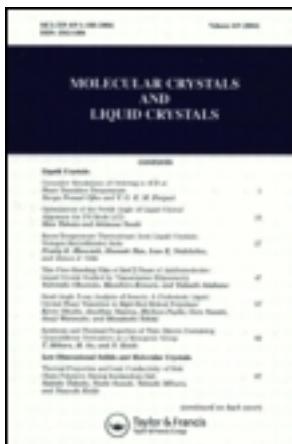


This article was downloaded by: [Tomsk State University of Control Systems and Radio]  
On: 19 February 2013, At: 13:01  
Publisher: Taylor & Francis  
Informa Ltd Registered in England and Wales Registered Number: 1072954  
Registered office: Mortimer House, 37-41 Mortimer Street, London W1T  
3JH, UK



## Molecular Crystals and Liquid Crystals Incorporating Nonlinear Optics

Publication details, including instructions for authors and subscription information:

<http://www.tandfonline.com/loi/gmcl17>

## Chimie et Physique des Explosifs Organiques Solides

J. Boileau <sup>a</sup>

<sup>a</sup> Société Nationale des Poudres et Explosifs, 12, Quai Henri IV, 75004, PARIS

Version of record first published: 13 Dec 2006.

To cite this article: J. Boileau (1988): Chimie et Physique des Explosifs Organiques Solides, Molecular Crystals and Liquid Crystals Incorporating Nonlinear Optics, 156:1, 149-166

To link to this article: <http://dx.doi.org/10.1080/00268948808070564>

PLEASE SCROLL DOWN FOR ARTICLE

Full terms and conditions of use: <http://www.tandfonline.com/page/terms-and-conditions>

This article may be used for research, teaching, and private study purposes. Any substantial or systematic reproduction, redistribution, reselling, loan, sub-licensing, systematic supply, or distribution in any form to anyone is expressly forbidden.

The publisher does not give any warranty express or implied or make any representation that the contents will be complete or accurate or up to date. The accuracy of any instructions, formulae, and drug doses should be independently verified with primary sources. The publisher shall not be liable for any loss, actions, claims, proceedings, demand, or costs or

damages whatsoever or howsoever caused arising directly or indirectly in connection with or arising out of the use of this material.

## CHIMIE ET PHYSIQUE DES EXPLOSIFS ORGANIQUES SOLIDES

J. BOILEAU

Société Nationale des Poudres et Explosifs  
12, Quai Henri IV - 75004 PARIS

**Abstract** After some definitions of explosion, deflagration, detonation, explosive products and explosives, a systematic approach is described, through functions fulfilled by a detonation with associated constraints. Some chemical groups ( $-NO_2$ ,  $-NO$ ,  $-N_3$ ,  $-NF_2$ , ...) can give a molecule an explosive character. The effect of the  $-NO_2$  group is described in more detail. The high explosives are mostly used as mixtures. The loading processes are reviewed, especially for the plastic bonded explosives and, among them, the "composite explosives". In the last part the knowledge about the mechanisms of the detonation at macroscopic and molecular levels is examined. Some new results are given concerning this difficult problem and some suggestions are made about tentative ways of approach.

Le sujet à traiter présente des difficultés certaines, car il faut éviter de tomber dans le piège de l'emploi d'un langage de spécialiste, difficile à être compris par ceux qui ne vivent pas en permanence dans ce petit monde des explosifs : des explications sont donc nécessaires au départ. D'autre part, le sujet étant très vaste, un choix a été nécessaire. D'où le plan de cet exposé :

- après quelques définitions, approche "système" des explosifs par les fonctions qu'ils sont chargés de remplir dans des systèmes.
- examen des diverses fonctions "explosophores" donnant un caractère explosif à des composés chimiques purs.
- passage aux propriétés de mélanges explosifs, notamment les explosifs à liant plastique avec leur mode de

fabrication.

- enfin aperçu sur ce qu'on connaît ou ne connaît pas sur les mécanismes de la détonation.

## 1. QUELQUES DEFINITIONS. L'APPROCHE "SYSTÈME".

### 1.1. Définitions

- Explosion. Il n'y a pas de définition scientifique d'une explosion. On adopte généralement la suivante : phénomène physique ou chimique de libération d'énergie en un temps très court, souvent avec émission et expansion brutale de quantités importantes de gaz. Les explosions peuvent être mécaniques, chimiques, nucléaires, électriques. Rappelons que sur notre terre, les explosions connues qui ont dégagé le plus d'énergie sont des explosions naturelles du type mécanique (Théra vers 1550 av. J.C. Krakatau en Août 1883).

- Déflagration et détonation. Ce sont des phénomènes de décomposition très différents :

- la déflagration est une combustion très rapide (vitesse de l'ordre de 1 m/s à quelques centaines de m/s) par conductivité thermique ; cette vitesse croît avec la pression, mais elle reste inférieure à la vitesse du son dans le produit solide en combustion.

- la détonation est un phénomène très différent : il y a au début formation d'une onde de choc, à l'intérieur du produit en décomposition ; cette onde de choc arrivant sur une molécule voisine produit une brutale compression locale, induisant sa décomposition avec fourniture d'énergie : celle-ci entretient la propagation de l'onde de choc normalement à la surface de décomposition. En régime stationnaire, pour un produit donné, la vitesse de détonation est indépendante de la pression du milieu environnant. Dans certaines condi-

tions de confinement, c'est une constante du produit. Les valeurs de ces vitesses sont en général comprises entre 4.000 et 10.000 m/s.

- Produits explosibles, explosifs.

Les produits pouvant donner lieu à détonation peuvent être classés en trois groupes :

- ceux qui sont susceptibles de détoner dans certaines conditions (par ex. : peroxydes organiques) mais qui sont utilisés à des fins totalement différentes.

- les produits utilisés normalement par leur combustion, mais celle-ci pouvant accidentellement dégénérer en détonation (poudres fines).

- les explosifs utilisés normalement par les effets qu'engendre leur détonation.

1.2. Approche "système" appliquée aux explosifs.

Comme tout produit, les explosifs ne sont pas une fin en soi, mais doivent contribuer à la satisfaction des besoins exprimés par les utilisateurs ; lorsqu'ils sont formulés, si possible sans être mélangés avec d'éventuelles solutions, cela se traduira, pour le ou les systèmes satisfaisant ces besoins, par des fonctions à remplir, tout en étant compatibles avec un ensemble de contraintes définies par l'utilisateur. Les systèmes sont en général un assemblage de sous-systèmes qui doivent participer aux fonctions demandées tout en satisfaisant aux contraintes externes ainsi qu'à celles internes imposées par les autres sous-systèmes. Il en est de même pour les produits ou composants, dont les explosifs sont un exemple.

Pour les explosifs, c'est leur détonation qui est chargée d'assurer les fonctions demandées. Parmi celles-ci, nous citerons :

- l'initiation d'autres explosifs (cas des explosifs primaires des détonateurs).
- la destruction globale (effets de souffle, d'éclats, de bulle ; fissuration...).
- la destruction dirigée ou orientée (effet de charge creuse etc...).
- la projection contrôlée de métaux (charge creuse, implosion, cordeau de découpage).
- la transmission de signaux ou d'ordres (sismique, cordaeux de transmission, dispositifs de sécurité).
- les modifications d'états physiques de matériaux (compactage, durcissement structurel, cristallisations sous haute pression...).

Les principales contraintes imposées aux explosifs sont liées à la sécurité de manipulation, de mise en œuvre, d'emploi et à l'aptitude à la conservation dans des environnements variés.

L'étape suivante du raisonnement consiste à définir les grandeurs, les méthodes de mesure et les valeurs limites permettant d'apprécier si les fonctions sont ou seront remplies (performances) et si le produit satisfait aux conditions imposées :

- les grandeurs liées aux performances sont la vitesse  $D$  de détonation, la densité  $\rho$  (la pression de détonation varie comme  $\rho D^2$ ), le diamètre critique, l'amorçabilité.
- celles qui sont liées à la sécurité de manipulation sont les sensibilités au choc, au frottement, à l'électricité statique, à l'onde de choc, à une élévation plus ou moins rapide de température dans un milieu plus ou moins confiné, au feu, aux impacts de balles ou d'éclats etc...
  - l'aptitude à la conservation s'apprécie par des tests

de stabilité dans le temps (vieillissements accélérés), et dans des milieux variés (température, humidité, contacts avec d'autres produits...).

## 2. LES FONCTIONS EXPLOSOPHORES.

Ce terme semble avoir été créé par VAN T' HOFF il y a plus d'un siècle : certaines fonctions chimiques tendent à donner à la molécule des propriétés explosives.

Il est intéressant d'examiner ce qu'amènent ces fonctions au plan des performances (vitesses de détonation, densités), des sensibilités, des stabilités (chaleur, hydrolyse).

Dans cet examen sommaire des relations structure-propriétés, pour des molécules définies, nous donnerons quelques tendances générales, pouvant aider dans le choix des molécules explosives.

### 2.1. Groupe - NO<sub>2</sub>

La fonction explosophore principale est le groupe - NO<sub>2</sub>, présent dans la plupart des explosifs organiques classiques. Ce groupe peut faire partie d'un sel organique de l'acide nitrique, ou être lié à un atome d'oxygène, de carbone, d'azote, voire à un autre atome (B, S, P) ces derniers étant très peu connus. Il peut y avoir 2 ou 3 groupes NO<sub>2</sub> sur un même carbone, voire deux sur un même azote (ces derniers composés sont très sensibles au choc).

- Sels de l'acide nitrique. Parmi ceux ne contenant que C, H, O, N, citons les nitrates d'ammonium, de méthylamines, d'hydrazine, d'hydroxylamine, de guanidine, d'urée... Ils sont en général peu denses, très solubles dans l'eau, souvent hygroscopiques, pas très coûteux, peu sensibles sauf le nitrate d'hydrazine fondu (F. 71°C).

- Esters nitriques -  $\text{ONO}_2$ . Souvent liquides ou à bas point de fusion pour les premiers termes. Pas très denses sauf pour les structures symétriques (pentrite, 1). Assez volatils. Stabilité thermique moyenne. Certains sont sensibles au choc, lorsque le rapport des nombres de carbone et de groupes  $\text{ONO}_2$  dans la molécule est voisine de un.

- Dérivés  $\geq \text{C} - \text{NO}_2$ . Il y a une grande différence entre les dérivés  $\text{C} - \text{NO}_2$  aliphatiques ou cycloaliphatiques d'une part, et ceux des séries aromatiques ou hétérocycliques à cycle stabilisé par conjugaison d'autre part. Les premiers ont un caractère explosif faible, sauf s'il y a accumulation de groupes nitrés sur un même carbone : là on observe une grande différence de stabilité et de sensibilité entre les dérivés  $(\text{O}_2\text{N})_3 \text{C}$  - du nitroforme, sensibles et ceux  $\text{F}(\text{NO}_2)_2 \text{C} - \text{CH}_2$  - du fluorodinitroéthanol, beaucoup plus stables.

Les dérivés aromatiques polynitrés sont très stables à la chaleur et à l'hydrolyse, surtout si les groupes nitro sont en méta l'un par rapport à l'autre. Ils sont denses et ont des vitesses de détonation intéressantes. Leur sensibilité au choc est modérée. C'est dans cette famille que se trouvent la tolite (trinitrotoluène) (2), la mélinite (trinitrophénol (3), le tétryl (4), l'hexanitrostilbène (5), le trinitrotriaminobenzène (TATB, 6). Ce dernier est particulièrement thermostable et peu sensible au choc et aux agressions, comme le sont d'autres dérivés benzéniques trinitrés contenant un groupe  $\text{NH}_2$ , par suite de liaisons "hydrogène" formées entre  $\text{NH}_2$  et  $\text{NO}_2$ . Parmi les hétérocycles nitrés, citons l'oxynitrotriazole (7) de densité 1,94 (ONTA).

- Dérivés  $\geq \text{N} - \text{NO}_2$ . Souvent très denses, ils ont des vitesses de détonation intéressantes. Les produits du type

$\text{RNHNO}_2$  sont acides et relativement moins stables ; ceux qui n'ont pas d'hydrogène sur l'azote peuvent être très stables thermiquement en dessous de leur point de fusion. Les méthodes de synthèse peuvent être complexes. Citons parmi ces dérivés l'hexogène (8) l'octogène (9), le dinitroglycolurile (10, A = H, B =  $\text{NO}_2$ ) et le tetrinitroglycolurile (10, A=B =  $\text{NO}_2$ ) ces deux derniers ayant respectivement des densités de 1,94 et de 2,03 au moins. Signalons aussi la nitroguanidine (11), difficile à amorcer. C'est dans cette série que l'on recherche des produits nitrés denses, en particulier dans des "composés-cages".

#### 2.2. Groupe - NO.

Les dérivés explosifs correspondants ont en général une stabilité très médiocre sauf dans les cas très spéciaux : cyclotriméthylénetrinitrosamine ; hexanitrosobenzène, appelé aussi benzotrifuroxane (12) très dense, et souvent étudié parce qu'il ne possède pas d'hydrogène

#### 2.3. Groupe - $\text{N}_3$ (azide)

On obtient les produits correspondants par action d'azide de sodium sur un dérivé halogéné : par exemple sur l'épichlorhydrine. Ces corps ont souvent la réputation d'être sensibles et d'une stabilité limitée.

#### 2.4. Groupe - $\text{NF}_2$

Les produits correspondants sont d'un intérêt limité car volatils, et surtout très sensibles au choc.

#### 2.5. Divers.

D'autres fonctions explosophores telles que les peroxydes, les ozonides, certains diazoïques, certains enchainements de trois ou quatre atomes d'azote, certains corps à accumulation de doubles ou triples liaisons, des cycles à trois

atomes, donnent des produits en général relativement instables thermiquement, très sensibles à des contraintes extérieures, choc, frottement, étincelle électrique. On peut y adjoindre certains sels métalliques de corps à hydrogène mobile tels que  $C_2H_2$  ou  $CH_3NO_2$  ainsi que certains dérivés halogénés sur l'azote, tels que le célèbre iodure d'azote des étudiants.

Leur vitesse de détonation, quand elle a pu être mesurée, est en général faible.

On cherchera parmi les moins instables d'entre eux des explosifs primaires utilisables.

#### 2.6. Conséquences.

Deux problèmes scientifiques et pratiques se posent actuellement au plan physique et chimique à ce stade :

1) - Comment trouver des molécules explosives ayant une faible "vulnérabilité", c'est-à-dire entre autre une faible sensibilité aux agressions tout en étant performantes : les candidats actuels sont notamment le TATB, la nitroguanidine, l'ONTA, et le DINGU (dinitroglycolurile).

2) - Comment trouver des molécules stables à vitesse de détonation et densité élevées : sur ce dernier point, comment déterminer à priori la densité d'un cristal d'un corps organique non encore synthétisé ? Des formules empiriques plus ou moins précises existent mais on ne connaît pas encore de solution théorique à ce problème.

### 3. LES MÉLANGES EXPLOSIFS.

#### 3.1. Généralités

Pour la mise en œuvre des explosifs organiques, il existe plusieurs procédés de chargement :

- Lorsque l'explosif est fusible sans décomposition et

s'il n'est pas trop sensible, cas de la tolite (F. 80°C) ou de la mélinite (F. 121°C), le chargement se fait par fusion et coulée.

- Pour des explosifs plus sensibles et fondant plus haut, comme le tétryl, l'hexogène (F. 204°C), l'octogène (F. 283°C), on ne peut pas utiliser la coulée en fondu du produit pur.

Deux voies sont alors possibles : le chargement par compression et le chargement d'un mélange coulable.

- Le premier consiste à comprimer dans un moule ou dans le récipient définitif l'explosif à froid ou à chaud par un piston d'une presse. Pour les explosifs sensibles et pour éviter des grippages entraînant des explosions, on ajoute un lubrifiant (graphite, stéarate) et/ou on flegmatise l'explosif en l'enrobant au préalable d'une couche de cire, cire d'abeilles autrefois, maintenant de cires minérales ou de synthèse (2 à 10% environ par rapport à l'explosif). On utilise aussi divers polymères tels que des résines fluorées ou des polyesters. Ce procédé est adapté à la fabrication en série de petits objets ; pour des chargements plus importants, l'investissement devient très élevé (grandes presses) et la cadence très lente.

### 3.2. Chargement d'un mélange coulable

Le principe consistera à mettre en suspension l'hexogène, l'octogène, éventuellement la pentrite dans un liant liquide, à couler dans un moule ou dans la munition le mélange pâteux ainsi obtenu, puis à le solidifier : selon la nature de la solidification du liant, on distinguera deux voies possibles : l'une physique par cristallisation du liant liquide, l'autre chimique par sa polymérisation.

Dans le premier cas on prend comme liant un explosif fusible, la tolite dans laquelle l'hexogène et l'octogène sont pra-

tiquement insolubles. La coulée se fera donc au-dessus de 80°C, et on laissera refroidir. Cette voie très utilisée présente cependant plusieurs inconvénients : le mélange solidifié a des propriétés mécaniques médiocres, présente des risques de fissuration liés à la forte différence de densité entre tolite liquide et solide ; et surtout un incendie accidentel de ces mélanges dégénère facilement en détonation, ce qui est une catastrophe par exemple sur un navire (cas des porte-avions américains FORRESTAL et ENTERPRISE). Ces mélanges (hexolites, octolites) sont donc en cours d'être interdits sur les navires ou les avions.

Dans le deuxième cas, on utilise comme liant un mélange liquide polymérisable ou réticulable, par exemple donnant un polyuréthane : c'est la voie des "explosifs composites coulables" ainsi nommés par analogie avec les propergols composites pour missiles.

L'une des propriétés demandées dans la mise en oeuvre est la coulabilité des mélanges charge-liant. Si l'on ne veut pas trop diminuer les performances explosives du mélange final, il faut introduire le maximum possible de charge, a fortiori si le liant est inerte (non explosif). Ceci supposera d'employer de l'explosif (hexogène etc...) de granulométrie contrôlée, à répartition bi ou trimodale comme dans les bétons : la forme des cristaux est importante: la nitro-guanidine ordinaire en aiguilles est très difficile à introduire dans des compositions coulables. On ajoute aussi des mouillants favorisant l'adhésion liant-chARGE. On peut alors arriver à des chargements dépassant 80 à 85% en poids d'hexogène (densité 1,82) dans un liant de densité voisine de 1.

Les phases de la fabrication sont alors les suivantes :  
- broyage ou cristallisation et séchage de la charge.

- dans un malaxeur chauffé, introduction successive du liant liquide puis de la charge. Dans le cas classique des polyuréthannes, le liant liquide comprend un diol, un peu de triol pour la réticulation, un diisocyanate en quantité soigneusement dosée par rapport aux hydroxyles présents ; en fin de malaxage, on ajoute le catalyseur : le mélange a alors une "vie de pot" de quelques heures avant que sa viscosité augmente.

- coulée à chaud dans un moule ou une munition, sous vide pour éviter la formation de bulles, et éventuellement en vibrant.

-réticulation par maintien une durée suffisante (quelques jours) dans une étuve.

Les propriétés recherchées et obtenues sont les suivantes :

- pour l'efficacité globale un taux maximal de charge granulaire.

- pour la qualité de l'onde de détonation, une très grande homogénéité de la densité avec une très faible porosité.

- pour une faible vulnérabilité à divers agents (incendies, projectiles ...) on règle les propriétés finales vers des valeurs assez élevées d'allongement sous traction, et de résistance à la rupture.

- enfin, en fonction de l'emploi, on choisit pour le polyuréthane une température de transition vitreuse suffisamment basse par un choix approprié du diol correspondant. On peut utiliser un liant actif (participant à la détonation) : on améliore ainsi les performances, mais on augmente en même temps la vulnérabilité.

#### 4. APPROCHES MACROSCOPIQUE ET MICROSCOPIQUE DE LA DETONATION.

Dans cette dernière partie, nous aborderons un aspect beaucoup plus scientifique et fondamental des connaissances sur les explosifs et la détonation.

Une fois que la notion de détonation a été bien dégagée par BERTHELOT vers 1880, une explication théorique de ce phénomène a été donnée à peu près en même temps par CHAPMAN et JOUGUET au début du siècle. Cette description thermo-hydrodynamique de la détonation repose sur un certain nombre d'hypothèses simplificatrices : écoulement réactif supersonique monodimensionnel plan, stationnaire jusqu'au plan de la fin de réaction ; on suppose notamment que les réactions de décomposition de l'explosif sont arrivées simultanément à l'équilibre, celui-ci étant fonction de la température et de la pression locales. Ces produits formés subissent ensuite une détente isentropique instationnaire.

En réalité, les phénomènes sont plus complexes et leur description macroscopique doit tenir compte de nombreux facteurs : formation de l'onde de choc dans l'explosif qui n'a pas encore réagi ; équations d'état sous très hautes pressions des produits formés ; détentes latérales ; pour les explosifs sous-oxygénés, état (graphite ou diamant) du carbone formé et cinétique de cette formation ... D'autre part l'onde de détonation se propage par formation de "points chauds", centres de décompositions thermiques dans un explosif, pouvant être dus par exemple à des hétérogénéités, des défauts, des bulles de gaz ... L'onde de détonation a donc une structure plus complexe que ce qu'on supposait au départ.

La question s'est donc posée de savoir ce qui s'y passe au niveau moléculaire ; par exemple par quels états successifs passe une molécule et comment sa décomposition se

transmet aux molécules voisines. Ce fut l'objectif d'un récent atelier de travail organisé par Madame ODIOT (PARIS VI) à MEGEVE (01-05 JUIN 1987) : faire le point des connaissances et de leurs limites actuelles, en vue de proposer un programme de recherches multidisciplinaire cohérent. [ Les actes de cet atelier seront publiés prochainement par les "Editions de Physique" à COURTABOEUF-LES-ULIS ].

Rappelons au départ, qu'une onde de détonation en régime stationnaire parcourt l'épaisseur d'une molécule (de l'ordre de  $10^{-6}$  mm) en environ  $10^{-13}$  seconde (0,1 picoseconde). Or les observations macroscopiques sur la détonation ne descendent guère en dessous de mm : on voit qu'il y a une zone mal connue de 6 ordres de grandeur entre 1mm et  $10^{-6}$  mm.

Après avoir signalé quelques résultats, nous soulignerons les difficultés de cette entreprise et donnerons quelques suggestions.

#### 4.1. Résultats :

. au plan théorique

- une équipe du CEA (MM. A. DELPUECH et J. CHERVILLE) a établi une relation entre la sensibilité au choc de molécules explosives du type X - NO<sub>2</sub> et la polarisabilité de cette liaison X - NO<sub>2</sub> par passage de l'état fondamental à un état électronique excité de la molécule (Voir Propellants and Explosives 1978 et 79).

- des études théoriques entreprises par Madame ODIOT (PARIS VI) en liaison avec Monsieur PEYRARD (DIJON), Monsieur FLEURY (LILLE), Madame E. ORAN (Naval Research Laboratory NRL aux ETATS-UNIS) sont orientées vers la structure et le rôle des états électroniques excités d'une molécule explosive d'une part, et d'autre part vers l'analyse des processus de transmission du type multiphononique

d'une décomposition dans un monocristal : ce processus peut évoluer de façon différente selon les axes du cristal.

- des études par modélisation ont été entreprises à partir de diverses hypothèses telles que des phénomènes de cisaillement ou de défauts dans les solides (Naval Surface Weapons Center NSWC).

. au plan expérimental

- des expériences très fines et qui supposent une remarquable synchronisation sont tentées, tant au CEA que dans des centres de recherches américains (NRL, NSWC, SANDIA, LOS ALAMOS) : étude des étapes initiales de la décomposition du nitrométhane, étude par spectroscopie Raman par DRASC (diffusion Raman antistokes cohérente), ou par infrarouge ultra-rapide, des espèces formées dans une onde de détonation ; excitation par flash laser de molécules d'explosifs d'un monocristal au cours de la formation d'une onde de détonation.

#### 4.2. Difficultés

Nous en signalerons plusieurs :

- manque de moyens de mesures de phénomènes ultra-rapides et difficultés de synchronisation dans l'expérimentation.

- les explosifs se prêtant à des expérimentations précises notamment sous forme de monocristaux sont formés de molécules trop complexes pour que les calculs de mécanique quantique puissent être menés à bien par les moyens actuels.

- difficultés pour piéger ou saisir des états moléculaires intermédiaires de durée de vie très brève.

#### 4.3. Voies d'approche possible :

Celles que nous suggérons concernent des produits pouvant servir d'objets d'études :

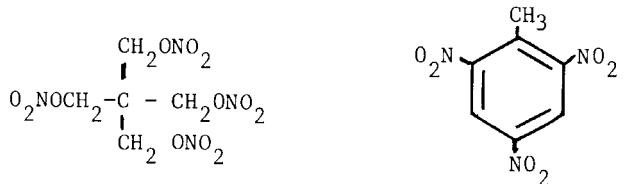
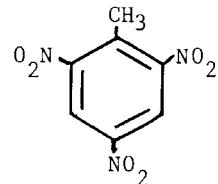
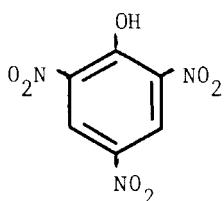
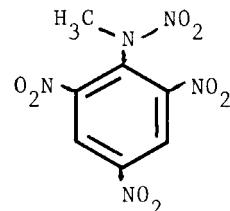
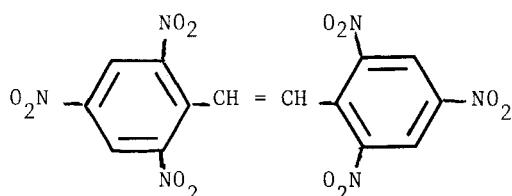
- des polymères explosifs, tels que le nitrate de poly-

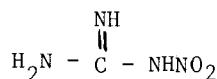
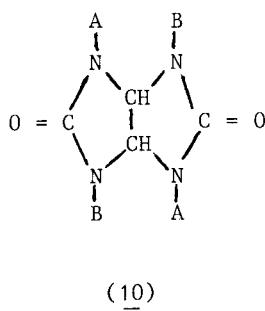
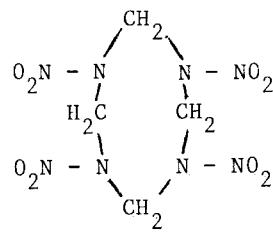
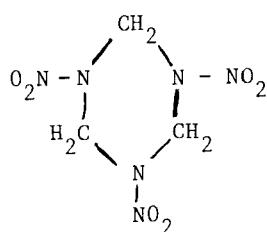
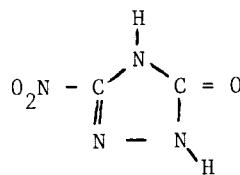
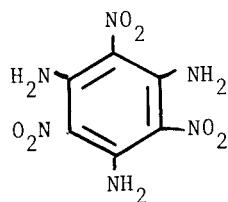
vinyle, probablement plus faciles à mettre en oeuvre que des monocristaux.

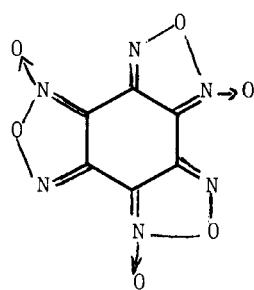
- des explosifs primaires, certes plus sensibles et donc délicats à mettre en oeuvre, mais où les phénomènes de détonation se produisent sur des distances beaucoup plus courtes.

- le nitrométhane, liquide dont l'aptitude à la détonation est fortement augmentée par l'addition de faibles quantités de "sensibilisants" tels que la triéthylamine.

Il s'agit là d'une recherche multidisciplinaire à caractère fondamental, dans des conditions extrêmes de temps et de pression, et qui peut avoir des conséquences pratiques quant aux applications, comme par exemple la maîtrise des effets de l'établissement de très hautes pressions en des temps très courts sur des matériaux.

(1)  
Pentrīte(2)  
Tolīte(3)  
Trinitrophénol(4)  
Tétryl(5)  
Hexanitrostilbène





(12)