



La lettre de l'IPE

Expert de la sécurité pyrotechnique

Juillet 2022 – N°49

Editorial

Le conflit ukrainien a marqué ce premier semestre 2022. Il suscite de nombreuses réflexions et interrogations sur les capacités françaises, en premier lieu desquelles se trouvent les munitions. La haute intensité implique nécessairement davantage de munitions qu'il faut donc fabriquer en plus grandes quantités ainsi qu'éventuellement de disposer de stockages plus nombreux et plus denses. Il importe de pouvoir soutenir ces nouveaux défis sans régression de la sécurité pyrotechnique. C'est ici probablement le moment de se réinterroger sur nos certitudes, sur la technique et l'état de l'art. En effet, là où il pourrait être démontré que des gains en quantité sont possibles sans augmenter l'exposition, ni dégrader la sécurité des personnes et des biens, alors il sera opportun de convaincre et de prendre ses responsabilités. Pour ce faire, il sera sans doute nécessaire d'affiner les hypothèses en se basant notamment sur les travaux expérimentaux qui ont été menés en France et par l'OTAN.

Dans ce contexte, nos réflexions sur l'optimisation de la valeur ajoutée des travaux de sécurité pyrotechnique, notamment documentaires, prennent pleinement leur sens. Il faudra être plus efficace tout en restant aussi performant en matière de sécurité pyrotechnique. C'est pourquoi, je crois que nos propositions pour une évolution de la réglementation en sécurité pyrotechnique peuvent contribuer à cet objectif ambitieux.

J'ai souhaité partager, dans cette lettre, nos positions sur différents sujets mis en lumière par des questions qui nous ont été posées par des administrations ou des opérateurs pyrotechniques. Certains de ces sujets ont souvent déjà fait l'objet d'articles dans le passé. Ainsi, est apparu bon de ré-éclairer la communauté pyrotechnique sur la prise en compte de l'éclatement pneumatique des propulseurs et les implications du classement en division de danger 1.1 ou 1.2.

Nous restons attentifs aux évolutions à l'international au travers de notre participation à des travaux de l'OTAN. Un point est présenté sur l'actualité des standards OTAN et des activités du MSIAC. Dans ce numéro, nous rapportons également les conclusions d'un séminaire de l'OTAN sur la complexité de la division de danger 1.3.

La famille des munitions labellisées MURAT vient de s'étendre. Un article vous présente les nouvelles-venues.

Enfin, l'IPE conforte ses partenariats historiques. La DGT présente un article sur la nouvelle convention que le directeur général du travail et moi-même avons signé au cours de ce premier semestre 2022. J'ai également signé une nouvelle convention avec l'INERIS qui prévoit la réalisation de travaux techniques en commun.

Je vous souhaite à tous un bel été.

Françoise LEVEQUE

*Inspectrice de l'armement
pour les poudres et explosifs*

Sommaire

Effets thermiques induits par la
combustion accidentelle de
produits pyrotechniques

page 2

Convention IPE – DGT

page 3

Zones d'effets de projection
pour les objets des
divisions de danger 1.1 et 1.2

page 4

Eclatement pneumatique
des propulseurs :

Calcul des zones d'effets

page 4

Convention IPE-INERIS

page 6

Politique MURAT et nouveaux
labels attribués

page 6

Sécurité pyrotechnique :
actualité normalisation OTAN

page 8

Présentation annuelle des
activités du MSIAC en France

page 8

Incidents / accidents
pyrotechniques

page 9

Sites internet utiles

page 14

Manifestations annoncées

page 14

Nous contacter

page 15



Effets thermiques induits par la combustion accidentelle de produits pyrotechniques La complexité de la division de danger 1.3

Les conséquences sur l'homme et les équipements que l'on peut associer à la combustion accidentelle de matières ou d'objets pyrotechniques de la division de danger¹ 1.3 sont très diverses : on distingue les effets induits par le rayonnement thermique direct de la flamme ou des parois d'une infrastructure, par l'augmentation de la température ambiante, par les dégagements de fumées et des substances toxiques qu'elles véhiculent, mais également par la pollution des eaux ou des sols y compris potentiellement via les eaux d'extinction.

Au vu de la réactivité des produits mis en jeu, les effets liés au **rayonnement thermique** sont souvent ceux qui présentent le risque principal pour les personnes. Dans le cas où des données précises sur le potentiel thermique et toxique de ces produits existent et que l'on sait évaluer l'influence de leur conditionnement sur le profil de flamme, on peut généralement déterminer par modélisation la cinétique de développement de l'incendie, évaluer l'augmentation progressive de la température dans un local ainsi que l'évolution des concentrations en agents toxiques dans l'air ambiant. La comparaison des résultats obtenus aux valeurs seuils en flux ou dose de la réglementation permet d'évaluer les zones d'effets générées.

Une alternative plus sommaire consiste à déterminer des **distances de séparation admissibles** entre un siège exposant, lieu de l'accident pyrotechnique et des sites exposés sur la base de lois empiriques en puissance de la masse de matière active (approche type QD²). Ces formules existent dans la réglementation et font régulièrement l'objet d'interrogations de la communauté quant à leur domaine d'application et leur origine. Le SFEPA, l'INERIS et l'IPE se sont penchés sur cette question en 2021 dans le cadre d'un groupe de travail interne et une présentation spécifique avait été faite cette même année à la journée SFEPA – administration. Il a ainsi été mis en évidence la difficulté de mettre en cohérence ces deux approches : d'une part la définition des zones de danger définies par des expérimentations OTAN historiques relatives à la séparation entre installations et d'autre part les distances de protection basées sur le risque de brûlure essentiellement par flux thermiques rayonnés (valeurs seuils de l'arrêté PCIG de 2005). On note également une singularité française que l'on ne retrouve pas dans d'autres pays : les zones d'effets retenues par la réglementation différencient les matières ou objets présentant une combustion rapide (qui génère souvent des flux thermiques considérables) des autres modes de combustion plus lents.

Conscient de la **complexité** inhérente à l'estimation des conséquences d'accidents impliquant des matières ou

objets dans cette division de danger et du caractère **très récurrent** de ces mêmes accidents (objets plus facilement « initiés », servant d'« allumettes » dans des stockages mixtes...) qui posent un défi dans le management pertinent d'un sinistre de ce type, le groupe sécurité des munitions de la CDNA à l'OTAN (CASG) a organisé un séminaire de trois jours en décembre 2021 et mars 2022 rassemblant une soixantaine d'experts internationaux d'une dizaine de pays. Les objectifs formels étaient de proposer des améliorations dans la détermination des distances de séparation pour la division de danger 1.3, de rendre plus robuste l'analyse de risque associée et de fournir des données d'entrée expérimentales pour les éditions futures des standards OTAN relatifs au stockage et au classement des matières et objets explosifs (AASTP-1 et 3).

Les conclusions principales de ces travaux font l'objet du rapport MSIAC L-279 du 19 février 2022 et peuvent être résumées comme suit :

1) Les distances de séparation actuelles de l'OTAN qui ont infusé dans notre réglementation nationale (arrêté de 1980, distances reprises dans la circulaire de 2007), fonction de la masse à la puissance 1/3, sont issues de tests de combustion en champ libre de brins de cordite jusqu'à 18 tonnes entre 1948 et 1958 au Royaume uni (composition double base avec une grande surface de combustion et des durées de combustion de quelques secondes maximum). Les critères retenus à l'époque étaient plutôt de type brûlure au premier degré en-dessous de 4,5 tonnes et exprimés en dose pour calculer les distances. Ces critères ont été repris en national pour l'évaluation de nos zones d'effets thermiques.

2) Ces essais sur brins de cordite ne représentent pas les propriétés thermiques de l'ensemble des objets et substances actuelles de la famille 1.3 et les conséquences des feux généralisés de matière pyrotechnique ne suivent pas une loi fonction de la simple masse de matière active : les paramètres clés sont le taux de combustion, la chaleur de combustion, la température de flamme et sa structure géométrique (taille et diamètre) ainsi que la fraction radiative émise. Il existe des modèles rapides donnant le flux thermique en fonction de ces paramètres pour des combustions en champ libre ou dans des installations avec des grandes surfaces de déconfinement possibles. Pour les incendies en champ libre ou dans des installations confinant faiblement, les lois actuellement dans la réglementation en fonction de la masse, à défaut d'être représentatives sont conservatives pour des masses inférieures à 1 tonne.

¹ Il convient de noter que la réglementation ADR de janvier 2019 remplace le terme « division de risque » par « division de danger ».

² Quantité - Distances



3) Dans le cas d'incendies de matières pyrotechniques avec une grande densité de chargement dans des structures lourdes, l'approche actuelle sur les zones d'effets peut ne pas être conservatrice. En particulier, Il faut statuer sur la possibilité que la vitesse des gaz issus de la combustion des matières

puisse atteindre la vitesse du son dans les surfaces de décharge (« choked flow ») même réduites de l'installation. On crée alors les conditions pour une explosion de l'installation avec projection massive de débris secondaires et les effets principaux ne sont plus pilotés par le flux thermique.

Une collaboration de longue date entre l'IPE et la DGT actée par le renouvellement d'une convention pour la période 2022-2027

Cet encart a été rédigé par la Direction Générale du Travail.

A l'occasion de la réforme du monopole de l'Etat en matière de production, d'importation, d'exportation et de commerce des poudres et substances explosives en 1970, les activités de contrôles ont été reprises par les administrations compétentes. Afin que ces dernières puissent exercer leur mission, une inspection technique, aujourd'hui l'IPE, a été créée afin d'apporter ses compétences en matière de contrôle et d'expertise aux ministères (travail, environnement, transport...) concernés par le domaine des substances ou objets explosifs.

Les relations entre l'IPE et la direction générale du travail (DGT) sont institutionnellement formalisées dans une convention de collaboration dans le domaine de la prévention du risque pyrotechnique conclue pour une durée de 5 ans.

Une nouvelle convention couvrant la période 2022-2027 a ainsi été signée le 31 mars 2022. Elle rend inopérante la précédente ainsi que la note d'information n° DGT/CT3/IPE/2016/301 du 4 octobre 2016 relative aux modalités de coopération entre les directions régionales de l'économie, de l'emploi et des solidarités (DREETS) et l'IPE publiée au bulletin officiel Travail - Emploi - Formation professionnelle.

Cette collaboration est essentielle et de nature à améliorer la sécurité des travailleurs d'un secteur

particulier recouvrant l'ensemble des activités en lien avec les explosifs pour lequel on déplore en moyenne 1 décès par an.

Les échanges d'informations avec l'IPE (retour d'expérience post-inspections, accidents/incidents du domaine de la pyrotechnie) permettent en effet à la DGT de disposer d'une vision transversale qui reflète l'état de la technique nécessaire pour faire évoluer les textes réglementaires, en les articulant plus efficacement avec un corpus réglementaire conséquent (plusieurs codes dont ceux de la sécurité intérieure, la défense, l'environnement ainsi que des décrets autonomes), ou élaborer des outils et guides méthodologiques.

Dans le même temps, la coopération entre les DREETS et l'IPE, en particulier lors de l'approbation des études de sécurité du travail (EST) et pyrotechnique (ESP) ou lors des inspections conjointes permet, de s'assurer de la bonne application de la réglementation.

Enfin, l'inspectrice de l'armement pour les poudres et explosifs et le directeur général du travail ont souligné que cette collaboration est particulièrement positive, et qu'elle a permis des avancées significatives, en particulier sur la doctrine applicable qui est, lorsque cela est opportun, publiée dans la lettre de l'IPE.



Zones d'effets de projection pour les objets des divisions de danger 1.1 et 1.2

La rédaction des EST exige de prendre en compte l'ensemble des dangers générés par les produits pyrotechniques et l'arrêté du 20 avril 2007 prévoit à cet effet que l'employeur puisse utiliser la classification des produits au titre de la réglementation internationale sur le transport des matières dangereuses (section II articles 2 à 10).

Des ambiguïtés historiques quant aux effets à prendre en compte pour des produits classés en divisions de danger¹ 1.1 et 1.2 conduisent toujours à des divergences d'interprétation avec aujourd'hui des difficultés récurrentes que nous avons pu constater dans les EST.

La différence essentielle entre les produits pyrotechniques classés en division de danger 1.1 par rapport à ceux classés en 1.2 est liée au risque de détonation en masse, les objets de la division de danger 1.2 ne présentant pas ce risque.

Concernant les projections, certes les objets pyrotechniques de la division de danger 1.2 génèrent des projections primaires liées à l'enveloppe autour de la matière mais toutefois et contrairement à une position régulièrement rencontrée, une grande partie des munitions de la division de danger 1.1 en génèrent également. Seules les matières explosives et certains objets explosifs de la division de danger 1.1 (tels que des produits à nu, i.e. sans enveloppe, ou avec une enveloppe non métallique) peuvent, dans certaines circonstances, ne pas générer de projections primaires. Dans ce cas, le phénomène de détonation reste, en revanche, susceptible de générer des projections secondaires liées à l'explosion d'un bâtiment ou la projection d'équipements situés à proximité du produit explosif.

¹ Il convient de noter que la réglementation ADR de janvier 2019 remplace le terme « division de risque » par « division de danger ».

Il n'y a donc pas de bijection entre la division de danger 1.1 et l'absence d'éclats. En revanche, il est bien établi que le classement en division de danger 1.2 est justifié par l'absence de détonation en masse.

L'impact principal dans les EST et les études de dangers (EDD) vient des zones d'effets à prendre en compte. Les zones d'effets des objets de la division de danger 1.1 ont souvent été limitées aux zones de surpression considérant sans toujours le vérifier qu'elles englobent les projections primaires et secondaires. Inversement, la prise en compte de zones d'effets de projection pour des objets de la division de danger 1.2 selon les formules forfaitaires conduisait ainsi à des zones d'effets finalement plus étendues que pour les objets classés en division de danger 1.1. Cependant, pour les objets de la division de danger 1.2, les zones forfaitaires sont bien souvent sur-conservatives parce qu'elles considèrent l'ensemble des objets comme participant à la génération du souffle et des projections. Pour des munitions, les différences en termes de zones d'effets sont particulièrement notables avec les modèles basés sur les règles OTAN² qui permettent, de plus, d'affiner les distances à prendre en compte selon les types d'infrastructures exposantes et exposées. Il est à noter que les EST peuvent se référer à ces modèles, notamment pour les installations dédiées aux munitions.

En résumé, la distinction entre les divisions de danger 1.1 et 1.2 est essentiellement liée au risque de détonation en masse. Pour les objets de la division de danger 1.1, il est essentiel d'examiner systématiquement le risque de projections.

² Notamment AASTP-1: Manuel OTAN des principes de sécurité applicable aux stockages de munitions et explosifs militaires

Eclatement pneumatique des propulseurs : Calcul des zones d'effets

Les formules de calcul des zones d'effets pyrotechniques actuelles (circulaire du 10 mai 2010) qui datent en fait des années 70 visaient surtout les substances explosives, les objets explosifs conçus pour générer des projections et du souffle (divisions de danger¹ 1.1 et 1.2) tels que bombes, cartouches d'artillerie, ainsi que les poudres d'allumage ou

pour armes, plus ou moins vives (sous-divisions de danger 1.3a et 1.3b). Comme le montrent des sollicitations récurrentes de l'IPE par différents opérateurs et administrations, elles s'avèrent en revanche peu adaptées aux effets dangereux potentiels des propulseurs chargés en propergol.

¹ Il convient de noter que la réglementation ADR de janvier 2019 remplace le terme « division de risque » par « division de danger ».



Les principaux événements redoutés pour les propulseurs à prendre en considération sont :

- la combustion nominale avec effet tuyère ;
- l'éclatement à basse pression avec combustion résiduelle type tas de poudre ;

- l'éclatement pneumatique à pression plus élevée avec projections de fragments mais avec une onde de choc restant modérée.

Dans les années 80, des expérimentations réalisées par DGA EM ont permis de proposer une nouvelle méthode d'évaluation des zones d'effets relatives à l'éclatement d'un propulseur, qui ont été reprises dans le Guide de Bonnes Pratiques en Pyrotechnie du SFEPA. Cette méthode dite 1.3a + P s'applique dans les phases d'activités pyrotechniques et de tir. Pour rappel, ont été retenues pour les projections résultantes d'un éclatement pneumatique :

- des zones d'effets Z1 à Z4 dont les rayons sont analogues à ceux de la division de danger 1.3a ;
- une zone d'effets Z5p² définie par la limite de portée des projections dont le rayon est calculé comme suit :
 - pour les gros propulseurs et une pression de rupture maxi de 100 bar :

$$R5p = 80 \times Q^{1/6}$$

- pour les cas où la pression de rupture est supérieure à 100 bar :

$$R5p = 1,7 \times P \times [1 - (1/P)^{0,138}] \times Q^{1/6}$$

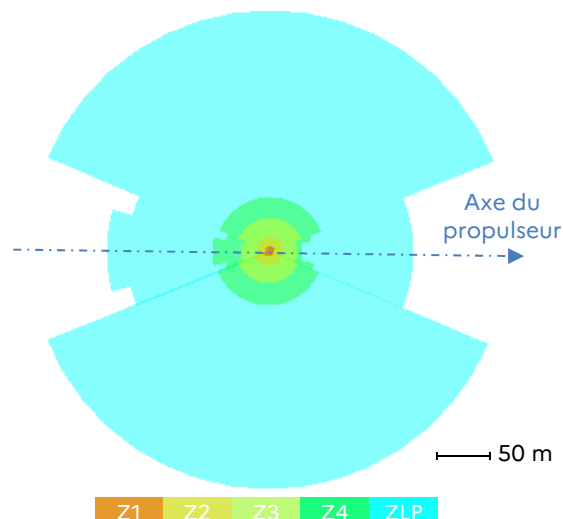
où P est la pression de rupture en bar, Q la masse de matière active en kg et R5p en mètres.

Ainsi, pour le calcul des zones Z1 à Z4, cette approche ne retenait que l'effet thermique. En effet, l'application des zones forfaitaires « projections » de la circulaire conduit à des zones trop conservatives des effets redoutés réels et induirait donc des contraintes surdimensionnées pour les opérateurs.

Depuis cette époque, la connaissance des phénomènes a évolué et les zones d'effets des projections générées sont mieux connues. Des codes de calcul analytiques ou semi-empiriques tels que CRONOS développé par DGA EM intègrent le retour d'expérience de plusieurs centaines d'essais et permettent ainsi de mieux rendre compte des zones d'effets réelles avec un couplage fort des aspects thermiques et projections notamment. Ils permettent également d'affiner la répartition des projections en fonction de l'architecture du propulseur (cf. exemple de cartographie ci-après).

Au titre des meilleures pratiques, l'utilisation du logiciel CRONOS est régulièrement jugée recevable pour les études de sécurité et les études de danger au sein du ministère des armées. Dans le domaine civil, certaines études de danger menées avec cette approche ont également été acceptées par des DREAL.

L'utilisation d'autres codes de calcul est également possible. Dans ce cas, il conviendrait de faire préalablement une intercomparaison sur la plage d'utilisation envisagée.



Cartographie des zones d'effets calculées avec CRONOS pour l'éclatement pneumatique d'un propulseur à l'horizontale

Exemple de calculs de zones d'effets dans le cas d'un éclatement pneumatique :

	Zones d'effets (m)					
	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z5p/ ZLP
Approche 1.3a + P Q = 21 kg Rupture = 250 bar	7	10	14	18	X	377
CRONOS Q = 21 kg	6	18	34	53	106	211

Comparaison des zones d'effets calculées avec CRONOS et l'approche 1.3a + P

Dans le cas présent, les zones d'effets Z2 à Z4 sont significativement sous-estimées avec l'approche 1.3a + P et la ZLP très conservative.

En termes de conformité d'implantation, l'impact est variable selon la probabilité d'événement pyrotechnique des activités menées. Il est limité voire nul pour des opérations P1 dans une zone pyrotechnique (autres installations principalement classées a2). Il peut être, en revanche, significatif pour des activités présentant une probabilité d'événement pyrotechnique plus élevée ou par rapport à des installations non pyrotechniques.

En conclusion, l'utilisation de modèles analytiques ou semi-empiriques du type CRONOS permet de mieux coupler les effets thermiques et de projections consécutifs à un scénario redouté d'éclatement pneumatique de moteur à propergol solide. La première conséquence est un dimensionnement plus pertinent de la zone limite de portée des projections et un intérêt pour la détermination du périmètre de sécurité lors des essais. Par ailleurs, les zones d'effets Zi calculées avec ces modèles permettent une meilleure évaluation des effets de projection et ainsi une meilleure prise en compte de l'exposition des travailleurs.

² Correspond également à la zone limite de portée des projections (ZLP) utilisée pour déterminer le périmètre de

sécurité dans le cas d'un fonctionnement volontaire (article R4462-2 17°)



Convention IPE-INERIS

L'INERIS et l'IPE renforcent leurs liens en signant le 30 mars 2022 une convention de collaboration.

L'audit ministériel sur la sûreté des explosifs mené en 2019 avait souligné l'importance de disposer d'une expertise publique indépendante dans le domaine des explosifs tout en soulignant sa fragilité.

Si l'IPE et l'INERIS ont toujours entretenu des échanges réguliers, cette convention exprime une volonté commune de mener conjointement des réflexions et des travaux techniques intéressant la sécurité pyrotechnique.

En ce qui concerne les produits explosifs visés par le code de la défense, la complémentarité de l'INERIS et de l'IPE est effectivement un gage de synergie : connaissance des explosifs civils et des articles pyrotechniques d'un côté, connaissance des propergols et des produits explosifs à usage militaire de l'autre.

Cette alliance vise également à renforcer la cohérence des approches entre la sécurité environnementale et la sécurité au travail vis-à-vis des risques pyrotechniques. Elle appuiera ainsi les autorités chargées de la réglementation dans un contexte d'évolution de cette dernière.

Consolidation croisée des connaissances entre explosifs civils et état de l'art de l'OTAN sur les munitions, convergence entre sécurité de l'environnement et du travail, les sujets techniques communs relatifs aux études de dangers (corpus Environnement) et aux études de sécurité (corpus Travail) ne manquent pas ; les résultats attendus de cette convention devraient apporter des réponses adaptées aux questions récurrentes posées par les employeurs et les exploitants.



Politique MURAT et nouveaux labels attribués

L'IPE pilote la politique française en matière de Munitions à Risques Atténués (MURAT) fixée par l'Instruction Ministérielle n°211893 de juillet 2011 et qui constitue le document national d'application du STANAG 4439¹ ratifié par la France.

Les munitions à risques atténués apportent des plus-values opérationnelles majeures :

- amélioration de la sécurité et de l'interopérabilité par la réduction des risques et conséquences associées dans les différentes phases de vie des munitions ;
- augmentation de la capacité opérationnelle résultant de la vulnérabilité réduite des personnels, plateformes de combat et systèmes d'armes.

¹ STANAG 4439 : Politique pour l'introduction et l'évaluation des munitions MURAT



Les 3 grands axes de la politique MURAT au sein du Ministère des Armées sont les suivantes :

- expression du besoin MURAT pour toute nouvelle acquisition de munitions ;
- évaluation de la signature MURAT et validation associée ;
- mise à jour et gestion du recueil des signatures MURAT de l'ensemble des munitions des armées.

Pour les nouvelles acquisitions, le programme de démonstration et les résultats d'évaluation de la signature MURAT d'une munition font l'objet d'une présentation pour validation devant le comité MURAT de la DGA, composé d'experts en sécurité des munitions et présidé par l'IPE.

Lorsqu'une signature MURAT tend à se rapprocher ou égale les spécifications requises par le STANAG 4439 en termes de niveaux de réaction pour une munition dite IM² (cf. tableau ci-dessous), un label MURAT est émis et valorise les efforts de développement réalisés. Ce label est attribué pour les configurations d'emploi éligibles (logistique en conteneur, hors emballage, tactique dans son lanceur...).

Trois niveaux se distinguent, de MURAT* à MURAT*** sachant que le label MURAT** correspond à la spécification directe du STANAG 4439 qui demeure un objectif commun aux nations. Si l'absence de détonation par influence reste un élément essentiel de maîtrise des conséquences liées à une agression accidentelle ou malveillante en stockage ou sur une plate-forme de combat, les munitions doivent aussi réagir de manière non violente face à un incendie, un échauffement lent, des impacts par balle ou par fragment léger pour se voir éligibles à un label MURAT (cf. tableau ci-dessous).

Agression	Procédure d'essai (STANAG)	Niveaux de réaction ^e			
		STANAG 4439 (IM)	MURAT ★	MURAT ★★	MURAT ★★★ ^c
Incendie	4240	V	IV ^a	V ^b	V ^b
Echauffement lent	4382	V	III	V	V
Impact par balles	4241	V	III	V	V
Réaction par influence	4396	III	III	III	III
Impact d'éclat léger	4496	V	I	V	V
Impact d'éclat lourd	4496 ^d	—	I	III	III
Jet de charge creuse	4526	III	I	III	III

^a Non propulsif

^b Au plus tôt 5 min après le début de l'incendie

^c Matériaux énergétiques Extrêmement Peu Sensibles (MEPS) satisfaisant les critères d'insensibilité définis dans la série 7 du manuel ONU d'épreuves et critères (Orange Book)

^d Test réalisé avec un fragment de 250 g

² Insensitive Munition (munition MURAT en français)

³ Bombe de 250 kg d'Emploi Général et à Vulnérabilité Réduite

L'attribution des labels est de plus conditionnée par les niveaux de confiance sur le type de réaction retenu par agression et entérinés par le comité MURAT de la DGA, cette démarche apportant un gage supplémentaire sur le niveau de réduction de la vulnérabilité des munitions atteint.

Au premier semestre 2022, trois munitions se sont vues attribuer un label MURAT :

- la bombe d'aviation MK82 EG VR³ en configuration logistique (MURAT**);
- la bombe d'aviation MK82 VR DR⁴ en configuration logistique (MURAT**);
- le missile MMP⁵ en configuration logistique (MURAT*).



Palette de bombes MK82 EG VR



Missile MMP

Enfin, à l'occasion des 10 ans de l'entrée en vigueur de l'instruction ministérielle actuelle sur la politique MURAT, l'IPE a engagé une revue avec les différentes parties intéressées à la DGA et dans les armées. Cette revue a permis de faire un bilan de la mise en œuvre de l'instruction mais également des limitations. Des orientations suite à cette revue ont été proposées pour l'application ultérieure de l'instruction, avec notamment le renforcement de la communication de l'IPE et des équipes de programmes de la DGA avec les forces et le SIMu.

^e Pour mémoire, les descripteurs de réaction sont définis dans l'AOP-39 et correspondent globalement à :

- Type I : détonation
- Type II : détonation partielle
- Type III : explosion
- Type IV : éclatement
- Type V : combustion

⁴ Bombe de 250 kg à Vulnérabilité Réduite et Dommages collatéraux Réduits

⁵ Missile anti-char de Moyenne Portée



Sécurité pyrotechnique : actualité normalisation OTAN

Au sein de l'OTAN, le Groupe de Sécurité des Munitions (CASG)¹ (AC/326) est en charge de la normalisation en matière de « sécurité des munitions tout au long de leur cycle de vie, à l'appui des priorités de la Conférence des Directeurs Nationaux de l'Armement (CNAD) ». Composé de trois sous-groupes², le CASG fournit le cadre d'échanges aux différents membres de l'OTAN et d'autres nations (Suisse, Singapour...) pour l'élaboration des normes communes et des directives procédurales sur les munitions et la sécurité des explosifs, ceci afin de favoriser l'interopérabilité dans les opérations dirigées par l'OTAN, de promouvoir le potentiel d'interchangeabilité des munitions et d'établir une base pour l'achat coordonné de munitions et d'explosifs.

Au travers des activités de l'AC/326, l'IPE participe à l'évolution des différents standards relatifs à: la conception, la fabrication, l'évaluation de la sécurité; l'utilisation des munitions et de leurs constituants; l'implantation des installations. Une édition 5 du STANAG 4187 relatif à la conception des systèmes d'initiation a été promulguée le 21 juin 2022 et devrait être appliquée dans les futurs contrats de développement de munitions. Cette nouvelle édition voit son format évoluer pour répondre aux nouveaux standards mais surtout prend

en compte des spécificités liées aux technologies développées depuis l'édition 4. Dans un futur proche, certains STANAG jugés comme majeurs en sécurité des munitions devraient également aboutir à une nouvelle édition. On notera, en particulier, une édition 3 du STANAG 4147 en cours de finalisation concernant la compatibilité chimique des composants des munitions avec les explosifs, ou encore une édition 4 du STANAG 4170 en cours de finalisation concernant l'homologation des matières explosives à usage militaire.

Une nouvelle édition de l'AASTP-1 pour le stockage des munitions et des explosifs militaires devrait également être soumise à ratification courant 2022. Les évolutions et les implications, comme le meilleur dimensionnement des projections et la ré-articulation des tables notamment, feront l'objet d'un article dédié dans une future lettre IPE.

L'ensemble des standards OTAN est périodiquement revu et mis à jour en cas de besoin. Ces textes forment l'état de l'art *a minima* applicable aux produits militaires. Les représentants Français du MinArm aux différents sous-groupes de l'AC/326 sollicitent fréquemment les différents industriels Français et tachent de les tenir au courant des évolutions futures.

¹ CASG : CNAD Ammunition Safety Group

² Sous-groupe A : matériaux énergétiques et systèmes d'initiation
Sous-groupe B : conception et évaluation des munitions
Sous-groupe C : suivi en service et gestion de la sécurité des munitions en utilisation

Présentation annuelle des activités du MSIAC en France

Le Centre d'information et d'analyse sur la sécurité des munitions (MSIAC)¹ de l'OTAN offre des services de conseil technique dans le domaine de la sécurité des munitions à ses pays membres.

Après 2 années compliquées en termes de déplacement, une présentation des activités du MSIAC a de nouveau été possible dans les locaux du Ministère des Armées le 20 juin dernier. Entre 30 et 40 participants issus du MinArm et des industries du monde de la défense ont pu échanger avec Charles Denham (Project Manager du MSIAC) et Christelle Collet (Technical Specialist Officer en technologies de propulsion). Ces échanges ont permis de rappeler le rôle du MSIAC ainsi que les différentes activités passées et futures sur lesquelles le MSIAC a œuvré et réfléchi.

Cette réunion a également été l'occasion de sensibiliser les différents participants sur le thème des effets DRAM (Dommages dus aux Rayonnements Électromagnétiques sur les Armes et Munitions), sur lequel le MSIAC souhaite monter en puissance afin d'aider la communauté.

Ce moment de partage avec les personnels du MSIAC devrait reprendre, *as usual*, de manière annuelle. En attendant le prochain, nous vous invitons à relire l'article publié dans lettre de l'IPE n°38 pour de plus amples informations et à vous rendre sur le [site internet du MSIAC](#) pour consulter les rapports techniques, la base de données incident/accidents ou tout simplement solliciter le MSIAC sur des questions techniques.

¹ Munitions Safety Information Analysis Center



Incidents / accidents pyrotechniques

En France

Ce tableau résume les nouveaux événements pyrotechniques (accidents, incidents et faits techniques) portés à la connaissance de l'IPE depuis la précédente lettre.

Vous pouvez trouver une description plus détaillée de certains événements sur la base ARIA du site du BARPI.

DATE	DESCRIPTION	BILAN
Du côté des fabricants		
10/02/2022	<p><u>Incident de tir lors d'un essai de fonctionnement de mines anti-char</u> La charge principale n'a pas fonctionné et la ligne de pétardage a été endommagée.</p> <p><i>Actions mises en place par l'entreprise :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Mise en place d'un périmètre de sécurité - Analyse des conditions de sécurité qui a amené à considérer la situation comme trop dangereuse pour une intervention humaine - Alerte de la préfecture pour sollicitation de la sécurité civile et intervention à l'aide d'un robot - Opération de neutralisation réalisée conjointement avec la sécurité civile 	Aucun blessé mais des dégâts matériels
17/02/2022	<p><u>Prise en masse d'environ 80 kg d'hexolite dans une cuve de mélange suite à une perte d'alimentation en vapeur</u></p> <p><i>Actions mises en place par l'entreprise :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Consignation de la valve de sortie de cuve - Déconnection de l'ensemble des éléments susceptibles de générer un mouvement lors de la remise en énergie, ceci afin de supprimer toute mobilité de mouvement en présence de l'explosif (solide et en phase de refusion) - Une fois les énergies retrouvées, mise en chauffe de la cuve d'hexolite pour commencer le cycle de fusion en périphérie du bloc - Une fois le contenu de la cuve de retour en phase liquide (100% garanti) => autorisation d'opérer la valve de sortie pour vidange de la cuve et récupération de l'hexolite - Réflexion sur l'amélioration des conditions d'apport des énergies (redondance) 	Sans objet
22/02/2022	<p><u>Initiation d'un Système Propulsion Retard pour grenade lacrymogène sortant de la machine de production</u> Lors du contrôle qualité des Systèmes Propulsion Retard (SPR), l'opératrice s'est aperçue d'un défaut de vissage de la colonne retard d'un SPR. Elle a terminé le serrage de la colonne retard manuellement, provoquant son initiation.</p> <p><i>Actions mises en place par l'entreprise :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Dans le cas où des pièces présenteraient un défaut, celles-ci seront isolées et traitées sur un poste particulier. La première opération sera d'effectuer un dévissage pour inspection et vérification d'un éventuel défaut avant revissage de la colonne retard. Une réflexion sera menée sur la cause du défaut au niveau de la machine. - Une procédure pour le traitement des rebuts de fabrication de ces produits a été rédigée et un poste spécifique a été aménagé. 	Aucun blessé mais des dégâts matériels légers
05/05/2022	<p><u>Prise en feu d'un bloc de propergol (5.6kg) lors d'une opération d'usage</u></p>	Aucun blessé mais des dégâts matériels légers
07/06/2022	<p><u>Prise en feu dans une sècherie</u> Le déclenchement de l'extinction automatique a éteint le feu en quelques minutes. Un arbre des causes a été établi. L'origine pourrait être un dysfonctionnement du ventilateur destiné à l'évacuation des vapeurs de solvant.</p>	Aucun blessé mais des dégâts matériels légers
10/06/2022	<p><u>Prise en feu d'une cinquantaine de pastilles lors d'une opération de pastillage</u></p>	Aucun blessé mais des dégâts matériels légers



Code couleur indiquant le niveau de gravité
des conséquences humaines

Mort(s)
Blessé(s) grave(s)
Blessé(s) léger(s)
Aucun blessé

DATE	DESCRIPTION	BILAN
Du côté des essais		
28/03/2022	<u>Explosion lors de la préparation d'un essai</u> Une faible quantité de produit (3 mL) était positionnée dans un pousse-seringue (dispositif micro-fluidique permettant d'injecter le liquide vers un dispositif expérimental). Suite à la recristallisation du liquide, il a été entrepris de réchauffer légèrement la seringue à l'aide d'un souffleur d'air chaud (décapeur thermique). C'est à ce moment que s'est produit l'explosion du pousse-seringue, générant des éclats de plexiglas, de verre et de métal.	4 blessés et des dégâts matériels légers
Du côté des forces		
08/04/2022	<u>Fonctionnement intempestif d'une mise de feu (sans booster) lors d'un test électrique</u> Cet événement est lié à la combinaison d'une erreur de procédure et de la défaillance d'un élément mécanique de sécurité. Les effets pyrotechniques observés sont conformes à l'analyse des risques de l'EST. <i>Actions mises en place :</i> - Analyse des éléments récupérés - Rétro-analyse des opérations réalisées par les opérateurs - Obligation de répéter la séquence avec une mise de feu inerte avant reprise de l'activité - Mise en place d'une surveillance de l'élément mécanique de sécurité - Réflexions sur l'amélioration de la protection acoustique	Gêne sonore et des dégâts matériels légers
12/05/2022	<u>Explosion d'une cartouche de 9mm BO lors de la chute accidentelle d'une boîte de ce type de cartouches (1,5m)</u> <i>Action mise en place :</i> - Rappel des conditions d'organisation de la distribution des cartouches	1 blessé
15/06/2022	<u>Fonctionnement intempestif d'un marqueur pour bouée de sauvetage</u> Lors du rencaissement, la sangle en tissu maintenant la goupille d'allumage s'est accrochée dans une des grenouillères de la caisse, provoquant l'arrachement de la goupille et le déclenchement du marqueur. L'artifice ne se trouvait plus en configuration nominale de sécurité et la sangle n'aurait pas dû être accessible.	Aucun blessé
Autres		
06/12/2021	<u>Explosion dans une carrière</u> L'explosion s'est produite dans un véhicule contenant des explosifs.	1 mort
01/11/2021	<u>Explosion dans le four d'un incinérateur de déchets non dangereux</u> La présence d'un obus serait à l'origine de l'explosion.	Aucun blessé mais des dégâts matériels
02/05/2022	<u>Explosion d'un obus dans un champ (lors du labourage)</u>	1 blessé

Complément : Dans la lettre IPE n°48 de janvier 2022, l'évènement « Intoxication de collégiens et professeurs sur un stade, lors d'une séance de sport » a été mentionné. Après enquête administrative, les suspicions tant sur l'origine géographique que sur la nature pyrotechnique des substances ayant généré les fumées, ont été levées (pour plus de précisions, consulter le site internet du BARPI – fiche n°58082).

Il est rappelé que, conformément à l'article R4462-31 du code du travail, le signalement d'événements pyrotechniques à l'autorité d'approbation compétente et à l'IPE est obligatoire. Pour l'IPE, les signalements peuvent être adressés à votre point de contact habituel ainsi qu'à l'adresse fonctionnelle dga-insp.ipe.fct@intradef.gouv.fr.



Code couleur indiquant le niveau de gravité
des conséquences humaines

Mort(s)
Blessé(s) grave(s)
Blessé(s) léger(s)
Aucun blessé

À l'étranger

L'équipe IPE présente dans cette rubrique une sélection, non exhaustive, des accidents dont elle a eu connaissance.

L'équipe remercie en particulier DGA ITE (Intelligence Technique et Économique) pour sa veille sur les accidents survenus à l'étranger.

En complément, de nombreux autres signalements d'accidents sont disponibles sur les sites internet indiqués page suivante.

PAYS	DESCRIPTION	BILAN
Allemagne	01/01/2022 : Explosion de feux d'artifices lors d'une utilisation illégale dans une fête privée	12 blessés
Argentine	18/02/2022 : Explosion de deux poudrières dans une usine de fabrication d'explosifs pour l'industrie minière L'accident s'est produit lorsqu'un camion a renversé un chargement d'explosifs. Une mauvaise manœuvre a ensuite provoqué une énorme explosion qui a détruit deux des six magasins de l'usine.	3 morts
	09/03/2022 : Détonation dans la tour de distillation d'acide acétique de l'une des usines d'explosifs de la ville	3 blessés
Bangladesh	20/04/2022 : Explosion dans un atelier clandestin de fabrication de feux d'artifices	2 morts
Burkina Faso	21/02/2022 : Incendie suivi d'une explosion sur un site d'exploitation d'or (origine pyrotechnique ?)	63 morts 60 blessés
Cameroun	23/01/2022 : Incendie dans une boîte de nuit causé par des feux d'artifices	16 morts 8 blessés
Costa Rica	28/12/2021 : Explosion dans une usine clandestine de dynamite/poudre à canon Le conteneur où était stockée la poudre à canon a explosé suite à une agression thermique.	2 morts 6 blessés
Équateur	28/12/2021 : Explosion d'une usine de feux d'artifices	3 morts 1 blessé
Espagne	21/02/2022 : Brûlures aux mains et visage lors d'un mélange de produits en phase de fabrication	1 blessé
Grèce	21/03/2022 : Explosion dans une usine de fabrication d'explosifs (dynamite pour travaux publics)	3 morts 1 blessé
Ghana	20/01/2022 : Explosion d'un camion rempli de matières explosives destinées à une mine suite à un accident de la route entre le camion, une moto et un autre véhicule L'accident s'est produit près d'un transformateur électrique, ce qui a généré un sur-accident. Environ 500 maisons ont été soufflées et des débris projetés sur plusieurs centaines de mètres.	17 morts 59 blessés
Inde	01/12/2021 : Explosion lors de la fabrication de feux d'artifices	3 morts 2 blessés
	01/01/2022 : Explosion dans une usine de feux d'artifices dans une unité de mélange chimique	4 morts 8 blessés
	05/01/2022 : Explosion d'une unité de fabrication de feux d'artifices lors d'un mélange de produits (friction)	5 morts 2 blessés
	24/01/2022 : Explosion lors du séchage d'explosif	1 mort
	29/01/2022 : Explosion dans une usine de fabrication de feux d'artifices	2 morts 2 blessés
	24/02/2022 : Incendie suivi d'une explosion dans une usine de feux d'artifices	4 morts



Code couleur indiquant le niveau de gravité
des conséquences humaines

Mort(s)
Blessé(s) grave(s)
Blessé(s) léger(s)
Aucun blessé

PAYS	DESCRIPTION	BILAN
Inde	03/03/2022 : Explosion dans une usine clandestine de feux d'artifices	13 morts 2 blessés
	20/04/2022 : Explosion dans un atelier de fabrication de feux d'artifices (lors d'un mélange de produits)	1 mort
Indonésie	29/04/2022 : Explosion dans un atelier de fabrication illégale de feux d'artifices	5 blessés
Italie	05/04/2022 : Explosion dans un hangar industriel désaffecté à l'intérieur d'une usine de feux d'artifices Des adolescents ont trouvé de la poudre pyrotechnique dans l'entrepôt et l'ont utilisée pour allumer un feu.	2 blessés
Kazakhstan	04/12/2021 : Explosion d'un énorme camion chargé de 324 feux d'artifices Lors d'un accident de la circulation, la remorque du camion s'est renversée et a pris feu, ce qui a conduit à l'explosion du chargement.	Aucun blessé mais des dégâts matériels et des nuisances sonores
Madagascar	11/03/2022 : Explosion d'un engin explosif lors d'une formation (académie militaire)	1 mort 6 blessés
Malaisie	26/04/2022 : Explosion lors du nettoyage d'un site d'élimination de feux d'artifices de contrebande	3 blessés
Mexique	05/12/2021 : Explosion d'un atelier de fabrication clandestin	1 mort 8 blessés
	05/12/2021 : Explosion d'un camion rempli de feux d'artifices	3 blessés
	06/12/2021 : Explosion d'un stockage illégal de poudre pour feux d'artifices	6 morts 30 blessés
	06/12/2021 : Explosion dans un atelier de feux d'artifices	3 blessés et des dégâts matériels
	08/12/2021 : Explosion de poudre de feux d'artifices lors d'un transport par diable	2 blessés
	08/12/2021 : Explosion dans un atelier de fabrication de feux d'artifices	4 blessés et des dégâts matériels
	12/12/2021 : Explosion dans un atelier de feux d'artifices	2 morts, 15 blessés et des dégâts matériels
	13/12/2021 : Explosion dans un stockage de feux d'artifices	1 blessé et des dégâts matériels
	18/12/2021 : Explosion dans un stockage de feux d'artifices La cause évoquée est une agression thermique par soudure.	Aucun blessé mais des dégâts matériels
	22/12/2021 : Explosion d'un stand de feux d'artifices Cette explosion serait due à un court-circuit sur un stand à proximité qui a provoqué des étincelles.	Aucun blessé mais des dégâts matériels
	23/12/2021 : Explosion d'un camion contenant des feux d'artifices sur une route nationale	4 morts 6 blessés
	26/12/2021 : Explosion de feux d'artifices L'explosion s'est produite quelques minutes après l'achat des artifices lors du transport sur une mobylette.	2 blessés
	27/12/2021 : Explosion d'un atelier clandestin de stockage de feux d'artifices et poudre pour armes	Aucun blessé mais des dégâts matériels
	29/12/2021 : Explosion dans un atelier clandestin de fabrication de feux d'artifices	1 mort



Code couleur indiquant le niveau de gravité
des conséquences humaines

Mort(s)
Blessé(s) grave(s)
Blessé(s) léger(s)
Aucun blessé

PAYS	DESCRIPTION	BILAN
Mexique	31/12/2021 : Explosion dans un atelier clandestin de fabrication de feux d'artifices	1 mort 3 blessés
	18/02/2022 : Explosion dans un stockage de poudre d'un atelier clandestin de fabrication de feux d'artifices	1 mort 2 blessés
	01/03/2022 : Explosion dans un atelier clandestin de fabrication de feux d'artifices	1 blessé
	01/03/2022 : Explosion dans un atelier clandestin de fabrication de feux d'artifices	1 mort
	04/03/2022 : Explosion dans un atelier clandestin de fabrication de feux d'artifices	6 morts
	12/03/2022 : Chute et explosion de feux d'artifices sur un groupe de personnes lors de leur utilisation dans une fête Des artifices sont tombés au sol et ont explosé à proximité d'un groupe de personnes.	5 blessés
	20/03/2022 : Explosion d'une camionnette contenant des feux d'artifices lors d'un carnaval Les personnes présentes au carnaval de printemps ont déclaré que quelqu'un avait jeté un « pétard » sur le camion qui a fait exploser le reste des feux d'artifices.	8 blessés
	25/03/2022 : Explosion dans un atelier de fabrication de feux d'artifices	3 blessés
	10/04/2022 : Explosion d'un feu d'artifices dans une camionnette accompagnant un cortège lors d'une procession	1 mort 2 blessés
	26/04/2022 : Explosion dans un atelier clandestin de fabrication de feux d'artifices Cet atelier avait été fermé en 2017 pour des raisons de non-conformité aux normes de sécurité. Les scellés de fermeture ont été violés par les propriétaires.	1 mort 3 blessés
	18/05/2022 : Explosion dans un atelier de fabrication de feux d'artifices	3 blessés
	21/05/2022 : Explosion lors d'une célébration religieuse	15 blessés
	26/05/2022 : Explosion dans un atelier de fabrication de feux d'artifices	1 blessé
	27/05/2022 : Explosion dans un atelier de fabrication de feux d'artifices L'explosion a été ressentie dans un rayon d'environ 5 kilomètres et la colonne de fumée était visible depuis plusieurs communes environnantes.	2 morts 5 blessés
Panama	25/04/2022 : Explosion dans une usine de fabrication de matériel pyrotechnique	4 blessés
Pays-Bas	31/12/2021 : Explosion de feux d'artifices artisanaux Une personne utilisait un klaphamer, un appareil avec un type de marteau monté sur une base lourde. L'outil peut être utilisé pour créer des explosions lorsque la poudre de magnésium est placée sur la plaque d'enclume et que le marteau bascule dessus.	1 mort 1 blessé
Pérou	03/12/2021 : Explosion d'un atelier de fabrication clandestin de feux d'artifices	2 blessés
	08/12/2021 : Incendie dans un atelier de fabrication clandestin de feux d'artifices	1 mort 7 blessés (inhalation de fumées)
Royaume-Uni	16/04/2022 : Explosion d'un stockage de feux d'artifices	Beaucoup de fumées sur l'autoroute et des dégâts matériels
Russie	29/03/2022 : Explosion d'un entrepôt de munitions	4 blessés
Tchéquie	08/04/2022 : Explosion d'une bombe de la seconde guerre mondiale sur un chantier lors de travaux d'excavation	1 mort 1 blessé



Sites internet utiles

Vous trouverez ci-après quelques adresses de sites internet qui présentent des signalements d'accidents :

BARPI (MEEM-Fr), voir *la base de données d'accidents ARIA*

www.aria.developpement-durable.gouv.fr/

Munitions Safety Information Analysis Center (MSIAC-OTAN) : voir *la Newsletter*

www.msiac.nato.int

Health and Safety Executive (HSE-UK) : voir *la base de données d'accidents EIDAS*

www.hse.gov.uk/explosives/eidas.htm

SAFEX International : voir *la base de données d'accidents*

www.safex-international.org

Manifestations annoncées

2022 IMEMTS

Insensitive Munitions and Energetic Materials Technology Symposium

18 au 20 octobre 2022 à Indianapolis (Etats-Unis)

<https://www.ndia.org/events/2022/10/18/3550--imem-tech-symposium>

PARARI 2022

Australian Explosive Ordnance Safety Symposium

8 au 10 novembre 2022 à Canberra (Australie)

<https://www.parari.org/>

EUROPYRO 2023

Co-organisé avec le 46th IPS Seminar (séminaire international de pyrotechnie)

11 au 14 septembre 2023 à Saint-Malo

<https://europyro2023.org/>

Les lettres de l'IPE sont disponibles sur son site internet :

<https://www.defense.gouv.fr/dga/poudres-explosifs/lettre-lipe>

***IPE - 60 boulevard général Martial Valin – 75509 Paris cedex 15
Secrétariat tél : +33 – (0)9 88 67 73 56 – fax : +33 – (0)9 88 67 86 41***

Adresse fonctionnelle :

dga-insp.ipe.fct@intradef.gouv.fr

ISSN 2554-0912

Diffusion : numérique / 2 numéros par an

Dépôt légal : juillet 2022

Editeur : DGA/INSP/IPE