membre de l'équation contiendra tous les constituants de l'explosif (soit A, B, C, N) accompagnés de leur nombre de mûles (soit a, b, c, n).