GTPS
GROUPE DE TRAVAIL DE PYROTECHNIE

JOURNEE TECHNIQUE DU GTPS du 26 novembre 2024:
Fiabilité et initiation des systèmes pyrotechniques

« LES REGLEMENTATIONS :
Contrainte et/ou tremplin pour l'initiation?
Etat des lieux et perspectives»

Etienne Lacroix GROUP

LACROIX

Sommaire

- Matériaux énergétiques de l'initiation
  - Les explosifs primaires
  - Les compositions pyrotechniques

- Contraintes réglementaires
  - REACH
  - ROHs
  - Export control
  - Conséquences sur l'initiation
  - Propositions d'alternatives

LACROIX

MATERIAUX ENERGETIQUES DE L'INITIATION

Les explosifs primaires

Caractéristiques générales:

- Très grande sensibilité aux stimulis extérieurs : au choc, à la friction, à la flamme, à l'électricité statique.

- Grande aptitude à prendre leur régime de fonctionnement nominal, la détonation, sous faible masse (qq mg), faible épaisseur, sans confinement.

- Développer une grande énergie

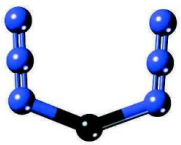
- Bonne stabilité thermique pour assurer un bon vieillissement

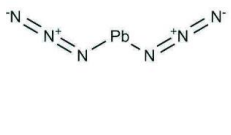
Inconvénients:

- Fabrication sous haute protection donc doivent être aptes au chargement automatique
- Pratiquement intransportables

MATERIAUX ENERGETIQUES DE L'INITIATION

Les explosifs primaires





- **Les azotures:**

Azoture de plomb, utilisé dans les détonateurs, parfois additionné de Tetrazène (augmente la sensibilité au choc), très sensible à la friction et aux décharges électrostatiques, stabilité thermique remarquable.

Azoture d'argent, plus puissant, plus brisant, pour remplacer l'azoture de plomb dans les détonateurs miniatures.

- **Les dérivés nitrés aromatiques:**

Trinitrorésorcinate de plomb (styphnate de plomb)

Au pouvoir d'amorçage presque nul, il est utilisé dans les inflammateurs additionné d'oxydant et de réducteur ou de tétrazène, moins sensible aux chocs mais très sensible aux décharges électrostatiques et au fil chaud.

Dinitrobenzofuroxane de potassium (KDNBF), produit « vert » (sans plomb), de masse critique assez forte, très sensible au choc et point chaud, pouvant remplacer le styphnate de plomb dans les inflammateurs.

- **les tétrazoles:**

Le tetrazène, composé entièrement organique, très riche en azote. Peu sensible à la friction et aux décharges électrostatiques, mais très sensible au choc et à la flamme. Il est utilisé comme additif sensibilisant. En mélange de 2 à 10%.

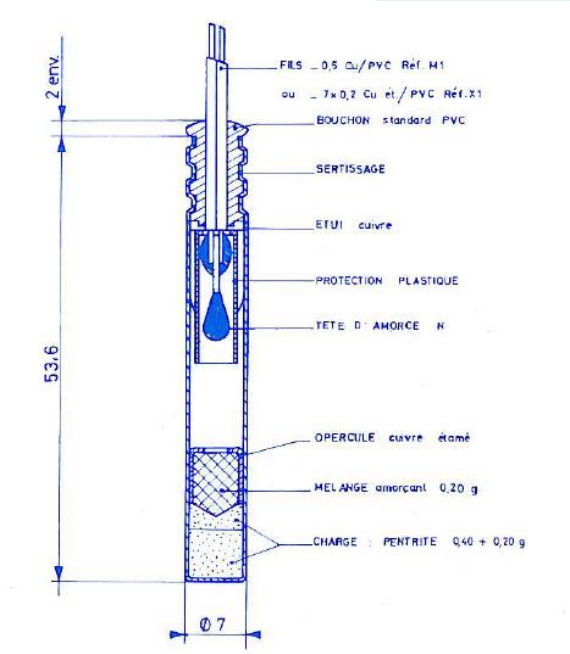
MATERIAUX ENERGETIQUES DE L'INITIATION

Les explosifs primaires

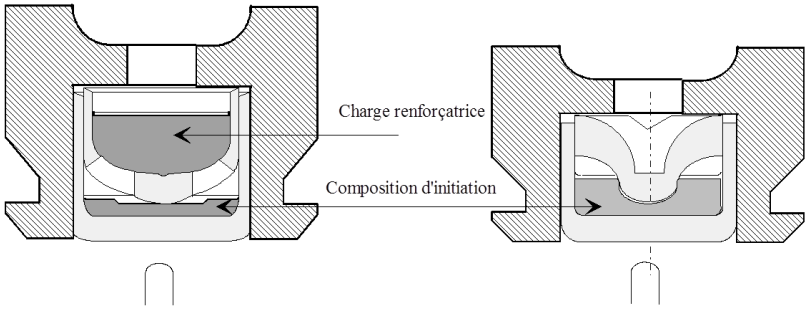
- Cas d'emploi: Les explosifs primaires sont généralement utilisés pour initier en détonation un explosif secondaire (hexogène, pentrite) ou une composition détonante.

Exemples:

Détonateur électrique dit à fil chaud ou résistif



Amorce à percussion



MATERIAUX ENERGETIQUES DE L'INITIATION

Les compositions pyrotechniques (mélanges red-ox)

On distingue suivant que l'on veut initier ou allumer:

- **Les compositions d'amorçage**
- **Les charges renfort ou relais,**
- **Les compositions d'allumage**
- **Les compositions détonantes proches des explosifs secondaires**

Exemples d'oxydants: nitrate de potassium, chlorate de potassium, perchlorate de potassium, perchlorate d'ammonium, nitrate d'ammonium, les oxydes de plomb, les sels de baryum et de strontium

Exemples de réducteurs: magnésium, aluminium, bore, sulfure d'antimoine, soufre, zirconium, tungstène…

A ce couple peuvent être additionnés du styphnate de plomb (déflagration, tps courts, points chauds), du tetrazène (+ sensib au choc, + de gaz), de la pentrite (+ de gaz chauds)

MATERIAUX ENERGETIQUES DE L'INITIATION

Les compositions pyrotechniques (mélanges red-ox)

Quelques exemples:

- ZPP (Zirconium/Perchlorate de potassium), très utilisé dans les inflammateurs, très sensibles aux décharges électrostatiques et souvent associé avec un liant/enrobant pour la faisabilité de la compo et la rendre moins sensible (dextrine)
- Hydrure de titane/Perchlorate de potassium, proche du ZPP
- SINOXID : styphnate de Pb (+ tetrazene)/nitrate de baryum/dioxyde de plomb + additifs utilisés dans les amorces à percussion
- SINTOX : tetrazene/diazodinitrophénol/peroxyde de zinc/ titane/NC/ NG

Ou chlorate de potassium/sulfure d'antimoine, compositions de substitution sans plomb pour les amorces à percussion

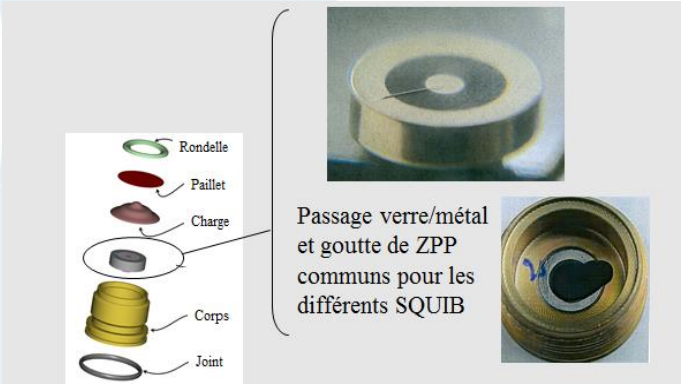
- BNP (Bore/Nitrate de potassium) moins sensible, très utilisée comme relais d'allumage
- etc…

MATERIAUX ENERGETIQUES DE L'INITIATION

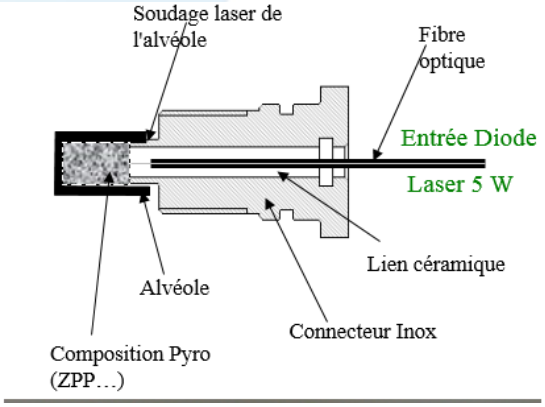
Les compositions pyrotechniques (mélanges red-ox)

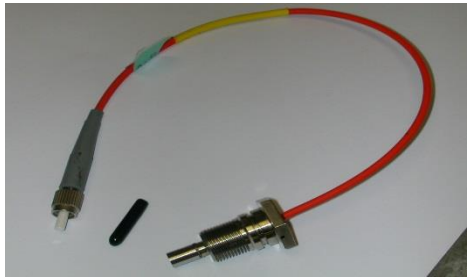
Exemples de cas d'emploi :

Allumeur électrique à fil chaud tel que le SQUIB LACROIX



Inflammateur opto-pyrotechnique KNDS





LACROIX

CONTRAINTES REGLEMENTAIRES dans l'INITIATION

REACH (règlement (CE) n°1907/2006)

Objectifs : Protection de la santé humaine et de l'environnement en supprimant les substances les plus à risque par des processus d'évaluation, de restriction et d'autorisation.

Les substances les plus préoccupantes (SVHC) intègrent une liste des substances candidates à l'autorisation (241) avec obligation d'information vers l'utilisateur dès que la concentration dépasse 0,1 % dans l'article.

Les substances utilisées dans l'initiation sont très impactées:

Interdits ou SVHC	Menaces
✓ Azoture de plomb, ✓ Styphnate de plomb, ✓ Monoxyde de plomb, ✓ Tetroxyde de plomb, ✓ Chromate de plomb ✓ Dichromate de potassium et d'ammonium, ✓ Plomb (soudure, alliage) ✓ Dibutylphtalate (vernis) ✓ Dinitrotoluène (vernis)	✓ Chromate de baryum, ✓ Dioxyde de plomb ✓ Argent

LACROIX

CONTRAINTES REGLEMENTAIRES dans l'INITIATION

ROHS (Directives (CE) 2011/65, 2017/2102)

Objectif : Limitation de substances dangereuses dans les équipements électriques et électroniques
Sont concernés les inflammateurs et détonateurs électriques.

Interdits ou limités selon les cas d'emploi
✓ Cadmium < 100 ppm ✓ Plomb < 1000 ppm ✓ Mercure < 1000 ppm ✓ Chrome hexavalent < 1000 ppm ✓ PBB (PolyBrominated Biphényl) < 1000 ppm ✓ PBDE (PolyBrominated Diphényl Ether) < 1000 ppm

Exemption pour les équipements utilisés dans le secteur de la Défense
Exemption pour les équipements à usage civil qui s'achève en avril 2026
(Directive (CE) 2021/647)

LACROIX

CONTRAINTES REGLEMENTAIRES dans l'INITIATION

Export control

Objectif : Autonomie et pérennité d'approvisionnement

Pas de composant soumis à Export Control:

- BAFA (Office fédéral des affaires économiques et du contrôle des exportations en Allemagne
- ITAR (International Traffic in Arms Regulations)
- EAR (Exportation American Rules)

LACROIX

CONTRAINTES REGLEMENTAIRES dans l'INITIATION

Conséquences sur l'initiation

- ✓ Disparition progressive des explosifs primaires à base de sels de plomb.

  Pour les applications civiles, tous les fabricants d'initiateurs européens ont décidé de basculer vers des inflammateurs et détonateurs électriques sans sels de plomb

- ✓ Disparition des montures avec soudure au plomb

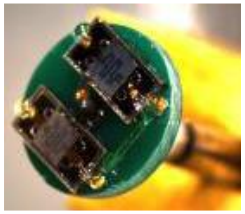
- ✓ Propositions de solutions de substitution qualifiées ou en développement :

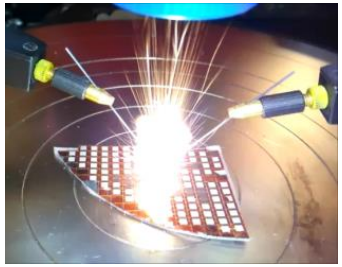
Alternatives avérées ou en développement
o Azoture d'argent o DDNP (Diazodinitrophenol) o ZPP (Zirconium-Perchlorate de potassium) o SINTOX (Chlorate de potassium-sulfure d'antimoine) o **NSTEX (ISL): mélange nanothermite + explosif nanostructuré** o **Pyromems, nanothermite, nanocomposite**

LACROIX

CONTRAINTES REGLEMENTAIRES dans l'INITIATION: PERSPECTIVES

Propositions d'alternatives





➢ **AVANTAGES**

- Pas de libération de métaux lourds dans l'environnement
- Pas d'exposition du personnel aux métaux lourds sur site de production

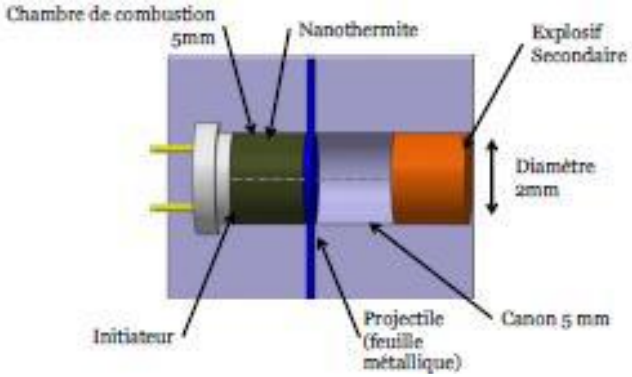
- Développement de nouveaux matériaux tels que les nanomatériaux énergétiques, substances hautement réactives qui,

d'une part, proposent une alternative aux explosifs primaires fortement impactés par REACH

✓ Nanocomposites: explosif, propergol, compo pyro mis en œuvre avec un liant selon un procédé multicouches

✓ Nanothermites: Thermites de granulométrie comprise entre le nano et le micromètre. Constituées communément d'aluminium associé à un oxyde métallique CuO, Fe2O3.

et d'autre part, répondent à une demande de systèmes d'initiation miniaturisés (techno MEMS).



LACROIX

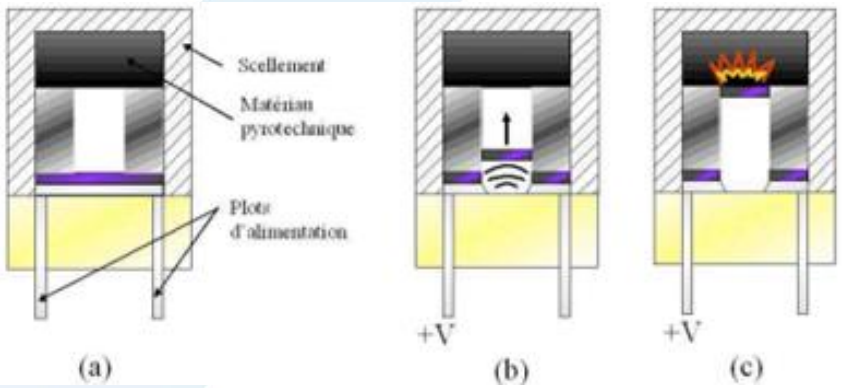
CONTRAINTES REGLEMENTAIRES dans l'INITIATION: PERSPECTIVES

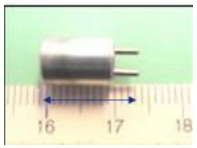
Propositions d'alternatives

➢ **AVANTAGES**

La recherche porte aussi sur:
- le développement de nouvelles technologies de mise en œuvre (micro-extrusion, spin coating, impression jet d'encre, dépôt par vaporisation…)

- Le développement de systèmes d'initiation non pyrotechniques ou a minima sans explosif primaire comme le slapper (Initiateur electropyro à couche projetée) ou IOP/DOP (initiateur optopyro)





CONTRAINTES REGLEMENTAIRES dans l'INITIATION: PERSPECTIVES

Propositions d'alternatives

➢ **INCONVENIENTS**:

- A design identique, les performances ne sont pas toujours équivalentes, régression possible:
  ex: amorce sans plomb ou inflammateur avec azoture d'argent plus puissants

- Coût élevé de qualification

- Demande d'homologation 17500 pour le marché français de la défense

- Délai d'approvisionnement rallongé

- Augmentation de prix série

LACROIX

Merci !

Vos questions ?

Joëlle PINCHOT

joelle.pinchot@etienne-lacroix.com